

# Aproximación a una metodología de diseño en Luminarias de Alumbrado Público mediante el uso de tecnología de Estado Sólido

**Pedro Galleguillos**

Fundación Chilena de Luminotecnia – Santiago, Chile – pgalleguillos@luminotecnia.org

**Eduardo Manzano**

Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión, Universidad Nacional de Tucumán-ILAV  
CONICET - San Miguel de Tucumán, Argentina - emanzano@herrera.unt.edu.ar

**Resumen** - El principal Objetivo de este trabajo es proponer una metodología de diseño de luminarias destinadas al uso en alumbrado público, que permita orientar el desarrollo de diseños eficientes, sustentables (responsables), y de bajo impacto utilizando tecnología LED. Basándose para ello en la recopilación de experiencia de diversos fabricantes de luminarias LED a nivel mundial. Esta recopilación, buscará analizar cómo es que los fabricantes de luminarias en el mundo resuelven la problemática actual generada por los constantes avances tecnológico-funcionales de los LED que emplean en sus diseños.

**Abstract:** The main objective of this work is propose a design methodology for public lighting luminaires, which allow the development of efficient designs, sustainable (responsible), and with low environmental impact using LED technology. Based on the experience compiled from many manufacturers of LED luminaires worldwide. This seek, will try to analyze how it is that luminaires manufacturers solves the current problematic for the constant technological-functional advances of sources LED in his designs.

**Palabras claves:** Diseño; iluminación LED; Alumbrado Público

## I. INTRODUCCION

Ha ya más de cincuenta años desde su invención en la década de los sesenta, la tecnología LED recién durante el transcurso de los últimos 15 años, ha experimentado un desarrollo exponencial en el ámbito de la iluminación, lo que hace suponer, que en el futuro será la principal tecnología utilizada a nivel mundial para la iluminación de espacios. Sin embargo, pese a los grandes avances evidenciados en los últimos

años, aún no es posible afirmar que esta tecnología haya alcanzado madurez, y muy por el contrario, aún está en pleno desarrollo.

La inserción de la tecnología LED en el mercado de la iluminación y su enorme crecimiento, está íntimamente relacionado con el aumento sostenido del valor de la energía a nivel mundial, lo que ha gatillado por un lado a la búsqueda y masificación de medios alternativos para la producción de energía; mientras que por otro lado, a generado la necesidad de encontrar medios que cada vez se ajusten de mejor manera a la premisa de: "conseguir más, por menos". Junto con ello, este fenómeno ha permitido insertar en la conciencia colectiva conceptos como: "Sustentabilidad", "Eficiencia", "Impacto Ambiental" y "Calentamiento Global" entre otros, los cuales han permitido a creativos encargados de marketing, elaborar ingeniosas campañas publicitarias para comercializar productos "tecnológicos" de las más variadas cualidades, prestaciones y calidades, lo que en definitiva, si sumamos, aporta poco o nada a la solución de la problemática inicial, y es así como se ha creado un paradigma que relaciona íntimamente al LED con eficiencia energética.

En el ámbito de la iluminación de espacios públicos, por años la tecnología de Descarga de Gases ha predominado debido a su gran capacidad en la producción de luz, a niveles aceptables de eficiencia. Sin embargo, los avances tecnológicos y la problemática enunciada anteriormente, hacen que cada vez más aumente la demanda por fabricar productos con mayor eficiencia, sumándose a la consideración de aspectos que anteriormente no eran tan relevantes, como la radiación de energía fuera del rango visible, las perdidas por absorción y/o reflexiones internas dentro del conjunto óptico de una luminaria y las características cromáticas

como la temperatura de color y la reproducción de colores. Estos avances, en la generalidad, van en desmedro de la utilización de iluminantes de tecnología convencional, y a favor de iluminantes de tecnología no convencional caracterizados principalmente como LED.

Son estos avances también, los que han llevado a numerosos fabricantes de luminarias a orientar todos sus esfuerzos en desarrollar equipos de iluminación a base de LED, y prácticamente desechar cualquier iniciativa de desarrollo de luminarias con tecnología convencional. En la actualidad, la oferta de productos destinados a la iluminación de espacios que utilizan iluminantes a base de tecnología LED, es bastante amplia ya que se ha vuelto una tecnología muy competitiva para cualquier necesidad de iluminación. Las características propias de funcionamiento y fabricación de los LED, han permitido que fabricantes de componentes electrónicos entren al mercado de fabricación de luminarias, ampliando la oferta y la variabilidad de productos. Con la tecnología convencional, los diseños de iluminación se debían adaptar a potencias estándar establecidas por los fabricantes de lámparas, los cuales podrían ajustarse a necesidades específicas mediante el uso de reguladores de flujo o reactancias con dos niveles de potencia; la tecnología LED tiene el potencial para desarrollar productos a la medida sin que esto signifique necesariamente un aumento excesivo en los costos, por lo cual es precisamente esta característica versátil, la que permite que existan diversos diseños y muy poca estandarización, lo que puede significar un problema serio en entidades gubernamentales, donde se debieran especificar equipos sin orientar dicha especificación hacia un producto determinado.

