

Resumen

En el proceso de diseño de instalaciones de alumbrado público es necesario considerar las especies arbóreas existentes o a implantar en el lugar además de las características morfológicas del lugar a iluminar, la zona de la ciudad donde se realizará la intervención, el tránsito, el uso del espacio exterior, la arquitectura, la tecnología a utilizar. Se describe una metodología que considera la integración de sistemas de alumbrado público con el arbolado urbano.

1.- Introducción

El equilibrio entre iluminación de las vías de circulación, los espacios verdes y la vegetación es una demanda permanente en las ciudades. Es necesario diseñar el alumbrado del espacio urbano pensando en que los peatones, los vehículos, los edificios, los monumentos y la vegetación generan demandas y poseen necesidades que no siempre pueden resolverse con una sola respuesta. Sin embargo en muchos casos se aplican sistemas de montaje, de distribución de columnas, de tipos de luminarias y de lámparas; sin tener en cuenta las funciones y a los ocupantes de las áreas en las que se instalan. Es común encontrar calles iluminadas con generosidad, pero circundadas por veredas oscuras. Sin embargo, las veredas son tan utilizadas como las calles. Estos son ejemplos de inversiones públicas ineficientes. La solución no es podar o cortar indiscriminadamente los árboles, sino diseñar y conservar adecuadamente el espacio urbano y el equipamiento. Es posible disponer de propuestas adecuadas para cada caso, si se utilizan tecnologías apropiadas a las demandas sociales, a las posibilidades técnicas del

Cálculo de Alumbrado Público con Árboles

Por: **Alberto Cabello**
Carlos Kirschbaum

Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión. Universidad Nacional de Tucumán

medio y a la economía municipal^[1].

Los árboles en las veredas de una ciudad son parte fundamental del paisaje urbano. Son esenciales para la vida, pero a veces pueden ser un factor de riesgo, sobre todo cuando crecen obstruyendo el alumbrado público y los semáforos. Hay árboles con un follaje tan amplio que por las noches sólo dejan que se filtren entre las ramas pequeños haces de luz. Se estima que el 40% del alumbrado público en la ciudad de San Miguel de Tucumán está atrapado por los árboles^[2].

En muchos casos el alumbrado vial puede interferir en la vida privada de viviendas o en el trabajo en edificios. La intrusión del alumbrado público puede molestar a los ocupantes que habitan cerca de esos espacios públicos iluminados artificialmente.

También la luz reflejada o emitida directamente por artefactos se dispersa en la atmósfera urbana. A nivel de las vías de circulación esta distribución de iluminación puede traducirse en deslumbramientos molestos o inhibidores, según la intensidad y dirección de las fuentes

luminosas. La distribución lumínica en la atmósfera urbana a este nivel puede contribuir a la contaminación visual, donde además participan activamente, carteles luminosos, marquesinas, vidrieras, etc. A niveles superiores de la atmósfera urbana la polución lumínica se traduce en una aureola luminosa que interfiere la visión del cielo nocturno, reduciendo la visibilidad y en general representa un importante porción de energía desperdiciada.

La iluminación artificial de áreas urbanas debe permitir a los usuarios nocturnos reconocer detalles de los alrededores a fin de orientarse, visualizar correctamente el número del domicilio, disponer de una buena apariencia visual del entorno, poder tener un buen aspecto ante los demás, e identificar personas o intenciones^[3]. Estas mínimas tareas visuales se ven seriamente afectadas por el arbolado presente durante la noche, el cual interfiere con los haces luminosos de las luminarias que componen el sistema de alumbrado público^[4].

Los árboles, junto con otros elementos de la arquitectura son los que

tienen la mayor responsabilidad de la conformación del espacio exterior^[5]. Se requiere compatibilidad y cooperación entre la vegetación y la iluminación para que ninguno interfiera en la labor o función que desempeña el otro^[6]. En general los problemas ocurren cuando las instalaciones se diseñan sin considerar la presencia del árbol, su crecimiento o su cuidado.

Uno de los objetivos de este trabajo consiste en presentar distintas alternativas de instalaciones que combinan el alumbrado de la calzada según criterios de alumbrado vial con el alumbrado de veredas en base a recomendaciones de alumbrado residencial.

