

Capítulo 6

Análisis de instalaciones

6.1 Introducción

6.2 El diseño de instalaciones y la relación Beneficio/Costo

6.2.1 Dependencia de Beneficio/Costo con niveles de alumbrado y área a iluminar

6.2.2 Dependencia de Beneficio/Costo con políticas de mantenimiento, IP y con la polución

6.2.3 Periodos de operaciones programadas

6.2.4 Dependencia de Beneficio/Costo con la supervivencia de lámparas

6.3 Evaluación de instalaciones existentes

6.3.1 Características de la población y de la empresa de mantenimiento

6.3.2 Metodología de análisis

6.3.2.1 Datos recopilados

6.3.3 Procesamiento de datos

6.3.3.1 Determinación de B/C para la situación actual

6.3.3.2 Determinación de B/C para la situación actual con consumo y uso eficiente

6.3.3.3 Determinación de B/C para la situación actual optima

6.3.3.4 Determinación de B/C para la situación de diseño optimo

6.4 Beneficios y costos de la muestra de la población

6.5 Conclusiones

6.6 Bibliografía del capítulo.

6.1 Introducción

La relación Beneficio / Costo, utilizada para evaluar la calidad del servicio del alumbrado urbano, encuentra dos ámbitos de aplicación:

- a) el diseño de nuevas instalaciones y
- b) la evaluación de instalaciones existentes.

El estudio de la aplicación en nuevas instalaciones es necesario para tener un marco de referencia con el cual poder evaluar y comparar instalaciones existentes. Es necesario, por este motivo, un análisis de la sensibilidad de la relación Beneficio/Costo ante los factores más importantes que lo afectan y la validez de su aplicación lo cual se inicia en el ámbito del diseño.

La justificación del uso de la relación Beneficio/Costo como criterio para selección de alternativas se estudia para instalaciones típicas con parámetros luminotécnicos de diseño recomendados, distintos grados de protección mecánica y polución, porcentajes de averías, etc. Las distintas situaciones analizadas dan lugar a 180 casos que son contrastados para evaluar la sensibilidad de la relación Beneficio/Costo, su validez y el peso de los factores más relevantes al diseño. Los resultados así obtenidos se indican en el presente capítulo.

La evaluación de instalaciones existentes, mediante la relación Beneficio/Costo, se realiza en una ciudad periférica a Barcelona, Sant Boi de Llobregat. La ciudad fue seleccionada para analizar sus instalaciones de alumbrado y estudiar la aplicación de la metodología, para lo cual se requiere el conocimiento de las condiciones actuales de funcionamiento y la política de gestión de mantenimiento aplicada.

Mediante la recopilación de datos de mediciones de campo, determinación del estado de conservación de las instalaciones, recopilación de datos históricos de operaciones de mantenimiento y de facturación de energía etc., se obtienen los datos necesarios para determinar la relación Beneficio/Costo en la situación actual. El resultado así obtenido será comparado con el Beneficio/Costo de las siguientes situaciones:

- a) la instalación bajo la política de mantenimiento actual pero ahora con un consumo y uso de la energía eficiente
- b) la instalación bajo una política de mantenimiento óptima y un consumo y uso de la energía eficiente
- c) una instalación nueva con el diseño mas apropiado desde el punto de vista funcional, consumo y uso eficiente de la energía y bajo una política de mantenimiento óptima.

El procedimiento además de evaluar el estado actual de las instalaciones, permite simular la aplicación de distintas políticas indicando la óptima teórica junto a periodos de reposición y frecuencias de limpiezas mas apropiadas, de este modo la situación actual es comparada con la óptima.

La aplicación de la relación Beneficio/Costo se extiende a zonas representativas de una ciudad para evaluar la aplicación a una mayor escala.

La metodología y los resultados obtenidos de su aplicación se indican en el presente capítulo.

6.2 El diseño de instalaciones y la relación Beneficio/Costo

La justificación del uso de la relación Beneficio/Costo como criterio para selección de alternativas y la sensibilidad de la relación a distintos factores fue analizada. Los factores más importantes cuyo efecto sobre la relación Beneficio-Costo se estudian se han agrupado en:

- a) parámetros luminotécnicos de diseño recomendados, iluminancia y área a iluminar
- b) políticas de mantenimiento, grado de protección mecánica y polución ambiental
- c) periodos de operaciones programadas,
- d) supervivencia y depreciación de flujo de lamparas

Para el análisis del efecto de los distintos factores en la relación Beneficio/Costo como criterio de diseño se seleccionaron instalaciones que debían cumplir con los parámetros luminotécnicos de diseño recomendados y cuyas dimensiones geométricas y disposición se ajustaran a los casos mas frecuentes de instalaciones de alumbrado urbanas del tipo funcional, es decir, donde aspectos funcionales del diseño priman sobre por ejemplo, los estéticos. Algunas restricciones fueron establecidas de manera de acotar el número de alternativas de disposiciones geométricas de las instalaciones y factores de diseño.

En la tabla 6.2-1 se indican las características de las instalaciones consideradas en el estudio y los intervalos de las dimensiones geométricas consideradas. Las fotometrías de las luminarias empleadas se indican en figuras 6.2-1 a 6.2-4.

Los parámetros luminotécnicos para el diseño del alumbrado que fueron utilizados, se describen en anexo I.1. Estos parámetros son recomendados para su aplicación en el ámbito de zonas urbanas con transito mixto: vehicular, peatonal y ciclistas. Los valores mas apropiados para los mismos fueron extraídos de recomendaciones de la Comisión Internacional de Alumbrado **CIE 115 (2000)**[1] **CIE 136(2000)**[2], del **Col·legi Oficial d'Enginyers Industrials de Catalunya (1997)** [3] y de los ministerios de **Obras publicas(1964)**[4] **Vivienda (1995)**[5] y **Fomento(1999)**[6] del gobierno Español.

Tabla 6.2-1: Características de las instalaciones consideradas en el estudio y los intervalos de las dimensiones geométricas consideradas.

Instalación: Unilateral sobre columna
 Ancho de calzada (A): 6m y 8m
 Altura de montaje (H) : $6\text{m} \leq H \leq 17\text{m}$
 Inclinación (T): $0^\circ \leq T \leq 15^\circ$
 Saliente (E) : $0 \leq E \leq 3\text{m}$
 Separación (S): $15 \leq S \leq 80\text{m}$
 Luminarias: Philips SGS 101,102, 204 y SRC 512
 Lámparas: Son T 100, 150, 250 y 400 W y Mercurio 125W, 250W y 400W
 Reflexión de calzada: CIE R3, $q_0 = 0.07$

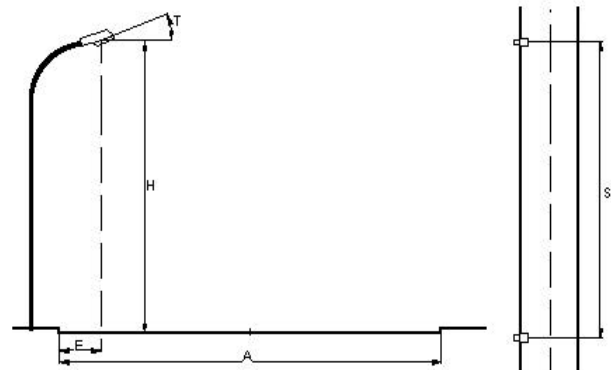


Tabla 6.2-2: Niveles medios sobre la zona a evaluar, mínimos mantenidos durante la vida de la instalación.

<i>Emm</i> [lx]	<i>Lmm</i> [Cd/m ²]	<i>Uo</i> ³ <i>Lmín/Lmed</i>	<i>UL</i> ³ <i>Lmín/Lmáx</i>	<i>TI</i> % [£]
10	0.5	0.4	NC	NC
15	1			
20	1,2		0,5	
25	1,5		0,7	10%
35	2			

Emm: iluminancia media sobre la calzada mínima mantenida

Lmm: luminancia mantenida media sobre la calzada mínima mantenida

Uo: regularidad general. $Uo = Lmínima / Lm$

UL: regularidad longitudinal. El menor ratio *Lmínima/Lmáximo* en líneas paralelas al eje de la calzada

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

NC: no corresponde

Cinco niveles de Iluminancia y dos anchos de calzada fueron seleccionados para analizar el efecto del nivel de iluminancia y el área considerada sobre la relación beneficio/costo. Los niveles de iluminancia media (*Emm*), Luminancia media (*Lmm*) regularidades y deslumbramiento seleccionados se indican en tabla 6.2-2. *Emm* y *Lmm* corresponden a valores medios sobre la calzada mínimos mantenidos es decir valores por debajo de los cuales no es deseable encontrar en la instalación y a partir de los cuales se hace necesario efectuar mantenimiento. Las áreas seleccionadas corresponden a calzadas de 8 y 6 metros de ancho por 1000m de largo.

El efecto del factor de mantenimiento en el calculo es el de dimensionar por exceso las instalaciones de alumbrado para contrarrestar la reducción que tiene lugar por efecto de la depreciación. La magnitud de la depreciación ($0 \leq FM \leq 1$) depende de la política de mantenimiento aplicada. Los programas de diseño conocidos dejan a criterio del diseñador el valor a adoptado usualmente es $0,7 \leq FM \leq 0,8$ pero sin indicar cual es la política mas apropiada. Debido a esta limitación, todas las alternativas que cumplan con los criterios de diseño serían apropiadas. Un criterio adicional como costos mínimos sería una solución adicional para seleccionar las alternativas mas económicas. Sin embargo, como se indica mas adelante no en todas las políticas es una condición suficiente como criterio. Para salvar esta situación, en el presente estudio se hace empleo de un factor de mantenimiento $FM=1$ en los cálculos con un programa de diseño y el valor óptimo de FM ha de surgir de un calculo posterior utilizando el criterio de máxima relación Beneficio/Costo con lo cual se determina también la política de mantenimiento mas apropiada.

Las combinaciones posibles de dimensiones de instalaciones de alumbrado, luminarias y lámparas, para satisfacer las exigencias de parámetros luminotécnicos de tabla 6.2-2 se obtuvieron efectuando los siguientes pasos:

- a) Mediante programas de diseño **Clx viario(1999)[7]** y/o **Lumen Micro 7.0 (1999)[8]** se calcularon para

- cada tipo lámpara y luminaria
- con una geometría unilateral sobre columna,
- y $FM=1$,

la separación ($s[m]$), altura ($h[m]$), inclinación (δ [grados]) y longitud de brazo ($p[m]$) para alcanzar los requerimientos de parámetros de tabla 6.2-2.

- b) El número de puntos de luz inicial *NPLo* se obtiene de

$$NPLo = \text{entero}(1000/s)+1 \text{ [1/km]}$$

- c) Con $S=1000/NPLo$, h , d , p y $FM=1$ se calculan los parámetros finales (denotados con "f") que tendrá la instalación: Emf , Lmf , Uo , UL , y $TI\%$.
- d) Con $NPLo$, IP de la luminaria, tipo de ambiente, Emf y Emm utilizando un programa desarrollado por el autor, se determina el FM y el $NPLf$ para obtener una relación $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máxima para las distintas políticas de mantenimiento.
- e) Para el análisis del efecto de los distintos factores en la relación Beneficio/Costo como criterio de diseño se seleccionaron las instalaciones con $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máxima.

A fin de acotar las posibilidades en la selección de instalaciones a estudiar, se ha considerado para todas las alternativas generadas, una misma política de mantenimiento (SM+LM+SC), grado de protección mecánica (IP5), grado de polución del ambiente (N: normal) y modelos de depreciación de flujo y supervivencia de lámparas dados por un fabricante.

En tablas 6.2-4 a 6.2-6 se indican las posibilidades obtenidas, de las cuales se seleccionan las de mayor $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máxima para cada tipo de lámpara y para cada escalón de Emm (ver cuadros en negrita de la última fila de cada tabla). Para el nivel mínimo mantenido de $Emm = 25$ lx el cálculo se realiza para las dos exigencias de regularidades con $UL \geq 0,5$ y $UL \geq 0,7$ para analizar el efecto del cambio de regularidad longitudinal UL en la relación Beneficio/Costo.

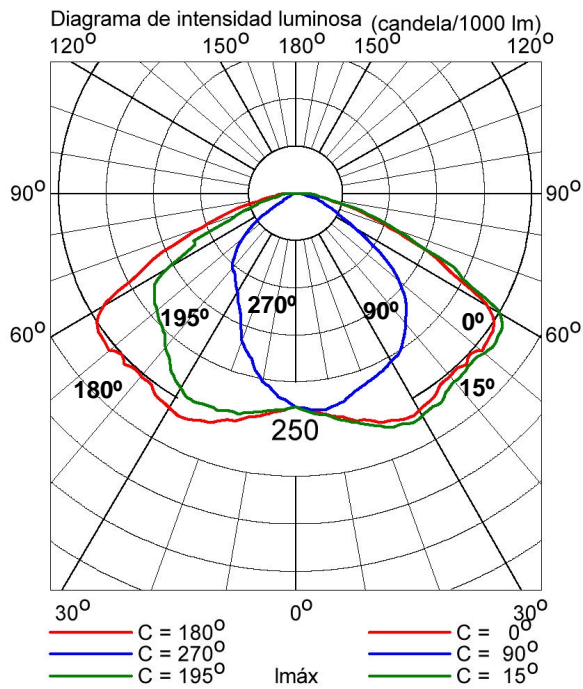


Figura 6.2-1: Fotometría de luminaria SGS 102 con lámpara SonT 100W

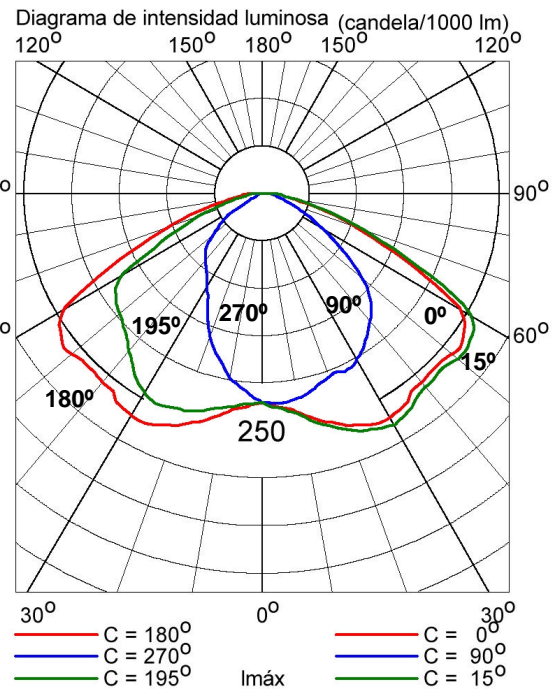


Figura 6.2-2: Fotometría de luminaria SGS 102 con lámpara SonT 150W

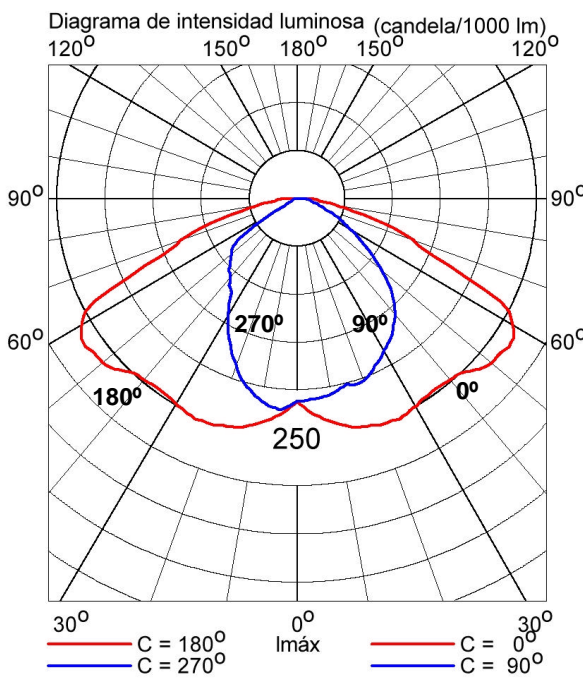


Figura 6.2-3: Fotometría de luminaria SGS 102 con lámpara SonT 250W

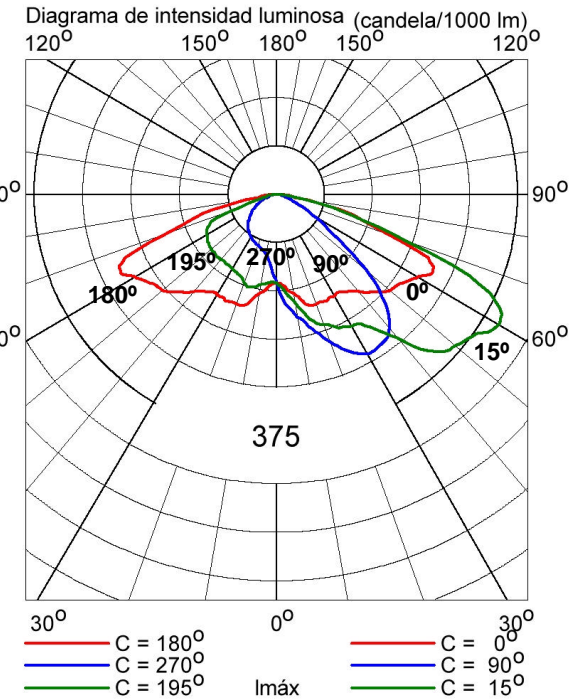


Figura 6.2-4: Fotometría de luminaria SGS 204 con lámpara SonT 400W

Tabla 6.2-3: Instalaciones de alumbrado y parámetros de diseño con FM=1 , ancho de calzada 6 m y lámparas de Sodio .P.

Instalaciones a evaluar

largo	1000
ancho	6
calzada	CIE R3
qo	0.07

Uniformidades exigidas	Uo>0,4												Uo>0,4 y UL>0,7					
	10	10	10	15	15	15	20	20	20	25	25	25	25	25	25	35	35	35
Emin.mat.	Son T	Son T	Son T	SonT	SonT	SonT	5	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	
Lámpara	100	150	250	150	250	400	150	250	400	150	250	400	150	250	400	150	250	400
PL [W]	10,500	16,500	32,000	16,500	32,000	55,000	16,500	32,000	55,000	16,500	32,000	55,000	16,500	32,000	55,000	16,500	32,000	55,000
Flujo	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 204	SGS 102	SGS 102	SGS 204	SGS 102	SGS 102	SGS 204
Luminaria	10	12	15	11	15	17	9	13	17	8	10	14	9	13	18	7	11	14
altura	45.45	55	76.9	43.47	62.5	76.92	37	52.63	71.42	34.48	50	71.42	28.57	41.66	55.55	25	35.71	47.62
separación saliente	2	2	1	1	2	1	2	2	0	2	2	0	0	2	0	0	2	0
inclinación	0	0	15	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	15	5	0
NPLo/Km	22	18	13	23	16	13	27	19	14	29	20	14	35	24	19	40	28	20
Lmf	0.62	0.7	0.8	0.93	1.02	1.26	1.19	1.36	1.58	1.53	1.78	1.88	1.51	1.72	2.03	2.01	2.31	2.82
Uo	0.42	0.43	0.45	0.49	0.55	0.5	0.42	0.53	0.62	0.43	0.4	0.48	0.48	0.064	0.68	0.49	0.61	0.67
UL	0.39	0.39	0.37	0.53	0.53	0.52	0.52	0.56	0.56	0.45	0.37	0.39	0.78	0.75	0.71	0.71	0.75	0.71
TI%	3	6	7.3	3	6.3	6.3	7.2	6.8	5.3	8.1	9.3	6.8	6.4	6.6	0.9	8.4	7.5	5.3
G	6	indef.	indef.	5.7	indef.	indef.	5.2	indef.	indef.	5	4.6	indef.	5.2	5	indef.	4.6	4.7	5.9
Emf	10.2	11.3	12	15.2	15.2	16.2	20.1	20.6	21.4	25.6	27.5	26.4	25.6	26.1	27.3	35.3	35.6	39.5
Eminf/Emf	0.16	0.19	0.14	0.3	0.31	0.33	0.3	0.34	0.4	0.22	0.16	0.24	0.5	0.52	0.58	0.41	0.52	0.5
Eminf/Emaxf	0.08	0.09	0.06	0.15	0.15	0.15	0.13	0.17	0.21	0.1	0.06	0.11	0.27	0.32	0.41	0.21	0.31	0.33
Coef. Utiliz.	0.265	0.226	0.173	0.240	0.178	0.136	0.270	0.203	0.167	0.321	0.258	0.206	0.266	0.204	0.165	0.321	0.238	0.205
NPL finales/Km	29	24	16	29	20	19	35	23	18	37	25	20	46	30	28	51	35	29
CAE/Km	5024.9	4805.5	3906.9	5847.9	5027.1	6148.7	6696.1	5671.4	5822.8	7095.6	5855.2	6368.5	8850.7	7185.9	9045.8	9652.7	8330.0	9046.7
CAE/m²	0.8375	0.8009	0.6511	0.9747	0.8378	1.0248	1.1160	0.9452	0.9705	1.1826	0.9759	1.0614	1.4751	1.1977	1.5076	1.6088	1.3883	1.5078
[CAE/(Klx.m²)]max*	83.75	80.09	65.11	64.98	55.86	68.32	55.80	47.26	48.52	47.30	39.03	42.46	59.00	47.91	60.31	45.97	39.67	43.08
[B/(CAE/m²)]max*	1.19	1.25	1.54	1.03	1.19	0.98	0.90	1.06	1.03	0.85	1.02	0.94	0.68	0.83	0.66	0.62	0.72	0.66
[B/(CAE/(lx.m²))]max*	11.94	12.49	15.36	15.39	17.90	14.64	17.92	21.16	20.61	21.14	25.62	23.55	16.95	20.87	16.58	21.76	25.21	23.21

* Política SM+LM+SC con luminaria IP5 y ambiente N

Tabla 6.2-4: Instalaciones de alumbrado y parámetros de diseño con FM=1 , ancho de calzada 8 m y lámparas de Sodio A.P.