Sin embargo, pese a todos los avances, en la actualidad una de las principales barreras que debe vencer la tecnología LED, son sus altos costos. Siendo todavía este factor, uno de los

<sup>1</sup>, en Chile cerca del 12% de los gastos de los municipios se destina al alumbrado público, mientras que por otro lado, la tecnología LED propone ahorrar, cerca de un 30% de estos gastos.

#### A. Objetivo General

El principal Objetivo en el que se enmarca este trabajo de investigación, es proponer una metodología de diseño de luminarias destinadas al uso en alumbrado público, que permita orientar

mayores impedimentos para la implementación masiva de este sistema de iluminación, el cual, en todos los casos se estima que la inversión inicial puede ser recuperada al consumir menos energía, tener mayor vida útil y un muy bajo costo de mantenimiento en comparación a la tecnología convencional [53].

Por otro lado, los avances exponenciales que ha presentado el desarrollo de la tecnología LED, y que aún sigue presentando, no dejan de ser más que un simple problema para el diseñador, en la medida que en el transcurso en que se está desarrollando un producto específico, el fabricante del LED, pudo haber mejorado características de funcionamiento del diodo una o más veces, por lo cual, el desafío de desarrollar productos para este tipo de tecnología debe al menos contemplar este tipo de acontecimientos, con la finalidad de obtener equipos rentables y realmente funcionales. Junto con esto, y debido a que la tecnología LED ha demostrado el mayor potencial de desarrollo, y que sin duda, será la primordial tecnología de iluminación en el futuro cercano, es que existe en la actualidad, una tendencia mundial orientada en la "demonización" de tecnologías de iluminación de menor eficacia, llegando incluso a prohibir su comercialización y por consiguiente cancelando su fabricación y posible desarrollo para el ámbito de la iluminación.

El presente trabajo pretende presentar el plan de trabajo para el desarrollo de la tesis conducente al grado de Doctor en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (MAVILE), de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, y resume además algunos aspectos ya avanzados.

## II. OBJETIVOS

Se estima que una quinta parte de la demanda mundial en electricidad, se debe al uso en luz artificial

el desarrollo de diseños eficientes, sustentables (responsables), y de bajo impacto utilizando tecnología LED. Basándose para ello en la recopilación de experiencia de diversos fabricantes de luminarias LED a nivel mundial. Esta recopilación, buscará analizar cómo es que los fabricantes de luminarias en el mundo resuelven la problemática actual generada por los constantes avances tecnológico-funcionales de los LED que emplean en sus diseños.

#### B. Objetivos Específicos

-Identificar procesos de diseño de Luminarias con tecnología LED. Caracterizar componentes de Luminarias y de Fuentes LED, su relación funcional y formal, su materialidad y su obtención.

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico AIDO – España – Resultados Proyecto Detecilum <http://www.aido.es/rs/4165/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/456/fd/1/filename/resultados-estudio-detecilum.pdf>

-Desarrollar e implementar una propuesta metodológica de Diseño de Luminarias LED en empresas productivas, con el fin de aumentar su eficiencia.

-Evaluar y comparar la utilización y aplicabilidad de diversos software de asistencia en etapas de diseño y fabricación de componentes.

### III. MARCO GENERAL

En la actualidad, es posible identificar diferentes configuraciones o tipologías de LED aplicables en iluminación<sup>2</sup>:

- LED Discreto: corresponde a un diodo individual.

-Módulos LED: corresponde a varios LED individuales dispuestos sobre un circuito impreso. Pueden incluir otros componentes como disipadores de calor, sistemas ópticos, control electrónico, etc.

-Luminarias LED: Luminarias diseñadas especialmente para utilizar la tecnología LED como fuente de luz. En si misma podrá poseer un módulo LED, o estar formada por varios módulos LED.

-LED Retrofit: Sistemas integrados de LED, en formato de lámpara o bandeja para la sustitución directa de otras fuentes de luz, en luminarias diseñadas para utilizar tecnología convencional como fuente de luz.

El consumo de LED's discretos y módulos LED principalmente se da en fabricantes de luminarias que ensamblan estos componentes en armaduras y carcasas especialmente diseñadas para ello, es decir, es un mercado de productos intermedios, y en la mayoría de los casos, estos productos no llegan de manera individual al usuario final. Por otro lado, el mercado de la iluminación ha presenciado un exponencial aumento de fabricantes y distribuidores de luminarias LED, en todo el mundo. Antiguos fabricantes de circuitos eléctricos han visto una oportunidad de negocio muy tentativa en este rubro, animándose a desarrollar productos. No obstante, al igual que en el mercado de luminarias con fuente de luz convencional, aún es posible distinguir entre fabricante de la fuente de iluminación y un fabricante de luminarias, para este caso, el éxito de un producto dependerá principalmente de la estrecha relación y fluidez de información que debe existir entre fabricante de LED y fabricante de luminarias.