2.- Alternativas de iluminación de aceras arboladas

2.1.- Introducción

Se efectúa un estudio de la influencia de la presencia de una especie de árbol muy difundida (Fresno) en el sistema de iluminación actual de una vía de tránsito característica de una ciudad, con cálculos y simulación por computadora mediante.

En la Figura 1 se presentan las características de la especie más abundante en la ciudad de Buenos Aires, esto es, el Fresno Americano:

La metodología consiste en la simulación del espacio urbano de una Avenida, considerando la presencia de tres Fresnos por vano (espacio entre dos columnas de alumbrado consecutivas) como situación más desfavorable por ser máxima la producción de sombras sobre la vereda. La cantidad máxima de tres fresnos por vano tomada como cantidad más desfavorable, obedece a que por sus dimensiones características (ver Figura 1), esto es, un diámetro de copa de 8 metros, una altura de suelo a base de copa de 4 metros y una altura máxima de 14 metros, solamente es posible el desarrollo pleno de tres ejemplares en el vano promedio de 30 metros.



Fresno Americano



$h = 10$ a $15m$

$d = 8$ a $10m$

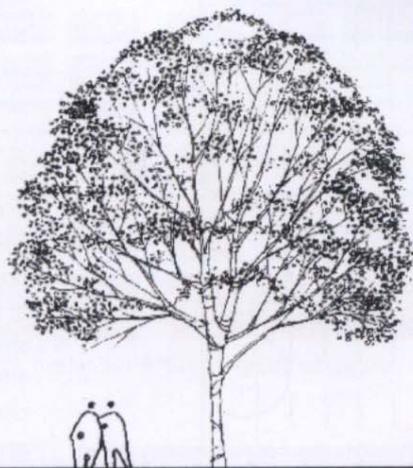


Figura 1.- Características del Fresno Americano

2.2.- Geometría de la instalación

Los parámetros son: Ancho calzada: 20m; Ancho Vereda: 5m; fachadas: a ambos lados de la calle con separaciones de 30m; Disposición: Bilateral enfrentada; Luminaria: cuerpo de fundición de Aluminio, reflector de Aluminio estampado anodizado y refractor de vidrio prismático al borosilicato, semiapantallada; Lámpara: Sodio alta presión 250W tubular clara, Separación entre columnas (vano): 30 m; Brazo pescante: 2,50 m; Inclinación pescante: $\alpha = 0^\circ$; Altura libre: 9m; Características de la zona: área comercial y residencial.

En cada columna se considera un brazo soporte de un globo opalino hacia la vereda, equipado con lámpa-

ra de vapor de sodio de alta presión, tubular, de 150W, a una altura libre de 4 metros, y una penetración en la vereda de 0,75 metros. En la Figura 2 se presenta una salida gráfica del programa de cálculo utilizado, donde se puede observar la disposición de las columnas de alumbrado con sus luminarias en relación al modelo de Fresno Americano inserto en el vano. En la Figura 3 se observa una vista de planta del modelo de la instalación.

2.3.-Parámetros lumino-técnicos empleados para el cálculo

Los parámetros considerados para este análisis son: Iluminancia Horizontal E_h sobre calzada y vereda, Iluminancia Vertical E_v sobre facha-

