

# Estimación del factor de mantenimiento del sistema de iluminación de una concesión vial. Parte IV\*

Por Alberto José Cabello y Mario Roberto Raitelli

Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión "H.C.Bühler", Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología  
Universidad Nacional de Tucumán

acabello@herrera.unt.edu.ar - mraitelli@herrera.unt.edu.ar

## Resumen

Se determinan los períodos óptimos para limpieza de luminarias, reemplazo de lámparas y de balastos para cada zona ambiental considerada, proporcionando una guía de procedimientos de mantenimiento preventivo para todo el sistema de iluminación.

## 7. Tareas de limpieza de lámparas y luminarias

Cuando se encara la tarea de determinar el tamaño del período mínimo entre limpiezas sucesivas surge el interrogante de qué porcentaje de pérdida de flujo luminoso debido a suciedad o envejecimiento de lámpara o por cualquier otra causa estamos dispuestos a tolerar. En el caso puntual de la limpieza la respuesta es simple: cuando el costo de la luz perdida por suciedad iguale al costo de la limpieza.

La única metodología confiable para determinar el período de limpieza consiste en efectuar mediciones periódicas de flujo luminoso de luminarias seleccionadas por zonas específicas, obteniendo los correspondientes factores FSLM, según los procedimientos detallados en §6.2.2 y §6.2.3 (parte 3).

Una vez determinado el factor de ensuciamiento de luminaria para cada área, vía o sector de la instalación, por medio de su representación gráfica en función del tiempo podemos determinar el instante para el cual la depreciación del flujo luminoso debido a suciedad va a caer por debajo de algún límite de seguridad. En función de la clasificación establecida en §6.2.3 para la red de autopistas, o sea, para zonas de polución alta, intermedia y moderada, se han representado los correspondientes

valores de FSLM mediante una extrapolación lineal, y comparados con la evolución en el tiempo del factor de depreciación de luminaria FELM por un lado, y con la combinación de los factores de balasto FB y envejecimiento de lámpara FELP. En las figuras 7 a 9 se puede observar la evolución en el tiempo de estos factores.

Esta linealización del factor FSLM es muy útil porque nos permite fácilmente determinar gráficamente el período de limpieza máximo antes de que el flujo decaiga por debajo del límite obtenido en §6.2.2 para cada tipo de polución. Por otra parte, analizando la evolución de la curva que representa la disminución del flujo luminoso debido a envejecimiento de lámpara y balasto, o sea el producto FB x FELP, podemos inferir el máximo

Variación Independiente de los Factores de Reducción del Flujo Luminoso  
FSLM=0,65 - Período Limpieza: 1 año - Período reemplazo: 5,25 años

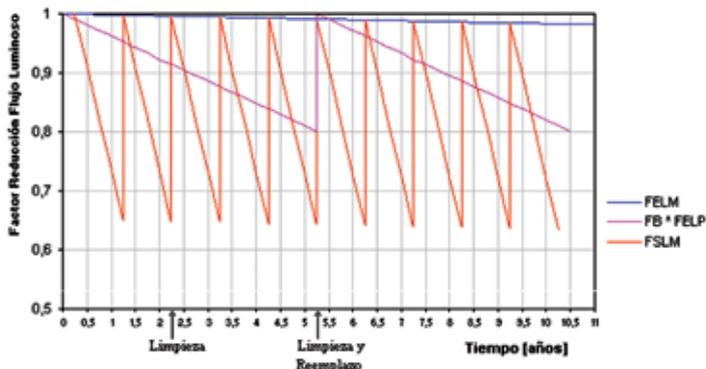


Figura 7. Variación de los factores de reducción de flujo para limpieza cada año, reemplazo de lámpara cada cinco años y tres meses, y considerando zona de polución alta (FSLM = 0,65)

Variación Independiente de los Factores de Reducción del Flujo Luminoso  
FSLM=0,77 - Período Limpieza: 1,5 años - Período reemplazo: 5,25 años