Existen numerosos fabricantes de luminarias que utilizan LED's individuales o módulos LED's en

sus diseños, no así, fabricantes de LED propiamente tal. Las empresas que se mencionan a continuación, son los principales fabricantes y proveedores de LED's individuales a nivel mundial:

- Brigdelux
- Cree
- Nichia
- Epistar
- Luxeon
- Osram
- Sedul

#### A. Problemas en Sistemas LED

Un aspecto característico de las luminarias LED, es su estilo innovativo, no importa si se trata de un diseño clásico, o un rediseño de una antigua farola de alumbrado público, los equipos con fuentes de luz LED, se aprecian como artefactos tecnológicos y de vanguardia, sin embargo, esta visión se puede destruir si es que no se toman las debidas precauciones en el diseño y ensamble de estos equipos. Equipos de mala factura y/o destinados a usos que no corresponden según su fabricación, implican de manera directa en una mala calidad de iluminación, instalaciones sin funcionar, etc.

##### a. Abuso de Retrofit

El negocio del recambio, reacondicionamiento de luminarias o actualización de sistemas de iluminación existentes intercambiando su fuente de luz convencional por una fuente LED, ha entrado con bastante fuerza en el mercado de la iluminación, sobre todo en aplicaciones de interior. Bajo este concepto se usa el término en inglés popularizado entre los diseñadores como "retrofit". Esta práctica, que si bien, en casos en que se estudia detenidamente las características de la luminaria a adaptar, y las condiciones de alojamiento que brindará al equipo LED retrofit, la solución puede convertirse en una mejora; en la mayoría de los casos, se utilizan retrofit genéricos en variadas instalaciones, sin estudiar las condiciones térmicas, fotométricas, e incluso eléctricas, obteniendo como resultado, parques mal iluminados, vecinos que demandan mayor cantidad de luz, cansancio visual en operarios, luminarias apagadas y mayor costo en mantenimiento.

Las aplicaciones de retrofit, son una consecuencia esperada dada la revolución tecnológica que ha significado la inserción de LED. En equipos de alumbrado público, los LED retrofit de buena facturación, integran un sistema de disipación y una electrónica sellada y aislada de su óptica (figura 3). Los problemas comunes en recambios para aplicaciones de alumbrado público, tienen que ver principalmente con la distribución luminosa, más que con los niveles de luz, y claramente denotan una carencia previa de

<sup>2</sup> Asociación Española de Fabricantes de Iluminación (ANFALUM) – Enero 2010 – ANFALUM Comunica n°12: Cómo seleccionar y comparar luminarias LED's para aplicaciones de Alumbrado Exterior

un estudio lumínico que prevea esta situación. Sin embargo, la tendencia con el aumento exponencial y sostenido que ha tenido la iluminación LED en todos los ámbitos de la iluminación, es que todos los nuevos desarrollos de productos se creen para LED's individuales y/o módulos LED's, razón por la cual, el objeto de este trabajo se orienta principalmente al estudio del desarrollo de nuevos equipos y no adaptaciones.

#### *b. Instalaciones Sustentables*

El gran potencial y eficacia con el que se abanderan los productos LED, ha impulsado el desarrollo de instalaciones "sustentables". Estas, aprovechando sistemas de generaciones eléctricas no convencionales y renovables, y el supuesto bajo consumo eléctrico de los LED, consiguiendo como resultado, artefactos de un elevado costo, que no presentan ninguna garantía de funcionamiento sostenido en el tiempo.

Este tipo de productos, parecieran ser la respuesta al problema de iluminación vial y pública en zonas rurales con poca integración, o de difícil acceso a canalización eléctrica. Sin embargo, el mantenimiento de estos equipos posee un factor crítico para su correcto desenvolvimiento, ya que pese a la autonomía eléctrica que pueden brindar estos equipos, y la larga vida útil de las fuentes LED, los acumuladores y/o baterías (necesarios para el funcionamiento del sistema), generalmente tienen una durabilidad máxima de dos a tres años requiriendo un mantenimiento periódico. Entonces, junto con la inversión inicial de los equipos, se debe contemplar un costo fijo en la manutención, todo lo cual en la suma genera grandes cifras de inversión que en muchos casos se vuelven valores inalcanzables para esas localidades.

#### *c. Costos de implementación versus rentabilización.*

Otro aspecto común de la oferta de equipos LED, es la promesa de durabilidad y reducción de los costes por mantenimiento, que de manera teórica se rentabiliza por los grandes ahorros en consumo eléctrico generados. Actualmente la oferta va entre 30.000 y 50.000 horas, por lo cual y tomando en consideración que existen fuentes de luz como Sodio de Alta Presión, con una durabilidad cercana a las 40.000h<sup>3</sup>, o algunas fuentes de mercurio halogenado que poseen una durabilidad que bordea las 25.000h<sup>4</sup>, los altos costos de la tecnología LED, lo hace menos competitivo. Y si a todo esto, le sumamos los avances exponenciales que ha sufrido la

tecnología LED, significa que una instalación que se negocia para durar por un periodo de tiempo de al menos 15 o 20 años, al 5º año podría estar obsoleta, agregando una variable de incertidumbre que se debe afrontar, desarrollando estrategias de diseño y comercialización que permitan afrontar estas debilidades.