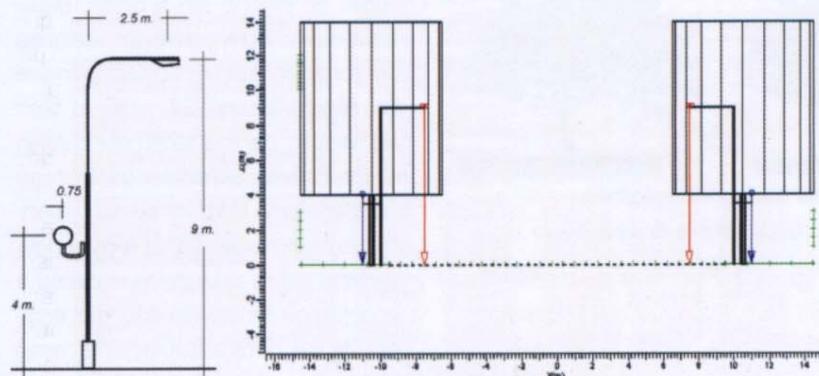


Figura 2.- Vista de corte transversal del modelo de la instalación

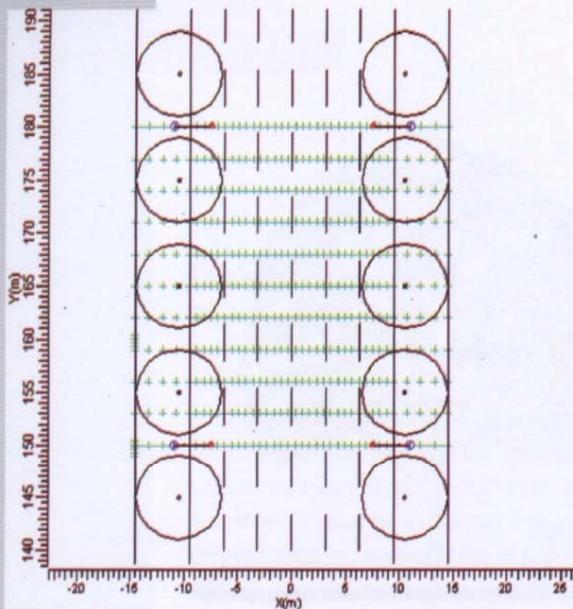
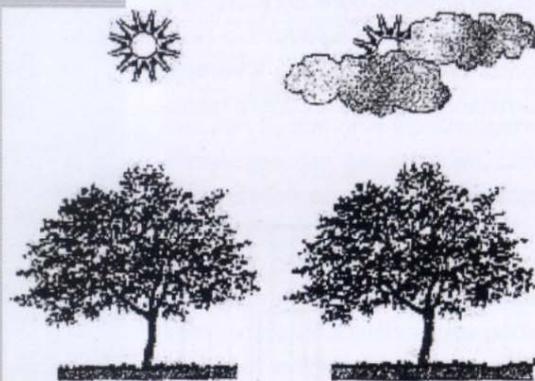


Figura 3.- Vista de planta

da [a 2 metros del suelo] y sobre ventanas situadas a 10 metros del suelo, Iluminancia Semicilíndrica Esc a la altura del rostro [1,5 metros sobre el suelo, en dirección de visión paralela al eje longitudinal de la calzada]. Se calculó la iluminancia promedio en todos los casos y se determinaron las regularidades $G1 = E_{med} / E_{máx}$ y $G2 = E_{mín} / E_{máx}$.

Para efectos de comparación entre niveles lumínicos con y sin arbolado presente, en todos los casos se ha considerado un factor de mantenimiento $fm = 1$, esto es, instalación de



Jacaranda mimosaefolia
altura: 10m - diámetro de copa: 8m

Figura 4.-Factores de transmitancia de la luz solar del la especie Jacarandá, según la estación del año y en condiciones de pleno sol y día nublado.

alumbrado en condiciones iniciales, además de un factor de transparencia del 4%, en base a lo determinado en un estudio previo^[5] para una especie de porte similar, como el Jacarandá y cuyos resultados se observan en la Figura 4.

3.-Resultados con distintas opciones de iluminación de vereda arbolada

En primer lugar, se ha analizado el sistema de alumbrado público sin la presencia de árboles y sin la influencia lumínica de los globos, para obtener los niveles lumínicos originales del primitivo diseño de la instalación, cuyos valores se comparan con la misma instalación, pero considerando la influencia del arbolado. Esto puede observarse claramente en la tabla 1.

A continuación, se efectúa el mismo análisis, pero teniendo en cuenta esta vez la influencia de los globos instalados en pescantes adosado a cada columna y orientados hacia la vereda, según la tabla 2.

De la tabla 1, surge que la presencia del arbolado en la instalación original (sin globos) se traduce en una importante reducción de las regularidades G1 y G2, mientras que los valores de iluminancia promedio se mantienen dentro de los límites aceptables por la normativa de la CIE sobre alumbrado de áreas residenciales^[3].