Instalaciones a evaluar

largo	1000
ancho	8
calzada	CIE R3
qo	0.07

Uniformidades exigidas	U _o >0,4												U _o >0,4 y U _L >0,7					
	10	10	10	15	15	15	20	20	20	25	25	25	25	25	25	35	35	35
Emin.mat.	Son T	Son T	Son T	SonT	SonT	SonT	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	Son T	
Lámpara	100	150	250	150	250	400	150	250	400	150	250	400	150	250	400	150	250	400
Flujo	10,500	16,500	32,000	16,500	32,000	55,000	16,500	32,000	55,000	16,500	32,000	55,000	16,500	32,000	55,000	16,500	32,000	55,000
Luminaria	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 102	SGS 204	SGS 102	SGS 102	SGS 204	SGS 102	SGS 102	SGS 204
altura	10	13	15	11	14	15	9	13	15	8	11	13	9	13	17	7	10	15
separación	41.66	55.55	76.92	41.66	62.5	71.42	37.03	52.63	76.92	32.25	47.61	71.42	29.41	41.66	58.82	24.39	34.48	50
saliente	2	3	2	3	0	0	2	3	0	2	3	0	2	3	0	2	1	0
inclinación	5	0	15	0	15	15	5	5	0	5	0	5	0	0	0	5	15	0
NPLo/Km	24	18	13	24	16	14	27	19	13	31	21	14	34	24	17	41	29	20
Lmf	0.61	0.61	0.76	0.92	0.94	1.25	1.16	1.29	1.42	1.44	1.59	1.77	1.47	1.61	1.86	2.05	2.24	2.42
U _o	0.44	0.43	0.39	0.46	0.41	0.49	0.42	0.51	0.53	0.42	0.41	0.4	0.47	0.57	0.63	0.42	0.47	0.64
U _L	0.49	0.45	0.36	0.57	0.47	0.54	0.5	0.56	0.51	0.55	0.5	0.37	0.7	0.75	0.71	0.71	0.69	0.75
TI%	6.5	5.7	7.5	6.4	7	8.9	7.6	7.1	5.5	8.1	4	8.5	6.7	6.8	4.8	8.3	8.3	5
G	5.9	indef.	indef.	5.7	indef.	indef.	5.2	indef.	indef.	5	4.7	indef.	5.2	5	indef.	4.6	4.4	6.1
Emf	10.4	10.1	11.8	15.5	15	17.4	20	20.2	20.3	25	25.5	26.1	25.3	25.4	26.6	36.1	36.3	35.4
Eminf/Emf	0.24	0.22	0.14	0.3	0.26	0.26	0.25	0.35	0.33	0.26	0.25	0.19	0.48	0.5	0.49	0.4	0.47	0.51
Eminf/Emaxf	0.11	0.1	0.05	0.15	0.11	0.12	0.11	0.17	0.17	0.12	0.11	0.08	0.26	0.3	0.31	0.2	0.24	0.34
Coef. Utiliz.	0.330	0.272	0.227	0.313	0.234	0.181	0.359	0.266	0.227	0.391	0.304	0.271	0.361	0.265	0.228	0.427	0.313	0.257
NPL finales/Km	32	23	16	31	20	20	35	24	19	40	26	20	44	30	25	53	35	29
CAE/Km	5382.8	4724.9	4020.7	6154.3	4840.3	6254.4	6851.5	5710.8	5966.8	7581.6	6103.5	6150.1	8425.0	7173.6	7952.8	10025.8	8317.9	9157.6
CAE/m ²	0.6728	0.5906	0.5026	0.7693	0.6050	0.7818	0.8564	0.7139	0.7458	0.9477	0.7629	0.7688	1.0531	0.8967	0.9941	1.2532	1.0397	1.1447
[CAE/(Klx.m ²)]max*	67.28	59.06	50.26	51.29	40.34	52.12	42.82	35.69	37.29	37.91	30.52	30.75	42.13	35.87	39.76	35.81	29.71	32.71
[B/(CAE/m ²)]max*	1.49	1.69	1.99	1.30	1.65	1.28	1.17	1.40	1.34	1.06	1.31	1.30	0.95	1.12	1.01	0.80	0.96	0.87
[B/(CAE/(lx.m ²))]max*	14.86	16.93	19.90	19.50	24.79	19.19	23.35	28.02	26.82	26.38	32.77	32.52	23.74	27.88	25.15	27.93	33.66	30.58

* Política SM+LM+SC con luminaria IP5 y ambiente N

Tabla 6.2-5: Instalaciones de alumbrado y parámetros de diseño con FM=1 , ancho de calzada 8 m y lámparas de Mercurio A.P.

Instalaciones a evaluar

largo [m]	1000
ancho [m]	8
calzada	CIE R3
qo	0.07

Uniformidades exigidas	Uo>0,4												Uo>0,4 y UL>0,7				
	10	10	10	15	15	15	20	20	20	25	25	25	25	25	25	35	35
Emin.mat.	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	Mercurio	
Lámpara	125	250	400	125	250	400	125	250	400	125	250	400	125	250	400	250	400
PL [W]	6,300	13,000	22,000	6,300	13,000	22,000	6,300	13,000	22,000	6,300	13,000	22,000	6,300	13,000	22,000	13,000	22,000
Flujo	SGS 102	SGS 102	SGS 204	SGS 102	SGS 102	SGS 204	SGS 102	SGS 102	SGS 204	SGS 102	SGS 102	SGS 204	SGS 102	SGS 102	SGS 204	SGS 102	SGS 102
Luminaria	7	10	12	7	9	10	7	7	9	7	7	8	7	7	8	7	7
altura	28.57	45.45	66.66	20.83	35.71	52.63	15.87	29.41	43.47	11.9	25.64	38.46	11.9	23.8	34.48	17.85	28.57
separación	1	2	1.5	2.5	3	2	3	2	2	1.5	3	2	1.5	1.5	0	2	1
saliente	15	15	10	0	0	5	0	15	0	5	0	5	5	10	10	5	10
inclinación	35	22	15	48	28	19	63	34	23	84	39	26	84	42	29	56	35
NPLo/Km	0.56	0.61	0.29	0.84	0.89	1.09	1.11	1.19	1.45	1.42	1.45	1.73	1.42	1.48	1.74	2.02	2.4
Lmf	0.41	0.42	0.41	0.45	0.45	0.41	0.53	0.41	0.42	0.41	0.43	0.42	0.41	0.43	0.42	0.45	0.41
Uo	0.56	0.4	0.37	0.73	0.52	0.44	0.91	0.5	0.52	0.87	0.59	0.51	0.87	0.73	0.75	0.92	0.77
UL	4.6	3.8	10.8	3.6	7.8	4.8	3.5	9.9	11.7	2.8	9.1	13	2.8	8.4	11.7	5.8	12.8
TI%	7	5.5	indef	7	5.2	indef.	6.9	4.6	5	6.8	4.6	4.8	6.8	4.6	4.7	4.6	4.4
G	10.2	10.3	10.3	15.3	15.1	15.6	20.2	20.9	20.9	25.7	25.4	25.5	25.7	25.9	25.8	35.4	35.9
Emf	0.24	0.18	0.16	0.46	0.29	0.22	0.61	0.22	0.24	0.53	0.35	0.23	0.53	0.41	0.37	0.5	0.36
Eminf/Emf	0.11	0.08	0.06	0.26	0.14	0.08	0.42	0.1	0.11	0.4	0.17	0.1	0.4	0.21	0.16	0.32	0.37
Eminf/Emaxf	0.370	0.288	0.250	0.405	0.332	0.299	0.407	0.378	0.330	0.388	0.401	0.357	0.388	0.379	0.323	0.389	0.373
Coef. Utiliz.	46	30	20	64	37	26	85	47	30	113	52	35	113	58	38	76	46
NPL finales/Km	8273.1	7499.5	6679.8	10773.0	9225.6	8242.9	14222.1	11151.2	9621.3	19043.2	12529.6	10976.3	19043.2	13817.8	12140.4	18380.8	14492.3
CAE/Km	1.0341	0.9374	0.8350	1.3466	1.1532	1.0304	1.7778	1.3939	1.2027	2.3804	1.5662	1.3720	2.3804	1.7272	1.5175	2.2976	1.8115
CAE/m²	103.41	93.74	83.50	89.77	76.88	68.69	88.89	69.69	60.13	95.22	62.65	54.88	95.22	69.09	60.70	65.65	51.76
[CAE/(Klx.m²)]max*	0.97	1.07	1.20	0.74	0.87	0.97	0.56	0.72	0.83	0.42	0.64	0.73	0.42	0.58	0.66	0.44	0.55
[B/(CAE/m²)]max*	9.67	10.67	11.98	11.14	13.01	14.56	11.25	14.35	16.63	10.50	15.96	18.22	10.50	14.47	16.47	15.23	19.32
[B/(CAE/(lx.m²))]max*																	

* Política SM+LM+SC con luminaria IP5 y ambiente N

6.2.1 Dependencia de Beneficio/Costo con niveles de alumbrado y área a iluminar

En la relación B/C interesa referir los costos a lx y m² con el objeto de independizar la relación B/C de estos parámetros de modo de poder comparar instalaciones sobre la misma base. A tal fin la relación Beneficio/Costo anual equivalente se refiere al nivel de iluminancia mínimo mantenido y al área considerada ($B/[CAE/(lx.m^2)]$), de este modo se analiza si presenta alguna dependencia con la iluminancia y con área a iluminar. En figura 6.2.1-1 y 6.2.1-2 se han representado los valores de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximos para cada nivel de iluminancia, para instalaciones con lámparas de sodio A.P., lámparas de mercurio y ancho de calzada 8m.

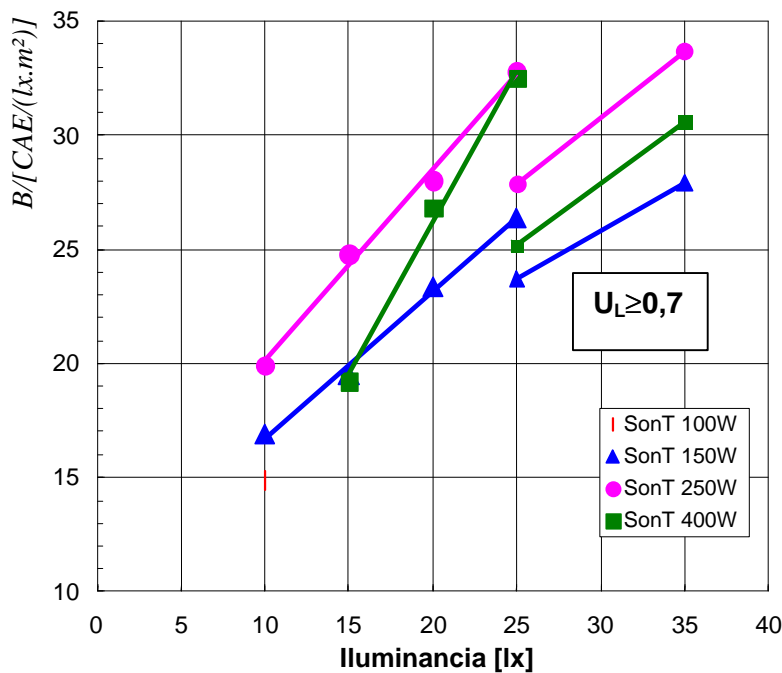


Figura 6.2.1-1: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximos para cada Emv de las instalaciones seleccionadas con lámparas de sodio de 100W, 150W, 250W, 400W y ancho de calzada 8m

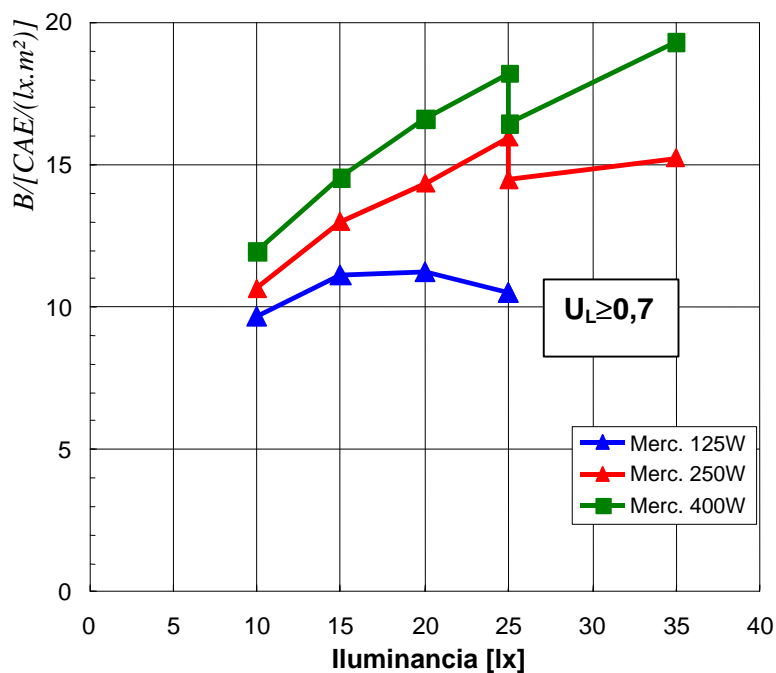


Figura 6.2.1-2: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximos para cada Emv con lámparas de mercurio y ancho de calzada 8m.

De las figuras se puede observar que la diferencia de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ entre instalaciones con lámpara de sodio 250W y mercurio de 400W es del 45% al 50%, lo que se obedece al efecto simultaneo de diferencias en eficiencia, supervivencia, costos etc. Se observa además que a medida que aumenta el nivel de iluminancia la relación Beneficio/Costo también aumenta (salvo para mercurio de 125W) lo cual muestra una dependencia del indicador a pesar de estar referido a lx y m². El quiebre de los ajustes lineales en 25 lx obedece a que para este nivel se calcularon dos instalaciones con diferentes regularidades longitudinales U_L . Las tres rectas de la izquierda corresponden a $U_L \geq 0,4$ mientras que las de la derecha a $U_L \geq 0,7$. El $B/[CAE/(lx.m^2)]$ depende así también del grado de exigencia de la instalación.

Si el área a iluminar aumenta, aumentando el ancho de la calzada, los valores de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ también aumentan pero la proporción cambia con el tipo de lámpara como puede observarse en figuras 6.2.1-3 a 6.2.1-5. Para un aumento del 33% en el área el $B/[CAE/(lx.m^2)]$ aumenta un 30% pero la dispersión es alta $\pm 10\%$. La dependencia de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con el nivel de iluminancia se entiende por que a mayor nivel mas eficiencia presentan los sistemas de alumbrado. Al aumentar el área, en el intervalo analizado, también aumenta $B/[CAE/(lx.m^2)]$ pero a mayor ancho de calzada será necesario un mayor número de puntos de luz/Km. llegando un punto donde se reduce la relación.

Figura 6.2.1-3: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo para instalaciones con lámpara de sodio de 100W y 150W con ancho de calzada 6m y 8m.

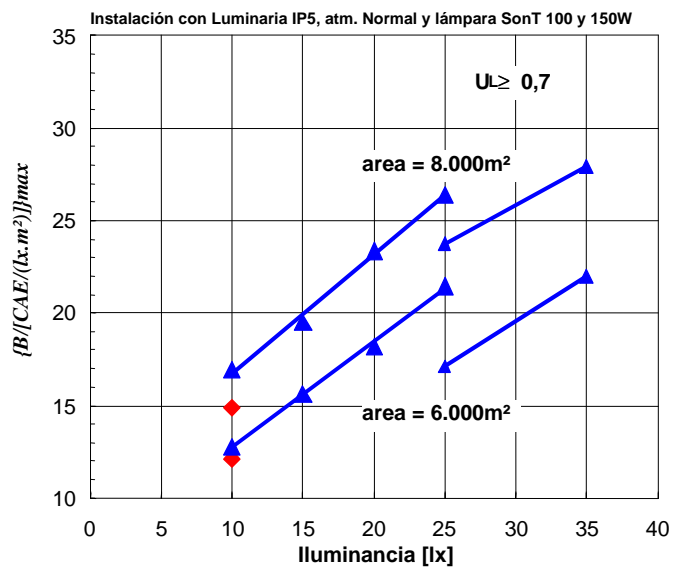


Figura 6.2-4: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo para instalaciones con lámpara de sodio de 250W con ancho de calzada 6m y 8m.

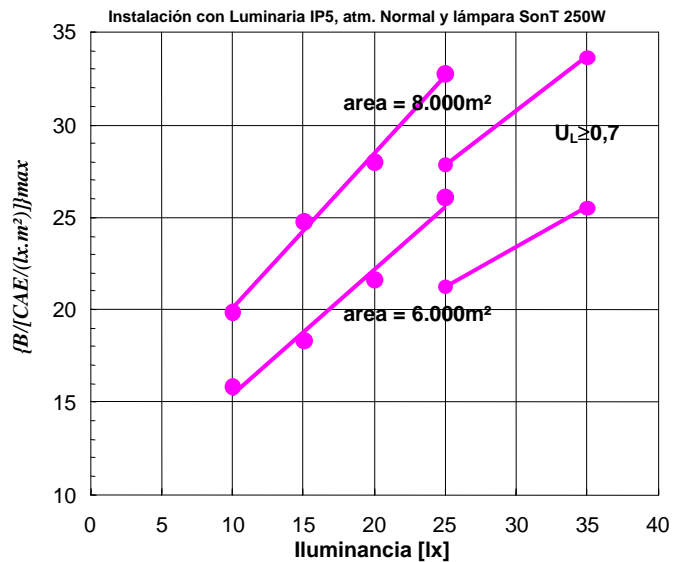
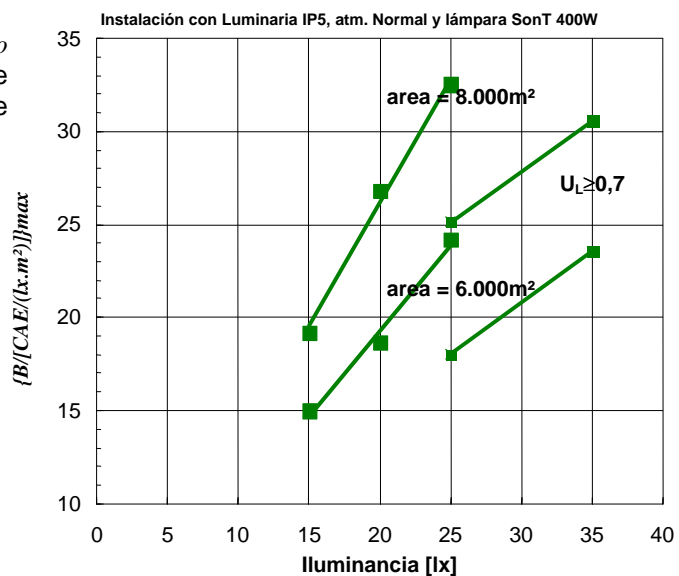


Figura 6.2-8: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo para instalaciones con lámpara de sodio de 400W con ancho de calzada 6m y 8m.