A lo anterior, se suma que muchos equipos que inicialmente se comercializaban con una promesa de alta durabilidad, no fueron bien recibidos por los usuarios, pues se instalaron en reemplazo de antiguas luminarias con fuente de luz convencional, lo que directamente implicó en un cambio en la percepción del espacio de usuarios que pasaron de tener una vía de circulación uniforme con un bajo rendimiento de color, a tener vías con una iluminación muy poco uniforme pero con mejor rendimiento de color, cambiando la sensación espacial del entorno, generando zonas oscuras que antes no existían debido a lo altamente direccionales que son los LED.

#### *B. Manufactura de Luminarias*

Los fabricantes de prestigio, que han desarrollado productos considerando las limitaciones y ventajas actuales de la tecnología LED, cuentan en la actualidad con sistemas versátiles capaces de adaptarse a los futuros cambios, apostando al desarrollo de manera inteligente. Conceptos como "modularidad", "versatilidad", "integración" o "adaptabilidad", van a la vanguardia en las líneas de desarrollo de nuevos productos. Si bien, cada fabricante, posee un estilo propio, existe una tendencia por lograr equipos configurables a la medida de la necesidad.

En cuanto a la metodología, el principio secuencial es similar a la forma en que se abordan desarrollos de luminarias con fuentes de luz convencional, es decir, analizando los parámetros iniciales como, las variables del entorno sobre el cual se pretende trabajar, la factibilidad técnica analizando el estado del arte, las exigencias de los consumidores versus las capacidades productivas de la empresa; seguido de una fase conceptual en que se trazan líneas de la idea-objeto a realizar, definiendo las zonas de vinculación, alojamiento y emisión, su relación con la electrónica e idea del correcto funcionamiento del sistema LED; para continuar con la fase de diseño de detalles, para elaborar análisis de los subcomponentes como herrajes, sellos, bisagras etc., estudios de resistencia mecánica y térmica, análisis de la fabricación de los respectivos moldes, y análisis de funcionamiento (estudios lumínicos genéricos); para finalmente pasar a etapas de fabricación, producción y promoción, que incluirán la gestión y desarrollo de líneas de ensamble especializadas, la definición de puntos de control específicos en

<sup>3</sup> VIALOX SUPER NAV-T SUPER 6Y - OSRAM

<sup>4</sup> CMH STREETWISE LAMPS - GE

función del diseño, la elaboración de catálogos e instructivos de funcionamiento y su respectivo embalaje.

#### IV. HIPÓTESIS

El diseño de luminarias que utilizan tecnología LED como fuente de luz, ha implicado una revolución en los conceptos convencionales de diseño, lo cual no significa necesariamente que altere la dinámica convencional, pues los conceptos generales en la gestión y diseño de luminarias, siguen basándose en un sistema configurado por la conjunción de al menos tres zonas evidentes: vinculación al medio, alojamiento y emisión<sup>5</sup>. La revolución implícita en la adopción de la tecnología LED, tiene que ver con la gestión y diseño enfocadas principalmente a la zona de emisión y su relación con la zona de alojamiento, por lo cual, el equipo de diseño no solo debe preocuparse de una correcta orientación de la(s) fuente(s) LED a utilizar en términos de permitir obtener un correcto direccionamiento del haz de luz, sino que también, debe conjugar en su propuesta, aspectos que resguarden dicho funcionamiento, mediante la implementación de sistemas que permitan controlar la temperatura de los LED utilizados, y que además eviten traspaso de calor a los componentes electrónicos del sistema.

La diversidad de tipos de LED existentes, permiten la adopción de innumerables formas y diseños, lo cual, como se planteó anteriormente, puede suponer un problema en la medida que-a diferencia del diseño convencional- el diseño de una luminaria está íntimamente relacionado con el diseño propio del LED, es decir, si el fabricante del LED descontinua la fabricación de dicho modelo, puede atentar a la fabricación y producción de un modelo de luminaria determinado. La problemática, entonces, se manifiesta en la necesidad de crear diseños versátiles, capaces de adaptarse a futuros cambios de manera simple y eficiente.

Otra mirada a este problema, es analizarlo desde el punto de vista tradicional, en la actualidad, en un sistema de iluminación es aceptable un recambio de la fuente de luz al menos 4 a 5 veces durante su vida útil. Ante esto, la estandarización tecnológica ha permitido a las empresas de mantenimiento, cierta libertad en cuanto a la marca de los repuestos a utilizar, y en general el recambio implica una acción relativamente sencilla. Para el caso de los LED, existen en algunos modelos cierta incertidumbre, pues, no es del todo probable, que al momento de requerir mantenimiento existan en el mercado los

repuestos apropiados. Todo esto solo se puede entender, una vez que se tiene claridad respecto de todos los actores involucrados durante el ciclo de vida de una luminaria. En la figura 1, se gráfica de manera esquemática los actores involucrados en el ciclo anteriormente mencionado, explicándose, de esta manera, que en la generalidad quien diseña y fabrica, no es quien instala y en muchos casos, tampoco quien mantiene dicha instalación.

