

# Importancia del paso angular para la fotogoniometría de luminarias

## Introducción

Las recomendaciones de la Comisión Internacional de Alumbrado (CIE) para la fotometría de luminarias de iluminación vial establecen una secuencia de ángulos acimutales y verticales de intervalos variables, con pasos de hasta quince grados. Esta secuencia resultaba adecuada -y sobre todo reducía la tediosa tarea del cálculo manual- cuando se empleaban fuentes y luminarias con una distribución de intensidades luminosas (DIL) de forma aproximadamente difusora, típicamente artefactos con lámparas de mercurio con recubrimiento difusor. Sin embargo, cuando la DIL se aleja del comportamiento difusor, como ocurre por ejemplo en luminarias con vidrio refractor y lámparas claras, se pueden cometer errores significativos al calcular con la secuencia de ángulos propuesta por la CIE.

En este trabajo se presentan los resultados de ensayos y análisis fotométricos de luminarias con distinta forma de DIL obtenidos con la matriz de medición recomendada por la CIE y también con una "matriz ampliada" tanto con ángulos acimutales como verticales. También se presentan resultados de cálculos de instalaciones de alumbrado vial, realizados con ambas matrices.

El objetivo del trabajo es proponer la utilización de la matriz aumentada, teniendo en cuenta que, en la actualidad, el cálculo manual

ha sido prácticamente reemplazado por el cálculo con computadoras y sobre todo, que para la determinación de la fotometría de luminarias, por lo general se utiliza un paso angular igual o inferior al propuesto.

## Fotometrías de luminarias

Para este estudio se consideraron tres tipos de luminarias de alumbrado vial, con distintas formas de DIL:

- » Difusor perfecto: se trata de una luminaria hipotética con lámpara de sodio de alta presión (SAP) de 150 W establecida a los fines de comparación.
- » Luminaria con lámpara de SAP de 150 W, elipsoidal con recubrimiento difusor y cierre de policarbonato.
- » Luminaria con lámpara de SAP de 150 W, tubular clara, con cierre de vidrio claro y curvo.

Para los tres tipos de luminaria se determinó la fotometría en el sistema de semiplanos C- $\gamma$ , empleando para ello dos matrices: la recomendada por la CIE y una "matriz ampliada". Los ángulos acimutales (C) y verticales ( $\gamma$ ) de cada una de estas matrices son los siguientes:

- » Matriz CIE  
Ángulos C: 0, 10, 20, 30, 35, 40, 45, 47.5, 50, 52.5, 55, 57.5, 60, 62.5,

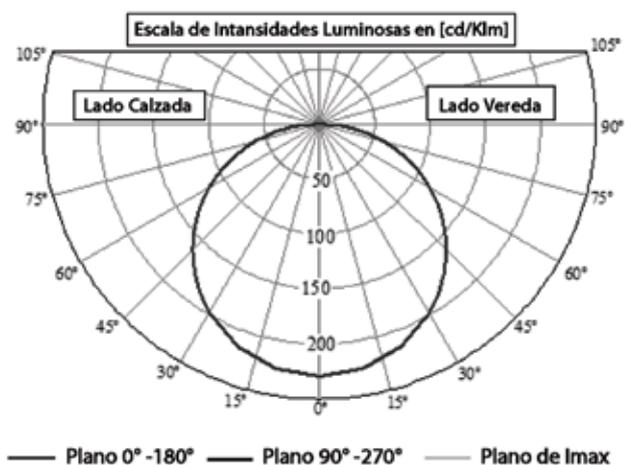
65, 67.5, 70, 72.5, 75, 77.5, 80, 82.5, 85, 87.5, 90, 92.5, 95, 97.5, 100, 102.5, 105, 120, 135, 150, 165 y 180.

Ángulos  $\gamma$ : 0, 15, 30, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 105, 120, 130, 135, 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175 y 180.