6.2.2 Dependencia de Beneficio/Costo con políticas de mantenimiento, IP y con la polución

Para analizar el efecto sobre el $B/[CAE/(lx.m^2)]$ de instalaciones con luminarias de distinto grado de protección mecánica (IP), en ambiente con distinta polución y bajo la aplicación de distintas políticas de mantenimiento, las 10 instalaciones correspondientes a los 5 niveles de iluminancia media mínima mantenida con $FM=1$ y 2 tipos de lámparas (sodio A.P. 250W y mercurio 400W) son calculadas nuevamente para 3 grados de IP (IP2, IP5, IP6), 3 grados de polución ambiental (sucia, normal, limpia) y 4 políticas de mantenimiento (SM+LM, SM+LM+SC, SC+LM y SC+LS) que combinadas dan lugar a 360 situaciones. Los resultados obtenidos se resumen en anexo V tablas V.2-1 a V.2-45 para la lámpara de sodio. En las distintas situaciones generadas se ha indicado las políticas más convenientes de acuerdo a dos criterios:

- costos mínimos (CAE mínimo) y
- relación beneficio-costo por lx y m² máximo ($\{B/[CAE/(lx.m^2)]\}$ máximo)

De los resultados obtenidos (tablas 1 a 45), se observa en reiteradas ocasiones que para la política de sustitución y limpiezas programadas, SM+LM, el criterio de costos mínimos conduce a conclusiones erróneas. Los períodos de sustitución programada indicados como los más convenientes bajo esta política (y que conducen a los menores costos) producen, durante un cierto tiempo, el funcionamiento de la instalación con un porcentaje de puntos de luz fuera de servicio mayor al admitido debido la mortalidad acumulada de lámparas. Esto queda claramente reflejado en el bajo beneficio que se obtiene al final del período de mantenimiento indicado para dicha situación. En cambio en criterio de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo permite determinar un periodo óptimo de sustitución considerando la supervivencia de las lamparas. En tabla 6.2.2-1 se indica como ejemplo un caso particular donde queda en evidencia esta situación. La primera línea del primer cuadro indica el costo mínimo para la política SM+LM la cual con periodos de cambio masivo de lámparas de 23,2 meses produce un beneficio nulo al ser la tasa de averías superior al máximo permitido del 3%. Con el criterio de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo un periodo menor es necesario: 10,4 meses pero el beneficio garantizado es el mayor con dicha política Para las políticas restantes, con los datos analizados, ambos criterios son equivalentes.

Queda así justificada la conveniencia de utilizar el criterio de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo frente a *costos mínimos*.

Tabla 6.2.2-1 : *Costos anuales equivalentes mínimos y Beneficio/[Costo anual equivalente/(lx.m²)] máximos* para la instalación con $E_m=25$ lx , luminaria IP2, ambiente sucio (D), área 8.000m² y LSF de datos de fabricante de lámparas de Sodio A.P. 250W.

Luminaria: IP2D

$E_m [lx] = 25$

Lámpara: SodioAP 250

Criterio: CAE mínimo

Política	Período CM	Período LM	NLP	FM	Costos anuales equivalentes					Beneficio	B/(CAE/lx.m ²)
					Capital	Energía	Mantenim.	Total	CAE.10 ³ /(lx.m ²)		
SM+LM	23.2	3.3	34.0	0.718	3,537.6	3,470.4	3,032.6	10,040.6	50.2	0.000	0.00
SM+LM+SC	35.6	3.6	34.0	0.719	3,537.6	3,470.4	2,666.7	9,674.7	48.4	1.000	20.67
SC+LM	-	3.4	34.0	0.719	3,537.6	3,470.4	2,601.7	9,609.7	48.0	1.000	20.81
SC+LS*	-	-	58.0	0.425	6,034.7	5,920.2	784.1	12,738.9	63.7	1.000	15.70

Criterio: (Beneficio/Costo) máximo

Política	Período CM	Período LM	NLP	FM	Costos anuales equivalentes					Beneficio	B/(CAE/lx.m ²)
					Capital	Energía	Mantenim.	Total	CAE.10 ³ /(lx.m ²)		
SM+LM	10.4	3.5	33.0	0.744	3,433.5	3,368.4	3,755.9	10,557.8	52.8	0.999	18.92
SM+LM+SC	35.6	3.6	34.0	0.719	3,537.6	3,470.4	2,666.7	9,674.7	48.4	1.000	20.67
SC+LM	-	3.4	34.0	0.719	3,537.6	3,470.4	2,601.7	9,609.7	48.0	1.000	20.81
SC+LS*	-	-	58.0	0.425	6,034.7	5,920.2	784.1	12,738.9	63.7	1.000	15.70

Nota *: Si no es posible la condición $E_f \rightarrow E_m$ se indica Ef

Las distintas situaciones generadas en función del $B/[CAE/(lx.m^2)]_{máximo}$ han sido representadas en figuras 6.2.2-1 a 5 para cada Emm con ambiente sucio y lámpara de sodio AP 250W. En figuras 6.2.2-6 a 9 se agrupan todas las situaciones para lámpara de sodio y en figuras 6.2.2-10 a 12 para lámpara de mercurio de 400W.

El efecto de las **políticas de mantenimiento** en el $B/[CAE/(lx.m^2)]$ es analizado en tabla 6.2.2-2, donde para cada grado de IP y ambiente se ha calculado la diferencia porcentual tomando como referencia la política SM+LM+SC. Cada celda de la tabla corresponde al promedio para $10 lx \leq Emm \leq 35 lx$ con lámpara de Sodio 250W y Mercurio 400W.

Tabla 6.2.2-2: Diferencias porcentuales en el $B/[CAE/(lx.m^2)]$ debido a las políticas de mantenimiento promedio de $10lx \leq Emm \leq 35lx$ con lámpara de Sodio 250W y lámpara de Mercurio 400W. La SM+LM+SC se ha tomado como referencia.

IP	2			5			6		
	D	N	C	D	N	C	D	N	C
Polución									
SM+LM	-13.5	-14.4	-18.5	-19.5	-19.8	-21.7	-20.3	-20.7	-21.9
SM+LM+SC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SC+LM	0.4	0.5	0.7	0.9	0.9	1.3	0.9	0.9	1.2
SC+LS	-24.8	-12.5	1.5	-2.2	-0.5	1.6	1.3	1.5	1.7

Se observa que la política menos indicada es la SM+LM (sustitución masiva de lámparas y limpieza masiva) con cualquier IP y ambiente (salvo con IP2D), siendo las políticas con cambios correctivos, en general, las mas indicadas. SM+LM+SC y SC+LM, en ambientes urbanos(D) con IP2 o IP5, son las políticas mas convenientes y la política SC+LS (Sustitución correctiva y limpieza simultanea) es para instalaciones con luminarias IP6 la mas conveniente.

El efecto de la **polución del ambiente** sobre $B/[CAE/(lx.m^2)]$ se indica en tabla 6.2.2-3 donde para cada grado de IP se ha calculado la diferencia porcentual tomado como referencia el ambiente limpio (C: clean). En cada celda se indica el promedio para $10 lx \leq Emm \leq 35 lx$ con lámpara de Sodio 250W y Mercurio 400W.

Tabla 6.2.2-3: Diferencias porcentuales de IP2 e IP5 respecto a IP6 en cada tipo de ambiente para $10 lx \leq Emm \leq 35 lx$ con lámpara de Sodio 250W y Mercurio 400W

IP	2			5			6		
	D	N	C	D	N	C	D	N	C
Polución									
SM+LM	-14.5	-11.0	0.0	-1.6	-1.0	0.0	-1.0	-0.5	0.0
SM+LM+SC	-19.7	-15.4	0.0	-4.5	-3.4	0.0	-3.1	-2.0	0.0
SC+LM	-19.9	-15.7	0.0	-4.8	-3.8	0.0	-3.4	-2.3	0.0
SC+LS	-40.5	-27.1	0.0	-8.0	-5.3	0.0	-3.5	-2.2	0.0

En forma resumida, al pasar de ambiente limpio (caso de un área rural) a uno sucio (caso de una zona urbana o industrial) una instalación con IP2 el $B/[CAE/(lx.m^2)]$ sufre una reducción del $\approx 20\%$, con IP5 del 5% y con IP6 del 3% para lámparas de sodio y mercurio. A mayor protección mecánica menor es el efecto del ambiente, lo cuál es de esperar.

Respecto a la **protección mecánica**, en tabla 6.2.2-4 se indican las diferencias porcentuales de IP2 e IP5 respecto a IP6 en cada tipo de ambiente. Cada celda es el promedio para $10 lx \leq Emm \leq 35 lx$ con lámpara de Sodio 250W y Mercurio 400W.

De tabla 6.2.2-4 se observa que instalaciones con luminarias 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 mas el uso de IP6. Esto supone que luminarias con un cierre IP5 o IP6 conservan sus características mecánicas después de las operaciones de mantenimiento recuperando su modelo de comportamiento salvo por el efecto no recuperable del envejecimiento descrito en sección 4.4.1 ($\approx 2,5\%$ para IP54).

Tabla 6.2.2-4: Diferencias porcentuales de IP2 e IP5 respecto a IP6 en cada tipo de ambiente para $10 \text{ lx} \leq E_{mm} \leq 35 \text{ lx}$ con lámpara de Sodio 250W y Mercurio 400W

IP	2			5			6		
	D	N	C	D	N	C	D	N	C
SM+LM	-18.6	-15.7	-5.7	-0.4	-0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
SM+LM+SC	-25.4	-22.4	-10.0	-1.4	-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
SC+LM	-25.8	-22.7	-10.4	-1.4	-1.5	0.1	0.0	0.0	0.0
SC+LS	-44.7	-33.1	-10.2	-4.9	-3.4	-0.2	0.0	0.0	0.0

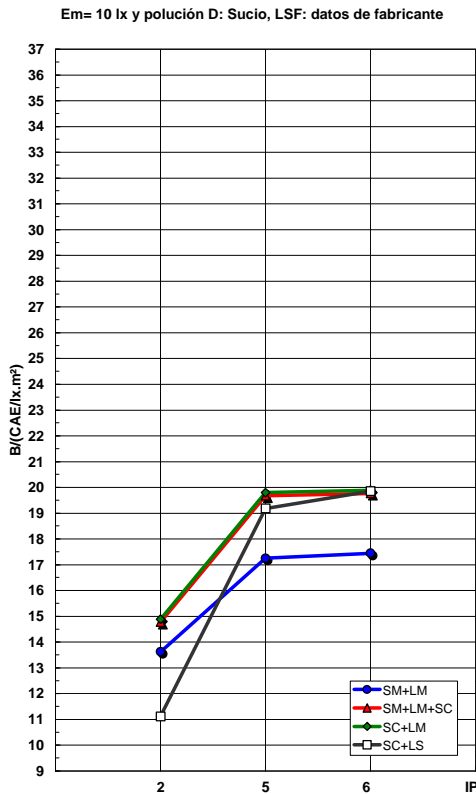


Figura 6.2.2-1: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de sodio A.P., $E_m = 10 \text{ lx}$, ambiente sucio, área 8.000 m^2 y LSF de fabricante

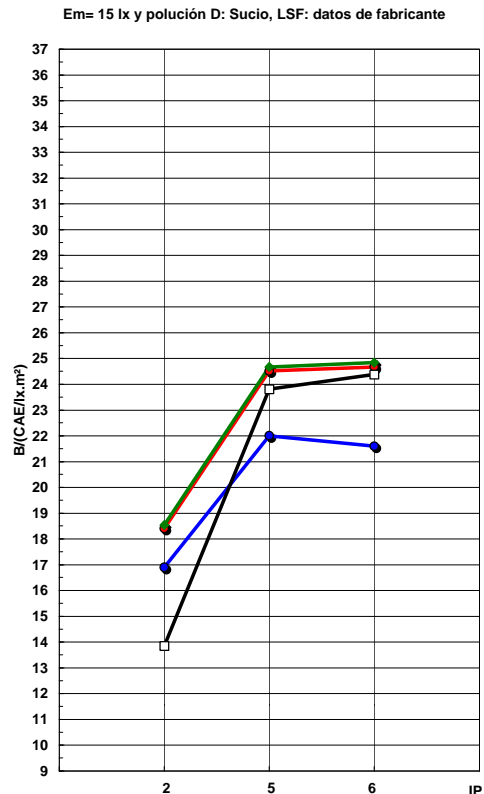


Figura 6.2.2-2: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de sodio A.P., $E_m = 15 \text{ lx}$, ambiente sucio, área 8.000 m^2 y LSF según fabricante

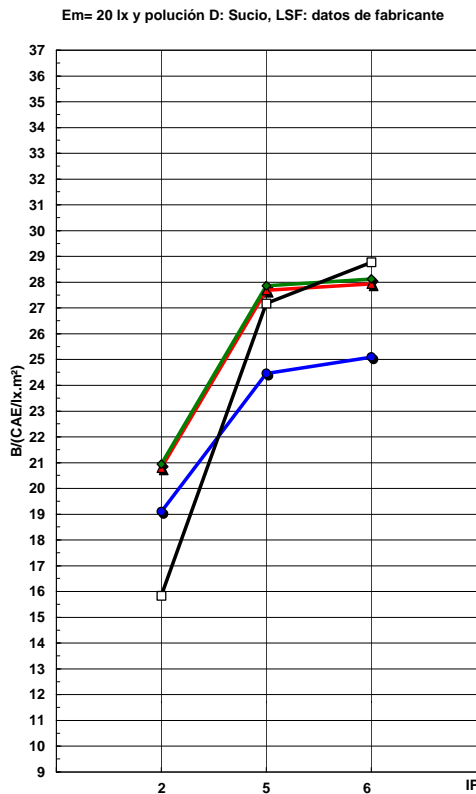


Figura 6.2.2-3: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de sodio A.P., $E_m = 20$ lx, ambiente sucio, área 8.000 m² y LSF según fabricante

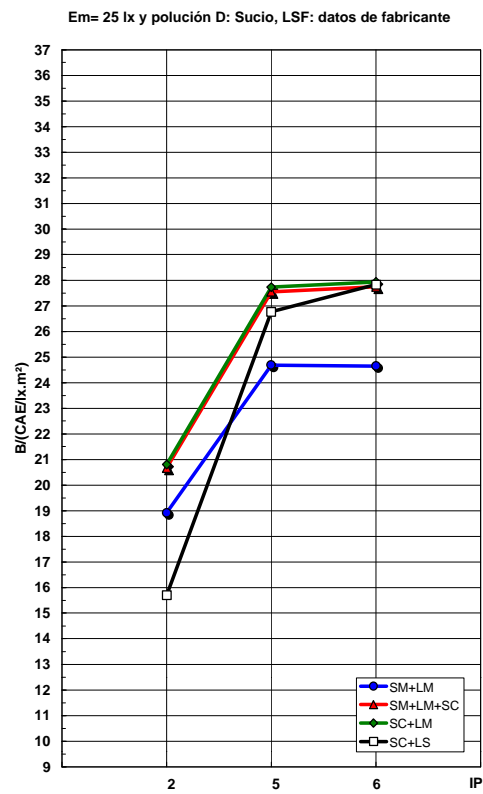


Figura 6.2.2-4: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de sodio A.P., $E_m = 25$ lx, ambiente sucio, área 8.000 m² y LSF según fabricante

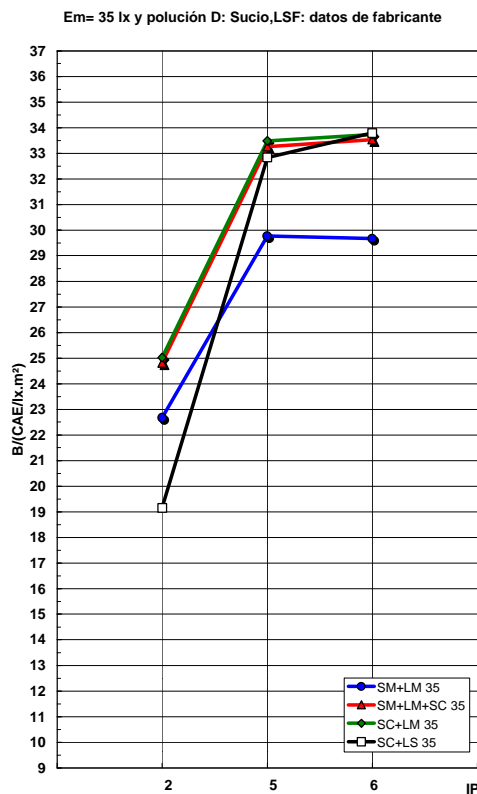


Figura 6.2.2-5: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de sodio A.P., $E_m = 35$ lx, ambiente sucio, área 8.000 m² y LSF según fabricante

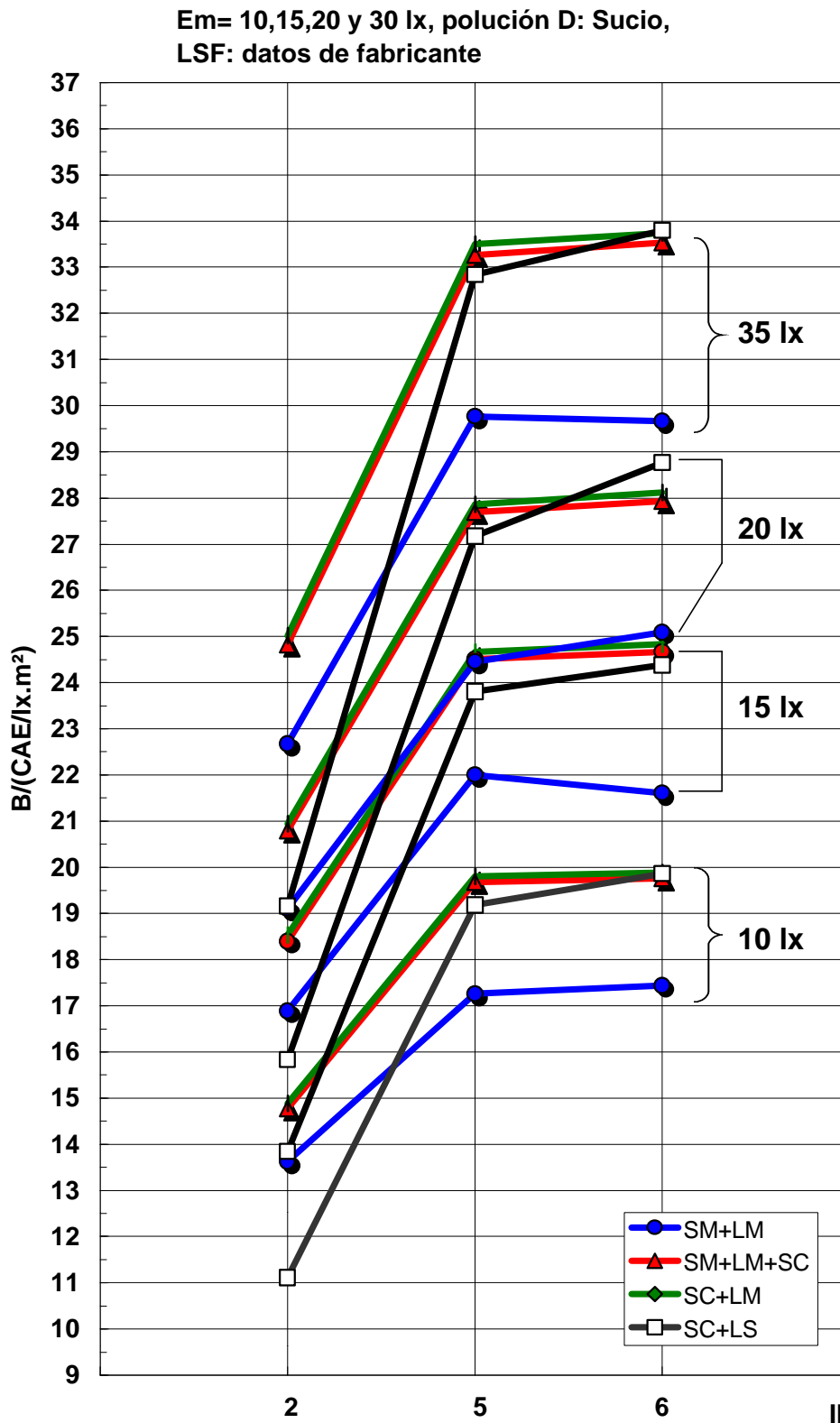


Figura 6.2.2-6: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de sodio A.P., para $E_m = 10, 15, 20$ y 35 lx, instalación IP2, IP5 e IP6, ambiente (D) sucia, área $8.000 m^2$ y modelo de LSF según fabricante