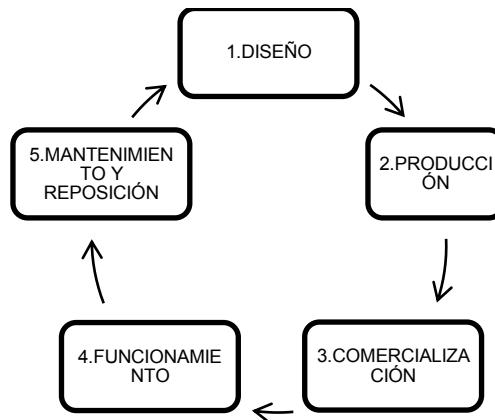


Figure 1

1. Diseño: Fabricantes de Luminarias
2. Producción: Fábrica de Componentes
3. Comercialización: Distribuidores, Importadores
4. Funcionamiento: Empresas Instaladoras
5. Mantenimiento y reposición: Empresas de mantenimiento, Fábrica de componentes, Fabricas de luminarias

Por lo tanto, la necesidad de buscar métodos de estandarización que permitan aumentar a vida útil del sistema de iluminación, se manifiesta como una realidad, que puede estar influenciada por la costumbre de operar con tecnología convencional, pero que de todas maneras, deberá definirse para poder optimizar los recursos que en el futuro cercano emplearemos para diseñar y fabricar equipos de iluminación.

#### V. ANÁLISIS DE NECESIDADES Y REQUERIMIENTOS

##### A. Condiciones de fabricación de Luminarias LED

La fabricación y comercialización de LED abarca un amplio espectro de aplicaciones, del cual, el segmento correspondiente a la iluminación de espacios abarca en la actualidad solo un 15% aproximado del total en comparación a otros segmentos como el de aplicaciones en dispositivos móviles (27%), aplicaciones como backlight TV/ Monitor (24%), señalización (11%), automotriz (9%), u otras (14%). Sin embargo, es un campo que aún posee un gran potencial de desarrollo, basándose principalmente en el rendimiento luminoso que se muestra en la

<sup>5</sup> Galleguillos, P., (2010) X Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2010

figura2 según las proyecciones del Departamento de Energía de Estados Unidos, lo cual hace suponer que será la tecnología de iluminación predominante en el corto plazo [56]



Figure 2

La cadena productiva de luminarias LED, en general se comporta de la siguiente manera: Como ya se mencionó, existen fabricantes de diodos LED para diversas funciones y con especificaciones distintas. Sin embargo, para el ámbito de la iluminación y pese a que se piense lo contrario, las características de sus productos siguen una línea bastante estándar que está determinada por la capacidad de los materiales empleados para producir Luz de manera eficaz bajo determinadas condiciones.

Estos “insumos”, se comercializan a fabricantes de módulos que en ocasiones también diseñan y fabrican sus propias luminarias, estos actores se encargan de ensamblar LED en placas PCB de diversos formatos y tipos, y es en esta etapa, donde se diversifican los productos, estos productos son comercializados a su vez como insumos a fabricantes de luminarias, quienes se encargan de ensamblarlos en artefactos especialmente diseñados para ello.

#### *B. Condiciones de funcionamiento de Luminarias LED*

Esto se basa principalmente en un análisis del entorno de destino. En el caso de las luminarias para Alumbrado Público, las condiciones pueden ser muy variadas y extremas dependiendo de las condiciones geográficas y climáticas de la zona, los tiempos de uso y por supuesto de su mantenimiento. Desde la perspectiva del diseño, una propuesta ideal es conseguir que un producto esté preparado para desempeñarse de manera óptima ante cualquier tipo de condición externa, sin embargo, en la práctica, atendiendo además de esto a factores como los recursos disponibles para la producción y fabricación, el diseño debe acotarse a un cierto rango de posibilidades específicas.

En términos generales, los productos desarrollados sobre la base de tecnología LED están sometidos a las mismas condiciones que cualquier otro tipo de tecnología de iluminación,

por lo cual, el análisis pasa por evaluar como es el comportamiento de esta tecnología en cada una de estas condiciones, y sobre esa base, desarrollar productos que permitan que las fuentes LED tengan un óptimo desempeño, como mecanismos herméticos o una correcta disipación de calor por ejemplo.

Así mismo, dentro de la definición de los parámetros de diseño, deberá considerarse aspectos normativos relativos a seguridad para el usuario e instaladores, y aspectos relativos a la calidad de la iluminación. Si bien, no en todos los países las regulaciones y exigencias tienen el mismo grado de rigurosidad, un buen diseño debe al menos considerar aspectos orientados a evitar daños en el propio producto y por supuesto en los usuarios, a través de análisis ergonómicos enfocados a las diversas etapas del ciclo de vida del producto descritas en la figura 1.

#### *C. Condiciones de diseño de Luminarias LED*

En general todos los aspectos relacionados con las necesidades y requerimientos de la tecnología LED, influirán en las condiciones de diseño de estas, ya que son los parámetros sobre los cuales se debe trabajar. Toda esta información debe conjugarse en base a un concepto formal (o estético) que asignará las características “arquitectónicas” o formales del producto

La forma del producto estará relegada a la función en mayor o menor proporción dependiente del tipo de aplicación de destino, y por supuesto de los aspectos anteriormente mencionados. En casos como la iluminación vial, los aspectos formales de una luminaria estarán, principalmente enfocados en la concepción de una forma que optimice lo máximo posible las prestaciones de la fuente de luz, minimizando las pérdidas de energía. En estos casos, podemos decir que el resultado formal desde un aspecto estético está relegada a la función, considerando además que las características de instalación comúnmente corresponden a vías de tránsito vehicular donde el principal objetivo es brindar las condiciones de seguridad y calidad visual mínimas para asegurar un desplazamiento seguro.