Según tabla 2, la presencia de los globos prácticamente restaura los valores promedio a la condición inicial de diseño sin árboles, duplicando por otra parte los valores de iluminancias verticales, aunque las regularidades G1 y G2, si bien aumentan, permanecen por debajo de los límites aceptables para áreas residenciales. En este punto se verifica un nivel excesivo de iluminancia vertical sobre la ventana próxima a la columna de alumbrado, por encima de los 5 lux establecidos como límite a la luz intrusiva en alumbrado residencial^[3], motivo por el cual se

estudian alternativas tendientes a limitar la emisión de flujo luminoso por encima del plano horizontal de la luminaria.

A partir de esta instancia, el estudio está dirigido a mejorar la instalación actual mediante modificaciones a los globos, como así también considerando luminarias alternativas con un mejor aprovechamiento del flujo luminoso al tener menor emisión por encima del plano horizontal de la luminaria. En la tabla 3 se pueden ver los valores obtenidos como resultado del agregado de louvers a los globos existentes, y en las tablas 4 y 5 se aprecian los resultados con las luminarias alternativas a los globos actuales.

4. Análisis de resultados

Observando los resultados de tabla 3, concluimos que el agregado de louvers, esto es, anillos y/o discos metálicos concéntricos a la lámpara, no se traduce en una mejora de las uniformidades, por el contrario, los niveles de iluminancia media se reducen en un 5%. El aspecto positivo es la reducción sustancial de la luminancia intrusiva sobre la ventana próxima a la columna, lo que mejora el impacto de intrusión luminosa en viviendas y locales vecinos.

Los resultados de la tabla 4, en lo referente al globo traslúcido con louver, son similares a los de tabla 3, mientras que en el caso de emplear un globo opalino con el casquete superior opaco y acondicionado con un reflector interno sobre la lámpara, produce un importante incremento de las iluminancias promedio, con una significativa reducción de la luminancia intrusiva sobre la ventana, aumenta la iluminancia semicilíndrica (Esc), aunque desde el punto de vista de las regularidades, se produce una disminución en fachadas, permaneciendo casi inalterable en calzada y vereda.

Las alternativas con farolas producen resultados muy similares al del globo con casquete opaco reflector,

según se desprende de los valores de tabla 5.

A la luz de estos resultados, se recomienda adaptar los globos existentes mediante la inclusión de material opaco y reflectante en el casquete hemisférico superior, cuando por sus características constructivas sea esto posible, ya sea mediante una pintura reflectante, con film de aluminio adherido o instalando en los globos existentes un casquete metálico reflector. Con este artefacto se incrementa la iluminancia media horizontal de veredas, disminuye a valores dentro de recomendaciones el efecto de la intrusión luminosa y se controla significativamente la emisión lumínica en el hemisferio superior posibilitando una importante reducción de aporte a la polución lumínica.

Para aquellas instalaciones donde aún no se han instalado los correspondientes globos opalinos, se recomienda considerar la adopción de alguna de las alternativas de tablas 4 (B) y 5 (A y B).

En casos en que sea necesario controlar la intrusión luminosa se propone la instalación en las direcciones de interés de pantallas externas opacas.

5. Propuesta que considera poda e inclusión de farolas adicionales en la mitad del vano.

Se procede a calcular la instalación considerando, en primer lugar, el reemplazo de las lámparas actuales por lámparas tipo Súper o Plus (mayor flujo luminoso en un 15%), conservando la potencia nominal de las mismas. Además se considera para el nuevo cálculo a la instalación considerada provista en sus columnas con farolas cilíndricas con louver y pantalla superior, equipadas con lámpara de Sodio Alta Presión (SAP) tubular súper de 100W (10500 lm), en base a las conclusiones anteriores, y si además en nuestro modelo simulamos una poda de la

	Sin Árboles - sin globos			Con Árboles - sin globos		
	Emed [lux]	$\frac{E_{min}}{E_{med}}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	Emed [lux]	$\frac{E_{min}}{E_{med}}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$
Calzada	41,5	0,36	0,27	33,7	0,14	0,08
Vereda	18,3	0,3	0,15	6,33	0,23	0,04
Fachada	9,4	0,39	0,26	3,23	0,02	0,01
Esc (a 1,5m)	6,87	0,39	0,12	2,53	0,07	0,03
Ventana s/ poste (a 10m)	0,3	0,33	0,17	0,05	0,05	0,01
Ventana s/ centro vano	0,3	0,34	0,15	0,01	0,02	0,01