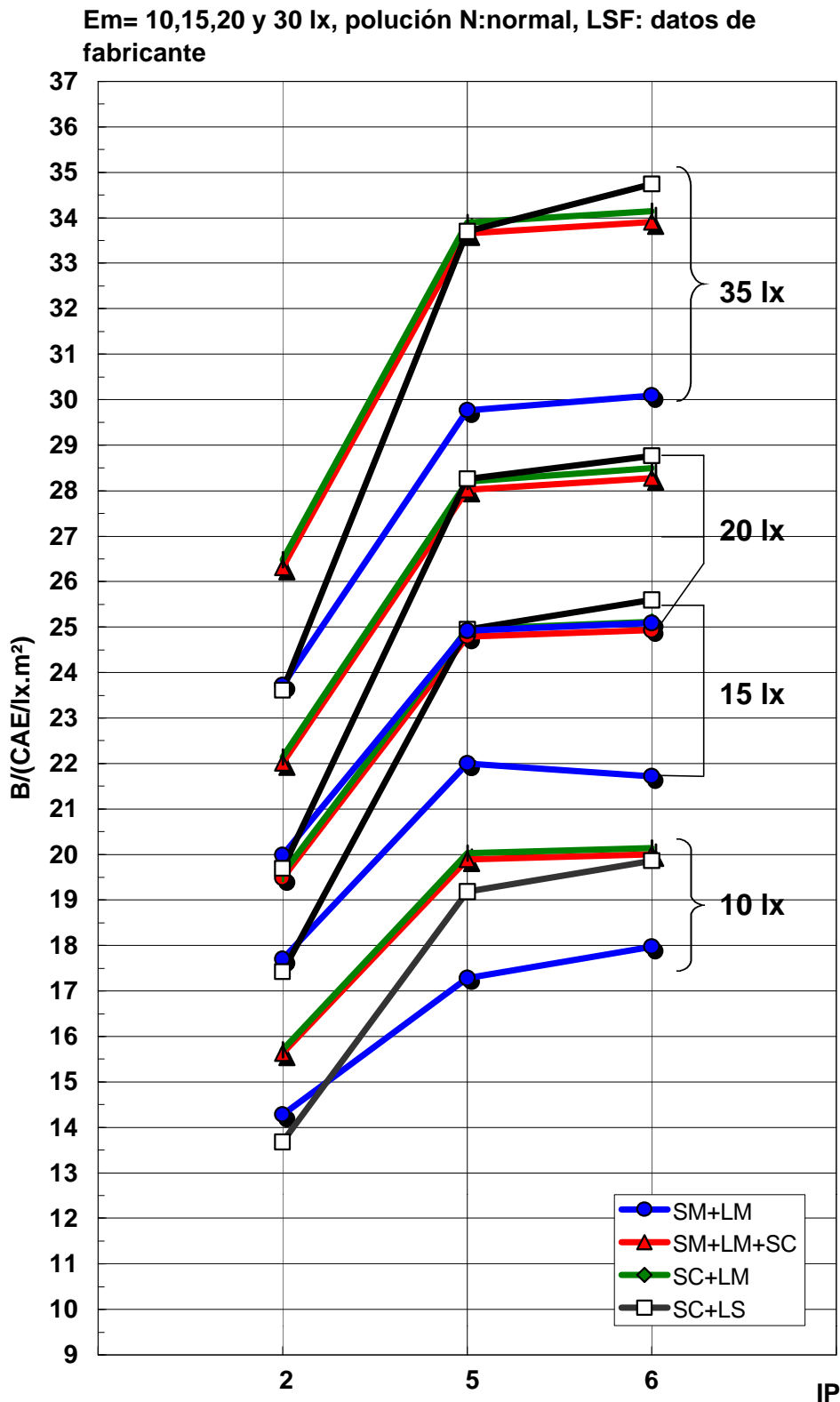


Figura 6.2.2-7: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de sodio A.P., para $E_m = 10, 15, 20$ y 35 lx, instalación IP2, IP5 e IP6, ambiente (N) normal, área 8.000 m² y modelo de LSF según fabricante

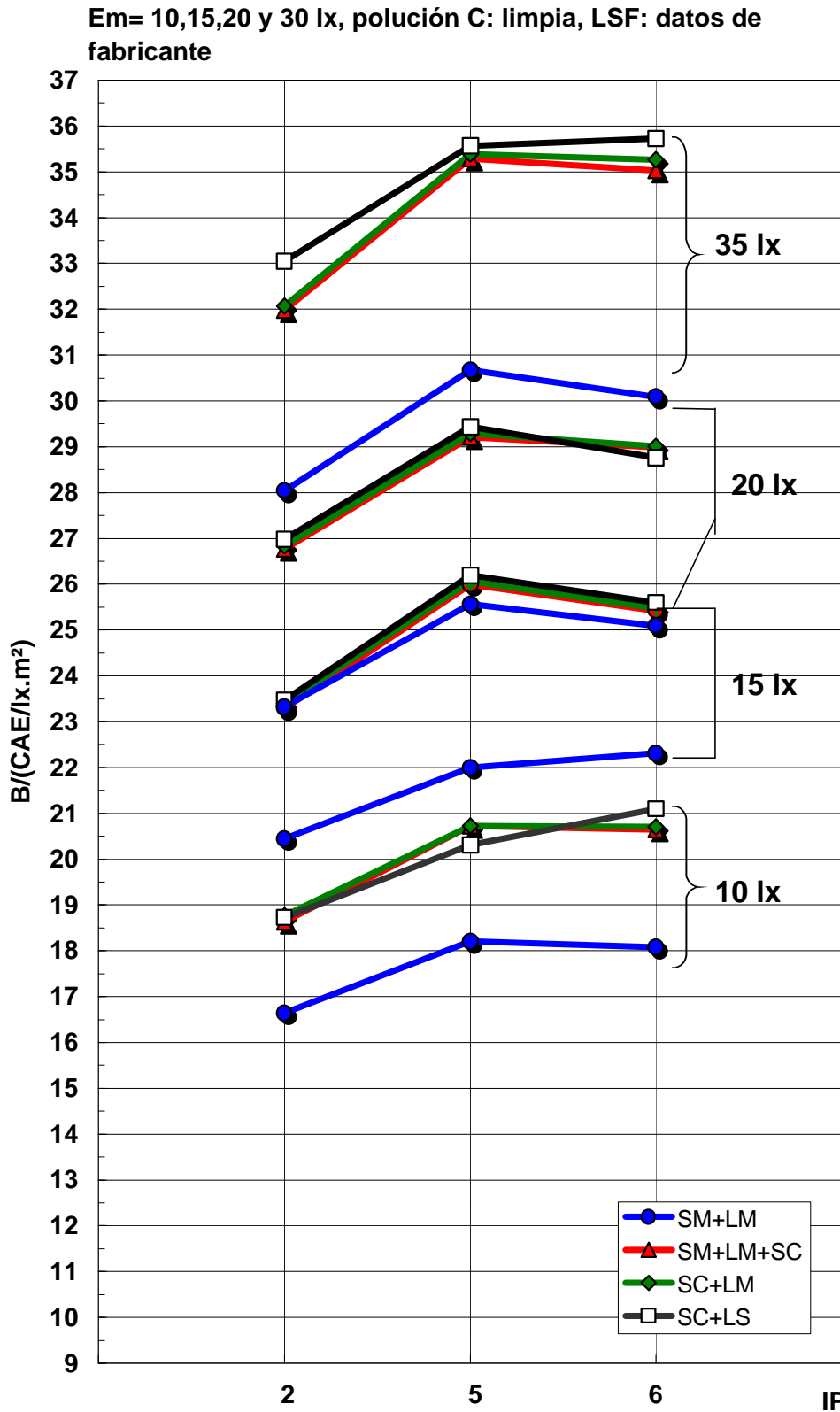


Figura 6.2.2-8: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de sodio A.P., para $E_m = 10, 15, 20$ y 35 lx, instalación IP2, IP5 e IP6, ambiente (C) limpio, área 8.000 m² y modelo de LSF según fabricante

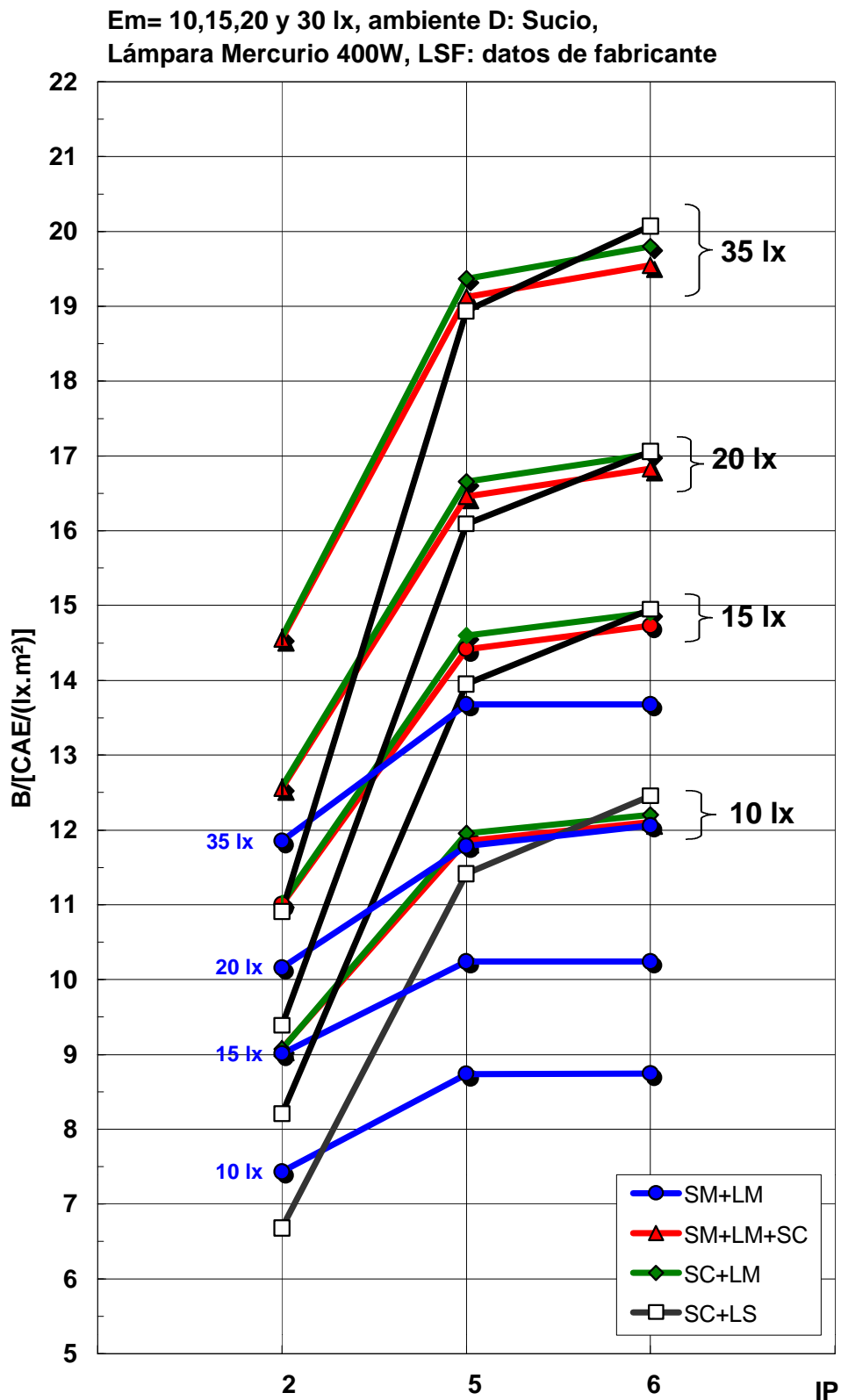


Figura 6.2.2-9: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de mercurio, para $E_m = 10, 15, 20$ y 35 lx, instalación IP2, IP5 e IP6, ambiente (D) sucio, área 8.000 m^2 y modelo de LSF según fabricante

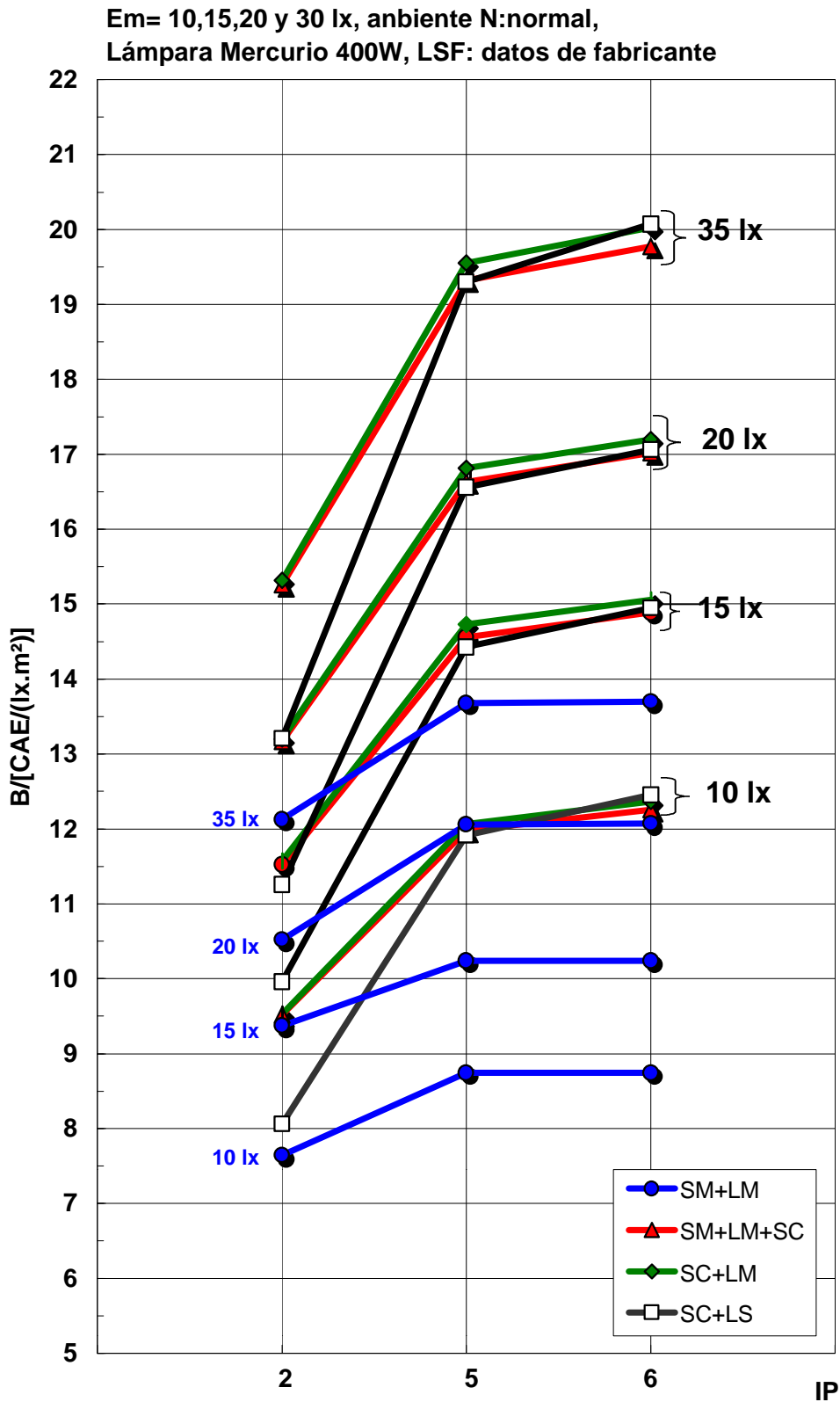


Figura 6.2.2-10: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de mercurio, para $E_m = 10, 15, 20$ y 35 lx, instalación IP2, IP5 e IP6, ambiente (N) normal, área 8.000 m² y modelo de LSF según fabricante

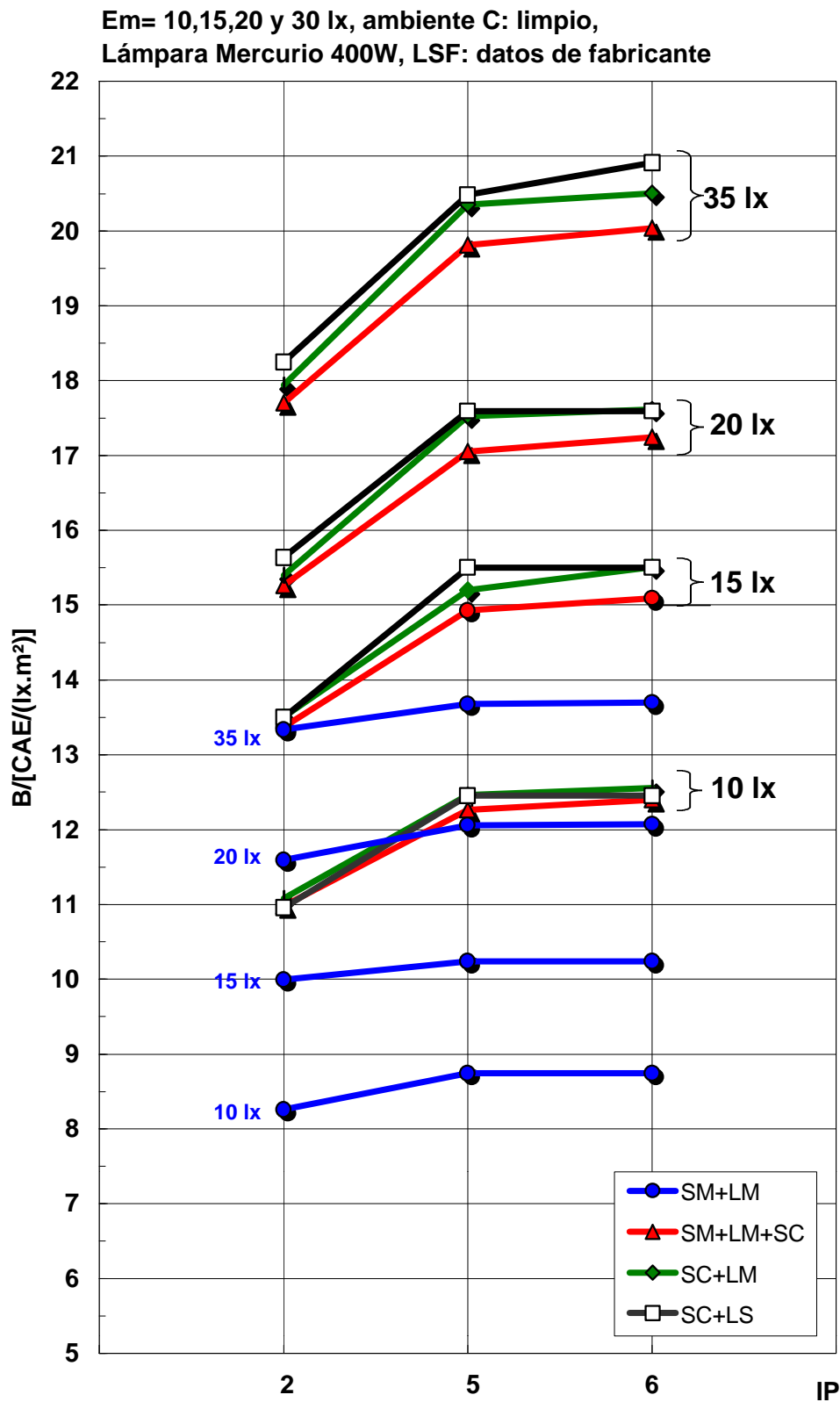


Figura 6.2.2-11: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con lámpara de mercurio, para $E_m = 10, 15, 20$ y 35 lx, instalación IP2, IP5 e IP6, ambiente (C) limpio, área 8.000 m² y modelo de LSF según fabricante

6.2.3 Periodos de operaciones programadas

Como resultado de utilizar el criterio de $B/[CAE/(lx.m^2)]$, en la sección anterior se ha manifestado que las políticas de SM+LM+SC y SC+LM que incorporan operaciones de mantenimiento programado de sustitución de lámparas y limpieza de luminarias, son frecuentemente las políticas más indicadas. Por tal motivo se analizan en la presente sección los periodos de operaciones programadas. En tabla 6.2.3-1 y 6.2.3-2 se resumen los valores medios y desviaciones estándar de periodos de operaciones programadas para $10 \leq Emm \leq 35lx$ y ancho de calzada de 8m y lámparas de sodio AP 250W y mercurio de 400W respectivamente. En figuras 6.2.3-1 a 6.2.3-9 se han indicado los periodos en función de la *Emm* de diseño para lámpara de sodio AP 250W.