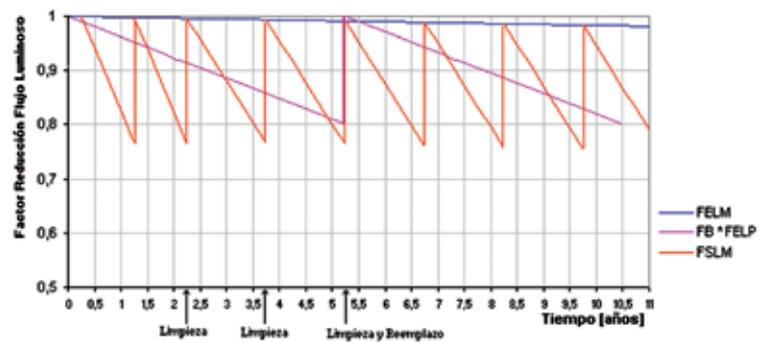


Figura 8. Variación de los factores de reducción de flujo para limpieza cada año y medio, reemplazo de lámpara cada cinco años y tres meses, y considerando zona de polución intermedia (FSLM = 0,77)

Variación Independiente de los Factores de Reducción del Flujo Luminoso  
FSLM=0,85 - Período Limpieza: 2 años - Período reemplazo: 5,25 años

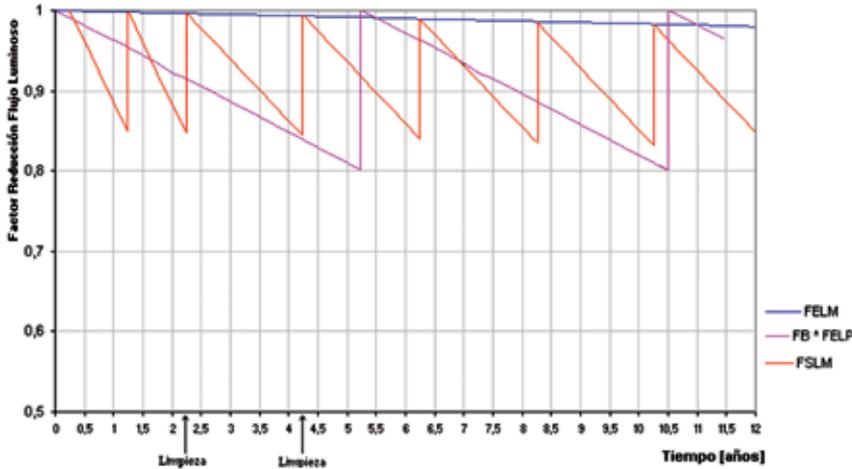


Figura 9. Variación de los factores de reducción de flujo para limpieza cada dos años, reemplazo de lámpara cada cinco años y tres meses, y considerando zona de polución moderada (FSLM = 0,85)

período posible de reemplazo de lámpara, antes de que el flujo de lámpara decaiga hasta el 80% del flujo nominal. En este caso, y para lámparas de sodio de alta presión, resulta en un lapso de cinco años con tres meses.

Esta estimación ha sido posible gracias a la información proporcionada por los responsables del mantenimiento del sistema eléctrico y luminotécnico de la concesio-

itaria vial, en el sentido de que se nos informó que la última limpieza en grupo de luminarias se efectuó justo un año antes de que se efectuaran los ensayos fotométricos en laboratorio, lo que permitió determinar el factor de ensuciamiento de luminaria FSLM para luminaria con suciedad acumulada durante un año. Con tal información resultó relativamente fácil reconstruir las curvas anteriores a la fecha del

relevamiento y poder estimar o predecir la evolución futura de los factores, suponiendo por supuesto que los gradientes de polución se van a mantener constantes.

Por regla general, la limpieza de las luminarias no debería postergarse por más de 24 meses en ambientes limpios, 18 si el ambiente es intermedio y no más de 12 para el caso de ambientes con mucha polución ambiental.

## 8. Tareas de reemplazo de lámparas

La frecuencia de la inspección y el reemplazo de lámparas dependen principalmente del tipo de cada lámpara. El reemplazo en grupo generalmente es el más recomendable y es un medio eficaz para asegurar un nivel razonable de flujo luminoso. Los reemplazos en grupo de lámparas constituyen el método más económico, como así también el más práctico, dado que pueden ser efectuados durante el día evitando así exponer al personal de mantenimiento a los peligros que implica el tráfico nocturno y las molestias al vecindario con el ruido de máquinas, escaleras, herramientas, etc.