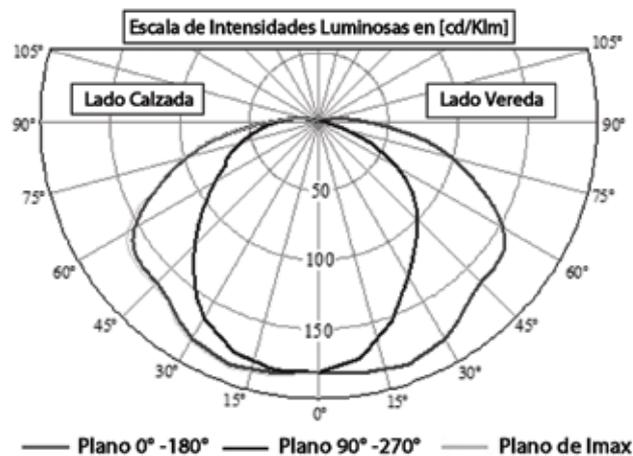
» Matriz ampliada

Ángulos C: de 0° a 180° con intervalo constante de 5°.

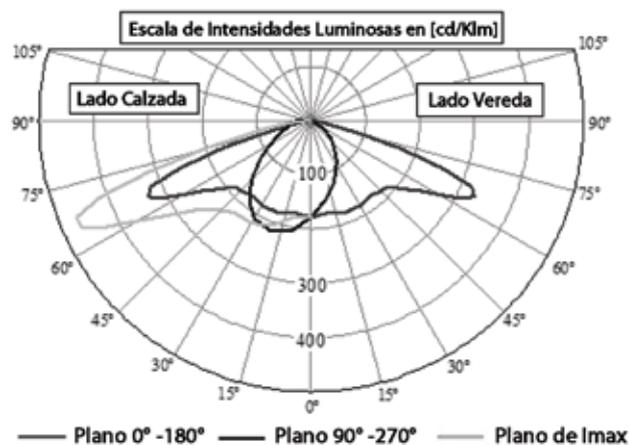
Ángulos  $\gamma$ : de 0° a 180° con intervalo constante de 2,5°.



**Figura 1. Curvas DIL de la luminaria tipo difusor perfecto para los planos acimutales de 0-180°, 90-270° y de máxima intensidad luminosa.**



**Figura 2. Curvas DIL de la luminaria con lámpara elipsoidal de SAP de 150 W, para los planos acimutales de 0-180°, 90-270° y de máxima intensidad luminosa.**



**Figura 3. Curvas DIL de la luminaria con lámpara tubular de SAP de 150 W, para los planos acimutales de 0-180°, 90-270° y de máxima intensidad luminosa.**

La fotometría para el difusor perfecto se estableció mediante un modelado matemático empleando la ley de Lambert ( $I_{\gamma} = I_0 \cdot \cos \gamma$ ) para obtener la curva DIL en cada plano acimutal; mientras que para los otros dos tipos de luminarias, se midió con un fotogoniómetro automático a espejo.

En las figuras 1, 2 y 3 se muestran las curvas polares de DIL de los tres tipos de luminarias considerados, para los planos acimutales longitudinal (0-180°) y transversal (90-270°) a la calzada, y el que contiene la máxima intensidad luminosa.

### Análisis fotométricos

En las tablas 1, 2 y 3 se presentan los parámetros fotométricos de cada una de las luminarias consideradas en este trabajo, obtenidos con el programa Photometric Toolbox4, empleando las matrices de medición de la CIE y la Ampliada según lo descrito en el punto anterior.

Se puede apreciar que para el caso de la luminaria con una DIL difusora perfecta (tabla 1) no hay diferencias en las características fotométricas resultantes al analizar con las matrices CIE y Ampliada, respectivamente.

Para los otros dos tipos de luminarias analizados (tablas 2 y 3) resultan pequeñas diferencias al calcular el flujo de luminaria y la distribución del flujo por hemisferios, con las matrices CIE y Ampliada, respectivamente. Además, las diferencias son mayores para la luminaria con lámpara tu-

bular clara que para la versión elipsoidal con recubrimiento difusor. Hay que tener en cuenta que estas diferencias no corresponden a errores de medición o cálculo, sino que se deben a la apreciación del método.