De la tablas y figuras se concluye que los periodos de cambios y limpiezas masivos programados presentan una tendencia razonable. Al reducirse la polución o aumentar el grado de IP los periodos aumentan, en especial al pasar de IP2 a IP5, manteniéndose al pasar de IP5 a IP6. Si embargo la dispersión observada en algunos casos es alta, lo que se refleja en las desviaciones standard. Esto deja de manifiesto la necesidad de determinar en cada caso las políticas y periodos correspondientes para cada nivel de iluminancia, grado de IP y polución ambiental para producir un optimo mantenimiento.

Tabla 6.2.3-1: Periodos de operaciones programadas para políticas SM+LM+SC y SC+LM con $10 \leq Emm \leq 35lx$, lámpara de sodio A.P. 250W, *LSF* de fabricante y ancho de calzada de 8m. Periodos máximos de 70 meses han sido considerados.

	IP2D			IP5D			IP6D		
	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM
E	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM
10	38.0	3.8	3.7	41.3	10.3	9.8	43.0	14.3	13.5
15	37.4	3.7	3.6	53.0	13.3	13.8	48.1	24.1	24.2
20	35.4	3.5	3.4	38.5	9.6	15.0	39.8	39.8	30.3
25	35.6	3.6	3.4	53.7	13.4	14.0	49.1	24.6	25.1
35	36.4	3.6	3.5	42.1	10.5	10.0	70.0	70.0	26.0
Media	36.6	3.7	3.5	45.7	11.4	12.5	50.0	34.5	23.8
Desv est.	1.0	0.1	0.1	6.3	1.6	2.2	10.6	19.5	5.6

	IP2N			IP5N			IP6N		
	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM
E	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM
10	38.4	3.8	3.7	45.4	11.4	11.1	49.2	16.4	11.1
15	39.3	3.9	3.8	49.3	16.4	16.7	41.6	41.6	33.9
20	44.8	4.5	4.4	53.2	17.7	18.6	49.1	49.1	53.7
25	45.1	4.5	4.5	50.0	16.7	17.0	42.8	42.8	17.0
35	41.5	4.2	4.1	46.4	11.6	11.5	43.9	43.9	37.9
Media	41.8	4.2	4.1	48.9	14.8	15.0	45.3	38.8	30.7
Desv est.	2.7	0.3	0.3	2.8	2.7	3.1	3.2	11.5	15.2

	IP2C			IP5C			IP6C		
	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM
E	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM
10	47.7	15.9	15.9	34.4	34.4	19.3	44.8	44.8	34.6
15	70.0	70.0	17.4	70.0	70.0	72.0	70.0	70.0	72.0
20	69.4	69.4	72.0	70.0	70.0	72.0	36.9	36.9	22.3
25	70.0	70.0	72.0	70.0	70.0	72.0	39.4	39.4	25.2
35	70.0	70.0	72.0	70.0	70.0	72.0	47.4	47.4	45.4
Media	65.4	59.1	49.9	62.9	62.9	61.5	47.7	47.7	39.9
Desv est.	8.9	21.6	27.1	14.2	14.2	21.1	11.8	11.8	18.0

En terminos generales, para una política de SM+LM+SC, cuando de diseño se trata, se observa de las tablas que para instalaciones con luminarias IP2 y ambiente sucio, caso de zonas urbanas con alta densidad de trafico, los periodos de cambios masivos (CM) de lámparas de sodio AP 250W son de 3 años y para mercurio 400W de 1 año y los periodos de limpieza masiva (LM) son de 3 a 4 meses con ambas lámparas. Para luminarias IP5 e IP6 y ambiente sucio los periodos de CM de lámparas de sodio AP 250W son de 4 años y para mercurio 400W siguen siendo de 1 año y los periodos de limpieza masiva son de 1 a 3 años con sodio de 250W y de 1 año con mercurio 400W. Estos resultados se obtuvieron para un criterio de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo.

Tabla 6.2.3-2: Periodos de operaciones programadas para políticas SM+LM+SC y SC+LM con $10 \leq Emm \leq 35lx$, lámpara de mercurio 400W, LSF de fabricante y ancho de calzada de 8m. Periodos máximos de 72 meses han sido considerados.

E	IP2D			IP5D			IP6D		
	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM
	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM
10	11.9	3.0	2.8	9.9	9.9	7.4	11.2	11.2	23.8
15	12.1	3.0	3.3	9.8	9.8	10.5	14.4	14.4	15.1
20	10.8	2.7	3.1	10.9	10.9	11.5	12.5	12.5	17.2
25	11.7	2.9	3.1	10.6	10.6	9.0	14.5	14.5	12.1
35	11.9	3.0	3.0	11.0	11.0	8.7	12.6	12.6	17.0
Media	11.7	2.9	3.0	10.4	10.4	9.4	13.0	13.0	17.0
Desv est.	0.5	0.1	0.1	0.5	0.5	1.4	1.3	1.3	3.8

E	IP2N			IP5N			IP6N		
	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM
	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM
10	9.9	3.3	3.6	9.9	10.5	8.2	12.1	12.1	11.4
15	10.4	3.5	3.6	13.2	13.2	12.1	11.8	11.8	18.9
20	10.5	3.5	3.4	11.6	11.6	13.4	13.5	13.5	11.5
25	10.5	3.5	3.6	11.3	11.3	10.2	13.0	13.0	14.9
35	10.1	3.4	3.0	11.7	11.7	9.8	13.6	13.6	14.1
Media	10.3	3.4	3.4	11.5	11.7	10.7	12.8	12.8	14.1
Desv est	0.2	0.1	0.2	1.1	0.9	1.8	0.7	0.7	2.8

E	IP2C			IP5C			IP6C		
	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM	SM+LM+SC		SC+LM
	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM	Per.CM	Per.LM	Per.LM
10	15.1	7.6	8.8	17.8	17.8	72.0	13.1	13.1	15.0
15	13.5	6.8	72.0	16.0	16.0	24.7	17.6	17.6	72.0
20	14.0	7.0	8.9	13.7	13.7	50.0	14.9	14.9	72.0
25	12.7	6.4	8.3	16.1	16.1	72.0	17.8	17.8	24.2
35	12.5	6.3	72.0	16.3	16.3	42.8	18.0	18.0	72.0
Media	13.6	6.8	34.0	16.0	16.0	52.3	16.3	16.3	51.0
Desv est	0.9	0.5	31.0	1.3	1.3	18.1	2.0	2.0	25.8

Figura 6.2.3-1: Periodos de cambios masivos de lámparas y limpiezas de luminarias, en políticas de mantenimiento SM+LM+SC y SC+LM para instalaciones con luminarias IP2, lámpara de sodio AP 250W, ambiente **sucio** (D) y ancho de calzada 8m.

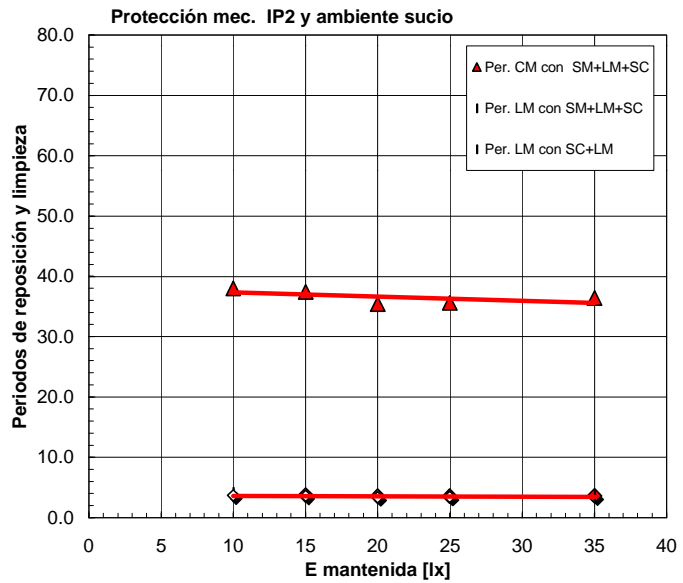


Figura 6.2.3-2: Periodos de cambios masivos de lámparas y limpiezas de luminarias, en políticas de mantenimiento SM+LM+SC y SC+LM para instalaciones con luminarias IP2, lámpara de sodio AP 250W, ambiente **Normal** (N) y ancho de calzada 8m.

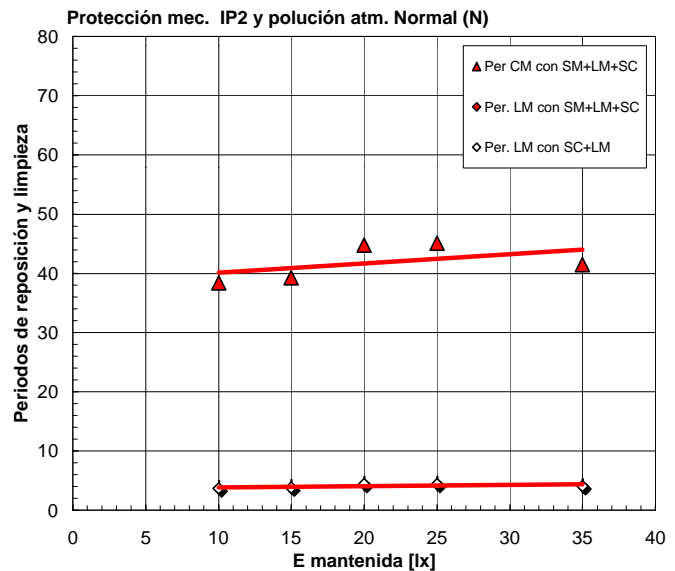


Figura 6.2.3-3: Periodos de cambios masivos de lámparas y limpiezas de luminarias, en políticas de mantenimiento SM+LM+SC y SC+LM para instalaciones con luminarias IP2, lámpara de sodio AP 250W, ambiente **Limpio** (C) y ancho de calzada 8m.

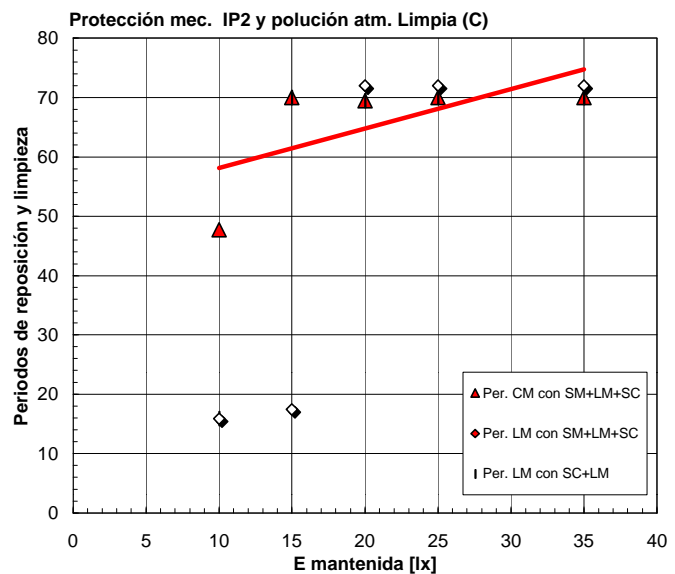


Figura 6.2.3-4: Periodos de cambios masivos de lámparas y limpiezas de luminarias, en políticas de mantenimiento SM+LM+SC y SC+LM para instalaciones con luminarias IP5, lámpara de sodio AP 250W, ambiente sucio (D) y ancho de calzada 8m.

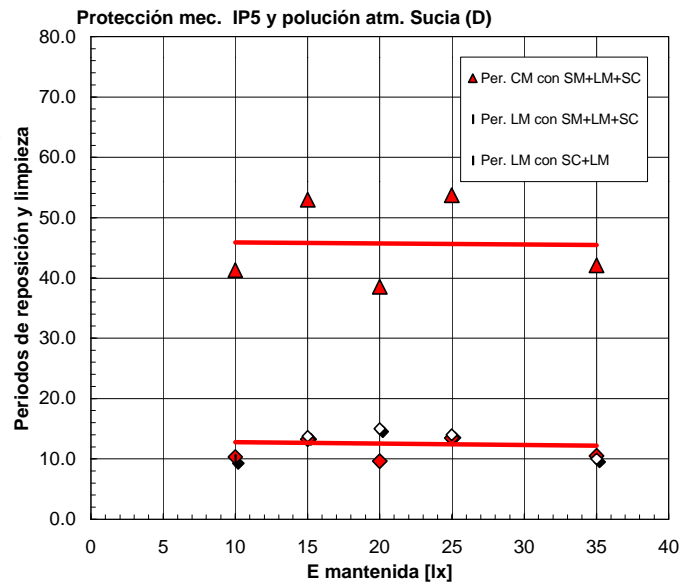


Figura 6.2.3-5: Periodos de cambios masivos de lámparas y limpiezas de luminarias, en políticas de mantenimiento SM+LM+SC y SC+LM para instalaciones con luminarias IP5, lámpara de sodio AP 250W, ambiente Normal (N) y ancho de calzada 8m.

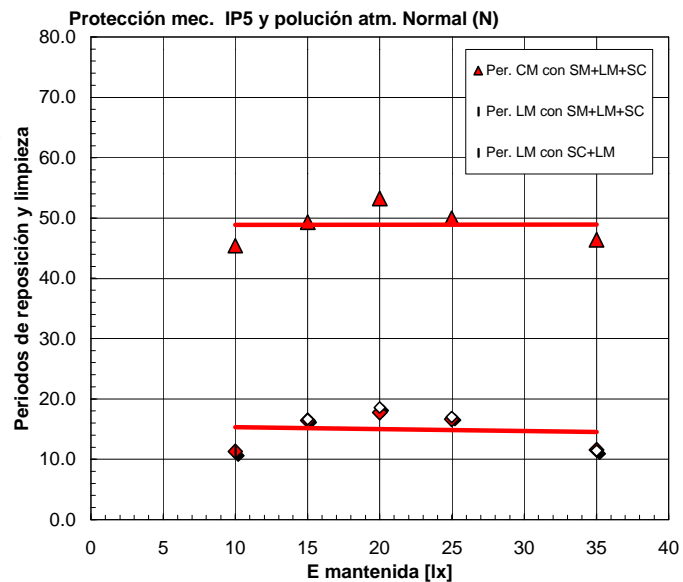


Figura 6.2.3-6: Periodos de cambios masivos de lámparas y limpiezas de luminarias, en políticas de mantenimiento SM+LM+SC y SC+LM para instalaciones con luminarias IP5, lámpara de sodio AP 250W, ambiente Limpio (C) y ancho de calzada 8m.

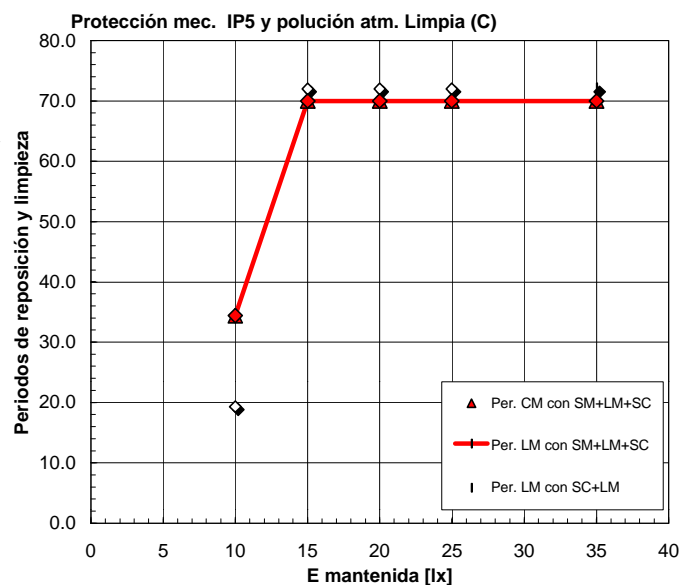


Figura 6.2.3-7: Periodos de cambios masivos de lámparas y limpiezas de luminarias, en políticas de mantenimiento SM+LM+SC y SC+LM para instalaciones con luminarias IP6, lámpara de sodio AP 250W, ambiente **sucio** (D) y ancho de calzada 8m.

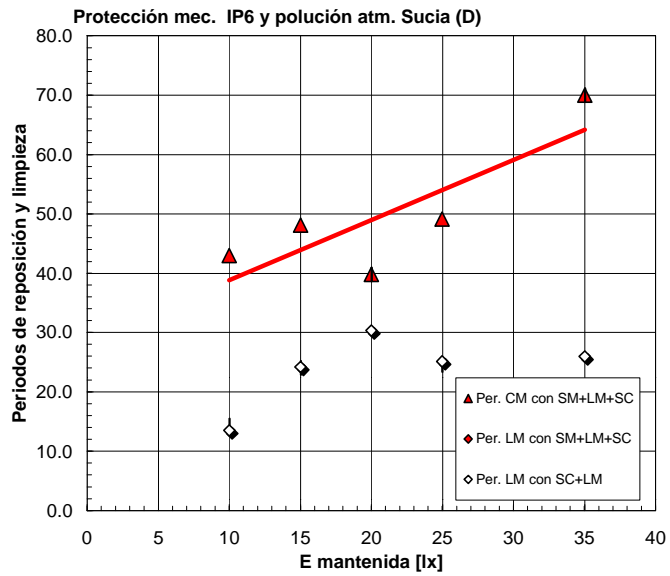


Figura 6.2.3-8: Periodos de cambios masivos de lámparas y limpiezas de luminarias, en políticas de mantenimiento SM+LM+SC y SC+LM para instalaciones con luminarias IP6, lámpara de sodio AP 250W, ambiente **Normal** (N) y ancho de calzada 8m.

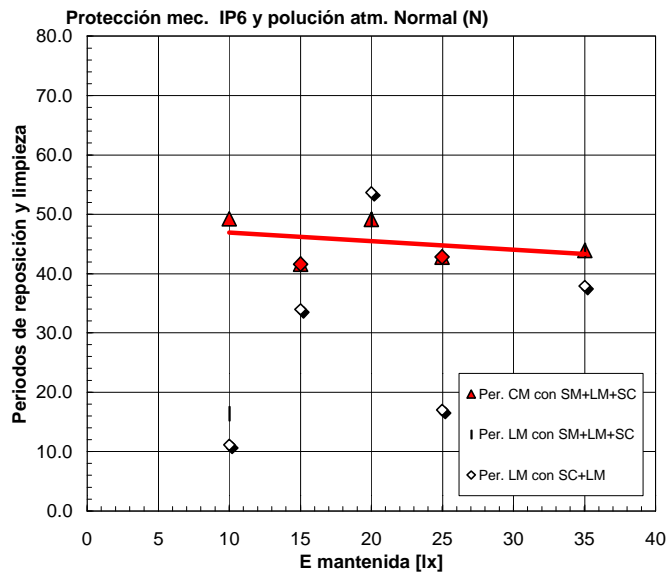
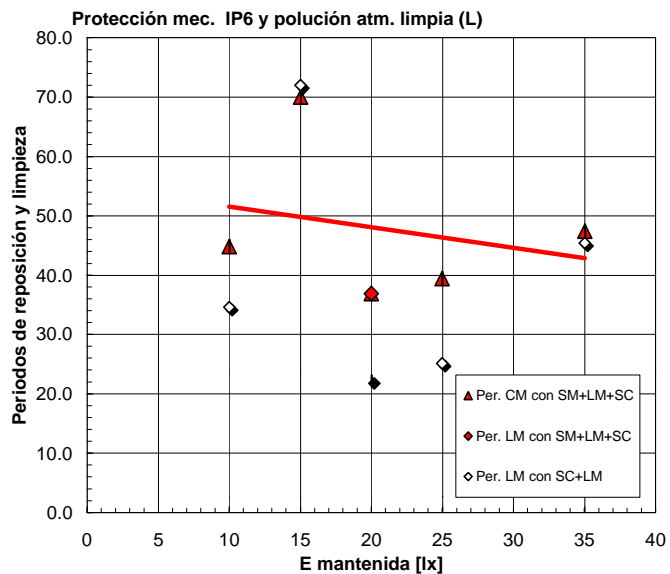


Figura 6.2.3-9: Periodos de cambios masivos de lámparas y limpiezas de luminarias, en políticas de mantenimiento SM+LM+SC y SC+LM para instalaciones con luminarias IP6, lámpara de sodio AP 250W, ambiente **Limpio** (C) y ancho de calzada 8m.



6.2.4 Dependencia de Beneficio/Costo con la supervivencia de lámparas

La dependencia de la relación $B/[CAE/(lx.m^2)]$, las políticas de mantenimiento y los periodos de operaciones programadas con la supervivencia de las lámparas (*LSF*) es analizada para las instalaciones seleccionadas. Los resultados obtenidos en sección anterior con *LSF* de un fabricante son comparados con los resultados de utilizar un *LSF* obtenido de registros históricos que fuera descrito en sección 4.1.1.2.