Por otro lado, en casos como la iluminación de parque y plazas, el desarrollo formal de la luminaria toma un mayor valor ya que, en muchos casos, estos artefactos adquieren una doble funcionalidad, esto es, proveer de iluminación durante las noches y participar como un elemento que otorgue y/o participe en la identidad arquitectónica del emplazamiento, por lo que pasan a ser productos en los que la forma y la función tienen una relevancia similar e incluso en algunos casos, podemos asumir ciertas perdidas de eficiencia lumínosa en pos de desarrollar luminarias que cumplan con los requerimientos formales del entorno.

La utilización de software de diseño asistido por computador (CAD), en etapas tempranas del diseño significa una gran ventaja para el éxito de un producto. Los alcances de la tecnología actual, permiten analizar casi todos los aspectos anteriormente planteados de manera analítica sin la necesidad de construir ningún prototipo tangible o físico. No obstante, el equipo de diseño debe comprender y respetar ciertos pasos metodológicos que les permitan desarrollar productos coherentes con los objetivos del diseño, integrando un análisis multidisciplinario que abarque aspectos sumamente técnicos, aspectos comerciales y de marketing y por supuesto formales.

## **VI. CARACTERIZACION DE LOS COMPONENTES DE LA FUENTE EMISORA**

Para la caracterización de estos componentes, se deberá ejecutar un análisis individual de los elementos que conforman a la fuente, sus criterios de selección de materiales, sus procesos de obtención, y su manipulación e instalación.

Las fuentes LED, como su nombre lo indica, son diodos emisores de luz, mediante un proceso de recombinación de electrones, producida por el paso de energía eléctrica desde un material semiconductor del tipo N (con exceso de electrones o carga negativa), hacia uno del tipo P (con ausencia de electrones o carga positiva). El color percibido de la luz emitida por un LED depende del tipo de material utilizado en su fabricación. Sus primeros desarrollos industriales se orientaron a la utilización en dispositivos como electrodomésticos para aplicaciones de indicación o de funcionamiento del aparato ya que la cantidad de luz que eran capaces de producir no era la suficiente para satisfacer necesidades de iluminación, y estaba por muy lejos de competir con tecnologías como la incandescente o de descarga.

Con la invención de LED de color azul, la revolución de esta tecnología se intensificó y comenzó un exponencial crecimiento abarcando múltiples segmentos, entre ellos el campo de la iluminación.

### *A. Principio de emisión de luz blanca*

Actualmente, el principal método para la producción de LED es a través de un revestimiento de distintos tipos fosforo, que transforma la emisión espectral moviéndola desde el sector UV cercano y azul del espectro hacia la zona amarilla del espectro visible, generando así la sensación de luz blanca. Distintas tonalidades de luz blanca pueden conseguirse, utilizando distintos tipos de fósforos, otorgándole a las fuentes LED un amplio grado de variabilidad.

### *B. Principio de distribución de la luz*

Otro aspecto trascendental de la tecnología LED, es el buen control de la luz que es emitida. A diferencia de la gran mayoría de diseños de conjuntos ópticos en luminarias desarrolladas para tecnologías convencionales, en que el principal principio de distribución espacial de la luz se basó en el fenómeno de reflexión; El desarrollo de sistemas ópticos para la distribución de la luz en el espacio para la tecnología LED se basa principalmente en el principio de refracción a través de lentes dispuestos por delante de la fuente emisora, permitiendo así tener un control total de la luz emitida.

Esto explica también que los nuevos proyectos de iluminación se especifiquen con menor cantidad de luz emitida por las fuentes empleadas, ya que el factor de utilización luminarias que utilizan estas fuentes es mayor que el de luminarias que utilizan fuentes de tecnología convencional, en otras palabras, el haz luminoso puede ser dirigido hacia donde se necesita de manera específica, mejorando el rendimiento y eficiencia de los proyectos.

### *C. Manipulación y producción*

Los procesos productivos en la fabricación de luminarias, también se han revolucionado con la entrada de esta tecnología. El desarrollo tradicional de luminarias se basó en la utilización de elementos con características estandarizadas, que de alguna manera parametrizaron algunos aspectos de las zonas de emisión de estos artefactos. La tecnología LED permite que de manera viable, los fabricantes desarrollen módulos a la medida de sus diseños, acorde a requerimientos específicos y variados. Esta gran diversificación ha generado muchos beneficios y problemas a la vez, ya que la baja estandarización ha complicado las labores de selección de productos ya que las comparaciones no pueden realizarse de la manera tradicional, es decir, comparando dos luminarias que utilizan la misma potencia de lámpara por ejemplo. Las nuevas comparaciones requieren que los actores involucrados tengan más conocimientos luminotécnicos, y esa carencia en algunos casos ha dado pie para el desarrollo de falsas ideas y expectativas de la tecnología LED.