En una instalación de alumbrado correctamente diseñada la falla de una única lámpara de un lote de mil no debería ser crítica en ningún instante ya que un reemplazo individual inmediato a la falla no es práctico con ningún sistema de mantenimiento ya que la probabilidad de una o múltiples fallas adyacentes son muy bajas.

Puede aprovecharse la ocasión del reemplazo por grupos para realizar el mantenimiento total de lámparas y luminarias, por ejemplo:

- » Limpieza de la luminaria y particularmente del sistema óptico.
- » Correcto enfoque de la lámpara.
- » Control del equipo auxiliar.
- » Control de las partes mecánicas del artefacto (burletes,

bisagras, fijaciones, etc.).

Del análisis efectuado a las figuras anteriores ha surgido que el máximo período admisible de reemplazo de lámparas es de 63 meses, habida cuenta de la determinación previa de los respectivos factores de balasto y envejecimiento de la lámpara. Dicho reemplazo debería operarse antes de que concluya el tercer año de efectuadas las mediciones. Por otra parte, y teniendo en cuenta que la vida promedio de los balastos es normalmente de diez años de operación continua, conviene considerar la posibilidad de que para el segundo recambio de lámparas (a efectuarse antes de que concluya el octavo año de efectuadas las mediciones), también se efectúe la reposición de los balastos, además de lámpara nueva y limpieza de luminaria, optimizando así los costos del mantenimiento.

## 9. Categorías de visitas

Por razones económicas, es conveniente agrupar las tareas de inspección, limpieza y reemplazo mediante visitas sistemáticas y reducir a un mínimo la atención de reclamos que se hacen fuera del programa. Las categorías de visitas pueden referirse a los siguientes puntos:

- » Reemplazo de lámparas (y en caso necesario, también el equipo auxiliar).
- » Limpieza de lámparas y siste-

ma óptico (carcasa reflectora y tulipa refractora de vidrio).

- » Mantenimiento eléctrico y mecánico (reparación de borneras, recambio fusibles, etc.).

## 10. Ajuste final de los períodos de limpieza y reemplazo mediante el análisis de la evolución del factor de mantenimiento global de cada instalación

El factor de mantenimiento (ver §3, en *Luminotecnia* 123) es en esencia el resultado final de la medición de varios factores componentes de reducción del flujo luminoso de una luminaria que provienen del estudio y medición de todas las causas de pérdida de luz vistas en §6 (en *Luminotecnia* 125).

Dado que el factor de ensuciamiento de luminaria FSLM es uno de sus principales componentes, y que a su vez depende del tipo de polución, hemos efectuado un análisis de la evolución en el tiempo del factor de mantenimiento FB para cada una de las zonas clasificadas en §6.2.3, esto es, polución alta, intermedia y moderada. El objetivo de cada análisis es determinar los períodos óptimos tanto de limpieza de luminaria como de reemplazo de lámparas para cada una de estas zonas, teniendo esta vez en cuenta la interacción conjunta de todos los factores de pérdida de luz.

A) Zona de alta polución: Sector

norte de la vía troncal principal. Se asignó a esta zona un factor FSLM = 0,65, que arroja un factor FM = 0,6. En la figura 10 se observa la evolución de FM para reemplazo de lámparas cada 63 meses.

Observando la figura 10 notamos que a partir de los tres años el factor FM resulta inferior al valor asignado en 0,6, lo que implica que a partir de entonces no se cumplirán los niveles mínimos de los parámetros luminotécnicos. Por ese motivo se sugiere adelantar la fecha de reemplazo de lámparas adoptando un período de reemplazo cada cuatro años. En la figura 11 observamos el resultado correspondiente.

En este caso podemos observar que el factor FM evoluciona por encima de la cota 0,6 durante casi todo el período considerado, sugiriéndose reemplazo de lámparas y limpieza de luminarias 21 meses después de las mediciones, y posteriormente limpieza de luminarias cada año, hasta llegar a los 48 meses después de las mediciones, donde además del reemplazo y limpieza, convendría efectuarse un reemplazo de equipo auxiliar por los motivos mencionados en §7.

B) Zona de polución intermedia: Sector sur de la vía troncal principal. A esta zona se le asigna un factor FSLM = 0,77 que arroja un factor FM = 0,7. En la figura 12 se observa la evolución de FM para reemplazo de lámparas cada 63 meses y período de limpieza cada 18 meses.