### Cálculos de alumbrado

A fin de analizar la incidencia, sobre los parámetros de diseño que puede tener la utilización de la matriz ampliada en lugar de la recomendada por la CIE, en esta parte del trabajo se realizaron

Características	Matriz			
	CIE		Ampliada	
Flujo de lámpara (lm)	14660		14660	
Flujo de luminaria (lm)	10556		10556	
Rendimiento luminoso (%)	72		72	
Distribución de flujos por hemisferios (%)				
	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.
Lado calzada	36	0	36	0
Lado vereda	36	0	36	0
Total hemisferio	72	0	72	0
Clasificación fotométrica				
Clasificación IES	Tipo III		Tipo III	
Clasificación longitudinal	Muy corta		Muy corta	
Tipo de apantallamiento	Full cut-off		Full cut-off	

**Tabla 1. Características fotométricas de la luminaria tipo difusor perfecto, obtenidas con las matrices CIE y Ampliada.**

Características	Matriz			
	CIE		Ampliada	
Flujo de lámpara (lm)	14660		14660	
Flujo de luminaria (lm)	10242		10264	
Rendimiento luminoso (%)	69,9		70	
Distribución de flujos por hemisferios (%)				
	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.
Lado calzada	37,2	2,4	37,4	2,4
Lado vereda	29,7	0,6	29,7	0,6
Total hemisferio	66,9	3	67,1	3
Clasificación fotométrica				
Clasificación IES	Tipo III		Tipo III	
Clasificación longitudinal	Muy corta		Muy corta	
Tipo de apantallamiento	Semi cut-off		Semi cut-off	

**Tabla 2. Características fotométricas de la luminaria con lámpara elipsoidal de SAP de 150 W, obtenidas con las matrices CIE y Ampliada.**

Características	Matriz			
	CIE		Ampliada	
lujo de lámpara (lm)	14775		14775	
Flujo de luminaria (lm)	10612		10559	
Rendimiento luminoso (%)	71,9		71,5	
Distribución de flujos por hemisferios (%)				
	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.
Lado calzada	51	0,5	50,9	0,5
Lado vereda	20,4	0	20,1	0
Total hemisferio	71,4	0,5	71	0,5
Clasificación fotométrica				
Clasificación IES	Tipo III		Tipo III	
Clasificación longitudinal	Media		Media	
Tipo de apantallamiento	Semi cut-off		Semi cut-off	

**Tabla 3. Características fotométricas de la luminaria con lámpara tubular de SAP de 150 W, obtenidas con las matrices CIE y Ampliada.**

cálculos de iluminación para una misma instalación de alumbrado vial, utilizando ambas matrices y para los tres tipos de luminarias descritos en el punto 2.

Para realizar los cálculos de alumbrado se consideró una instalación correspondiente a una calle clase C, según la clasificación de vías de tránsito de la norma IRAM-AADL J20-22-25 de la República Argentina. Las características de tal instalación son las siguientes:

- » Ancho de calzada: 7,50 m
- » Número de vías de circulación: 2
- » Disposición de columnas: unilateral

En los cálculos se tomaron como variables a determinar:

- » La altura de montaje de luminarias
- » La separación entre columnas
- » La longitud e inclinación del brazo de montaje

Los parámetros a cumplir en esta instalación, de acuerdo con la mencionada norma, son los siguientes:

- » Iluminancia media inicial (E<sub>med</sub>): 40 lux
- Factores de uniformidad de iluminancias:
  - » g<sub>1</sub> (E<sub>min</sub>/E<sub>med</sub>): 0,50
  - » g<sub>2</sub> (E<sub>min</sub>/E<sub>max</sub>): 0,25

Los cálculos se efectuaron con el programa Relux Professional, versión 2012. Los resultados se resumen en las tablas 4, 5 y 6 para cada uno de los tres tipos de luminarias considerados en este estudio.