Tabla 1.- Instalación original, con y sin árboles. Valores iniciales

	Sin Árboles - con globo opalinos			Con Árboles con globo opalinos 		
	Emed [lux]	$\frac{E_{min}}{E_{med}}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	Emed [lux]	$\frac{E_{min}}{E_{med}}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$
Calzada	48,3	0,36	0,25	40,5	0,18	0,08
Vereda	30,2	0,26	0,12	18,3	0,20	0,06
Fachada	28	0,28	0,1	21,8	0,20	0,05
Esc (a 1,5m)	15,2	0,38	0,15	10,8	0,30	0,11
Ventana s/ poste (a 10m)	11	0,75	0,57	9,4	0,73	0,54
Ventana s/ centro vano	4,94	0,86	0,73	0,14	0,81	0,65

Tabla 2.- Instalación actual, con y sin árboles. Valores iniciales

	A) Con opalino con 3 louveres			B) Globo opalino con 3 discos planos		
	Emed [lux]	$\frac{E_{min}}{E_{med}}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$	Emed [lux]	$\frac{E_{min}}{E_{med}}$	$\frac{E_{min}}{E_{max}}$
Calzada	38,4	0,17	0,10	39,3	0,18	0,10
Vereda	15	0,20	0,05	16,1	0,22	0,06
Fachada	15,2	0,18	0,05	18,4	0,21	0,05
Esc (a 1,5m)	8,2	0,26	0,09	9,52	0,30	0,12
Ventana s/ poste (a 10m)	3,63	0,73	0,54	6,54	0,73	0,54
Ventana s/ centro vano	0,07	0,78	0,59	0,11	0,81	0,63

Tabla 3.- Instalación con globos modificados con inserción de louveres

	A) Con claro, c/louvers 			B) Globo opalino, con casquete superior opaco c/ reflector 		
	E _{med} [lux]	E _{min} /E _{med}	E _{min} /E _{max}	E _{med} [lux]	E _{min} /E _{med}	E _{min} /E _{max}
Calzada	40	0,17	0,09	47,2	0,20	0,10
Vereda	17	0,19	0,06	32	0,18	0,05
Fachada	18,6	0,16	0,05	35,7	0,11	0,03
Esc (a 1,5m)	9,73	0,23	0,07	17,4	0,22	0,06
Ventana s/poste (a 10m)	2,76	0,75	0,56	0,22	0,64	0,36
Ventana s/centro vano	0,07	0,77	0,58	0,01	0,76	0,57

Tabla 4.- Globos alternativos: traslucido c/louvers y opalino con casquete



Figura 6. Luminaria complementaria a 3,5mts de altura.

	A) Farola cónica opalina 			B) Farola cilíndrica clara, c/louvers 		
	E _{med} [lux]	E _{min} /E _{med}	E _{min} /E _{max}	E _{med} [lux]	E _{min} /E _{med}	E _{min} /E _{max}
Calzada	45,3	0,18	0,10	44,3	0,18	0,10
Vereda	28	0,17	0,05	24,7	0,18	0,06
Fachada	31,7	0,15	0,04	29,9	0,16	0,04
Esc (a 1,5m)	15,8	0,24	0,07	14,8	0,24	0,07
Ventana s/poste (a 10m)	0,64	0,77	0,55	14,8	0,77	0,58
Ventana s/centro vano	0,04	0,70	0,46	0,07	0,76	0,57

Tabla 5.- Alternativa con farolas: cónica opalina y cilíndrica clara c/louvers

base de la copa de árboles hasta una altura de 6 m desde la vereda, obtenemos los resultados que siguen a continuación (Tabla 6).

En Tabla 6 también se comparan los resultados de la instalación con y sin poda con la inclusión en el

modelo de simulación de la avenida, de farolas cilíndricas traslucidas con louvers, esto es, montadas en columnas adicionales con la luminaria orientada hacia fachada a una altura libre de 3,5 metros, ubicadas a mitad de camino entre dos columnas consecutivas (ver figura 6).

Tabla 6.- Instalación con Luminaria actual y poda de árboles hasta 6m.