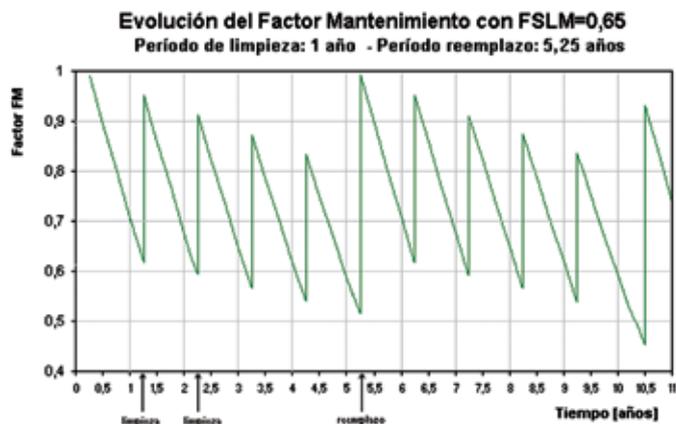


Figura 10. Variación del factor de mantenimiento para limpieza cada año, reemplazo de lámpara cada cinco años y tres meses, y considerando zona de polución alta (FSLM = 0,65)

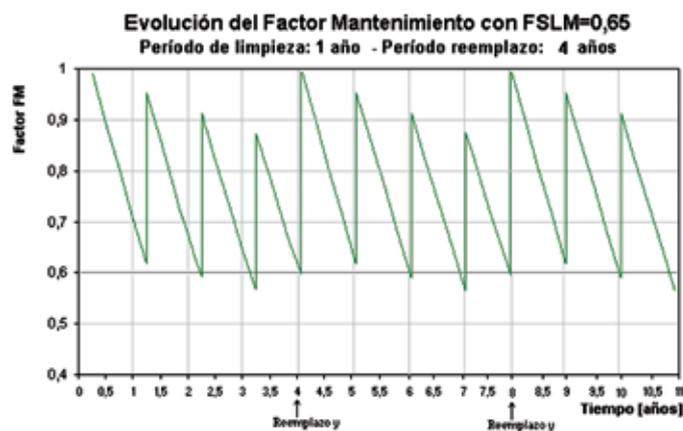


Figura 11. Variación del factor de mantenimiento para limpieza cada año, reemplazo de lámpara cada cuatro años, y considerando zona de polución alta (FSLM = 0,65)

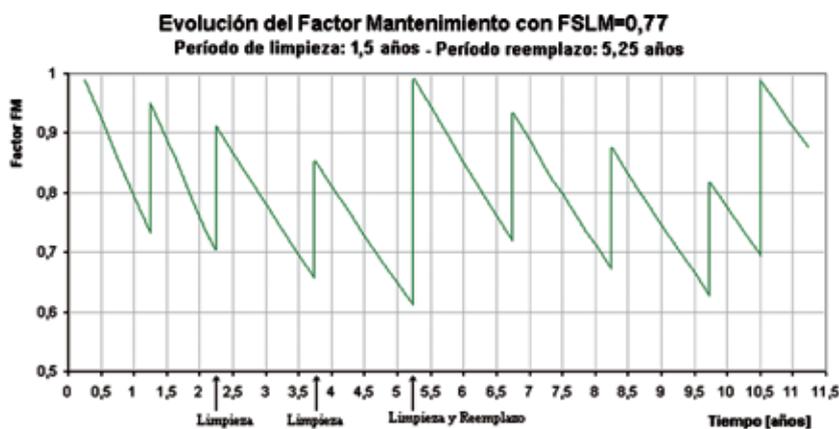


Figura 12. Variación del factor de mantenimiento para limpieza cada año y medio, reemplazo de lámpara cada cinco años y tres meses, y considerando zona de polución intermedia (FSLM = 0,77)

En este caso se observa que FM evoluciona por encima de 0,7 la mayor parte del período de reemplazo, y dado que, según las mediciones de campo efectuadas en esta zona, los parámetros luminotécnicos se conservan en valores aceptables de uniformidades, y que la luminancia media de la instalación correspondiente a la vía troncal principal con seis carriles tendrá un valor de  $2,3 \text{ cd/m}^2$  si  $FM = 0,6$ , que es el valor del factor de mantenimiento a la fecha del reemplazo y limpieza (tres años después de las mediciones), podemos sugerir que se efectúe limpieza de luminarias cada 18 meses y reemplazo de lámparas cada 63 meses, en coincidencia con una limpieza de luminaria.