La función de ajuste de *LSF* fue la exponencial modificada: $LSF = u + (1-u).exp(-p.t)$ con valores de *u* y *p* para lámpara de sodio AP 250W y mercurio de 400W.

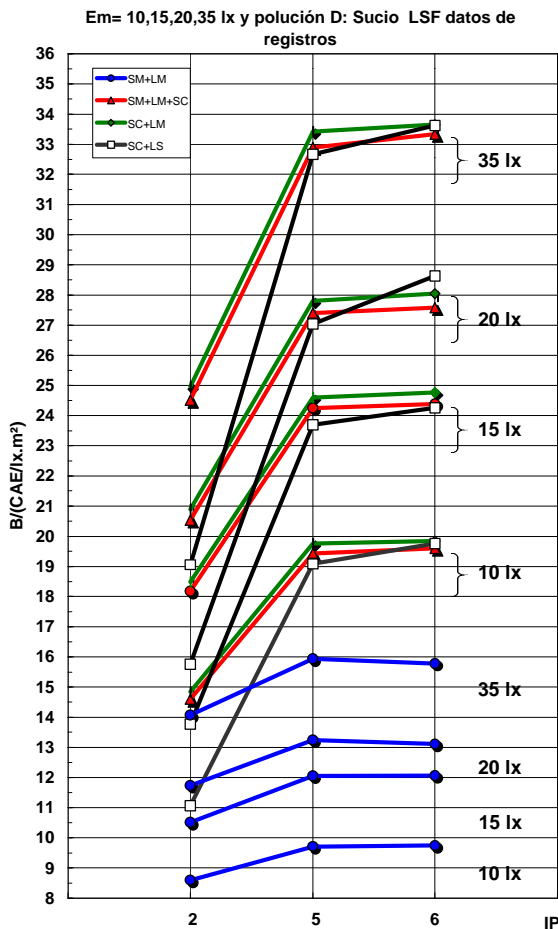


Figura 6.2.4-1: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con ambiente sucio, área 8.000 m² y *LSF* de registros históricos

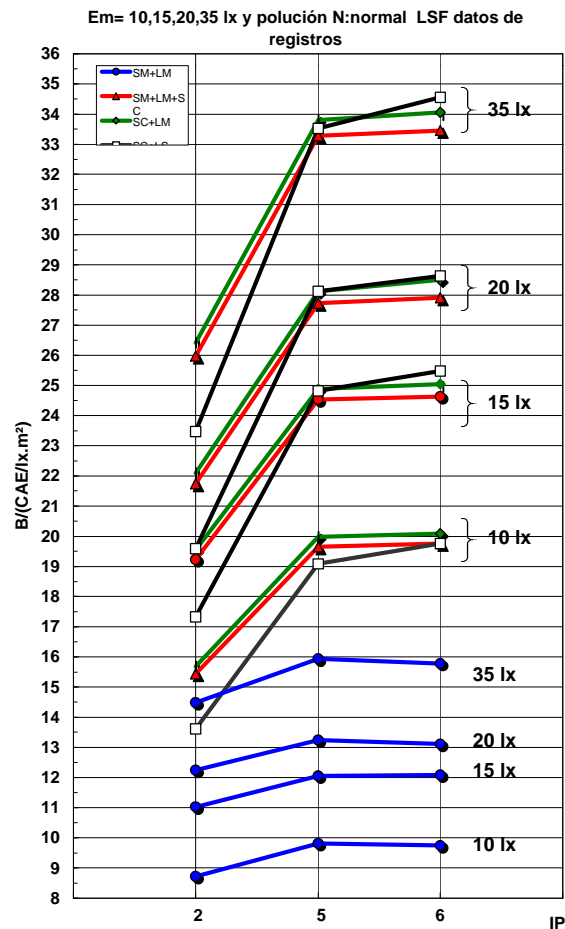


Figura 6.2.4-2: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con ambiente normal, área 8.000 m² y *LSF* de registros históricos

En figuras 6.2.4-1 a 6.2.4-3 se ha representado $B/[CAE/(lx.m^2)]$ para cada IP, iluminancia y política de mantenimiento.

En las figuras se observa que la utilización de lámparas con menor supervivencia afecta mucho a la política con solo operaciones programadas (SM+LM). La reducción de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ experimentada es del orden del 45%. Esto se debe principalmente 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.

En políticas con cambios correctivos como SM+LM+SC, SC+LM y SC+LS, el $B/[CAE/(lx.m^2)]_{máximo}$ resulta poco afectado, diferencias del orden del 1% son observadas para ambos tipos de lámparas. El aumento de costos por mayores cambios correctivos debido a una menor LSF no es significativo frente a los restantes costos de allí que no se observen diferencias importantes. Sin embargo si se consideran solo los costos de mantenimiento por actuaciones correctivas estos se incrementen un 8%. En tabla V.2-46 de anexo V se indican las diferencia porcentuales de las situaciones con LSF de fabricante y el LSF de datos históricos.

Respecto a los periodos de operaciones programadas, las diferencias porcentuales observadas con menor LSF no muestran una determinada tendencia debido a que el criterio de $B/[CAE/(lx.m^2)]_{máximo}$ se puede lograr con un mayor número de puntos de luz por Km NPL/Km . (mayor costo) y mayores periodos de operaciones programadas (menores costos) o viceversa. Lo cual hace necesario determinar para cada diseño la política óptima.

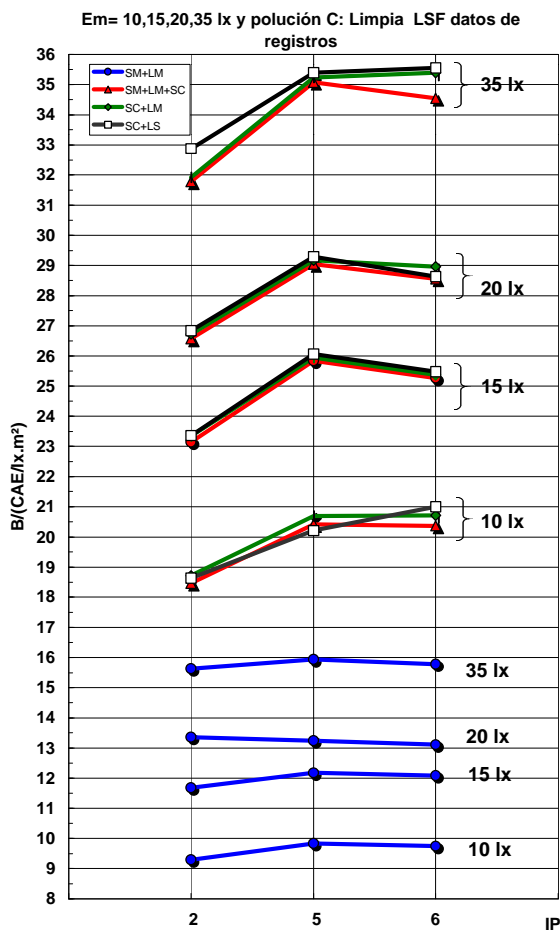


Figura 6.2.4-3: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con ambiente limpio, área 8.000 m² y LSF de registros históricos para lámpara de sodio AP 250W

6.3 Evaluación de instalaciones existentes

La ciudad de Sant Boi de Llobregat fue seleccionada para realizar las experiencias de análisis de instalaciones de alumbrado para estudiar la aplicación de la metodología propuesta. En este caso fue necesario recabar cierta información mediante mediciones de campo, determinación del estado de conservación de las instalaciones, recopilación de datos históricos de operaciones de mantenimiento, de facturación de energía etc., de este modo se obtuvieron los datos necesarios para la aplicación de la relación Beneficio/Costo. Cabe destacar que la ciudad de St. Boi fue seleccionada debido a la disposición del ayuntamiento y de la empresa que efectúa actualmente el mantenimiento cuya colaboración fue imprescindible para llevar a cabo el trabajo.

En la presente sección se describe el análisis de instalaciones existentes aplicando la relación Beneficio/Costo.

6.3.1 Características de la población y de la empresa de mantenimiento

St. Boi de Llobregat cuenta con una población de alrededor de 78.000 habitantes (censo de 1996) **INEC (1998)** [9], 6.821 puntos de luz y 100 cuadros de mando (12/1999), correspondiendo a una densidad media de 11,4 Habitantes/Punto de luz.

El mantenimiento del alumbrado público es responsabilidad de la empresa Moseca [10]. La política de mantenimiento regida por contrato con el ayuntamiento estipula un mantenimiento correctivo y preventivo.

El mantenimiento correctivo consiste en la reparación de averías cada vez que esta ocurre. La detección de averías se realiza por dos medios:

- a) inspección nocturna
- b) denuncia telefónica de vecinos, guardia urbana (policía municipal en Cataluña) etc.

La población se divide en cinco distritos a los fines de realizar el control de averías. Un operario realiza la inspección nocturna de un distrito por jornada, recorriendo un circuito preestablecido. La totalidad de la población se completa al cabo de cinco días. Los eventuales puntos de luz averiados son registrados en una cinta magnética donde se indica el código del punto de luz. Al completar el recorrido se confecciona un parte de averías que servirá de información al responsable de gestión para programar las tareas de reparación correspondientes al día siguiente.

El mantenimiento preventivo sobre cada punto de luz consiste en:

- cambio de lámparas,
- comprobación de aislación de equipo auxiliar y cableado,
- puesta a punto de la luminaria, limpieza exterior e interior de la luminaria, y
- cambio de juntas cubetas y equipo auxiliar, de ser necesario.

Los daños por vandalismo o accidentes están excluidos del contrato y son considerados por separado.

Los medios técnicos con que cuenta la delegación de la empresa en Sant Boi son:

- Furgonetas (3)
- Camión cesta (1)
- Camión compartido con otra delegación (1)

Los recursos humanos:

a) Personal en sede central Barcelona:

Gerente
Director de delegaciones
Encargado administrativo y financiero

b) Personal en delegación Sant Boi:

Jefe de delegación (1)
Administrativo (1)
Operarios (7), dos parejas por la mañana, una por la tarde y un inspector nocturno.

El costo del mantenimiento que la empresa contratista factura al ayuntamiento es de 6.000 Ptas. (36,06). por punto de luz y por año, valor valido para el periodo de Octubre de 1995 a Octubre del 2000. Este costo incluye todos los gastos y beneficios de la empresa contratista para el mantenimiento del alumbrado artificial.

6.3.2 Metodología de análisis

Con el fin de poder evaluar instalaciones mediante la relación Beneficio/Costo las instalaciones de alumbrado urbano se deben agrupar de acuerdo a criterios de homogeneidad, en particular de acuerdo al grado de protección mecánica IP, tipo de lámpara y polución ambiental. Si se desea extender la evaluación un ámbito mayor tal como una población concreta, el conjunto de instalaciones tomadas como muestras deben ser representativas de la población.

En general se observa que instalaciones de características similares se disponen en un mismo tipo de vías de transito, que a su vez se encuentra también dentro de un área urbana con características propias. Un primer nivel de ordenamiento consistiría en dividir la población en sectores urbanísticos con cierta homogeneidad. En este sentido se puede considerar los siguientes sectores:

- Residenciales
- Industriales
- Comerciales
- Históricos, etc.

A su vez cada sector tiene vías de transito que pueden ser clasificadas de acuerdo a alguna de las clasificaciones CIE [1][2], por ejemplo vías de transito principales, secundarias, peatonales etc. con instalaciones de alumbrado con características físicas comunes. En consecuencia es conveniente seleccionar instalaciones de cada sector y de cada tipo de vía de transito para tener una muestra lo más representativa posible.

Los puntos de luz que conforman una instalación de alumbrado están conectados a través de una línea o red eléctrica a un cuadro de mando desde donde se efectúa la distribución, control y medición de la energía activa y reactiva. Como los costos del consumo de energía y los tiempos de funcionamiento están asociados a cada cuadro de mando, la división por sector debe tener como celdas mínima un cuadro de mando. Por lo tanto el Beneficio y los Costos deben ser determinados por cuadro y al menos un cuadro de cada sector y tipo de vía representativos deben ser seleccionados.

A un mismo cuadro pueden concurrir varias instalaciones iluminando distintas zonas por lo cual para obtener un valor único de la relación Beneficio-Costo se ponderará el beneficio de las zonas de acuerdo al área e iluminancia como fuera indicado en sección 5.2.1.1. En caso de existir control por regulación de flujo se pondera según el tiempo de uso de acuerdo a sección 5.2.1.2.

En la ciudad de St Boi, 7 cuadros fueron seleccionados representando el 7% de la población, los que corresponden a cuatro sectores principales de la ciudad:

- Residenciales (cuadros 35 y 36)
- Industriales (cuadro 45)
- Vías rápidas (cuadros 1, 2 y 29)
- Vías secundarias (cuadro 50)

En poblaciones sin ordenamiento o planificación urbana el análisis puede ser más complicado. En figura 6.3.2-1 se indica el plano de la ciudad de St.Boi junto a la ubicación geográfica de los cuadros de mando del alumbrado público y área de influencia, junto a los 7 cuadros seleccionados en la muestra.

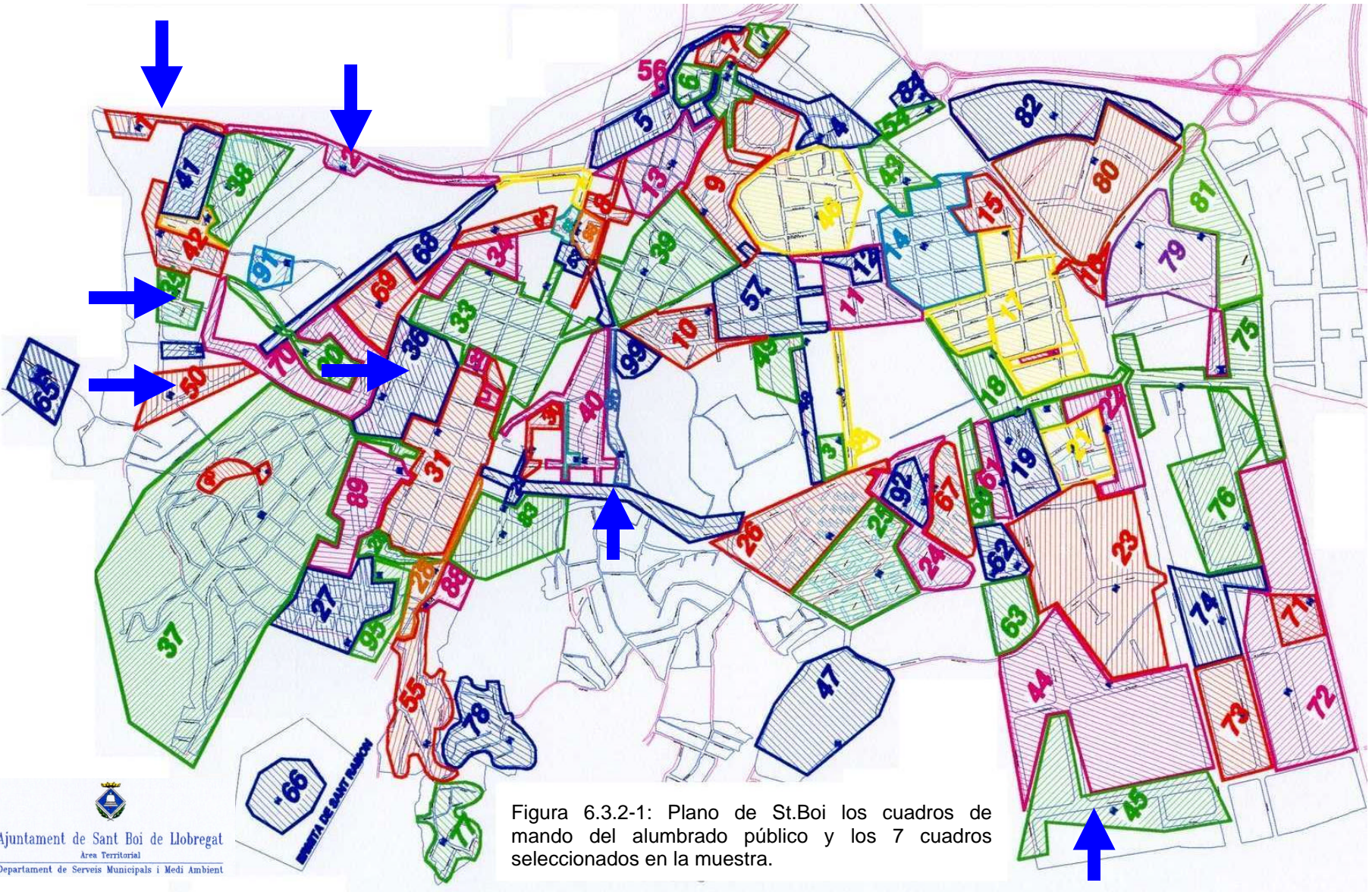


Figura 6.3.2-1: Plano de St.Boi los cuadros de mando del alumbrado público y los 7 cuadros seleccionados en la muestra.

6.3.2.1 Datos recopilados

Los datos recogidos por sector fueron:

- a) Características de la instalación.
 - planos de ubicación de puntos de luz, de los cuadros de mando y códigos respectivos
 - inventario de instalaciones, tipos de luminarias, lamparas, equipos auxiliares, reguladores de flujo y/o tensión, etc.
 - geometría de las instalaciones, altura de montaje, salientes, inclinaciones de brazos, dimensiones de área de interés.
 - cuadros de mando, tipos de control y regulación, horarios de ajuste de funcionamiento y porcentajes de regulación, tarifas contratadas etc.
- b) Datos del mantenimiento,
 - estadísticos de operaciones de mantenimiento
 - detalle de las averías,
 - costos de operaciones etc.
- c) Mediciones de depreciación de las luminarias.
 - mediciones de Iluminancia antes y después de operaciones de mantenimiento,
 - mediciones simultaneas de voltaje en base de columna etc.
- d) Iluminancia media sobre la calzada mediante lecturas manuales en una grilla determinada, o estimaciones mediante la medición de Iluminancia sobre una línea de la calzada a 1,7m mediante luxómetro móvil en techo de vehículo.
- e) Registro de tiempos de encendido y apagado de instalaciones.
- f) Obtención de datos de consumo energético mensual en los cuadros seleccionados, seguimiento de facturaciones de la empresa suministradora de energía por el termino de un año.
- g) Costos locales de instalación de alumbrado por punto de luz lo que incluye luminarias, columnas, cableado, protecciones, puesta a tierra, proporción de cuadro de mando, canalización, fundación etc. y costo del sistema de regulación y control.

6.3.3 Procesamiento de datos

Con los datos recopilados en cada zona (calles o áreas homogéneas) se procede a determinar los parámetros necesarios para calcular la relación Beneficio-Costo para cada cuadro bajo las situaciones ya descritas en sección 5.4 :

- a) **actual** : instalación actual bajo la política de mantenimiento existente, con consumos y parámetros de la prestación del servicio medidos.
- b) **actual B=1**: ídem al caso **actual** pero supuesto un beneficio unitario.
- c) **actual eficiente**: instalación **actual** bajo la política de mantenimiento actual pero ahora con un consumo y uso eficiente de la energía.
- d) **actual optima**: la instalación actual pero ahora bajo una la política de mantenimiento óptima y un consumo y uso eficiente de la energía
- e) **diseño optimo**: una instalación con un nuevo diseño siendo este el mas apropiado desde el punto de vista funcional, consumo y uso eficiente de la energía y bajo una política de mantenimiento óptima.

6.3.3.1 Determinación de B/C para la situación actual

Para determinar B/C para la situación actual es necesario medir o evaluar los siguientes parámetros:

- la *iluminancia media sobre la calzada* (E_{med}) o área de interés
- el *porcentaje de averías permanente o puntos de luz fuera de servicio (PAP)*
- los *horarios de conexión y desconexión* de la instalación
- la *apariencia de la instalación*
- los *costos de energía*
- los *costos de la instalación*

E_{med} se calcula como promedio de mediciones puntuales sobre una grilla uniforme de puntos que se extiende sobre el área de interés entre dos luminarias consecutivas representativas de la zona a evaluar. Una alternativa utilizada para estimar E_{med} con suficiente precisión, es mediante la combinación de mediciones con luxómetro móvil [11] (ver figura 6.3.3-1) y el uso de un programa de diseño [7] [8]. Consiste en realizar mediciones automáticas de iluminancia en puntos sobre una línea a una altura fija sobre la calzada empleando un vehículo para recorrer la vía de la zona de interés, ver figura 6.3.3-2. Un ejemplo de medición de iluminancia a 1,70m sobre la calzada a lo largo de una línea en una vía de tránsito se indica en figura 6.3.3-3.