Instalación Avenida	L _{med} [cd/m ₂]	U ₀	U _L	E _{med} [lux]	G1	G2	TI [%]	E _{Vered} [lux]	G1 _v	E _{sc} [lux]	Observaciones
Sin Poda	2,88	0,27	0,34	50,5	0,19	0,10	22,6	23,8	0,21	16,9	No cumplen unif.
Con Poda	3,07	0,27	0,34	54,4	0,18	0,10	21,4	27,9	0,2	18,0	No cumplen unif.
Con farolas adicionales	3,22	0,49	0,40	56	0,3	0,2	25	30,4	0,4	20,3	Mejora general

A modo de ejemplo, se presentan los cálculos derivados de agregar esta instalación complementaria en la Avenida, en la siguiente tabla y figura 5.

Observando los resultados de Tabla 6 y la comparación de curvas isolux de Figura 5, es evidente la mejora de los resultados, en particular las uniformidades, llegando a los límites establecidos por las Normas, salvo la uniformidad longitudinal U_L y el grado de deslumbramiento TI% [por la inclusión de luminarias adicionales a baja altura].

6. Referencias Bibliográficas

(Endnotes)

[1] Kirschbaum, C.F., "Alumbrado", nota publicada en la sección Cartas al Director en el Diario La Gaceta, pag.5 de la edición del 25/02/2003, Tucumán, Argentina

[2] La Gaceta de S.M. de Tucumán, "Los árboles tapan cerca del 40%

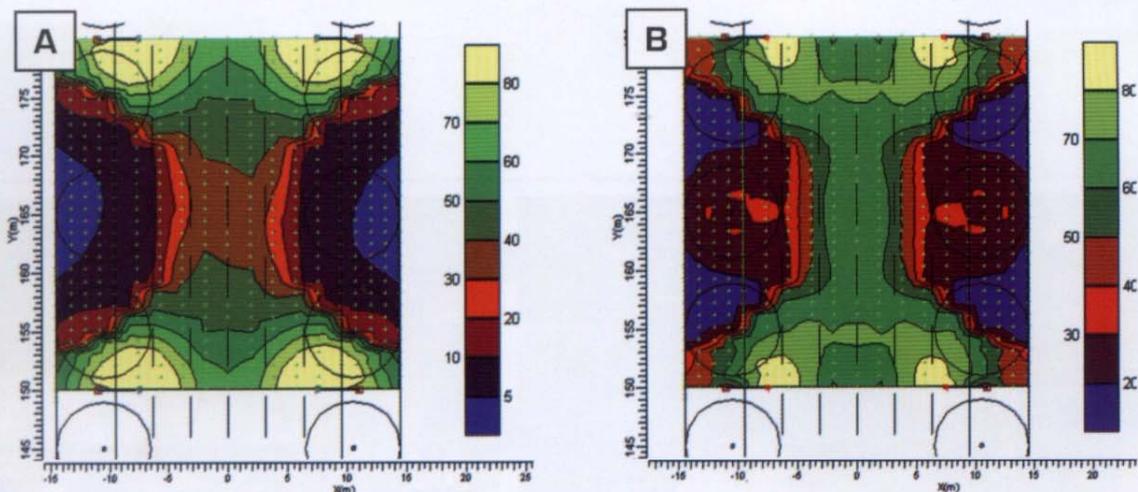


Figura 5.- a) Con poda, instalación actual;
b) con poda, con instalación complementaria de farolas

del alumbrado público", artículo publicado en la edición del 23/02/2003, pag.16, Tucumán, Argentina

[3] CIE (Comisión Internationale de L'Eclairage), Pub.Nº. CIE 92, "Guide to the Lighting of Urban Areas", Viena, Austria, 1992.

[4] Cabello A., Kantarovsky A, y Kirschbaum C., 2003. "Influencia

del Arbolado en el Alumbrado Público de San Miguel de Tucumán". Revista Energías Renovables y Medioambiente (ERMA) Vol.13, pp.9-14, editada por ASADES, Diciembre 2003, Buenos Aires, Argentina

[5] Mascaró L. R., 1993. "La Influencia del Recinto Urbano en la Iluminación Natural de los Edificios",

1ª Edición, pp.88-89. Facultad de Arquitectura -Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

[6] IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), "American National Standard Practice for Roadway Lighting", ANSI/IES RP-8, pp. 18-20, 1983, New York.