C) Zona de polución moderada: Avenida de circunvalación a la capital. El factor asignado es  $FSLM = 0,85$  y  $FM = 0,77$ . Esta es la zona con menores inconvenientes respecto de la polución ambiental, ya que el ensuciamiento de luminarias es del orden del 15%, motivo por el cual se sugiere extender en estas instalaciones el período máximo de limpieza, llevándolo hasta dos años, manteniendo el período máximo de reemplazo de lámparas en 63 meses. En la figura 13 podemos ver cómo evoluciona FM para limpieza cada dos años y reemplazo cada 63 meses.

Del análisis de la figura 13, podemos repetir el criterio consignado en B), ya que el factor FM evolucio-

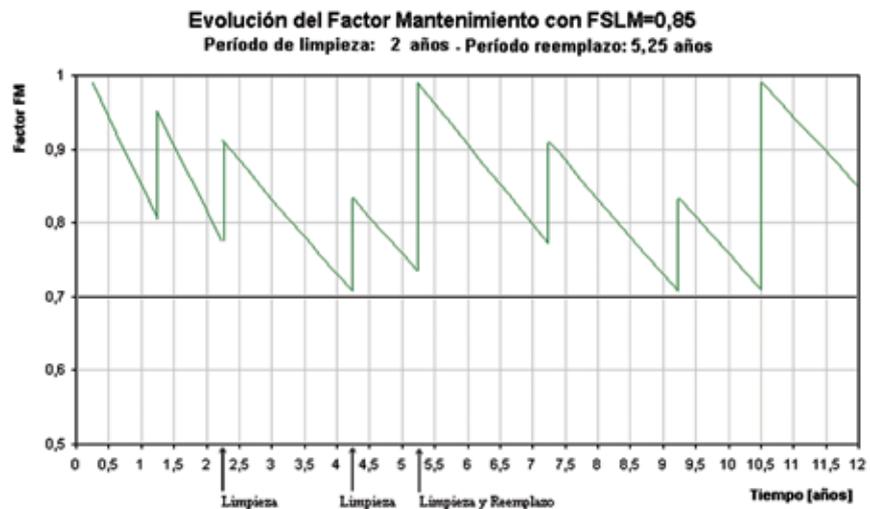


Figura 13. Variación del factor de mantenimiento para limpieza cada dos años, reemplazo de lámpara cada cinco años y tres meses, y considerando zona de polución moderada ( $FSLM = 0,85$ )

na la mayor parte del período por encima de 0,77; y cuando baja ese nivel, nunca será menor que 0,7, factor que arroja niveles mínimos de parámetros luminotécnicos por encima de los recomendados.

### 11. Recomendaciones para la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo

En base a todo lo expuesto en las secciones anteriores, y teniendo en cuenta que la premisa fundamental de todo sistema de alumbrado público es la de brindar un servicio seguro y eficiente, desde el punto de vista de los niveles de iluminación, a los usuarios de la instalación, resulta imprescindible la elaboración de un programa de mantenimiento preventivo que tenga en cuenta las recomendaciones listadas en la tabla 5, desarrolladas a partir de numerosas mediciones fotométricas in situ y

en laboratorio, y aplicando técnicas y recomendaciones de los más importantes centros de referencia en iluminación del mundo. Sin toda esa labor previa hubiese sido imposible determinar los máximos períodos de las tareas necesarias para mantener los parámetros lumínicos dentro de niveles aceptables.

Los factores de mantenimiento obtenidos para cada zona según su grado de polución son pasibles de ser mejorados si se efectúa un plan sistemático de mediciones fotométricas de campo y laboratorio que permita una monitorización de un mayor número de muestras por sector, para así obtener con más precisión el gradiente de ensuciamiento de los componentes ópticos de las luminarias, permitiendo de ese modo obtener con más precisión la magnitud de FM, lo que nos llevaría a redefinir con mayor exactitud los períodos de limpieza y reemplazo.

Esto puede ser fácilmente llevado a cabo por la concesionaria vial con una mínima inversión en equipamiento fotométrico y capacitación de al menos dos personas, mediante

la creación de un laboratorio de mediciones fotométricas, encargado de efectuar monitorizaciones periódicas a la instalación de alumbrado, y por lo tanto recogiendo un

importante caudal de datos, los que luego de ser analizados permitirán definir los cursos de acción sobre el mantenimiento del sistema ▶

Sectores de la red de autopistas	Grado de polución	Máxima frecuencia de inspección nocturna	Máximo período de limpieza de luminarias	Máximo período de reemplazo de lámparas	Máximo período de reemplazo de equipo auxiliar
<ul style="list-style-type: none"> <li>Troncal principal Sector Norte (calzada principal, colectoras principal y frentista, ramas de ingreso)               <ul style="list-style-type: none"> <li>Intersección de Avenida de Circunvalación con troncal principal</li> </ul> </li> </ul>	Alto	Cada 15 días	Cada 12 meses	Cada 48 meses	Cada 94 meses
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ramas de egreso troncal principal</li> </ul>	Entre alto e intermedio	Cada 15 días	Cada 12 meses	Cada 12 meses	Cada 94 meses
<ul style="list-style-type: none"> <li>Troncal principal Sector Sur (calzada principal, colectoras principal y frentista, ramas de ingreso)</li> </ul>	Intermedio	Cada 15 días	Cada 18 meses	Cada 63 meses	Cada 126 meses
<ul style="list-style-type: none"> <li>Resto de Avenida de Circunvalación               <ul style="list-style-type: none"> <li>Ramales A, B y C</li> </ul> </li> </ul>	Moderado	Cada 15 días	Cada 24 meses	Cada 63 meses	Cada 126 meses

Tabla 5. Recomendaciones para la ejecución de un programa de mantenimiento preventivo en la red de autopistas concesionada por concesionaria vial

### Bibliografía

- Woodhouse J., "Street Lighting Maintenance - Work study in Sheffield", *Light and Lighting*, vol.62 n° 12, pp. 331-333, publicada por *Illuminating Engineering Society at York House*, Londres, Diciembre 1969.
- Assaf L. O., "Curso sobre Sistemas Innovativos de Iluminación" de la Escuela de Postgrado en Luz y Visión de la Universidad Nacional de Tucumán, Módulo III, capítulo IV "Mantenimiento, Costos Operativos y Eficiencia", pp.22-33, Universidad Nacional de Tucumán, 1998.
- Commission Internationale de l'éclairage. "Dépréciation et entretien des installations d'éclairage public". CIE Publication N° 33A.* Viena: Bureau Central de la CIE, 1977.
- Dorrington J. W., "Street Lighting Maintenance - Costs and Procedures", *Light and Lighting*, vol.62 n°12, pp.328-331, publicada por *Illuminating Enginee-*

*ring Society at York House*, Londres, Diciembre 1969.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Tucumán, proyecto PIUNT E523, por el apoyo en la realización de este trabajo.

### Acerca de los autores

Alberto José Cabello es Ingeniero Electricista. Actualmente es Profesor Adjunto con dedicación exclusiva en el Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión de la UNT y miembro investigador del Instituto de Luz, Ambiente y Visión (ILAV) del CONICET. También, responsable del Laboratorio de Fotogoniometría del ILAV. Sus temas de investigación incluyen la interacción del alumbrado urbano con el arbolado y la eficiencia energética de instalaciones de alumbrado. Contacto: [acabello@herrera.unt.edu.ar](mailto:acabello@herrera.unt.edu.ar).

Mario Roberto Raitelli es Ingeniero Electricista y Magíster en Luminotecnia de la Universidad Nacional de Tucumán. Actualmente se desempeña como profesor e investigador del área de Diseño de Iluminación y docente del Programa Internacional de Posgrado Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (MAVILE) del Departamento de Luminotecnia, Luz y visión (DLYV) de la UNT. Es responsable del área de servicios a terceros del DLYV. Preside actualmente el centro regional noroeste de la Asociación Argentina de Luminotecnia. Contacto: [mraitelli@herrera.unt.edu.ar](mailto:mraitelli@herrera.unt.edu.ar).

*\*Nota del editor: El artículo aquí publicado corresponde a la cuarta parte de una serie de cuatro notas técnicas que se publicaron en números consecutivos de la revista Luminotecnia.*