Posteriormente los valores medio, mínimo (E_{min}) y máximo (E_{max}) así obtenidos, sobre la línea de medición, se tratan de reproducir con el programa de diseño.

Los datos necesarios a ingresar en programa de diseño son los mismos datos geométricos de la instalación de alumbrado, con la fotometría de la luminaria existente, flujo inicial de la lámpara instalada afectado por el factor de depreciación de la instalación dada por el tiempo transcurrido desde la última operación de mantenimiento. Este último dato se obtendría a partir de mediciones in situ que se describen en la sección 4.5.1.

Una vez reproducidos con el programa los valores de E_{med} , E_{min} y E_{max} a la altura de medición (1,70 m), la E_{med} sobre la calzada se obtiene con los mismos datos pero considerando ahora una grilla sobre la superficie de la calzada (0 m). La ventaja de utilizar el luxómetro móvil es que permite efectuar mediciones sin interrumpir el tráfico en la vía de circulación. En caso de disponer de reductor de flujo la instalación, las mediciones se deben efectuar antes y durante el periodo de reducción.

El **porcentaje permanente de puntos de luz fuera de servicio** puede estimarse por inspección directa registrando los puntos de luz fuera de servicio y refiriéndolos al total instalados. En ayuntamientos donde existe una política de mantenimiento generalmente el porcentaje observado es bajo por lo cual es ser más conveniente calcular el *PAP* sobre la base de un registro histórico de las averías durante un cierto período en caso de poder disponer del mismo. En St. Boi el máximo aceptado es 3% y el mínimo esperado es del 1%.

Los **horarios de conexión y desconexión** de la instalación se estiman por registro directo de los tiempos o, si es factible, mediante la colocación de un analizador de redes en los cuadros de mando.

La **apariencia de la instalación** se evalúa acuerdo a la escala indicada en sección 5.2.4, por cuadro para cada zona, ponderando por número de puntos de luz.



Figura 6.3.3-1 Analizador móvil de niveles de alumbrado lux data Logger LX-1000 [11].

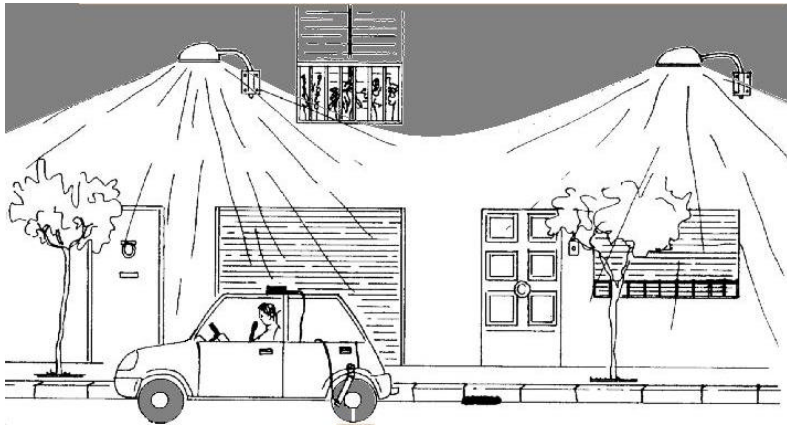


Figura 6.3.3-2: Analizador móvil de niveles de alumbrado instalado en un vehículo [11].

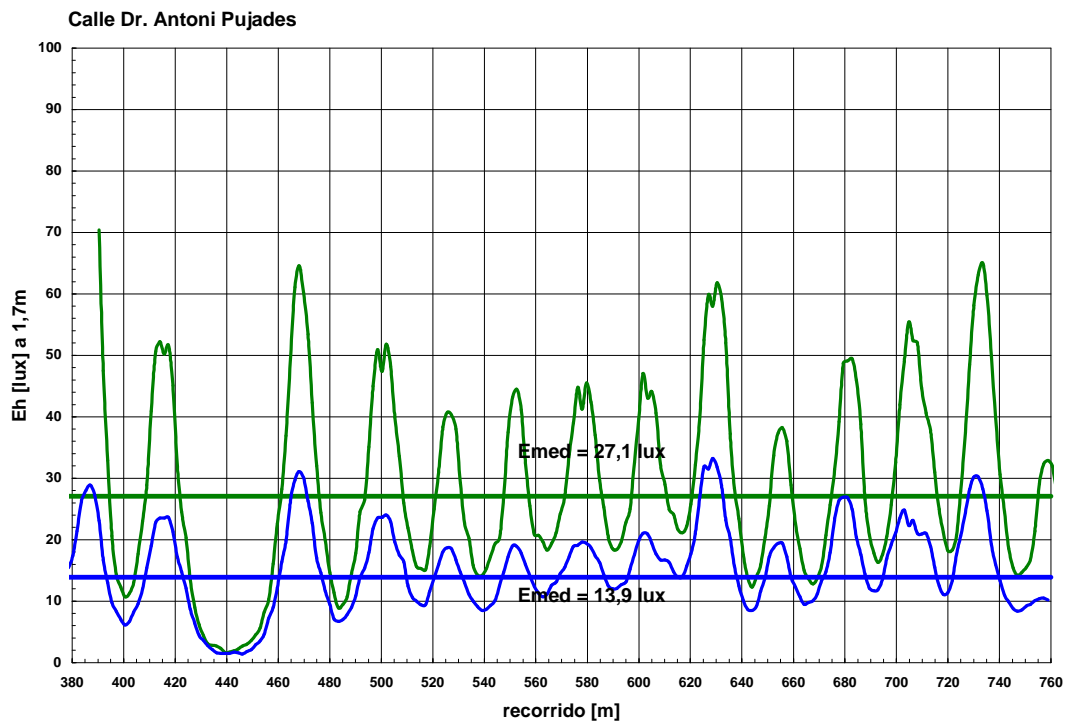


Figura 6.3.3-3: Mediciones de iluminancia a 1,7m del suelo, realizadas con el luxómetro móvil [11] en dos carriles de una vía con instalación unilateral de Sant Boi de Llobregat. Los máximos coinciden con la posición de la luminaria y el mínimo en 440m corresponde a un cruce de calles.

Los **costos de energía** se deben obtener de los registros de contadores por cuadro, información que generalmente disponen los ayuntamientos. Los datos de facturación pueden obtenerse de las facturas impresas de la compañía distribuidora de energía eléctrica. Sin embargo actualmente algunas empresas de energía proveen estos datos en archivos que pueden ser descargados por Internet.

Los **costos de la instalación** se calculan por punto de luz con datos locales de costos de los componentes, mano de obra etc.

Los **costos de mantenimiento** se calculan por punto de luz con datos de costos facturados por la empresa contratista al ayuntamiento

A partir de los parámetros obtenidos se determina la relación B/C con la ayuda de las planillas electrónicas Excel indicadas en sección 5.4.1.

6.3.2.2 Determinación de B/C para la situación actual eficiente

La determinación de la relación B/C para la situación actual con consumo y uso eficiente es similar al caso anterior en todos los parámetros necesarios salvo en que los costos de energía se calculan sobre la base de la potencia instalada, tiempo de operación anual de instalación sin desfases como se indica en sección 4.5.1.3. Diferencias observadas respecto al B/C para la situación actual se deberán a problemas de pérdidas energéticas activas o reactivas o a un uso supuestamente indebido.

6.3.2.3 Determinación de B/C para la situación actual óptima

La situación *actual optima* corresponde a la instalación actual, bajo una política de mantenimiento que produzca un máximo $B/[CAE/(lx.m^2)]$ y que posee además un consumo y uso eficiente de la energía para la potencia instalada. En este caso, para determinar el beneficio y los costos se utiliza un *programa de calculo para instalaciones existentes* (descrito en sección 5.4.1.4" a") con los datos actuales de las instalaciones por zona homogénea. Como dato adicional es necesario estimar el modelo de depreciación de la luminaria y de la lámpara para cada zona homogénea. Si se conocen:

- a) el tiempo transcurrido desde la ultima limpieza de las luminarias y la depreciación por suciedad y
- b) el tiempo transcurrido desde la ultima reposición masiva de lámparas de la instalación analizada y la depreciación de flujo de lámparas

se pueden determinar los coeficientes de ajuste exponencial de los modelos de depreciación para lámpara y luminaria. En caso de desconocer los tiempos transcurridos, estos se pueden estimar a partir de los datos de IP de la luminaria y tipo de lámpara con los modelos de depreciación teóricos correspondientes. La depreciación por polución de una instalación se estima a partir de la relación de iluminancias antes y después de la limpieza exterior e interior de las luminarias sin cambiar las lámparas. La depreciación por envejecimiento de las lámparas se estima a partir de la relación de iluminancias después de la limpieza exterior e interior de la luminaria con las lámparas actuales respecto de obtenida con lámparas nuevas estabilizadas (después de 100 hs. de funcionamiento).

El producto de la depreciación por polución y envejecimiento constituye la depreciación total de la instalación de alumbrado o factor de mantenimiento (FM) como se describe en sección 4.5. La medición de la depreciación se realiza seleccionando luminarias al azar de la zona homogénea donde se efectuaran las operaciones de mantenimiento correspondientes. Detalles de la forma de determinar el FM se indican en 4.5.1

6.3.2.4 Determinación de B/C para la situación de diseño óptimo

La relación B/C para la situación teórica de diseño óptimo de la instalación corresponde a un diseño nuevo siendo este el más apropiado desde el punto de vista funcional, de consumo y uso eficiente de la energía y además bajo una política de mantenimiento óptima. Con los datos de la zona a iluminar y los valores mínimos mantenidos recomendados se diseña la instalación para $FM=1$ con un programa de diseño. Posteriormente con el programa indicado en sección 6 se determina el FM óptimo con la política y periodos de reposición más convenientes.

6.4 Beneficios y costos de la muestra de la población

Para cada cuadro analizado de Sant Boi de Llobregat (1,2,29,35,36,45 y 50) y a fin de obtener la relación B/C, se recopiló la siguiente información:

- plano de situación de las zonas evaluadas
- inventario del cuadro
- registro histórico anual de incidencias
- lecturas activas y reactivas de los contadores
- registros de iluminancia media por medición directa sobre grilla o estimación mediante medición con luxómetro móvil y programa de calculo
- registros de iluminancia antes y después de operaciones de mantenimiento para evaluar depreciación de lámparas y luminarias y registros de tiempos de operación
- planillas electrónicas con datos de las instalaciones por zonas, registros resumidos y calculo del beneficio/costo para las distintas situaciones consideradas

Con los resultados obtenidos se elaboraron las figuras 6.4-1 a 6.4-8.

En figura 6.4-1 se ha representado para cada cuadro la relación $B/[CAE/(lx.m^2)]$ en orden creciente correspondientes a las situaciones actuales.

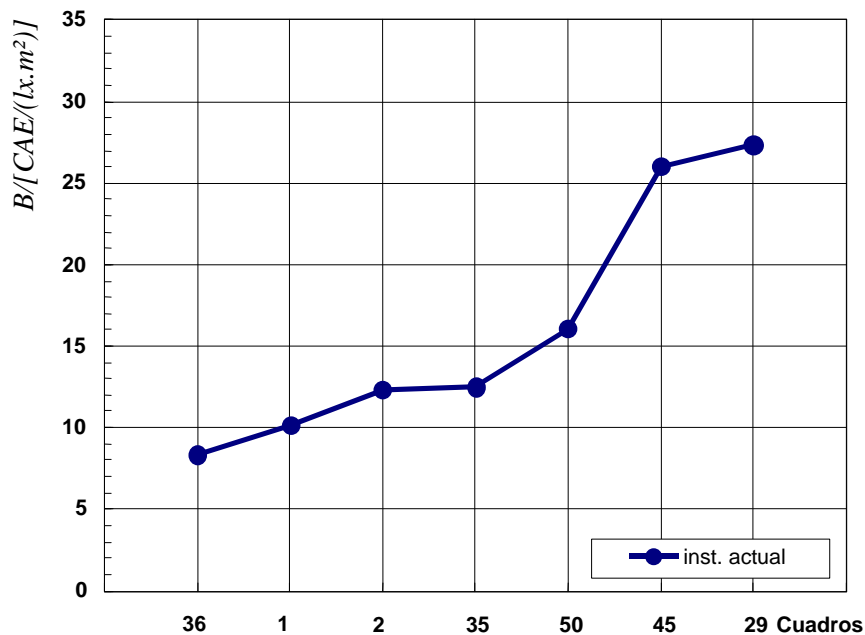


Figura: 6.4-1: Relaciones $B/[CAE/(lx.m^2)]$ en orden creciente correspondientes a las situaciones actuales para los cuadros de la muestra de St. Boi.

En figura 6.4-2 se repite la situación actual y se agrega la situación actual con $B=1$. Se puede observar en cuadros 1 y 2 un apartamiento del B/C debido a que en cuadro 1 y 2 existen zonas donde la iluminancia media E_m registrada es menor que la mínima mantenida E_{mm} que se esperaría para dicha zona de acuerdo a las características de la vía de tránsito. Ponderando con el producto de área y E_{mm} , las zonas conflictivas tienen un peso del 40% y del 90% en cuadros 1 y 2 respectivamente (paginas 1 de planillas de evaluación de cuadros 1 y 2).

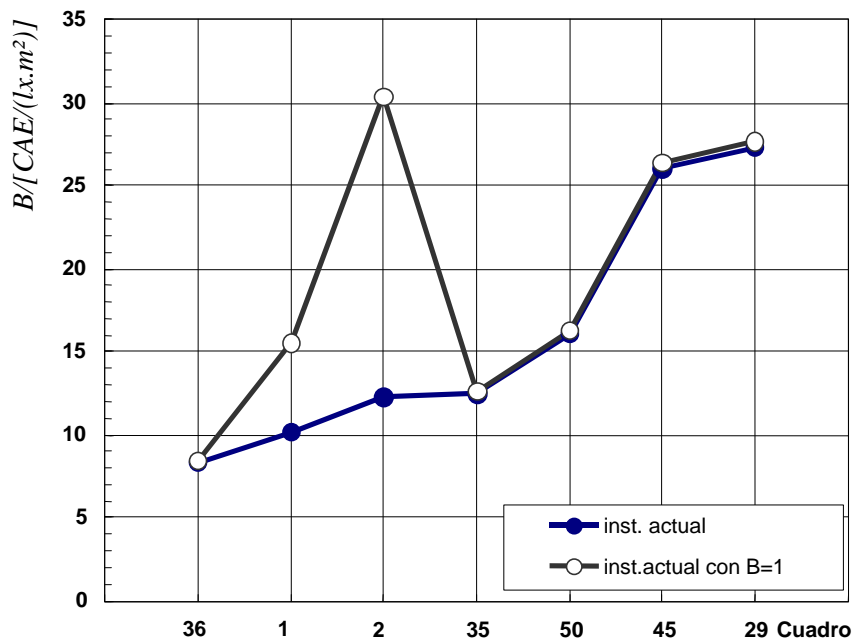


Figura: 6.4-2: Relaciones $B/[CAE/(lx.m^2)]$ para la situación actual y la misma situación con $B=1$.

En figura 6.4.3 se grafican las situaciones actuales y las situaciones suponiendo un consumo y uso eficiente. Solo en cuadro 35 se observa un apartamiento importante de los valores esperados debido a un consumo un 70% mayor, posiblemente por una falta de actualización de los registros de potencia instalada. En los casos restantes las previsiones de consumo se corresponden con los registros.

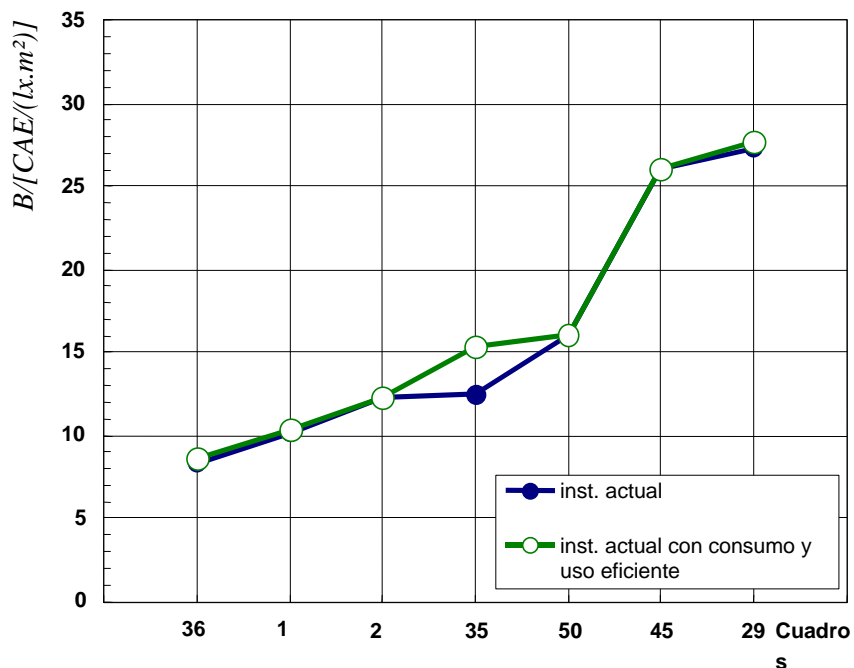


Figura: 6.4-3: Relaciones $B/[CAE/(lx.m^2)]$ para situaciones actuales y las situaciones suponiendo un consumo y uso eficiente.

Una situación adicional que se consideró son las instalaciones actuales con consumo y uso eficiente mas reducción de potencia del 40% desde las 23hs hasta el apagado. Esta situación solo se puede simular en cuadros 1,2,35 y 36 donde se observa un incremento del B/C al reducirse los costos energéticos por la reducción en el consumo. La situación se ha representado en figura 6.4-4 comparando con la situación actual de los cuadros. En cuadros 29,45 y 50 no se observan prácticamente variaciones debido a que dichos cuadros ya disponen de algún tipo de regulación.

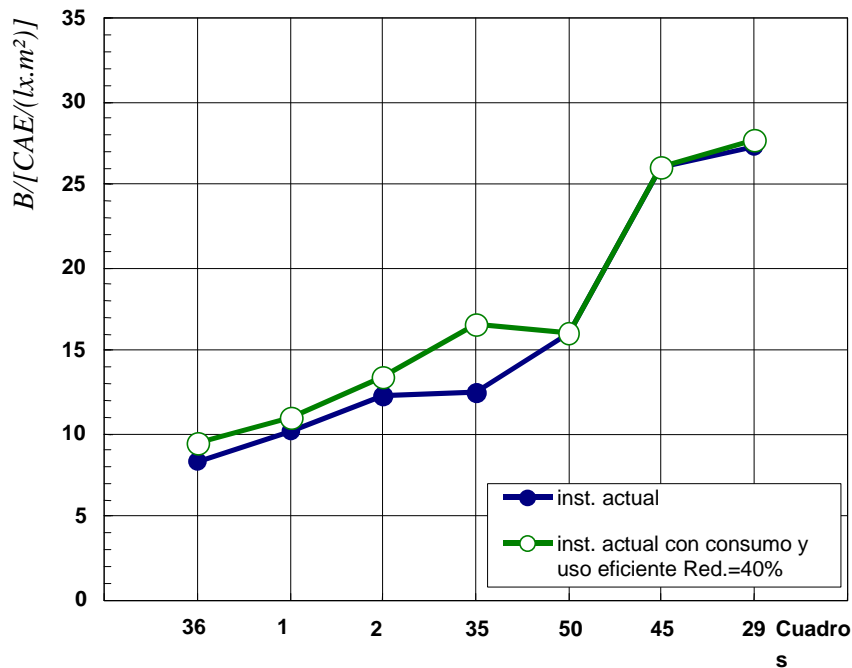


Figura: 6.4-4: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ correspondientes a las situaciones actuales vs. situaciones simulando la presencia de reductores de potencia (40%) en cuadros 1, 2, 35 y 36.

A pesar de que existe una diferencia media significativa de B/C en los cuadros 1,2,35 y 36 con y sin reductor, esta relación no es un justificativo suficiente para la implantación de reguladores de flujo o potencia. El periodo de retorno de la inversión con el ahorro energético resulta ser un mejor indicador. Periodos menores de 4 años son observados, los que dependen de la potencia instalada. Para pequeñas potencias no se justifica (ver cuadro 1 en tabla 6.4-1)

tabla: 6.4-1: Períodos de retorno del capital necesario para el regulador de potencia y diferencias de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximos en situaciones con y sin reguladores de potencia.