## **VII. CONCLUSIONES E IMPLEMENTACIÓN**

Posterior a todo análisis, la propuesta metodológica a desarrollar deberá ser implementada a fin de evaluar su eficiencia y práctica en términos de la relación costo versus beneficio considerando aspectos relacionados a todo el ciclo de vida de la luminaria.

La inserción de la tecnología LED como fuentes de iluminación, ha generado un mercado muy disperso y una amplia gama de productos de diversos estándares. El desarrollo tecnológico de

este tipo de fuentes debe ir de la mano con el desarrollo de nuevas metodologías de diseño que permitan sacar el mejor provecho funcional. En el caso específico del alumbrado público, un correcto análisis deberá considerar aspectos que distan bastante de las condiciones típicas de laboratorio, como las variables ambientales del entorno, condiciones de instalación eléctrica inestables y el aporte formal y funcional que el diseño entrega tanto en la vinculación de estos artefactos con el entorno, así como en el correcto funcionamiento de la misma.

Algunos trabajos analizados orientados a establecer métodos de diseño, se enfocan en el desarrollo de fuentes específicamente. Si bien, este trabajo pretende abordar este campo también, el enfoque principal se orientará al desarrollo metodológico de artefactos de iluminación que vayan de la mano con el desarrollo de la tecnología LED, potenciando un desempeño óptimo en aplicaciones destinadas a la iluminación de espacios públicos.

## VIII. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Tucumán, proyecto PIUNT E523, al CONICET y a Aladdin Lighting SPA. Por el apoyo en la realización de este trabajo.

## IX. REFERENCIAS

- [1] CIE 31:1976 – Glare and Uniformity in RoadLighting Installations
- [2] CIE 32:1977 – Lighting in Situations Requiring Special Treatment (in Road Lighting)
- [3] CIE 33:1977 – Depreciation of Installation and their Maintenance (in Road Lighting)
- [4] CIE 34:1977 – Road Lighting Lantern and Installation Data: Photometrics, Classification and Performance
- [5] CIE 47:1979 – Road Lighting for Wet Conditions
- [6] CIE 53:1982 – Methods of Characterizing the Performance of Radiometers and Photometers
- [7] CIE 66:1984 – Road Surfaces and Lighting (Joint Technical Report CIE/PIARC)
- [8] CIE 70:1987 – The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions
- [9] CIE 79:1988 – A Guide for the Design of Road Traffic Lights
- [10] CIE 84:1989 – Measurement of Luminous Flux
- [11] CIE 93:1992 – Road Lighting as an Accident Countermeasure
- [12] CIE 102:1993 – Recommended File Format for Electronic Transfer of Luminaire Photometric Data
- [13] CIE 115:2010 – (2nd edition): Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic
- [14] CIE 121:1996 – The Photometry and Goniophotometry of Luminaires
- [15] CIE 126:1997 – Guidelines for Minimizing Sky Glow
- [16] CIE 127:2007 – Measurement of LEDs
- [17] CIE 132:1999 – Design Methods for Lighting of Roads
- [18] CIE 136:2000 – Guide to the Lighting of Urban Areas
- [19] CIE 140:2000 – Road Lighting Calculations
- [20] CIE 194:2011 – On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting
- [21] ISO 23539:2005(E)/CIE S 010/E:2004 – Joint ISO/CIE Standard: Photometry – The CIE System of Physical Photometry
- [22] X019:2001 – Proceedings of Three CIE Workshops on Criteria for Road Lighting
- [23] X023:2002 – Proceedings of two CIE Workshops on Photometric Measurement Systems for Road Lighting Installations (Liege, France 1994, Poitiers, France 1996)
- [24] IES LM 58-13 – IES Approved Method for Photometric Measurement of Roadway and Street Lighting Installations
- [25] IES LM 79-08 – IES Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products
- [26] ANSI / IESNA RP 8-00 (R2005) – American National Standard Practice for Roadway Lighting (ANSI Approved)
- [27] IES LM 80-08 – IESNA Approved Method for Lumen Maintenance Testing of LED Light Sources
- [28] IES TM 15-11 – Luminaire Classification System for Outdoor Luminaires
- [29] IES HB 10-11 – The IES Lighting Handbook, Tenth Edition
- [30] Superintendencia de Electricidad y Combustibles de Chile (SEC) – Proyecto de Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Trafico Vehicular - [https://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CDYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.sec.cl%2Fdocs%2FConsulta\\_reglemento.doc&ei=Yn1WU8DTMMK3sATCx4CQB&usg=AFQjCNF9LGf\\_kdc-FahyhWdVmfoiLG-Aw&sig2=Ik6J5aw2llupQk--715WCQ&bvm=bv.65177938,d.cWc](https://www.google.cl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CDYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.sec.cl%2Fdocs%2FConsulta_reglemento.doc&ei=Yn1WU8DTMMK3sATCx4CQB&usg=AFQjCNF9LGf_kdc-FahyhWdVmfoiLG-Aw&sig2=Ik6J5aw2llupQk--715WCQ&bvm=bv.65177938,d.cWc)
- [31] Superintendencia de Electricidad y Combustibles de Chile (SEC) – NSEG 9 En 71. Alumbrado Público en Sectores Urbanos – Norma para diseño de Alumbrado Público en sectores urbanos
- [32] Instituto Argentino de Normalización – Agosto 1996 – Norma IRAM-AADL J 2022-1 – Alumbrado Público, Luminarias, Clasificación Fotométrica
- [33] Instituto Argentino de Normalización – Septiembre 1995 – Norma IRAM-AADL J 2022-2 – Alumbrado Público, Vías de tránsito, Clasificación y niveles de iluminación
- [34] Instituto Tecnológico AIDO – España – Resultados Proyecto Deteceilum <http://www.aido.es/rs/4165/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/456/fd/1/filename/resultados-estudio-deteceilum.pdf>
- [35] Javier Elizalde, Director General ICM SALVI S.L., España – 2012 – LEDs sí, o LEDs no – XI Congreso Iberoamericano de Iluminación LuxAmerica 2012
- [36] Tania Gomez, Jairo Sacipa, Colombia – 2012 – Estado del Arte de la Iluminación Pública con tecnología LED – XI Congreso Iberoamericano de Iluminación LuxAmerica 2012
- [37] Paula Acuña, Jesús Quintero, Estrella Parra – 2012 – Performance of LED based Street lighting – XI Congreso Iberoamericano de Iluminación LuxAmerica 2012
- [38] Pedro Galleguillos – 2010 – Diseño de luminarias de Alumbrado Público – X Congreso Iberoamericano de Iluminación LuxAmerica 2010
- [39] Asociación Española de Fabricantes de Iluminación (ANFALUM) – Enero 2010 – ANFALUM Comunica nº12: Cómo seleccionar y comparar luminarias LED's para aplicaciones de Alumbrado Exterior