	Matriz de cálculo	
	CIE	Ampliada
Altura de montaje (m)	7,4	7,4
Distancia entre columnas (m)	18,5	18,5
Longitud de brazo (m)	3,5	3,5
Inclinación del brazo (°)	0	0
Emed (lux)	40	40
Emin (lux)	20	20
Emax (lux)	71,9	71,9
g1 (Emin/Emed)	0,5	0,5
g2 (Emin/Emax)	0,28	0,28

**Tabla 4. Resultados de los cálculos de alumbrado con la luminaria tipo difusor perfecto, con las matrices CIE y Ampliada.**

En la tabla 4 se puede apreciar que no hay diferencias en los resultados de los cálculos efectuados con ambas matrices.

	Matriz de cálculo	
	CIE	Ampliada
Altura de montaje (m)	6,4	6,4
Distancia entre columnas (m)	19	19
Longitud de brazo (m)	3	3
Inclinación del brazo (°)	0	0
Emed (lux)	40,4	39,9
Emin (lux)	20,1	19,8
Emax (lux)	75,9	76,9
g1 (Emin/Emed)	0,5	0,49
g2 (Emin/Emax)	0,27	0,26

**Tabla 5. Resultados de los cálculos de alumbrado con la luminaria con lámpara elipsoidal de SAP de 150 W, obtenidas con las matrices CIE y Ampliada.**

En las tablas 5 y 6 se puede ver que a medida que la forma de las curvas DIL se aleja del comportamiento difusor, los cálculos efectuados con las matrices CIE y Aumentada, respectivamente, producen resultados distintos. Si bien las diferencias son mínimas, podrían alterar la calificación de una luminaria. Por ejemplo, en la República Argentina, las normas especifican valores mínimos sin hacer ninguna referencia a la precisión con que se calculan los parámetros.

## Conclusiones

El nivel de desarrollo alcanzado, tanto por la tecnología para mediciones fotométricas de luminarias, como para cálculos de iluminación, permite realizar análisis con mayor precisión y exactitud que las actualmente utilizadas y/o prescriptas por normas y recomendaciones.

	Matriz de cálculo	
	CIE	Ampliada
Altura de montaje (m)	6,5	6,5
Distancia entre columnas (m)	24,6	24,6
Longitud de brazo (m)	1,5	1,5
Inclinación del brazo (°)	0	0
Emed (lux)	39,2	40,1
Emin (lux)	22,9	20
Emax (lux)	75,1	77,3
g1 (Emin/Emed)	0,58	0,5
g2 (Emin/Emax)	0,3	0,26

**Tabla 6. Resultados de los cálculos de alumbrado con la luminaria con lámpara tubular de SAP de 150 W, obtenidas con las matrices CIE y Ampliada.**

El análisis de los resultados de mediciones fotométricas varía con la forma de la DIL. Para una luminaria perfectamente difusora no se producen diferencias, pero conforme la DIL se aleja de ese comportamiento, se requiere mayor precisión. Lo mismo acontece con los cálculos de alumbrado de instalaciones de alumbrado vial. Esto conduce a la necesidad de reducir el intervalo angular con que se realiza la fotometría.

Si bien los análisis fotométricos y de cálculos de iluminación efectuados con las matrices de intensidades luminosas recomendada por la CIE y Ampliada, respectivamente, conduce a diferencias mínimas en los resultados, hay que tener en cuenta que no se trata de errores de medición sino a la precisión con que se efectúan las determinaciones.

Las normas y recomendaciones por lo general no especifican valores de tolerancias por precisión del método de análisis. Esto podría dar lugar a situaciones conflictivas para el caso de luminarias diseñadas para optimizar una instalación de alumbrado vial, es decir, con una forma de DIL que se aparta del comportamiento difusor. ❖

## Referencias

Nota del editor: La nota técnica aquí publicada está respaldada por una extensa bibliografía cuyas referencias no se publican por normas editoriales. Por consultas de esta índole, o cualquier otra acerca de la temática tratada, consultar al autor.

Nota del editor: la nota aquí reproducida fue originalmente presentada por el autor como artículo de investigación en Luxamérica 2012. ❖

**Mario Roberto Raitelli - [mraili@herrera.unt.edu.ar](mailto:mraili@herrera.unt.edu.ar)**  
**Departamento de Luminotecnia Luz y Visión**  
**de la Universidad Nacional de Tucumán**