Cuadro	36	1	2	35
Periodo de retorno del capital [años]	2.5	7.5	3.7	3.8
Potencia instalada [Kw]	15.4	5.2	10.55	9.85
Diferencia % de B/C con y sin reductor	13	7.8	9	33

Si para cada cuadro analizado, se simula un consumo y uso eficiente y además las políticas que conducen al máximo B/C, se obtiene la figura 6.4-5. donde cada punto representa el promedio ponderado por nivel y área de las zonas que forman cada cuadro.

Comparando la situación de figura 6.4-5 con las anteriores se obtiene la figura 6.4-6 donde las ventajas de un cambio de política de mantenimiento son significativas. En el cuadro 2 la diferencia entre la situación simulada respecto de la actual es mayor que los restantes cuadros debido a que el beneficio actual es bajo, no por problemas en el mantenimiento actual sino por ser los niveles de diseño actuales muy inferiores a los mínimos recomendables para una zona del cuadro (carrer Dr. Antoni Pujades).

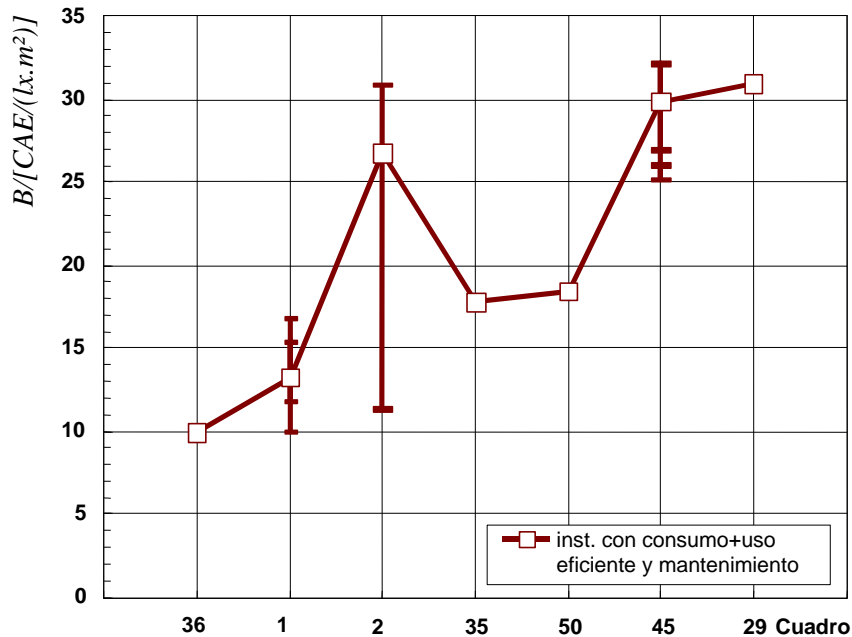


Figura: 6.4-5: Situaciones simuladas de consumo, uso eficiente y mantenimiento óptimo para $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo.

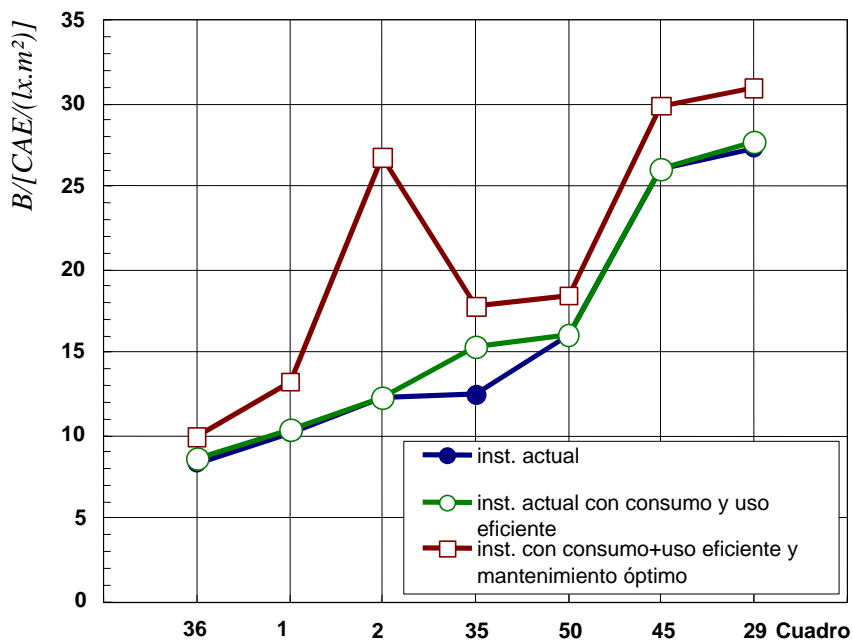


Figura: 6.4-6: Comparación de situaciones simuladas para $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo vs. situación actual.

La situación de B/C máximo para diseño óptimo de cada cuadro se ha indicado en figura 6.4-7 junto a las situaciones simuladas anteriores y a la situación actual.

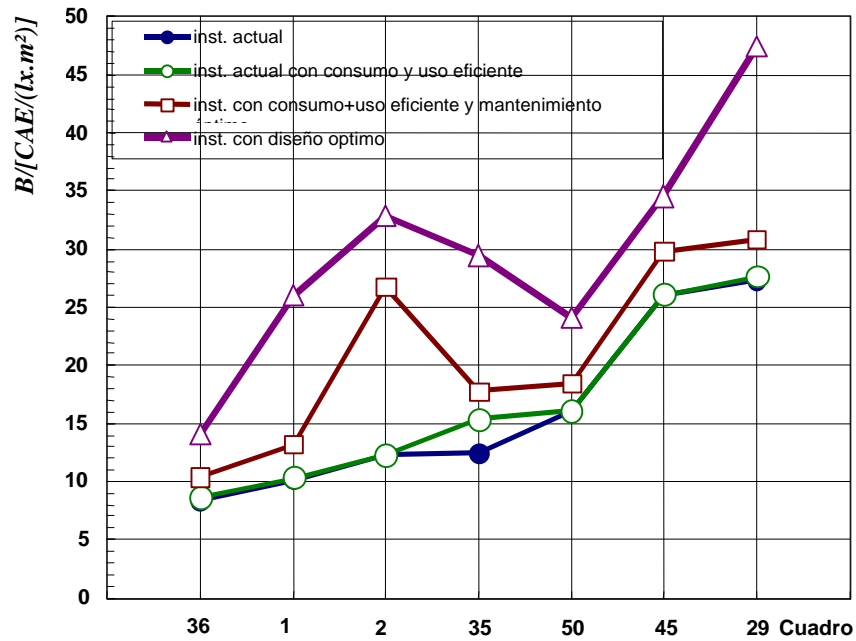


Figura: 6.4-7: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo para diseño óptimo de las instalaciones en cada zona de cada cuadro vs restantes situaciones simuladas y situación actual.

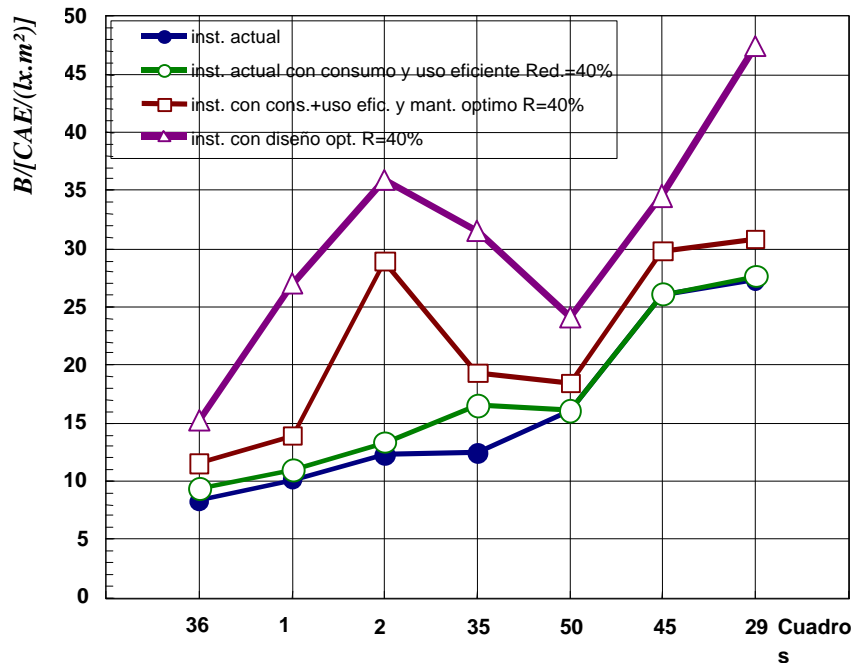


Figura: 6.4-8: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo para las situaciones simuladas con reductor a 40% vs situación actual.

El incremento de B/C observado responde a la combinación de diseño y mantenimiento óptimo para cada zona. Nuevamente la conveniencia de la implantación o renovación de instalaciones no se puede justificar únicamente por la relación B/C.

Para evaluar el posible reemplazo, el periodo de retorno de la inversión se debería calcular sobre la base del ahorro de energía, mantenimiento etc., a producir en el periodo de vida útil que le resta a la instalación actual. La relación entre el costo de la nueva instalación y el ahorro anual (periodo de retorno simple sin considerar el valor del dinero) debe ser menor que el margen de vida útil que le resta a la instalación actual. Debido a los bajos costos de energía y mantenimiento frente a nuevas instalaciones los periodos de retorno de inversión pueden justificar renovaciones, o implantación de sistemas de control de flujo. En caso de que desde el punto de vista funcional la instalación actual no pueda proveer el beneficio necesario, no cabe una comparación ya que la justificación es evidente y depende de una decisión política.

Finalmente en figura 6.4-8 se indican B/C máximos para las situaciones simuladas con reductor de potencia a 40% vs. la situación actual. El aumento de la relación B/C en este caso es significativo siendo del orden del 10%.

Respecto a la política actual de la población, esta es comparada con la política que conduce a B/C máximo simulando la situación. Los resultados del análisis por zonas en cada cuadro seleccionado se indican en tabla 6.4-2. Se observa que en cuadros 1 zona 2 y cuadro 2 zona 2, la política optima y los periodos correspondientes son muy exigentes debido a que por estar los niveles de diseño, mínimos mantenidos de iluminación cercanos a los recomendados, la situación óptima con mayor relación B/C se alcanza con periodos cortos de mantenimientos. En estos casos corregir la situación solo sobre la base del mantenimiento no es conveniente. Una renovación de la instalación es necesaria.

Si se hace abstracción de estas zonas conflictivas, en general la política mas indicada sería **SC+LS** (sustitución correctiva de lámparas mas limpieza simultanea) salvo en un caso donde las características de la instalación hacen más conveniente una limpieza masiva cada 1,5 años.

En el caso de existir zonas de características muy diferenciadas, por niveles, grado de protección de luminarias o tipo de lámparas, la ponderación de los cuadros sobre la base de nivel de iluminancia y área conduce a una relación B/C máxima intermedia. La política asociada a este valor intermedio de B/C puede no ser suficiente para cubrir las situaciones de, por ejemplo, una instalación con baja protección mecánica o con un margen reducido entre el nivel de diseño de iluminancia mínimo mantenido y el recomendado para la zona. Por tal motivo, para determinar la política mas apropiada, es conveniente un análisis por zona, agrupando zonas con políticas comunes.

Los costos resultantes de aplicar una política SC+LS sobre toda la población en lugar de la SM+LM+SC actual (cada 2 años) serían un 60% inferiores a los actuales (costo de SC+LS promedio por punto de luz = 14,34). Para evitar la posible coexistencia de lámparas nuevas con antiguas, que en promedio darían una respuesta aceptable en cuanto a flujo medio se refiere, una política intermedia con cambios masivos cada 4 años se podría aplicar en cuyo caso el ahorro sería del 45%. Con la diferencia podrían hacerse obras de renovación o actualización de las instalaciones mas criticas.

Una vez realizada la evaluación del servicio de las instalaciones de alumbrado de una población con la relación B/C mediante muestreo aleatorio de sectores representativos es posible mantener un control de la evolución del estado de las mismas repitiendo con cierta periodicidad no mayor a un año la evaluación de la situación actual. El periodo no mayor a un año responde al comportamiento exponencial de la depreciación de las instalaciones (descrito en sección 4.2.5.2) .

Tabla 6.4-2 : Políticas de mantenimiento y periodos de reposición óptimos de situaciones con consumo, uso eficiente y mantenimiento que conducen a B/C máximo para cada cuadro analizado.

Cuadro	Zona	Política óptima	Período de CM [meses]	Período de LM [meses]
1	1	SC+LS	-	-
	2	SM+LM+SC	6,8	3,4
	3	SC+LS	-	-
	4	SC+LS	-	-
2	1	SC+LS	-	-
	2	SM+LM+SC	23,3	3,9
26	1	SC+LS	-	-
35	1	SC+LS	-	-
36	1	SC+LS	-	-
45	1	SC+LM	-	17,3
	2	SC+LS	-	-
	3	SC+LS	-	-
	4	SC+LS	-	-
50	1	SC+LS	-	-

Un seguimiento de estas características no puede reemplazar a las inspecciones nocturnas de cada zona que semanalmente se realizan para detectar averías de puntos de luz y realizar mantenimiento correctivo, sin embargo la información de incidencias periódicas sí es una fuente de información para la evaluación de B/C.

A partir de la muestra de cuadros analizados y a fin de comparar la evolución en el tiempo, de la relación B/C, un valor promedio para la población, puede ser extrapolado en función del porcentaje de flujo instalado por sección. En tabla 6.4.3 se indica el porcentaje de representatividad de cada sección siendo el valor promedio final de 16 lx.m²/1000€ Para poder comparar un nuevo B/C con el actual, los costos deberán ser reducidos a valores constantes en el tiempo.

tabla: 6.4-3: $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximos extrapolados para cada sección de la población por flujo instalado.

Zona	% del total	$B/[CAE/(lx.m^2)]$
Residencial	45	10.4
Industrial	25	26
Vías rápidas	15	16.6
Vías secundarias	15	16.1
Total/Media	100	16.07

6.5 Conclusiones

La relación Beneficio / Costo propuesta en el capítulo 5 como indicador para evaluar la calidad del servicio fue analizada para aplicaciones en el diseño de nuevas instalaciones y en la evaluación de instalaciones existentes de lo cual se extraen las siguientes conclusiones:

6.5.1 Conclusiones del análisis de instalaciones desde la óptica del diseño

- Existe una dependencia entre la relación $B/[CAE/(lx.m^2)]$ con E_{med} , U_o , U_L y el área de la zona a iluminar a pesar que los costos fueron referidos a lx y m^2 :
 - La dependencia con E_{med} (aumenta la B/C al aumentar E_{med}) se explica por que a mayor iluminancia mayor eficiencia presentan los sistemas de alumbrado.
 - En cuanto a la dependencia con el área, al pasar de una calzada de 6m de ancho a 8m aumenta el $B/[CAE/(lx.m^2)]$. Sin embargo es de esperar que para mayores anchos de calzada será necesario un mayor número de puntos de luz/Km para mantener E_{med} y las regularidades, llegando un punto donde se reduce la relación.
 - A mayor exigencia en regularidad longitudinal U_L , los valores de B/C resultan menores, al requerir la instalación mas puntos de luz o menores alturas de montaje para compensar una mayor regularidad (ver figura 6.2-5).
- La dependencia de B/C con los parámetros E_{med} , U_o , U_L , hace necesario determinar para cada zona el B/C cuando estas difieran con relación a estos parámetros si se desean comparar instalaciones.
- La utilización de $B/[CAE/(lx.m^2)]_{máxima}$ como criterio de diseño para nuevas instalaciones frente a un análisis de costos mínimos presenta una ventaja al estudiar las distintas políticas Cuando se analiza la política SM+LM (sustituciones y limpiezas masivas programadas) los períodos de sustitución programada indicados como los más convenientes bajo esta política (y que conducen a los menores costos) producen, durante un cierto tiempo, el funcionamiento de la instalación con un porcentaje de puntos de luz fuera de servicio mayor al admitido debido la mortalidad acumulada de lámparas. Por el contrario el criterio $B/[CAE/(lx.m^2)]$ máximo considera esta situación al evaluar la tasa de fallos en el beneficio.
- La influencia de los factores: políticas de mantenimiento, polución ambiental, protección mecánica (IP), y supervivencia de lámparas fueron analizadas en función al $B/[CAE/(lx.m^2)]_{máximo}$, de lo cual se concluye:
 - SM+LM es la política menos indicada en todos los casos salvo con IP2D. SM+LM+SC y SC+LM, en ambientes urbanos con luminarias IP2 o IP5, son las mas convenientes y la política SC+LS es para instalaciones con luminarias IP6 la mas conveniente.
 - 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 $\approx 20\%$, 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
- Respecto a los periodos de mantenimiento, para SM+LM+SC, en instalaciones con luminarias IP2 y ambiente sucio, (zonas urbanas con alta densidad de tráfico), los cambios masivos (CM) óptimos de lámparas de sodio AP 250W son de 3 años y para mercurio 400W de un año. Los periodos de limpieza masiva óptima (LM) son de 3 a 4 meses con ambas lámparas. Para luminarias IP5 e IP6 y ambiente sucio los CM óptimos con lámparas de sodio AP 250W son de 4 años y para mercurio 400W siguen siendo de 1 año y los periodos de limpieza masiva son de 1 a 3 años con sodio de 250W y de 1 año con mercurio 400W.
- El contraste de B/C utilizando datos de supervivencia de lámparas de un fabricante frente a datos de registros históricos de 6 años que presentan menor supervivencia, afecta mucho a la política con solo operaciones masivas programadas (SM+LM). La reducción de $B/[CAE/(lx.m^2)]$ experimentada es del 45%. Esto se debe principalmente 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. La $B/[CAE/(lx.m^2)]$ de las políticas SM+LM+SC, SC+LM y SC+LS sufre 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 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 los modelos de fabricante y reales de datos históricos.

6.5.2 Conclusiones del análisis de las instalaciones existentes

- La relación B/C permite cuantificar la calidad del servicio, controlar el estado actual y servir de referencia para un control continuo periódico.
- Al comparar además con las situaciones simuladas:
 - actual con $B=1$,
 - consumo energético y uso eficiente
 - consumo energético, uso y mantenimiento óptimo,
 - implantación de reductor de potencia,
 - diseño óptimo,
 es posible determinar, a primera instancia, donde puede haber una problemática del 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 un análisis más específico el que puede hacerse a partir de los datos recogidos para la obtención de B/C .

- La repetición con periodicidad de 6 meses permitirá un seguimiento de las instalaciones. Periodos menores de repetición no presentarían mayores ventajas al tener un comportamiento exponencial la depreciación de las instalaciones.
- El seguimiento de las instalaciones permitirá un reajuste de los parámetros reales de depreciación y disponer de un indicador para evaluar posibles cambios de políticas frente a variación de costos o condiciones del alumbrado.

6.6 Bibliografía

[1] **CIE 115(1995)**

Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic, Commission Internationale de L'Eclairage CIE 115, ISBN 3 900 734 59 3

[2] **CIE 136(2000)**

Guide to the lighting of Urban Areas, Commission Internationale de L'Eclairage CIE 136 ISBN 3 900 734 98 4

[3] **Col·legi Oficial d'Enginyers Industrials de Catalunya (1997)**

Recomanacions per a la redacció de projectes d'enllumenat públic, ISBN: 84-88167-40-7. Barcelona, España.

[4] **Ministerio de Obras Públicas (1964)**

Alumbrado de carreteras. España

[5] **Ministerio de la Vivienda (1995)**

Normas e instrucciones para el alumbrado urbano. España

[6] **Ministerio de Fomento (1999)**

Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles. España

[7] **Clx viario (1999)**

Programa de calculo, Calculux viarios. Philips Oficina técnica de iluminación
<http://www.lighting.philips.com/>

[8] **Lumen Micro 7.0 (1999)**

Lighting Technologies. <http://www.lighting-technologies.com/i>

[9] **INEC (1998)**

Padrón 1996. Instituto Nacional de Estadística y Censo
<http://www.ine.es/htdocs/inre/inre51/pobframe.htm>

[10] **MOSECA (2000)**

Empresa de mantenimiento, <http://www.moseca.com/> 20/6/2000

[11] **Circuitor (1998)**

Analizador móvil de niveles de alumbrado Lux Data Logger LX-1000, Circutor S.A. Terrasa, España, <http://www.circutor.com/espprod.htm>

Página en blanco