- [40] Iluminet, Revista online de iluminación – Iluminación Urbana – http://www.iluminet.com/category/urbana/
- [41] LED's Magazine, news (online) – http://www.ledsmagazine.com/news.html
- [42] Bridgelux, Vero Series - Application Notes AN30, Thermal Management for Bridgelux Vero LED Arrays – http://www.bridgelux.com/wp-content/uploads/2013/10/AN30-Thermal-Management-of-Vero-LED-Modules.pdf
- [43] Bridgelux, Vero Series - Application Notes AN31, Handing and Assembly of Bridgelux Vero LED Arrays – http://www.bridgelux.com/wp-content/uploads/2013/10/AN31-Handling-and-Assembly-of-Vero-LED-modules.pdf
- [44] Bridgelux, Vero Series - Application Notes AN32, Electrical Drive Considerations for Bridgelux Vero LED Arrays – http://www.bridgelux.com/wp-content/uploads/2013/10/AN32-Vero-Series-Electrical-Drive-Considerations.pdf
- [45] Bridgelux, Vero Series - Application Notes AN36, Optical Considerations for Bridgelux Vero LED Arrays – http://www.bridgelux.com/wp-content/uploads/2013/10/AN36-Optical-Consideration-for-Bridgelux-Vero-Arrays.pdf
- [46] Cree Inc. LED Chip – Chips Application Notes EZBright LED Handling and Packaging – http://www.cree.com/~/media/Files/Cree/Chips%20and%20Material/Application%20Notes%20Chips/PR3AN04.pdf
- [47] Cree Inc. LED Chip – Chips Application Notes Xbright an XThin AuSn Die Attachment Recommendations – http://www.cree.com/~/media/Files/Cree/Chips%20and%20Material/Application%20Notes%20Chips/PR3AN01.pdf
- [48] Cree Inc. LED Chip – Chips Application Notes Xthin Sn Die Attachment Recommendations – http://www.cree.com/~/media/Files/Cree/Chips%20and%20Material/Application%20Notes%20Chips/PR3AN02.pdf
- [49] Cree Inc. XLamp LED – Application Notes, LED Luminaire Design Guide – http://www.cree.com/~/media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/LED\_Luminaire\_Design\_Guide.pdf
- [50] Cree Inc. XLamp LED – Application Notes, XLamp Thermal Management – http://www.cree.com/~/media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLampThermalManagement.pdf
- [51] Cree Inc. XLamp LED – Application Notes, XLamp XB-D and XT-E LED Optical Design Considerations – http://www.cree.com/~/media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLamp\_XBD\_XTE\_Optical\_Design.pdf
- [52] Siddha Pimputkar, James S. Speck, Steven P. DenBaars, Shuji Nakamura -2009- Prospects for LED lighting
- [53] Heng Wu, Xianmin Zhang, Peng Ge – 2014 – Design method of a light-emitting diode front fog lamp based on a freeform reflector
- [54] Fei Chen, Kai Wang, Zong Qin, Dan Wu, Xiaobing Luo, Sheng Liu – 2010 – Design method of high-efficient LED headlamp lens – Optical Society of America
- [55] Manzano E. Manzano C. (2013) Eficiencia y valoración económica de la luz blanca (LED, CMD, inducción, plasma) en iluminación urbana. Luminotecnia 116 marzo Abril. Pag. 43 a 48. 2013. ISSN 0325 2558.
- [56] Energy Efficiency & Renewable Energy of U.S. Department of Energy. http://energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy