

XIII Jornadas Argentinas de Luminotecnia

"Iluminando para el Desarrollo Sostenible"



LUZ 2017

Libro de Resúmenes

9 y 10 de Noviembre 2017 Los Reyunos, San Rafael (Mza)

ISBN 978-987-1896-83-7



Información Editorial

Coordinación General Ing. Nestor Valdés: nestorgerardovaldes@yahoo.com.ar
 Ing. Lucas Pietrelli: lpietrelli@frsr.utn.edu.ar
 Ing. Javier Membrives: javier.membrives@gmail.com
 Arq. Gabriel Amato: gabyamato@gmail.com
 Arq. Cecilio Pérez: cpar65@gmail.com
 Juan Pablo Martín: jp19_martin@hotmail.com
 Sofía Arzadún: arzadunsofia@gmail.com

Diseño y Publicaciones Lic. María Jimena Lloret: jlloret.frsr@gmail.com

Relaciones Institucionales Ing. Mariano Moreno: ing_electroar@yahoo.com.ar
 Tec. Robinson Julián: robinsonajulian@gmail.com

Comité Organizador Ing. Mario Reitelli (UNT - AADL)
 Dr. Ing. Eduardo Manzano (UNT - AADL)
 Dr. Ing. Leonardo Assaf (UNT - AADL)
 Ing. Luis Boccaccini (UTN)
 Dra. Lic. Andrea Pattini (CONICET - AADL)
 Ing. Fernando Deco (ADL)
 Dr. Carlos Kirschbaum (UNT)
 Lic. Pedro Sanhuesa (Of. de Protección de los Cielos de Chile)
 Dr. Elvio Burini Jr. (Universidad de San Pablo – Brasil)
 Ing. Fernando Herrera León (Univ. Nac. de Colombia)
 Ing. Luis Smith (AADL)
 Ing. Juan Pizzani (AADL)
 Ing. Hugo Allegue (AADL)
 Ing. Rubén Sanchez (AADL)
 Ing. Javier Tortone (AADL)
 Ing. Ricardo Casañas (AADL)
 Ing. Rubén Sánchez Presidente de la AADL

Libro de Resúmenes de la XIII Jornadas Argentinas de Luminotecnia / Raúl Ajmat
 ... [et al.] ; coordinación general de Nestor Valdez ; editado por Jimena Lloret.
 - 1ª ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2017.
 Libro digital, PDF/A

Archivo Digital: online
 ISBN 978-987-1896-83-7

1. Iluminación. 2. Energía. 3. Jornadas. I. Ajmat, Raúl II. Valdez, Nestor , coord. III. Lloret, Jimena, ed.
 CDD 621.32

San Rafael (Mza), Noviembre de 2017.

La Comisión Organizadora del Luz 2017, integrada en forma conjunta por el Centro Regional Cuyo de la Asociación Argentina de Luminotecnia (CRC-AADL) y la Facultad Regional San Rafael, de la Universidad Tecnológica Nacional, tienen el agrado de recibir a todos los participantes de éstas XIII Jornadas Argentinas de Luminotecnia, las mismas son organizadas por la Asociación Argentina de Luminotecnia desde el año 1967 y son un ámbito de debate y actualización de los últimos desarrollos y tendencias en la iluminación interior, arquitectónica, urbana, deportiva, natural, escénica, luz y color, eficiencia energética, etc.

En esta oportunidad las Jornadas se desarrollarán bajo el lema *"Iluminando para el desarrollo sostenible"*. Las mismas consistirán en el desarrollo de conferencias, presentación de trabajos en las modalidades oral y poster y charlas técnicas. Las áreas temáticas dispuestas para la presentación de trabajos este año son: Factores Humanos, Diseño de Iluminación, Alumbrado Natural, Enseñanza en Iluminación, Eficiencia Energética, Sistemas de Control, Visión, Fotometría y Radiometría, Nuevas Tecnologías de Iluminación y Gestión y Explotación de Sistemas de Iluminación.

Las XIII Jornadas Argentinas de Luminotecnia, a desarrollarse los días 9 y 10 de Noviembre del corriente año, en la ciudad de San Rafael, provincia de Mendoza, en las instalaciones del Centro Tecnológico de Desarrollo Regional "Los Reyunos" (CTDR) de la Universidad Tecnológica Nacional, un lugar elegido por la naturaleza acorde al lema de las jornadas.

No puedo dejar de mencionar que la Asociación Argentina de Luminotecnia nació en el seno de la Universidad Nacional de Tucumán, hace ya cincuenta años y fueron sus profesionales, liderados por el Ing. Herberto Carlos Bühler, los que impulsaron la Luminotecnia y le dieron vida a la asociación y aún hoy siguen siendo puntal fundamental del desarrollo tecnológico en el país.

Las Jornadas que vamos a vivir, se realizan por primera vez en la provincia de Mendoza y es San Rafael el lugar elegido para su concreción, debo en éste momento agradecer a las autoridades nacionales de la Asociación que confiaron en nuestra Regional y debo agradecer profundamente a la UTN FR San Rafael que ha hecho un aporte excepcional, tanto material como de sus profesionales y alumnos que han desarrollado una ardua e incansable tarea de apoyo aportando ideas innovadoras y audaces. También debo agradecer al Colegio de Arquitectos de Mendoza, al Centro de Ingenieros, al Municipio de San Rafael, al Ente Provincial Regulador Eléctrico y al Ente Provincial de Turismo, que no dudaron en sumarse para contribuir al logro de éstas Jornadas.

Esperamos que las mismas resulten de vuestro interés, lo que no tengo dudas, porque los trabajos que se presentarán son de una calidad superlativa, los profesionales, realizadores de los mismos, son todos de primer nivel y los disertantes elegidos.

Néstor Gerardo Valdés
Presidente Regional Mendoza
Asociación Argentina de Luminotecnia

Índice de Trabajos

Página

Alumbrado Natural

Huso Horario, Cambio de Uso Horario Estacional y Uso de la Luz Natural para Iluminar. <i>Andrea Pattini - Juan. M. Monteoliva</i>	6
Nuevos Indicadores Dinámicos para la Evaluación de la Luz Natural Sobre Superficies Verticales y Combinadas en Espacios interiores. <i>Juan Manuel Monteoliva - Andrea Elvira Pattini</i>	11
Propiedades Ópticas e Indicadores energéticos Utilizados para la Caracterización de Sistemas de Control Solar. Caso de Estudio, Cortinas Textiles Interiores. <i>Ayelén Villalba - Andrea Pattini</i>	15

Diseño de Iluminación

Aproximación a una metodología de diseño en Luminarias de Alumbrado Público mediante el uso de tecnología de Estado Sólido. <i>Pedro Galleguillos - Eduardo Manzano</i>	20
Elevación de Temperatura en Luminarias con Tubos LED. <i>Elvo Calixto Burini Jr. - José Carlos Melero - Mario Raitelli</i>	29
Evaluación Subjetiva de Espacios Interiores Residenciales Iluminados con Lámparas de Diferentes Tecnologías. <i>Nano Ovando - Carlos Kirschbaum</i>	33
Iluminación del Palacio de Justicia de la ciudad de San Miguel de Tucumán. <i>Eduardo Manzano - Beatriz O'Donell - Mario Raitelli - Luis Del Negro - Marcelo De Nobrega - Martín Caldelari</i>	38

Eficiencia Energética

Caracterización de Indicadores de Eficiencia Energética y Fotométrica de Luminarias LEDs. <i>Sophia Heredia - Alberto Cabello - Mario Raitelli</i>	45
Efectos del recambio de Luminarias LEDs en una Red Eléctrica en Baja Tensión. <i>Denis Riquelme - Gonzalo Espínola - Javier Eguren</i>	51
Eficiencia Energética en Alumbrado Público. <i>Denis Riquelme</i>	55
Eficiencia Energética en Reconversiones LED del Alumbrado Público. <i>Pablo Ixgaina - Braian Bannert - Nicolás Bufo</i>	59

Enseñanza en Iluminación

Iluminación paisajística, una Experiencia a distancia. <i>Marta Gomez</i>	64
--	----

Factores Humanos

Ergonomía Verde: Factores Humanos en la Iluminación Natural Sustentable. <i>Roberto G. Rodriguez - Cecilia Lasagno - Juan M. Monteoliva - Julieta Y. Garretón - Andrea Pattini</i>	70
---	----

Fotometría y Radiometría

Análisis de la Emisión de Radiación Ultravioleta de Fuentes y Luminarias de Interiores. <i>Mario Raitelli - Daniel Vazquez Molini</i>	76
--	----

Nuevas Tecnologías en Iluminación

Comparación Interlaboratorial: Colombia - Brasil - Argentina. <i>Elvo Calixto Burini Jr. - Leonardo Assaf - Eduardo Manzano - Fernanro Herrera León</i>	83
Evaluación y Caracterización de Luminarias para Tareas Visuales de Alta Exigencia. <i>Denis Riquelme - Franz Yurjevic Perin</i>	88
Luminarias LEDs para Iluminación Vial, Criterios de Calidad y Mantenimiento. <i>Eduado Manzano</i>	93
Polución Lumínica. Luminarias no contaminantes para el norte de Chile. <i>Pedro Sanhuesa - Pablo Ixtaina</i>	101
Proyección del Uso de Tecnología Led/SSL y su Impacto en el consumo de Energía en los Circuitos de Iluminación de la República Argentina. <i>Leonardo O. Assaf - Miguel Estevez</i>	105
Tubos LED aplicados a la Iluminación del tunel subfluvial Uranga Silvestre Begnis. <i>Mónica Krenz - Agustín Chort - José Luis Frund - Arturo Casano - Favio Vincitorio</i>	109
Una Nueva Metodología de Selección y Diseño de la Distribución Espectral de Fuentes para la Adecuada Exhibición y preservación de Obras de Arte en Museos. <i>Fernando Arana Sema - Raúl Ajmat - Jose Sandoval - Jaume Pujol Ramo</i>	115



Alumbrado Natural

Huso horario, cambio de huso horario estacional y uso de la luz natural para iluminar.

Andrea Pattini, Juan Manuel Monteoliva

Iluminación Natural Sustentable – Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)-CCT
CONICET Mendoza – Argentina – apattini@mendoza.conicet.gob.

Resumen: La luz natural en el hábitat ha tomado hoy un valor positivo desde varios aspectos que incluyen el ahorro energético y el bienestar de las personas. Desde el diseño y habitabilidad de los espacios, los expertos consideran a la iluminación natural como un redescubrimiento. Para aprovechar la luz natural como iluminación de espacios, nuestro hábitat debe responder a los criterios y estrategias de diseño de iluminación natural. Esto tiene un impacto posible en el ahorro de energía que se consume para iluminar, particularmente en edificios con requerimiento de valores de luz interior altos (aulas, oficinas) y de uso diurno. Por otra parte, el horario de uso de estos espacios responde, por ejemplo, en el caso de aulas, al calendario escolar que cada año fijan las instituciones de enseñanza. Aquí es donde comienza a tener un impacto considerable las diferencias entre la "hora oficial", "la hora solar" y el "cambio de hora estacional" que cada país y región establecen. En este trabajo se analiza la diferencia entre la hora oficial y la hora solar para Mendoza y su impacto en la potencialidad de ahorrar energía en iluminación en aulas. Se expone la importancia del uso horario en relación con la hora solar.

Palabras claves: husos horarios, energía, iluminación natural.

Abstract: Daylighting buildings has taken a positive value today from several aspects that include the energy saving and the human well-being. From the design and habitability of spaces, experts consider natural lighting as a rediscovery. To take advantage of natural light as space lighting, our habitat must respond to daylight criteria and strategies. This has a possible impact on the energy savings that are consumed to light, particularly in buildings requiring high interior light values (classrooms, offices) and daytime use. On the other hand, the hours of use of these spaces respond, for example, in the case of classrooms, to the school calendar that each year set the educational institutions. This is where the differences between the "official time", "solar time" and the "daylighting saving time" that each country

and region begins to have a considerable impact. In this paper we analyze the difference between the official time and the solar time for Mendoza and its impact on the potential to save energy in classroom lighting. It explains the importance of "official time" use in relation to "solar time".

Palabras claves: time zones, energy, daylighting.

I. INTRODUCCION

En la producción del hábitat hoy el ahorro de energías fósiles y el uso de energías renovables es promovido desde distintos áreas del desarrollo social y tecnológico; como la economía, el diseño, la ingeniería y la salud. Si tendemos a modificar las ciudades y viviendas en este sentido, podemos decir que la infraestructura del hábitat estará lista para implementar en forma directa dos de los 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS- el objetivo 7: Energía Asequible y No contaminante, y el 11 Ciudades y Comunidades Sostenibles) y otros en forma indirecta (como lo son el 13: Acción por el clima, 3: Salud y bienestar entre otros). [1].

Actualmente, en la Argentina diversos sectores se han focalizado en lograr ciudades sostenibles tal como se explica anteriormente. Existe una capacidad en el sector científico-técnico nacional para aportar en ese sentido y se están haciendo los esfuerzos para aportar en la actualización profesional de los actores involucrados en la producción y gerenciamiento del hábitat. Por otra parte, se ha iniciado en el país el proceso de certificación energética del sector, como ejemplo la formulación de la norma IRAM 11507-6 Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 6: Etiquetado energético de ventanas.

Por un lado el diseño, materiales y tecnología de las ciudades y viviendas, por otro las normas y regulaciones energéticas dan un marco promisorio para el cambio, junto con los procesos de educación iniciados en el sentido de la sustentabilidad del hábitat y sus habitantes. Pero existe otro aspecto que debe ser al menos discutido en profundidad para acordar su

implementación, este aspecto es la adecuación de la "hora oficial" a la "hora solar".

II. HORA OFICIAL- HORA SOLAR EN EL MUNDO Y EN LA ARGENTINA.

Desde el comienzo de la historia de la humanidad, todas las civilizaciones intentaron establecer el paso del tiempo mediante la medición de la duración del día. El paso del sol a través del cielo desde el amanecer hasta el anochecer fue utilizado como una unidad de tiempo. Los cálculos y graficaciones de las sombras dieron origen a los primeros relojes solares, que además de indicar la duración del día, indican las estaciones del año a través de la protección geométrica de la trayectoria solar. Los primeros relojes públicos se ajustaban con la observación local del mediodía solar. Debido a la excentricidad de la órbita terrestre y a la inclinación de su eje, la hora local del mediodía solar y del día siguiente puede ser más o menos de 24 horas, dependiendo del día del año. La diferencia entre la "hora solar" y la "hora reloj u oficial", denominada ecuación del tiempo, fue originalmente calculada en 1670 por John Flamsteed. Dada la regularidad del reloj y la irregularidad del período solar observado, un reloj perfectamente ajustado debe ser regulado cada día al mediodía. Para evitar esto, ciudades y vecindarios comenzaron a graduar relojes en base a la hora promedio: el largo del día medio es definido como el promedio de la duración del día de todo el año. La "hora promedio" (cuyas siglas en inglés son MST: mean solar time) fue el primer ajuste artificial hecho al tiempo natural del sol. La hora promedio fue instituida por primera vez en Ginebra, Suiza en 1780, permitiendo sincronizar el tiempo a la población a lo largo de la ciudad o la región. La utilización, promovida por las comunicaciones en tren, estandarizada para una zona horaria importante fue el segundo ajuste artificial a la hora solar natural, denominada hora ferrocarril, pero comenzó a difundirse como "hora estándar". Eventualmente los ferrocarriles de todos los países, siguiendo el ejemplo británico de establecer una hora estándar, usualmente basada en la hora promedio de su país en relación al primer meridiano Inglés ubicado en Greenwich.

Por otra parte, en América del Norte, la definición de hora, debió ser considerada para evitar confusiones en el uso del ferrocarril del Atlántico al Pacífico, definiéndose en 1869 un sistema de Hora Nacional de cuatro husos horarios para el país: Hora del Este, Hora Central, Hora Montañas y Hora del Pacífico.

En 1884, en la Conferencia Internacional de Meridianos en Washington, USA, se estableció el Sistema Internacional de

Husos Horarios. De esa manera se establecieron los "Greenwich Mean Time" (GMT) astronómicos. Fue a partir de esa convención que cada país adoptó su Hora Oficial estándar (OH) en relación

con el meridiano solar del lugar, teniendo en cuenta su ubicación geográfica, sus usos y costumbres, y a partir de allí se fijaron los horarios para el desarrollo de las actividades económicas haciendo el mejor aprovechamiento de la luz solar y también permitiendo organizar el descanso y el tiempo libre.

Actualmente la denominación es UTC (Universal Time Coordinated). La hora GMT al estar basada en la posición del Sol, comienza a contarse a partir del mediodía mientras que la hora Al Tiempo Universal Coordinado, también se le conoce más comúnmente como "Tiempo Civil" u "Hora Civil". Es medida con reloj atómico. UTC y GMT, ambas horas coinciden, lo único que varía es la denominación am o pm (antes del mediodía o pasado el mediodía) para el caso de la hora GMT.

III. LA PROBLEMÁTICA DE LA HORA OFICIAL ARGENTINA.

En 1920 la República Argentina adhirió al Sistema Internacional de los Husos Horarios; fijándose el huso 4 horas al Oeste de Greenwich (o bien UTC-4) que tiene como meridiano central al de 60° Oeste y se extiende entre los meridianos de 52°30' y 67°30' Oeste respectivamente. Desde esa fecha hasta la actualidad se han realizado 55 cambios de la hora oficial, variándose desde el huso -4 al huso horario -2.

Diez años después, en 1930, Argentina comienza a adoptar la "hora de verano", adelantando la hora oficial durante el período estival para aprovechar mejor la luz solar; la cual siguió implementándose con algunas intermitencias hasta el año 1969. En 1974 se realiza un cambio de horario en verano, partiendo del ya modificado en veranos anteriores que no se había corregido; del GMT-4 a GMT-3.

Asimismo durante el período 1988-1992 se cambia nuevamente el horario de verano a GMT-2 partiendo nuevamente del horario no corregido de GMT-3. Finalmente en 1999, la Ley 25.155 estableció al Huso Horario GMT-4, con cambio a GMT-3 desde octubre hasta marzo de cada año. Sin embargo, el Decreto 186/00 prorrogó en el año 2000 la aplicación de dicha Ley, dejando vigente el huso GMT-3 para todo el territorio nacional hasta la fecha sin cambios estacionales. Se considera importante, a partir de esta situación, poder cuantificar el impacto del uso de una hora oficial no coincidente con la hora solar en vistas de promover el uso energético de la luz natural, antes de implementar medidas mundialmente adoptadas como el la hora de verano para ahorrar energía (Daylighting Saving Time).

Son ilustrativos, en este sentido de la adecuación de la hora oficial con relación a la hora solar, los mapas que ha construido Stefano Maggiolo sobre cuán alejada está la hora oficial de la hora solar en los distintos países del mundo. (Fig. 1).

En el mapa se ha dibujado con una escala de color la diferencia entre ambas horas, puede verse en rojo los países que más se alejan de su hora solar (con diferencia hasta de -2horas) o bien en azul (con diferencias de hasta +2hs). Esta relación entre la hora solar vs la hora oficial declarada por cada país puede responder a diversas razones. Pero sabemos que esta falta de adecuación de los “relojes oficiales” a la hora de amanecer y anoecer regida por el sol tiene diferentes impactos en los habitantes.

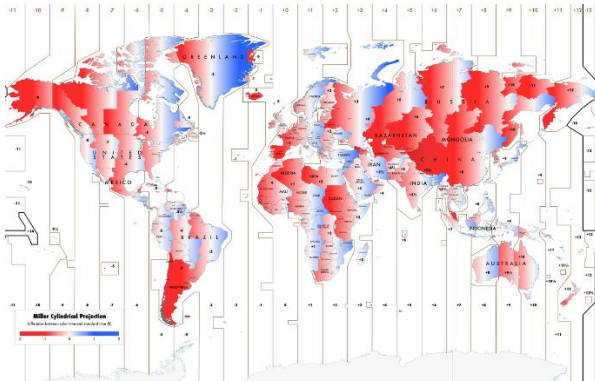


Figura 1. Hora oficial vs hora solar.

Para el caso de Argentina, tal como muestra el mapa de la figura 1, el total del territorio nacional se encuentra con los máximos desfase hacia el rojo (ejemplo el mediodía solar (12hs) en el reloj se lee las 13:45 hs. Si a esto le sumamos el error de correr de esta hora oficial, ya muy distante de la hora solar, el cambio de hora de verano, ocurren los impactos negativos en el comportamiento y aceptación de la población tal como ocurrió en el último cambio de hora de verano del año 2008 pasando al huso horario -2 en verano.[2].

El horario de verano (DST) afecta a las vidas de más de 1.600 millones de personas en todo el mundo, siendo el ahorro de energía el motivo original para su implementación. Diversos estudios han demostrado que el horario de verano tiene poco efecto en la demanda general de electricidad y en los costos de generación de electricidad. Sin embargo, tiene un fuerte efecto redistributivo al reducir sustancialmente la demanda de electricidad en la tarde y al anoecer. Este efecto redistributivo del horario de verano puede ser de particular interés para los políticos que están interesados en el control de gran demanda y en el precio de mercado de la energía a corto plazo [3].

IV. EFECTO DE LA HORA OFICIAL EN LA USABILIDAD DE LA LUZ NATURAL EN AULAS

En ciudades como Mendoza (Argentina), donde predomina el cielo claro con sol, donde la duración del día en invierno supera las 9:58 hs y en verano las 14:19hs; la radiación solar es lo suficientemente energética en términos de eficacia luminosa como para iluminar un espacio interior de uso diurno con luz natural e independencia de la luz artificial de alrededor del 80% de las horas

anuales de uso. Estas condiciones climáticas permite minimizar, y en algunos casos prescindir, de la energía eléctrica consumida por los espacios interiores durante las horas diurnas.

En nuestro grupo de investigación, hemos analizado y comparado la autonomía de la iluminación natural y el consumo eléctrico en aulas tradicionales construidas en la ciudad de Mendoza y el impacto de diferentes husos horarios en la potencialidad de iluminarse con luz natural.

La metodología empleada fue: relevamiento físico y fotométrico de aulas reales, configuración de archivos climáticos, y simulaciones y análisis de métricas dinámicas de iluminación natural y consumos eléctricos para iluminación. (Fig. 2).



Figura 2. Izq.: Relev. aula. Der.: Simulación.

Mediciones reales: mediante mediciones in situ, se determinaron las luminancias de los materiales predominantes en el ambiente (paredes, techos, piso y mobiliario) para caracterizarlos a partir de sus reflectancias en el modelo virtual. Estas mediciones se llevaron a cabo de acuerdo al protocolo de medición de Fontoynt (1999). El instrumental empleado fue un luminancímetro Minolta LS 110 (certificado de calibración, ángulo de lectura de 1/3° y rango de medición de 0.01 a 999.900 cd/m²) y cartillas patrón Kodak.

Configuración de archivos climáticos para los diferentes usos horarios: Actualmente, las herramientas de simulación predictiva pueden modelar con precisión el comportamiento de la iluminación natural en los espacios interiores, disminuyendo la demanda y el empleo de modelos a escala. Sin embargo, estas nuevas metodologías de análisis dinámico requieren nuevos parámetros para la obtención de datos de precisión. Éstos se basan en la correcta descripción y caracterización de la fuente de luz global y directa. Para este estudio, fue empleada la base climática correspondiente a la ciudad de Mendoza (ARG_MendozaCCT), generada a partir de la información brindada por la estación de medición de iluminación natural (IDMP INAHE).

A partir de la base climática ARG_MendozaCCT y la herramienta WMAutodesk ECOTECH, se generan los archivos climáticos para diferentes Tiempos Universales Coordinados (UTC) correspondientes al territorio nacional: (UTC-3) en vigencia y el (UTC-4) más representativo de la hora solar en la mayor parte del territorio nacional. (Fig. 3).

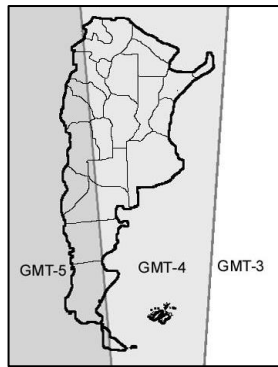


Figura 3. Cantidad de territorio nacional en c/HH.

Simulaciones:

En la última década se han generado avances en la forma de analizar el comportamiento de la iluminación natural. Entre los principales avances podemos mencionar: cálculos predictivos basados en archivos de clima y distribución de luminancia de cielo y la simulación dinámica. Este nuevo paradigma aporta métricas al análisis predictivo anual del factor de iluminación natural tales como: DA (luz natural autónoma), DAcon (luz natural autónoma ponderada), UDI (iluminación natural útil), entre otros. [4].

En este trabajo en particular, debido a la característica de cielo claro de la región y los objetivos planteados, las métricas dinámicas empleadas fueron DA y DAcon con un valor de 500 [lux] y una grilla de nueve (9) puntos por aula, generada a partir del plano útil a 80cm sobre el solado del local - considerado como la zona del plano de trabajo. El análisis predictivo del consumo eléctrico fue evaluado por el algoritmo de simulación Lightswitch integrado a DIVA. Este algoritmo predice, a partir del criterio anual de ocupación del espacio (schoolyearwithholidays.csv) y la iluminancia mínima requerida sobre plano de trabajo (500lux para aulas en estudio), el consumo energético anual [KWh] de la iluminación artificial complementaria.

RESULTADOS:

Los resultados del análisis de usabilidad de la luz natural en el caso estudiado, en la comparación entre el huso horario (-3) y (-4) relacionada a la necesidad de energía eléctrica complementaria en aulas típicas de Mendoza, se observa una mayor disponibilidad del recurso -iluminación natural - a partir de la condición (-4). 1. Mayor autonomía de la iluminación natural en aulas considerando el huso horario UTC-4 (actualmente no vigente en Argentina, siendo el oficial el UTC-3); (Tabla 1).

UTC-3	UTC-4
923.8KWh	692.4KWh

Tabla 1. Consumo de electricidad complementaria anual en aula típica según huso horario.

La diferencia en el consumo anual de electricidad, en un aula típica de la provincia de Mendoza, para iluminación artificial complementaria a fin de cumplir con el requerimiento de norma (500 lux) muestra el impacto energético posible por el huso horario en las provincias del oeste del país donde más marcado es el efecto. Si multiplicamos los 231,4 Kwh (diferencia de consumo por la diferencia horaria) por el número de aulas de cada edificio escolar y a su vez por el número de edificios escolares en uso en la provincia, este valor es altamente significativo.

I. CONCLUSIONES

Se han evidenciado en este trabajo las confusiones a nivel nacional e internacional y los desajustes entre la hora solar y la hora oficial en cuanto a la elección de el huso horario. Esto implica la importancia de aclarar y consensuar el impacto de un huso horario adecuado a un país, incluyendo en el análisis la decisión del uso de uno o dos horarios para el territorio nacional; como así también la adopción del cambio de hora de verano. La adopción del cambio horario de verano, es una medida incompleta para producir un ahorro de energía eléctrica, más aun si ésta parte de un huso horario inadecuado. El cual no sólo afecta energéticamente sino en la salud y estados de ánimo de sus ciudadanos [5]. Los resultados obtenidos a través de este análisis son claramente alentadores. A partir de éstos, se espera contribuir a una mayor concientización sobre la factibilidad y beneficios de los edificios escolares energéticamente eficientes; como así también en la importancia de la iluminación natural como factor influyente desde diferentes perspectivas como la energía, salud y confort. Un mejor aprovechamiento y control de la luz natural dentro de las instituciones educativas es en sí mismo una medida eficiente y las consideraciones vertidas en este trabajo son uno de los pasos hacia el objetivo de la sustentabilidad ambiental.

II. REFERENCIAS

- [1] <http://www.odsargentina.gob.ar/>
- [2] Pattini, A. (2000). Los husos horarios y el cambio de hora en verano para ahorro de energía eléctrica. Contexto mundial y local. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12, 2008. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184
- [3] Choi, S., Pellen, A., & Masson, V. (2017). How does daylight saving time affect electricity demand? An answer using aggregate data from a natural experiment in Western Australia. Energy Economics, 66, 247-260.
- [4] Mardaljevic, John. (2011) "Opinion: Daylighting prescriptions: Keep taking the pills?. Lighting Research and Technology. 142-142.
- [5] KIRSCHBAUM, C.; TONELLO, G. Daylight Use and Local Time Shift Assessment: an exploratory study in Argentina. In: LIGHTING QUALITY AND ENERGY EFFICIENCY, Vienna, 2010. Proceedings. Vienna, 2010.

III. BIOGRAFIAS

Andrea Pattini: Diseñadora Industrial, egresado en 1985 de la Facultad de Artes y Diseño de la UNCuyo. Es doctora en Luz y Visión por la Universidad Nacional de Tucumán (2007). Es Investigadora Principal de CONICET y directora del INAHE. Es co-directora académica de la Maestría en Desarrollo Sustentable del Hábitat Humano (UTN-FRM). Asimismo, directora de tesis de posgrado, docente y miembro del comité académico de la Maestría de Diseño para los Desarrollos Regionales (FAD-UNCuyo). Es docente en Iluminación Natural (UNT, UTN, Uchile, UNLP, UNCA) y autora de diversas publicaciones nacionales e internacionales con referato, capítulos de libros y un libro en iluminación natural

Juan Manuel Monteoliva: Diseñador Industrial, egresado en 2010 de la Facultad de Artes y Diseño de la UNCuyo. Es doctor en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente de la Universidad Nacional de Tucumán (2014). Becario Posdoctoral de CONICET en el INAHE y docente de las cátedras de Legislación Industrial y Diseño de Productos para la Iluminación (FAD-UNCuyo). Es autor de diversas publicaciones nacionales e internacionales con referato.

Nuevos indicadores dinámicos para la evaluación de la luz natural sobre superficies verticales y combinadas en espacios interiores.

Monteoliva, Juan Manuel ¹; Pattini, Andrea Elvira¹

¹ Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) – CCT CONICET Mendoza – Mendoza, Argentina – rrodriguez@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen: Los avances producidos en las métricas de iluminación durante los últimos años, han marcado una clara diferencias entre aquellas focalizadas en la iluminación y la iluminación natural. Actualmente, el paradigma dinámico de simulación de la luz natural está validado y consolidado en el ámbito científico-tecnológico, alcanzando en los últimos años, su aplicación en diferentes normas y/o recomendaciones internacionales. Este cambio de paradigma ha generado nuevos indicadores e importantes avances en la evaluación dinámica, principalmente sobre superficies horizontales de trabajo a través de valores de iluminancias horizontales anuales. Sin embargo, la complejidad de los espacios interiores y los múltiples focos de atención de sus usuarios lleva a reconsiderar esta problemática y la necesidad de nuevos análisis dinámico complementarios. Este trabajo, desde la Ergonomía Ambiental, tiene por objetivo proponer nuevas metodologías de análisis dinámico en superficies verticales (iluminancia vertical), y superficies combinadas (índice de modelado), actualmente no contempladas en el paradigma dinámico de simulación. Estas metodologías serán aplicadas como caso de estudio a un aula típica (orientación N) correspondiente a la Esc. Marcelino Blanco N° 4042 (33.27 S, 67.32 O -509msm-). Los resultados buscan aportar: i) nuevos métodos e indicadores para profundizar el estudio dinámico del comportamiento de la luz natural en espacios interiores sobre nuevas superficies de trabajo, y ii) facilitar la labor de profesionales proyectistas en la comprensión general del comportamiento lumínico a través de gráficas anuales, como así también la identificación de periodos críticos para futuras intervenciones de diseño.

Abstract: In recent years there have been important advances in lighting metrics, marking a clear difference between those focused on lighting and natural lighting. Currently, the dynamic paradigm of daylight simulation is validated and

consolidated in the scientific-technological field. This generated its application in different international norms and/or recommendations. This new paradigm generated new indicators and important advances in the dynamic evaluation, mainly on horizontal work surfaces through annual horizontal illuminance values. However, the complexity of the interior spaces and the different focuses of attention of the users leads to reconsider this problem and the need for new complementary dynamic analyzes. This work, from the Environmental Ergonomics, aims to propose new methodologies of dynamic analysis in vertical surfaces (vertical illuminance), and combined surfaces (modeling index), currently not contemplated in the dynamic simulation paradigm. These methodologies will be applied as a case study to a typical classroom (orientation N) corresponding to Esc. Marcelino Blanco N° 4042 (33.27 S, 67.32 or -509msm-). The results seek to provide: i) new methods and indicators to deepen the dynamic study of the behavior of daylight in interior spaces on new work surfaces, and ii) facilitate the work of design professionals in the general understanding of light behavior through graphs, as well as the identification of critical periods for future design interventions.

Palabras clave: Iluminación Natural – Métricas Dinámicas – Espacios Interiores

I. INTRODUCCION

El paradigma dinámico de simulación de la luz natural [1] está validado y consolidado en el ámbito científico-tecnológico, alcanzando en los últimos años, su aplicación en diferentes normas y/o recomendaciones internacionales (EN 12464-122, IES LM-83-12 y LEED IEQ, entre otras). Sin embargo, la búsqueda de una mayor representatividad de la fuente natural en el contexto de regiones de cielo claro, y sus condiciones de cielo particular, llevan a profundizar los alcances de estas herramientas e

indicadores. Esto se justifica en el significativo impacto que producen estos datos en la predicción del comportamiento de la luz natural en el interior de los espacios [2,3]. De esta manera, se busca generar nuevos indicadores y herramientas de aplicación pertinentes a las características de la región.

Este cambio de *paradigma* en la simulación también generó nuevos indicadores e importantes avances en la evaluación dinámica de la fuente natural, principalmente sobre *superficies horizontales* de trabajo a través de valores de iluminancias horizontales (E_h) (DF , UDI , DA , DA_{con} , entre otros). Sin embargo, la complejidad de las tareas realizadas en el interior de los espacios lleva a reconsiderar esta problemática.

Este trabajo en particular está focalizado en los espacios de aprendizaje (aulas) y los múltiples focos de atención que poseen los alumnos durante la jornada (hoja, pizarrón, pantalla multimedia y docente, entre otros) [4], lo cual lleva a la necesidad de generar nuevos análisis complementarios sobre nuevas superficies, o bien focos de atención.

Este trabajo, desde la Ergonomía Ambiental, tiene por objetivo proponer nuevas metodologías de análisis dinámico en: i) *superficies verticales* -- iluminancias verticales (E_v)-- y ii) *superficies combinadas* -índice de modelado (E_v/E_{sc})-- [5], actualmente no consideradas ni adaptadas al paradigma dinámico de simulación.

Estas metodologías serán aplicadas como caso de estudio en espacios de aprendizajes, contemplando los valores requeridos por la norma DIN/ EN 12464-1. El criterio de selección de un marco normativo internacional, está dada por la falta de actualización de la normativa nacional IRAM AADL J20 04, principalmente en indicadores de evaluación de luz natural [6].

Caso de Estudio

Escuela Marcelino Blanco N° 4042 emplazada en el Departamento de La Paz, provincia de Mendoza. Este edificio educativo corresponde a uno de los nueve edificios educativos bioclimáticos actuales de la provincia, diseñados y transferidos a la provincia de Mendoza (Argentina) por el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (CCT CONICET Mendoza) – ex LAHV (INCIHUSA CCT CONICET Mendoza). La arquitectura general presenta una tipología en bloque de aulas compacto con desarrollo principal de orientación norte. Este bloque posee seis aulas: tres alineadas al norte y tres al sur, vinculadas por el pasillo circulación cubierto [7]. El aula seleccionada para este trabajo fue la orientada al norte (Figura 1).



Figura 1. Caso de estudio: Esc. Marcelino Blanco

II. MÉTODO

Definición del modelo. El espacio seleccionado corresponde a un aula típica 6.80 x 6.75 x 3.10 m (45.9 m² cubiertos) con orientación norte, emplazada en el Departamento de La Paz de la provincia de Mendoza (33.27.31 S, 67.32.45 O - 509msm).

Modelo virtual. El modelo fue construido en el software Google SketchUp Make 2016 y exportado a RADIANCE v.5.0 a través de la extensión Groundhog v.0.9 [8]. La caracterización fotométrica de los materiales del espacio interior de la sala, se realizó de acuerdo a los valores típicos de reflectancia difusa del 60% en paredes, del 80% en techo y del 30% en piso.

Parámetros de simulación. Las simulaciones de iluminación natural fueron desarrolladas en RADIANCE [9], a través de rutinas específicas generadas en lenguaje Ruby (*.rb) para el estudio y pos-procesadas en SageMath (*.sav). Los parámetros de simulación seleccionados corresponden a una escena de alta precisión [10]: (ab) 5; (ad) 2048; (as) 512; (aa) 0.08; (ar) 512; (dt) 0; (ds) 0.

Métricas dinámicas

Superficies horizontales, la métrica seleccionada fue *luz natural autónoma* o *daylight autonomy* de 300lux (DA_{300lux}) [11] sobre los pupitres. **Superficies verticales**, se genera un nuevo indicador denominado *iluminancia vertical útil* (E_{vu}). Este indicador, basado en el concepto de "utilidad" de la métrica dinámica UDI [12], buscará cuantificar la ocurrencia anual de iluminancias verticales (E_v) superiores a 175 lux en el pizarrón. **Superficies combinadas**, se incorpora el termino de *índice de modelado útil* ($Im_{u(0.3-0.6)}$). Este concepto al igual que $E_{vu(100lux)}$, buscan cuantificar la ocurrencia anual de valores entre 0.3-0.6 derivados del cociente entre la E_v y la iluminancia semi-cilíndrica (E_{sc}). A continuación, se presenta en la tabla 1 un resumen de las superficies analizadas, disposición de los sensores e indicadores estudiados.

Superficies	Ubicación ¹	Métrica
Horizontal (E_h) Pupitres	$h = 0.8 \text{ m}$	$DA_{(300\text{lux})}$
Verticales (E_v) Pizarrón	$h = 1.5 \text{ m}$	$E_{vu(100\text{lux})}$
Combinadas (E_v/E_{sc}) Pupitre del docente	$h = 1.2 \text{ m}$	$Im_{u(0.3-0.6)}$

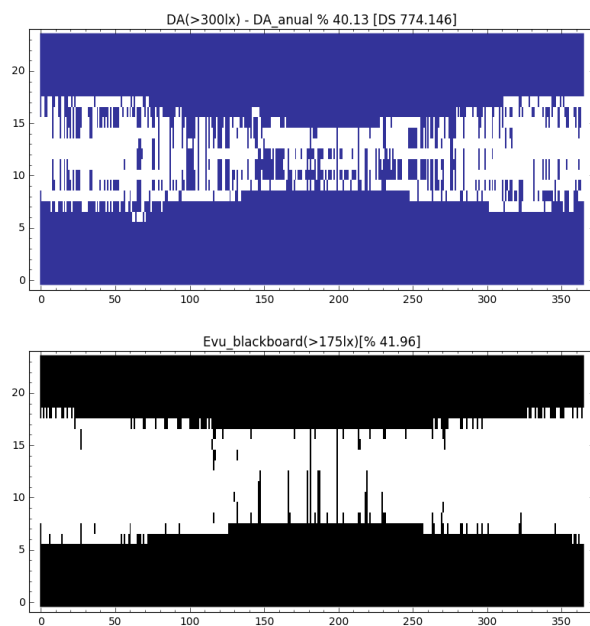
Archivo de clima. La ubicación seleccionada para el caso de estudio fue la ciudad de Mendoza (Argentina) ($32^\circ 53' \text{ S}$; $68^\circ 49' \text{ O}$). Esta ciudad se encuentra ubicada al oeste de la República Argentina en una región semiárida, donde predomina el cielo claro, condición que ofrece el 83% del año días despejados o parcialmente despejados. Para este estudio fue utilizado el paquete climático ARG_MzaCCT (*.epw; *.wea), generado a partir de la información brindada por la estación de medición de Iluminación Natural del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), ubicado en el Centro Científico y Tecnológico Mendoza (CCT Mendoza) ($32^\circ 53' \text{ S}$ y $68^\circ 51' \text{ O}$) [2].

III. RESULTADOS

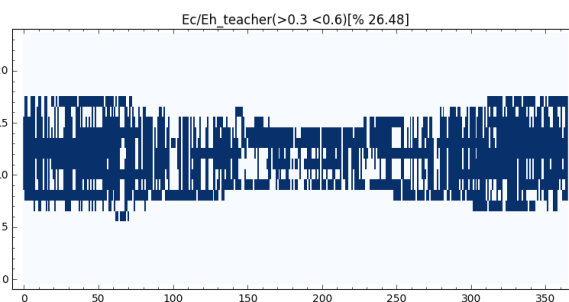
Los resultados obtenidos son:

Superficie	Métrica	Resultado
Horizontal (E_h)	$DA_{(300\text{lux})}$	40.13 %
Verticales (E_v)	$E_{vu(175\text{lux})}$	41.96 %
Combinadas (E_v/E_{sc})	$Im_{u(0.3-0.6)}$	26.48 %

A continuación se presentan los gráfico anuales para cada uno de los indicadores evaluados:



¹ Normativa internacional DIN/EN 12464-1



IV. CONSIDERACIONES FINALES

Como fue mencionado, la búsqueda de una mayor precisión predictiva lleva a cuestionar el *estatus quo* de los indicadores dinámicos de hace unos años hasta este momento. Éstos surgieron, cambiando el paradigma de simulación de la luz natural, dando respuesta a las superficies horizontales de trabajo (oficinas, escuelas). Sin embargo, las particularidades de cada ambiente exige una mayor profundización y representatividad del comportamiento de la luz natural, a través de nuevos indicadores. Ante esta prolemática, se proponen dos nuevos indicadores *iluminancia vertical útil* (E_{vu}) e *índice de modelado útil* ($Im_{u(0.3-0.6)}$). Estos permiten complementar el estudio de las superficies horizontales con nuevas superficies (verticales y combinadas). Cabe destacar, que esto también es posible a través del uso de programas de precisión de código abierto como RADIANCE, ya que a través de él se puede generar nuevos análisis sin depender de programas restrictivos o métricas genéricas.

A través de este estudio y otros en ejecución, se busca profundizar en el estudio de las condiciones lumínicas de los espacios interiores iluminados principalmente por luz natural. Este objetivo no sólo propone incorporar nuevas métricas dinámicas, actualmente no contempladas en el paradigma dinámico; sino también facilitar la labor de profesionales proyectistas en la comprensión general del comportamiento lumínico a través de gráficas anuales. A partir de ellas, es posible identificación de periodos críticos para futuras intervenciones de diseño.

V. REFERENCIAS

- [1] Ochoa, C. E., Aries, M. B. C., & Hensen, J. L. M. (2012). State of the art in lighting simulation for building science: a literature review. *Journal of Building Performance Simulation*, 5(4), 209–233. <https://doi.org/10.1080/19401493.2011.558211>
- [2] Monteoliva J.M., Villalba A., Pattini A. E. (2015). Variability in dynamic daylight simulation in clear sky condition according to selected weather file: Satellite data and land-based station data. *Lighting Research and Technology*. DOI: 1477153515622242.

- [3] Monteoliva, J.M.; pattini, A.E. Iluminación natural en aulas: Análisis productivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleado. *Ambiente Construido*. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2013 vol.13 n°4. p235 - 248. ISSN 1415-8876.
- [4] Pulay, A. S. (2010). Awareness of Daylighting on Student Learning in an Educational Facility. University of Nebraska - Lincoln, Lincoln.
- [5] CIE, (2001). CIE (2000). Publ. No. 136 Guide to the lighting of urban areas, Central Bureau of the CIE, Vienna.
- [6] Monteoliva, J. M. (2014). Iluminación en aulas. La dinámica de luz natural en cielos claros y su incidencia en el rendimiento atencional de los alumnos. (Tesis Doctoral inédita). Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- [7] Mitchell, J. et al (1999). Escuela Marcelino Blanco: un edificio energéticamente eficiente en el este de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 3(1).
- [8] Molina, G., Vera, S., Bustamante, W. & Bleicher, T.. (2008). Groundhog - SketchUpExtension for exporting Radiance models. <https://extensions.sketchup.com/en/content/groundhog>.
- [9] Ward, G. (1994). The RADIANCE Lighting Simulation and Rendering System, Computer Graphics in *Proceedings of '94 SIGGRAPH Conference*, Orlando, Florida, USA.
- [10] Jacobs, A. (2014). *RADIANCE Cookbook*. Retrieved from http://www.jaloxa.eu/resources/radiance/documentation/docs/radiance_cookbook.pdf
- [11] Reinhart, CF y Wienold J. (2010). The Daylighting Dashboard - A Simulation-Based Design Analysis for Daylit Spaces. *Proceedings of SimBuild 2010*, New York City, August.
- [12] Nabil, A. y Mardaljevic J. (2006). Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors, *Energy and Buildings*, 38(7), 905-913.

Uchile, UNLP, UNCA) y autora de diversas publicaciones nacionales e internacionales con referato, capítulos de libros y un libro en iluminación natural.

VI. BIOGRAFIAS

Juan Manuel Monteoliva: Diseñador Industrial, egresado en 2010 de la Facultad de Artes y Diseño de la UNCuyo. Es doctor en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente de la Universidad Nacional de Tucumán (2014). Becario Posdoctoral de CONICET en el INAHE y docente de las cátedras de Legislación Industrial y Diseño de Productos para la Iluminación (FAD-UNCuyo). Es autor de diversas publicaciones nacionales e internacionales con referato.

Andrea Pattini: Diseñadora Industrial, egresado en 1985 de la Facultad de Artes y Diseño de la UNCuyo. Es doctora en Luz y Visión por la Universidad Nacional de Tucumán (2007). Es Investigadora Principal de CONICET y directora del INAHE. Es co-directora académica de la Maestría en Desarrollo Sustentable del Hábitat Humano (UTN-FRM). Asimismo, directora de tesis de posgrado, docente y miembro del comité académico de la Maestría de Diseño para los Desarrollos Regionales (FAD-UNCuyo). Es docente en Iluminación Natural (UNT, UTN,

Propiedades Ópticas e Indicadores Energéticos Utilizados para la Caracterización de Sistemas de Control Solar. Caso de Estudio: Cortinas Textiles Interiores.

Ayelén Villalba, Andrea Pattini.

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Centro Científico y Tecnológico (CCT-Mendoza). C.C.131
C.P. 5500 – Mza. Tel. 0261-5244310 e-mail: avillalba@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen: actualmente existe un significativo desarrollo de distintas tipologías de cortinas interiores que involucran una amplia variedad de tejidos y morfologías: roller, celular, screen, plisada y dual. La adecuada implementación de las cortinas textiles interiores puede mejorar la calidad de iluminación de los espacios interiores, y tiene el potencial de reducir hasta un 30% la ganancia solar. Sin embargo, estos sistemas generalmente se instalan de acuerdo a criterios estéticos sin contemplar su comportamiento lumínico-energético, desaprovechando la posibilidad de mejorar las condiciones de iluminación y de disminuir el consumo de energía. En este contexto, este trabajo realiza un análisis sistematizado de los parámetros -propiedades ópticas e indicadores energéticos- que se emplean internacionalmente para caracterizar el comportamiento lumínico-energético de estos sistemas, con el objetivo de determinar su disponibilidad y criterios de determinación. Los resultados indican que para la caracterización de los tejidos, que conforman los sistemas, se emplean propiedades ópticas mientras que los indicadores de ganancia solar y pérdidas de calor se aplican a los sistemas de sombreado vinculados con el acristalamiento. Asimismo, se detecta que no todos los fabricantes brindan los mismos datos y que en algunos casos estos no son sencillos de comparar, ya que se determinan para distintas condiciones de vidriado.

Abstract: currently there is a significant development of different types of indoor textile curtains involving a wide variety of fabrics and morphologies: roller, cellular, screen, plated and dual. The proper implementation of interior textile curtains can improve the quality of interior daylighting and has the potential to reduce heat gain up to 30%. However, these systems are usually installed according to aesthetic criteria without attending their lighting and thermal performance, squandering the possibility to obtain better daylight conditions and reducing energy consumption. In this context, this paper

systematically analyses parameters –optical properties and energy indicators - that are used internationally to characterize the lighting and thermal performance of this type of systems, in order to determine their availability and determination criteria. Results show that optical properties are used for fabric characterization while solar heat gain and heat loss ratings are used for shading device+glass. Likewise, it is observed that not all manufacturers offer the same information and in some cases it is not easy to compare curtains energy performance, since it is not always determined under the same conditions.

Palabras claves: cortinas textiles interiores, propiedades ópticas, indicadores energéticos.

I. INTRODUCCION

La creciente importancia que han adquirido los sistemas de control solar en el desempeño energético de los edificios ha conducido al desarrollo de diversos componentes innovadores, que intentan mejorar la calidad de iluminación de los espacios interiores y controlar la ganancia solar. Las cortinas interiores son sistemas de control solar ampliamente utilizados, a nivel regional, para regular el ingreso de la radiación solar en los espacios interiores [1]. En la actualidad existe un significativo desarrollo de distintas tipologías de cortinas interiores que involucran una amplia variedad de tejidos y morfologías: cortinas celulares, cortinas roller, cortinas screen, cortinas plisadas y cortinas roller dual (segmentos alternados de tela opaca y translúcida). La adecuada implementación de las cortinas textiles interiores puede mejorar la calidad de iluminación de los espacios interiores y tiene el potencial de reducir hasta un 30% la ganancia solar. Sin embargo, estos sistemas son complejos de caracterizar en su comportamiento lumínico-energético debido a que son sistemas móviles [2], y a que la caracterización y modelización de su comportamiento óptico no son sencillas [3], por lo que actualmente se aplican en

edificios sin conocer su comportamiento lumínico-energético. Estos sistemas de sombreado generalmente se instalan de acuerdo a criterios estéticos sin contemplar su comportamiento lumínico-energético, desaprovechando la posibilidad de mejorar las condiciones de iluminación en interiores y de disminuir el consumo de energía. En este contexto, este trabajo realiza un análisis sistematizado de los parámetros -propiedades ópticas e indicadores energéticos- que se emplean internacionalmente para caracterizar el comportamiento lumínico-energético de las cortinas textiles interiores, con el objetivo de determinar la disponibilidad y los criterios de determinación de estos parámetros.

II. METODOLOGÍA

La metodología aplicada se basa en el análisis de catálogos impresos y digitales de las principales marcas que fabrican cortinas textiles interiores a nivel internacional. El estudio se focaliza en analizar cuales son las propiedades ópticas y los indicadores de performance energética que ofrecen las empresas para caracterizar el comportamiento termo-luminico de sus productos. A partir de este análisis se realiza un procesamiento de la información recopilada y se presentan en tablas las propiedades ópticas, de acuerdo a distintos rangos de longitud de onda del espectro, y los indicadores energéticos disponibles.

III. RESULTADOS

A. Propiedades Ópticas

A partir del análisis desarrollado podemos detectar que la transmitancia, en las distintas regiones del espectro solar (ultravioleta B -onda media- 280 – 315 nm (UVB), ultravioleta A -onda larga- 315 – 380 nm (UVA), visible 380 a 780 nm, infrarrojo cercano 780 – 2500 nm), es la propiedad óptica que con mayor frecuencia se determina para la caracterización óptica de los tejidos que conforman las distintas tipologías de cortinas interiores.

Específicamente detectamos que la mayoría de las empresas analizadas determinan las transmitancia solar¹ (TS), la reflectancia solar² (RS) y la absorbancia solar³ (AS) de los tejidos. En algunos casos -Verosol- la reflectancia solar se determina para la cara posterior del textil, es decir

¹ Transmitancia solar (TS) es la cantidad de energía solar (visible, infrarroja y ultravioleta) que atraviesa un sistema, expresado en porcentaje [4].

² Reflectancia solar (RS) es la proporción de energía solar reflejada respecto a la incidente [5].

³ Absorbancia solar (AS) es la cantidad de energía solar (visible, infrarroja y ultravioleta) que absorbe un sistema, expresado en porcentaje [4].

la que se ubica hacia el lado externo del aventanamiento.

Tabla I: propiedades ópticas -rango solar 280nm - 2500nm- por empresa.

empresa	TS	RS	AS
Hunter Douglas Co.			
Draper®			
Serge Ferrari			
Mermet			
Phifer Inc.			
Verosol			
Alkenz Co.			
Dickson®			
Trivantage®			
Gale Pacific			
Vertilux®			

En la región del espectro que va de los 380nm a los 780nm, correspondiente al rango visible, se observa que la propiedad óptica definida con mayor frecuencia es la TV⁴. La empresa Serge Ferrari presenta una particularidad en la caracterización de esta propiedad; diferencia el tipo de TV de acuerdo a la manera en que la radiación atraviesa el tejido: TV_{n-h}: transmitancia visible normal-hemisférica (%); TV_{n-n}: transmitancia visible normal-normal. Este dato diferenciado resulta de fundamental importancia para la caracterización del comportamiento óptico del tejido es simuladores de iluminación natural. Sin embargo, esta caracterización no considera la transmitancia del textil a la luz difusa (hemisférica-hemisférica). Por otro lado, las empresas Trivantage® y Gale Pacific establecen para sus tejidos el Factor de Sombra (FS), siendo este el porcentaje de luz visible e invisible (290nm a 770nm) que bloquea el tejido, ya sea mediante absorción o reflexión [6]. Asimismo, la empresa Draper® define el índice de reproducción de color de sus tejidos y la empresa Verosol determina el grado de deslumbramiento de sus tejidos de acuerdo a la norma EN 14501, estos parámetros son definidos para el comportamiento de los tejidos en el espacio.

Tabla II: propiedades ópticas -rango visible 380nm - 780nm- por empresa.

empresa	TV	TV _{n-h}	TV _{n-n}	FS
Hunter Douglas Co.				
Draper®				
Serge Ferrari				
Mermet				
Phifer Inc.				
Verosol				

⁴ Transmitancia visible (TV) es el porcentaje de radiación del espectro visible (380 nm a 720 nm), corregida de acuerdo a la sensibilidad del ojo humano, que transmite un sistema [5].

Alkenz Co.				
Dickson®				
Trivantage®				
Gale Pacific				
Vertilux®				

Respecto a la radiación UV detectamos que tan solo 6 de las 11 empresas analizadas determinan propiedades ópticas para esta región del espectro solar. Siendo la más frecuente la transmitancia ultravioleta⁵ (TUV). En algunos casos, la permeabilidad o transmitancia a la radiación UV se identifica con la denominación Factor de Protección Ultravioleta (UPF). Algunas empresas, como Vertilux®, determinan el bloqueo de sus tejidos a la radiación UV total -280nm a los 380nm- y también de manera diferenciada en las distintas regiones de emisión de radiación UV: UVA 380–315 y UVB 315–280 (UV-total, B y A b). Asimismo, detectamos que la empresa Trivantage® determina para algunos de sus productos la reflectancia ultravioleta (RUV).

Tabla III: propiedades ópticas -rango ultravioleta 280nm - 380nm- por empresa.

empresa	TUV (UPF)	RUV	UV-total, B y A b
Hunter Douglas co.			
Draper®			
Serge Ferrari			
Mermet			
Phifer Inc.			
Verosol			
Alkenz Co.			
Dickson®			
Trivantage®			
Gale Pacific			
Vertilux®			

Finalmente, respecto a las propiedades ópticas de los tejidos, resulta pertinente destacar que la empresa Gale Pacific determina la transmitancia de sus tejidos en el rango de radiación fotosintéticamente activa (PAR), rango de longitudes de onda que son capaces de producir actividad fotosintética en las plantas -400nm a 700nm- [7]. Asimismo, es importante considerar que para las cortinas duales sólo se determinan las propiedades ópticas del componente opaco.

B. Indicadores Energéticos

Es fundamental destacar que, a diferencia de las propiedades ópticas de los tejidos, los indicadores de performance energética son cuantificados para el conjunto tejido/vidrio. Asimismo, es importante mencionar que estos indicadores nos son medidos siempre con el mismo tipo de

acristalamiento, variando no solo el tipo de vidrio –distintos espesores y tratamientos- sino también la conformación de la ventana (simple o doble vidriado, con y sin capa de gas).

El indicador energético que con mayor frecuencia se emplea para caracterizar la ganancia solar de un sistemas de tejido+vidrio es el factor solar o coeficiente de ganancia solar térmica SHGC⁶. De manera menos frecuente se utiliza el Coeficiente de Sombra⁷ (CS), esto se debe a que los estándares para certificación de componentes de ventana en la actualidad están migrando al SHGC. Algunas empresas diferencian el SHGC interior y exterior del sistemas de acristalamiento/sombreado.

Para la cuantificación de los intercambios térmicos que se generan, a través de los sistemas tejidos+vidrio, por diferencia de temperatura entre el interior y el exterior se utiliza el Coeficiente Global de Transmitancia Térmica (K o U-factor⁸). Se observa que tan solo 2 de las 11 empresas analizadas cuantifican este indicador energético para los sistemas tejido/acristalamiento.

Tabla IV: indicadores energéticos por empresa.

empresa	SHGC	SHGC interior	SHGC exterior	CS	K
Hunter Douglas co.					
Draper®					
Serge Ferrari					
Mermet					
Phifer Inc.					
Verosol					
Alkenz Co.					
Dickson®					
Trivantage®					
Gale Pacific					
Vertilux®					

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados indican que la caracterización de los tejidos, que conforman los sistemas de cortinas, se realiza mediante las propiedades ópticas, mientras que los indicadores de ganancia solar (SHGC) y transferencia de calor (K) se aplican a los sistemas de sombreado vinculados con el acristalamiento. Asimismo, se detecta que

⁶ Coeficiente de ganancia solar térmica (SHGC): es la fracción de radiación solar incidente que ingresa a través de una ventana, por transmitancia y absorptancia (posteriormente emitida hacia el interior) (adimensional, 0-1) [5].

⁷ Coeficiente de sombra (CS) es la proporción de ganancia solar térmica que pasa a través de un sistema respecto a la ganancia solar térmica que se produce bajo las mismas condiciones a través de un vidrio claro sin sombrear y doblemente resistente [4].

⁵ Transmitancia Ultravioleta (TUV) es la cantidad de energía ultravioleta -280nm a 380nm- que atraviesa un sistema, expresado en porcentaje [4].

⁸ K o U-factor (U-value) [W/m²K] -coeficiente global de transmitancia térmica- es una medida de la tasa de pérdida o ganancia de calor no solar de un material o un sistema [5].

no todas las empresas determinan los mismos parámetros.

También es importante destacar que los parámetros no siempre se establecen de acuerdo a las mismas condiciones. En relación a los indicadores energéticos se observa que no están calculados bajo las mismas condiciones de vidrioado, lo que dificulta la comparación de la performance energética de los mismos. Respecto a las propiedades ópticas observamos que se miden de acuerdo a distintas normas o criterios, variando en algunos casos el límite de la longitud de onda que determina cada región del espectro. Además, resulta importante destacar que si bien algunas marcas indican bajo qué normas han sido realizados los ensayos para la determinación de las propiedades ópticas e indicadores energéticos (ejemplo: Mermet: EN 14501 [8], ASTM E892-87 [9], ASTM E903 [10]; Serge Ferrari: EN 14501 [8]; Verosol: EN 13363-2 [11], ISO 15099 [12], EN410 [13], ISO 9050 [14]) otras no. Esto dificulta comparar el comportamiento de los distintos productos. Asimismo, se observa que esta información no llega mediada de manera adecuada a comerciantes/vendedores, dificultando un adecuado asesoramiento a profesionales y usuarios.

Finalmente, resulta fundamental considerar que la caracterización de los índices que muestran el comportamiento energético de las cortinas textiles interiores es un proceso complejo y con un costo elevado, al que solamente acceden las empresas líderes. Esto se debe a que los procedimientos para la determinación de estos parámetros involucran el empleo de equipamientos de alta complejidad (esferas integradoras, gonio-espectro fotómetro, calorímetro de caja caliente o de placa, etc.) que requieren de expertos para su manejo. De este contexto se desprende la necesidad de desarrollar y validar metodologías simplificadas que sean precisas y de menor costo.

V. RECONOCIMIENTOS

PICT 2013-2089 FONCYT-Agencia Nacional de Investigaciones. proyecto PIP 0728 CONICET.

VI. REFERENCIAS

- [1] Villalba, A., Pattini, A., Córca, L. (2012). Diagnóstico morfológico descriptivo de las envolventes según su interacción con el clima luminoso. *Ambiente Construido*, 12(4): 159-175.
- [2] Athienitis, A. K., Tzempelikos, A. (2002). A methodology for simulation of daylight room illuminance distribution and light dimming for a room with a controlled shading device. *Solar Energy*, 72(4): 271-281.
- [3] Jonsson J.C., Lee E.S., Rubin M. (2008). Light scattering properties of woven shade-screen material used for daylighting and solar heat-gain control. *SPIE Optics + Photonics*, 7065: 70650R-70650R-11.
- [4] Saint Gobain. (2013). Understanding Solar Performance. Saint-Gobain Performance Plastics.

- [5] Efficient Windows Collaborative. (2000). Glossary. <http://www.efficientwindows.org/shgc.php> (consultada el 22/09/2017).
- [6] Gale Pacific. (2017). What is Shade Factor? http://www.galecommercial.com/en_au/articles/shade-factor. (consultada el 22/09/2017).
- [7] Righini R., Grossi Gallegos H. (2005). Análisis de la correlación entre la radiación fotosintéticamente activa y la radiación solar global en San Miguel, provincia de Buenos Aires. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 9, pp. 11.01-11.04.
- [8] EN 14501:2005: Blinds and shutters. Thermal and visual comfort. Performance characteristics and classification. European Standard.
- [9] ASTM E892-87(1992): Tables for Terrestrial Solar Spectral Irradiance at Air Mass 1.5 for a 37-Deg Tilted Surface. ASTM.
- [10] ASTM E903 – 96: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. ASTM.
- [11] EN 13363-2: Solar protection device combined with glazing - Calculation of total solar energy transmittance and light transmittance - Part 2: Detailed calculation method. European Standard.
- [12] ISO 15099:2003: Thermal performance of windows, doors and shading devices -- Detailed calculations. ISO.
- [13] EN 410:2011: Glass in building. Determination of luminous and solar characteristics of glazing. European Standard.
- [14] ISO 9050:2003: Glass in building -- Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors. ISO.

VII. BIOGRAFÍAS

Ayelén Villalba es Diseñadora Industrial, egresada de la Facultad de Artes y Diseño de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo). Es doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán (2014). Es investigadora asistente de CONICET en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía y es docente de la cátedra Diseño de Productos para la Iluminación (FAD-UNCuyo).

Andrea Pattini es Diseñadora Industrial egresada de la Facultad de Artes y Diseño de la Universidad Nacional de Cuyo. Es doctora en Luz y Visión (2007) por la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán. Es investigadora principal de CONICET y directora del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía. Es co-directora académica de la Maestría en Desarrollo Sustentable del Hábitat Humano (UTN-FRM).



Diseño de Iluminación

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

¹, 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.

¹ 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 iluminación²:

- 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 ingles 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

² 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 40.000h³, o algunas fuentes de mercurio halogenado que poseen una durabilidad que bordea las 25.000h⁴, 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 5° 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

³ VIALOX SUPER NAV-T SUPER 6Y - OSRAM

⁴ 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 emisión⁵. 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 discontinúa 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.

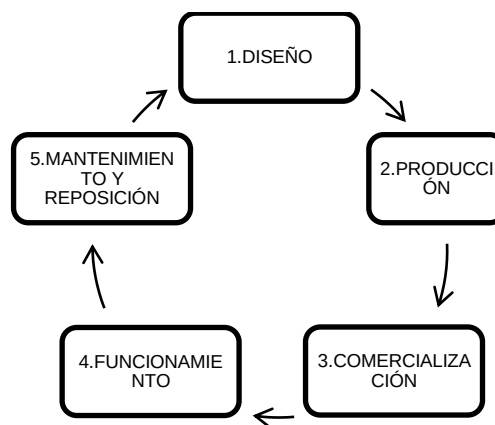


Figure 1

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

⁵ 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]

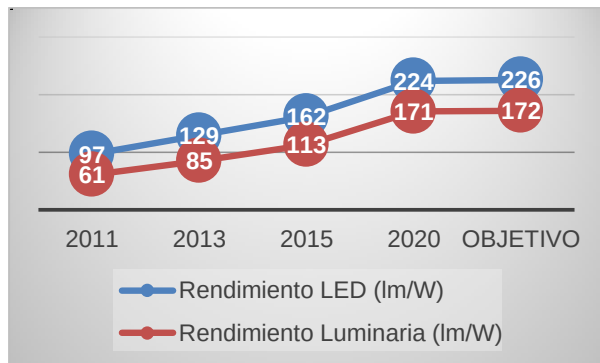


Figure 2

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 mantención. 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, podremos asumir ciertas pérdidas de eficiencia luminosa 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 multidisciplinar 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 Road Lighting 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 Tráfico 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_reglamento.doc&ei=Yn1WU8DTMMK3sATC%4CQBg&usq=AFQjCNF9LGF_kdc-FahyhWdWmfoiqLG-Aw&sig2=Ik6J5aw2llupQk--7l5WCQ&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 Detecilum <http://www.aido.es/rs/4165/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/456/fd/1/filename/resultados-estudio-detecilum.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 n°12: Cómo seleccionar y comparar luminarias LED's para aplicaciones de Alumbrado Exterior

- [40] Illuminet, Revista online de iluminación Urbana – <http://www.illuminet.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, Handling 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/CPR3AN04.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/CPR3AN01.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/CPR3AN02.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>

Elevação de Temperatura em Luminária Fechada

Elvo Calixto Burini Junior ¹, José Carlos Martinez Melero ², Mario Roberto Raitelli ³

¹IEE/USP, Brasil) - ²Consultor, Santo André, Brasil - ³DLLyV/UNT, Tucumán, Argentina
e-mail: elvo@iee.usp.br

Resumo: A temperatura externa e a saída de luz de fontes de luz elétrica (tubular fluorescente T8, T5 e LED) estão consideradas. A lâmpada LED-A amostrada fora de luminária apresentou elevação de temperatura máxima de 39 °C. As lâmpadas LED-T na condição fora da luminária apresentaram para a elevação de temperatura máxima a faixa de (20 ± 3) °C e para o tipo fluorescente T8/32W 21 °C. A diferença entre elevação de temperatura, condição luminária aberta e fechada resultou em faixa de (5 a 10) °C. Uma inspeção revelou dois padrões para ligação da LED-T a rede elétrica e taxa de falha de 9 %. A luminância amostrada revelou duas classes de fontes com potência elétrica nominal similar.

Palavras-chave: Elevação de temperatura, Luminária fechada, Lâmpada tipo LED.

Abstract: The external temperature and light output from electric light sources are considered. The LED-A lamp sampled outside a luminaire showed a maximum temperature rise of 39 °C. The LED-T lamps in the condition outside the luminaire, for the maximum temperature rise presented the range of (20 ± 3) °C and for the fluorescent type T8/32W was 21 °C. The difference between temperature rise, luminaire open and closed condition resulted in a range of (5 to 10) °C. One installation inspection revealed two standards for connection of the lamp to the mains and a failure rate of 9%. The sampled luminance revealed two classes of sources with similar rated electrical power.

Keywords: Temperature rise, closed luminaire, LED lamp.

I. INTRODUÇÃO

As lâmpadas fluorescentes tubulares estão sendo substituídas por tuboLED ou lâmpada tipo LED tubular (LED-T), a partir de Nov./2016 no IEE/USP e meados do ano 2016 no hospital universitário (HU) da USP em São Paulo. Atualmente o tipo fluorescente tubular, diâmetro T8, potência nominal 32 W é predominante, ele está sendo substituído por LED-T compatíveis em

termos do comprimento (1,2 m) e pela alteração do circuito elétrico. Considerada a substituição por lâmpada LED-T com potência nominal menor, como 18 W, e supondo ser a luminária fechada, espera-se que a elevação de temperatura em relação ao tipo fluorescente tubular T8/32 W seja menor, uma meta do presente artigo está em verificar se tal hipótese está ocorrendo. As condições térmicas de funcionamento para lâmpada tubular numa luminária que pode acomodar duas lâmpadas fluorescentes e três sistemas lâmpadas-reator (T5: 28 W, 54 W e T8 32 W), com a luminária montada na posição pendente e justaposta, na condição fechada e aberta (refrator removido) já foram avaliadas anteriormente [1]. No presente trabalho, utilizando a mesma luminária de experimento anterior [1] um segundo experimento foi conduzido incorporando a tecnologia LED-T. Buscar-se avaliar a temperatura máxima de funcionamento do bulbo e a elevação da temperatura. A tecnologia de lâmpada LED-T, qual da fluorescente tubular possui desempenho que pode ficar alterado em função da temperatura de funcionamento da lâmpada. Espera-se que a uma temperatura menor ocorra para o tipo LED-T, em relação ao tipo fluorescente 32 W e assim a alteração do desempenho possa ser pouco significativo. As elevações de temperaturas entre as tecnologias serão comparadas e discutidas.

II. OBJETIVO

O experimento foi desenhado para coletar dados, principalmente, sobre o comportamento do sistema LED-T em relação ao sistema fluorescente para iluminação. Como roteiro foi tomada a montagem e procedimento utilizados em avaliação anterior [1]. O desempenho do sistema fluorescente tubular (T8) foi fixado como referencial para análise. Um documento normativo, editados no Brasil, foi utilizado, parcialmente, como guia normativo [2], nele existe o limite superior da temperatura, em serviço (90 °C) e temperatura ambiente entre 10 °C e 30 °C, permitida para o local de testes, condição observada no experimento realizado. Ainda, a

montagem em local ao abrigo de correntes de ar está especificada, qual a posição normal de instalação para o ensaio de uma amostra. Não foi possível utilizar "caixa" com dimensões mínimas sugeridas para luminária sem fluxo de ar condicionado ou cujas lâmpadas são circundadas por fluxo do sistema de ar-condicionado [3]. Quatro diferentes marcas de LED-T, 18 W, base G-13 e uma LED-A (12 W), base E-27 obtidas foram utilizadas, adicionalmente, em relação as fontes utilizadas no experimento anterior [1].

III. METODOLOGIA

Foram utilizadas duas configurações para a montagem e energização de cada par de lâmpadas tubulares (comprimento 1,2 m), aquela denominada em "espaço aberto" quando as lâmpadas ficaram instaladas justapostas a uma superfície que representa o teto (ver porta-lâmpadas acima da luminária, Fig. 1) e mais uma superfície vertical lateral posterior.



Fig. 1 - Luminária com lâmpadas tubulares montada voltada a parede vertical posterior.

As demais faces (duas laterais e frontal) permaneceram sem fechamento (abertas). A segunda configuração utilizada foi a montagem das mesmas lâmpadas, e no interior de luminária [1], tanto na condição aberta (ver Fig. 2) quanto provida de tampa (refrator) cuja função também é de fechamento.



Fig. 2 - Lâmpadas tubulares montadas na luminária utilizada e sem o refrator (aberta).

A temperatura foi amostrada em cinco regiões das lâmpadas tanto na condição aberta quanto para a luminária fechada e pela utilização de termopares (um deles, número 1, foi utilizado para amostrar a temperatura do ar ambiente); o

termopar número 6 permaneceu em ponto intermediário ao comprimento e superior de uma das lâmpadas. Os outros termopares foram posicionados em cada lâmpada para amostrar região próxima a base (números 2 e 4) e intermediária entre o centro e a base (números 3 e 5), tendo sido utilizado equipamento registrador marca Jumo. Nota: Nas situações em que o refrator foi removido, condição denominada luminária aberta (ou montado, fechada), intencionalmente, a posição dos sensores não alterada. A luminária foi montada além da posição pendente (como num teto), em posição como justaposta em parede vertical para amostragem da luminância de cada conjunto de lâmpadas LED-T. Na condição justaposta, simulada, como numa parede a luminária permaneceu com o refrator removido (condição aberta), tendo sido amostrada temperatura e iluminância em duas oportunidades e com intervalo de 30 minutos entre as amostragens. Em todas as condições do experimento as lâmpadas foram energizadas por período considerado suficientemente longo para alcançar a condição de regime estacionário, ou seja, a estabilização térmica. Foram utilizadas duas lâmpadas fluorescentes tipo T5 (diâmetro nominal: 16 mm) com 54 W e duas com 28 W com a luminária; duas lâmpadas tipo T8/32 W e dez lâmpadas tipo LED-T com e sem a luminária. A temperatura correspondente a cada termopar foi registrada antes e repetidamente após a energização. Uma lâmpada tipo LED-A (base E-27, 12 W) montada na posição pendente, base para cima teve a temperatura externa amostrada em cinco regiões (ver Fig. 3).



Fig. 3 - Lâmpada tipo LED-A (pera) com base E-27, 12 W, e indicação de regiões amostradas.

Os dados apresentados para a lâmpada LED-A, energizada sob tensão da rede local (127 V) e demais são: temperatura máxima do bulbo - $T_{\max}$ (# correspondente da posição, tempo desde a energização, temperatura ambiente associada e data); elevação de temperatura máxima do bulbo $\Delta T_{\max}$ (# correspondente da posição, tempo desde a energização, temperatura ambiente associada e data). Os dados dos sistemas amostrados foram tabulados, os parametros de interesse extraídos e feita comparação relativa (luminária fechada em

relação à condição aberta e condição espaço aberto), tendo como referência os registros obtidos para o sistema T8/32 W. Os registros organizados, totalizando 44 linhas com cinco valores estão apresentados.

IV. RESULTADOS

A. Lâmpada tipo LED-A, E-27, 12 W, 1080 lm, 6500 K, FP>0,70, 100-240 V - China, R\$ 10,09

1. $T_{\max} = 58,6^{\circ}\text{C}$ (termopar # 4, 40 min.; Tamb. = $20,0^{\circ}\text{C}$, 31/Ago./2017;
2. $\Delta T_{\max} = 39,4^{\circ}\text{C}$ (termopar # 4, 60 min.; Tamb. = $19,1^{\circ}\text{C}$, 31/Ago./2017.

B. Lâmpada fluorescente tubular, T8, 32 W, fora da luminária ("espaço aberto")

3. $T_{\max} = 45,3^{\circ}\text{C}$ (termopar # 6, 190 min.; Tamb. = $24,9^{\circ}\text{C}$, 29/Ago./2017;
4. $\Delta T_{\max} = 20,8^{\circ}\text{C}$ (termopar # 6, 180 min.; Tamb. = $24,3^{\circ}\text{C}$, 29/Ago./2017.

C. Lâmpada LED-T, (CBT-HU), T8, 18 W, 1500 lm, 6500 K, ("espaço aberto")

5. $T_{\max} = 50,2^{\circ}\text{C}$ (termopar # 5, 50 min.; Tamb. = $27,4^{\circ}\text{C}$, 29/Ago./2017;
6. $\Delta T_{\max} = 23,7^{\circ}\text{C}$ (termopar # 5, 30 min.; Tamb. = $25,9^{\circ}\text{C}$, 29/Ago./2017.

Nota: Houve influencia da radiação solar, pela janela lateral, atenuada com anteparo.

D. Lâmpada LED-T, (CBT-HU), T8, 18 W, 1500 lm, 6500 K, fora da luminária

7. $T_{\max} = 45,6^{\circ}\text{C}$ (termopar # 5, 90 min.; Tamb. = $21,6^{\circ}\text{C}$, 30/Ago./2017;
8. $\Delta T_{\max} = 24^{\circ}\text{C}$ (termopar # 5, 80 min.; Tamb. = $21,0^{\circ}\text{C}$, 30/Ago./2017.

E. Lâmpada LED-T, (Demape, vidro), T8, 18 W, 1850 lm, 4100 K, ("espaço aberto")

9. $T_{\max} = 41,2^{\circ}\text{C}$ (termopar # 5, 40 min.; Tamb. = $24,9^{\circ}\text{C}$, 30/Ago./2017;
10. $\Delta T_{\max} = 16,9^{\circ}\text{C}$ (termopar # 4, 10 min.; Tamb. = $23,0^{\circ}\text{C}$, 30/Ago./2017.

F. Lâmpada LED-T, (ECP-IEE, bulbo em vidro), T8, 18 W, FP 0,5; 1800 lm, 6500 K, ("espaço aberto")

11. $T_{\max} = 51,9^{\circ}\text{C}$ (termopar # 4, 90 min.; Tamb. = $28,5^{\circ}\text{C}$, 30/Ago./2017;
12. $\Delta T_{\max} = 23,4^{\circ}\text{C}$ (termopar # 4, 90 min.; Tamb. = $28,5^{\circ}\text{C}$, 30/Ago./2017.

G. Lâmpada LED-T, (ECP-IEE, bulbo em vidro), T8, 18 W, FP 0,5; 1800 lm, 6500 K, ("espaço aberto")

13. $T_{\max} = 41,4^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 90 min.; Tamb. = $19,5^{\circ}\text{C}$, 31/Ago./2017;
14. $\Delta T_{\max} = 22,0^{\circ}\text{C}$ (termopar # 4, 90 min.; Tamb. = $19,5^{\circ}\text{C}$, 31/Ago./2017.

H. Lâmpada LED-T, (Philips), T8, 18 W, 2100 lm, 6500 K, ("espaço aberto")

15. $T_{\max} = 38,9^{\circ}\text{C}$ (termopar # 3, 80 min.; Tamb. = $19,7^{\circ}\text{C}$, 31/Ago./2017;
16. $\Delta T_{\max} = 19,6^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 240 min.; Tamb. = $19,7^{\circ}\text{C}$, 31/Ago./2017.

I. Lâmpada fluorescente tubular, T5, 28 W, dentro da luminária (aberta e fechada)

17. $T_{\max} = 55,2^{\circ}\text{C}$ (termopar # 3, 30 min.; Tamb. = $22,8^{\circ}\text{C}$, 04/Set./ 04/Set.2017, (aberta);
18. $\Delta T_{\max} = 32,4^{\circ}\text{C}$ (termopar # 3, 30 min.; Tamb. = $22,8^{\circ}\text{C}$, 04/Set./2017, (aberta);
19. $T_{\max} = 63,3^{\circ}\text{C}$ (termopar # 3, 127 min.; Tamb. = $24,9^{\circ}\text{C}$, 04/Set./2017, (fechada);
20. $\Delta T_{\max} = 39^{\circ}\text{C}$ (termopar # 3, 30 min.; Tamb. = $23,4^{\circ}\text{C}$, 04/Set./2017, (fechada).

J. Lâmpada fluorescente tubular, T5, 54 W, dentro da luminária (aberta e fechada)

21. $T_{\max} = 67,0^{\circ}\text{C}$ (termopar # 5, 20 min.; Tamb. = $26,2^{\circ}\text{C}$, 04/Set./ 04/Set.2017, (aberta);
22. $\Delta T_{\max} = 40,8^{\circ}\text{C}$ (termopar # 5, 20 min.; Tamb. = $26,2^{\circ}\text{C}$, 04/Set./2017, (aberta);
23. $T_{\max} = 82,7^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 45 min.; Tamb. = $27,3^{\circ}\text{C}$, 04/Set./2017, (fechada);
24. $\Delta T_{\max} = 55,4^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 45 min.; Tamb. = $27,3^{\circ}\text{C}$, 04/Set./2017, (fechada).

K. Lâmpada fluorescente tubular, T8, 32 W, dentro da luminária (aberta e fechada)

25. $T_{\max} = 61,9^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 60 min.; Tamb. = $22,3^{\circ}\text{C}$, 05/Set.2017, (aberta);
26. $\Delta T_{\max} = 39,8^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 50 min.; Tamb. = $21,7^{\circ}\text{C}$, 05/Set./2017, (aberta);
27. $T_{\max} = 71,7^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 180 min.; Tamb. = $23,5^{\circ}\text{C}$, 05/Set./2017, (fechada);
28. $\Delta T_{\max} = 48,2^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 180 min.; Tamb. = $23,5^{\circ}\text{C}$, 05/Set./2017, (fechada).

L. Lâmpada LED-T, (CBT-HU), T8, 18 W, 1500 lm, 6500 K, dentro da luminária

29. $T_{\max} = 51,3^{\circ}\text{C}$ (termopar # 3, 40 min.; Tamb. = $25,7^{\circ}\text{C}$, 05/Set.2017, (aberta);
30. $\Delta T_{\max} = 26,0^{\circ}\text{C}$ (termopar # 3, 30 min.; Tamb. = $25,1^{\circ}\text{C}$, 05/Set./2017, (aberta);
31. $T_{\max} = 51,1^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 68 min.; Tamb. = $26,2^{\circ}\text{C}$, 05/Set./2017, (fechada);
32. $\Delta T_{\max} = 30,9^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 68 min.; Tamb. = $26,2^{\circ}\text{C}$, 05/Set./2017, (fechada).

M. Lâmpada LED-T, (ECP-IEE, bulbo em vidro), T8, 18 W, FP 0,5; 1800 lm, 6500 K, dentro da luminária (aberta e fechada)

33. $T_{\max} = 50,5^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 32 min.; Tamb. = $26,6^{\circ}\text{C}$, 05/Set.2017, (aberta);
34. $\Delta T_{\max} = 23,9^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 32 min.; Tamb. = $26,6^{\circ}\text{C}$, 05/Set./2017, (aberta);
35. $T_{\max} = 61,5^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 20 min.; Tamb. = $27,9^{\circ}\text{C}$, 05/Set./2017, (fechada);
36. $\Delta T_{\max} = 33,6^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 20 min.; Tamb. = $27,9^{\circ}\text{C}$, 05/Set./2017, (fechada).

N. Lâmpada LED-T, (Demape, vidro), T8, 18 W, 1850 lm, 4100 K, dentro da luminária

37. $T_{\max} = 42^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 32 min.; Tamb. = 23°C , 06/Set.2017, (aberta);
38. $\Delta T_{\max} = 19,2^{\circ}\text{C}$ (termopar # 6, 27 min.; Tamb. = $22,5^{\circ}\text{C}$, 06/Set./2017, (aberta);
39. $T_{\max} = 61,5^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 20 min.; Tamb. = $26,2^{\circ}\text{C}$, 06/Set./2017, (fechada);
40. $\Delta T_{\max} = 24,4^{\circ}\text{C}$ (termopar # 3, 159 min.; Tamb. = $24,4^{\circ}\text{C}$, 06/Set./2017, (fechada).

O. Lâmpada LED-T, (Philips), T8, 18 W, 2100 lm, 6500 K, dentro da luminária (aberta e fechada)

41. $T_{\max} = 46^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 32 min.; Tamb. = 26°C , 06/Set.2017, (aberta);

42. $\Delta T_{\max} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (termopar # 6, 27 min.; Tamb. = $22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 06/Set./2017, *(aberta)*;
 43. $T_{\max} = 54,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (termopar # 5, 20 min.; Tamb. = $27,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 06/Set./2017, *(fechada)*;
 44. $\Delta T_{\max} = 27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (termopar # 2, 159 min.; Tamb. = $24,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 06/Set./2017, *(fechada)*).

A Tab. I apresenta a luminância (inicial e após 30min.) amostrada para a luminária aberta, posição justaposta em parede e na direção normal ao plano que passa pelo eixo de cada lâmpada e o desvio máximo calculado.

Tabela I: Luminância amostrada por lâmpada LED-T, 18 W, valores em kcd/m² e desvio.

LED-T (marca-local)	Luminância ^a		
	Posição: S (superior) e I (inferior)		
	S	I	$\Delta L_{\max}$
CBT-HU	8,46 ; 8,56	8,21 ; 8,15	-5%
ECP-IEE	11,50 ; 11,51	12,50 ; 12,19	-2,5%
Demape	9,37 ; 9,37	8,94 ; 9,06	-4,6%
Philips	22,05 ; 21,53	22,09 ; 22,54	4,5%

^a Inicial ; e 30 minutos após a energização.

Numa instalação do IEE/USP foram identificados dois padrões para a ligação elétrica (um pólo em cada base e utilizando apenas base única), 90 lâmpadas tipo LED-T (bulbo em vidro), sendo 8 com defeito (centro de vivência).

V. CONCLUSÕES

Ao menos em dois organismos da USP (IEE e HU) a lâmpada fluorescente tubular, bulbo T8/32W não está mais sendo adquirida para utilização na iluminação geral. A migração está sendo feita para o tipo LED-T (tubular), T8/18 W, 6500 K, sem uma definição clara sobre qual deve ser o fluxo luminoso nominal da substituta, o ângulo de abertura do fecho, fator de potência com correção, dimensão (comprimento) nominal entre outros requisitos. Aparentemente não existe verificação técnica para lastro ao processo de aquisição e em relação aos requisitos mínimos das lâmpadas LED-T já licitadas. O presente artigo considera experimento realizado durante seis dias (período de 29/Ago. a 06/Set./2017), em local abrigado de corrente de ar, com alguma interferência de radiação solar, sendo que o registro da condição de máximo ocorreu em ambiente sob temperatura amostrada dentro da faixa de $(24 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$. A lâmpada LED-A, E-27, 12 W, na posição pendente e base para cima, em "espaço aberto" (fora de luminária), apresentou elevação de temperatura máxima, em relação ao ar ambiente ($\Delta T_{\max}$) de $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ (em posição intermediária do bulbo, #4) após 60 minutos (Tamb. de $19\text{ }^{\circ}\text{C}$). Para os quatro tipos de lâmpadas LED-T consideradas, base G-13, 18 W nominais, fora da luminária foi obtida a faixa de $17\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T_{\max} < 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ e para o tipo fluorescente T8/32W $\Delta T_{\max}$ de $21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A montagem e energização da fonte LED-T em luminária aberta, em relação a condição da mesma fonte fora da luminária foi verificada elevação $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. A faixa para a diferença absoluta entre a elevação de temperatura, considerada a condição luminária aberta e fechada, resultou em faixa de $(5\text{ a }10)\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para as lâmpadas fluorescentes igual diferença foi de $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ para T8/32 W; $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ para T5/28 W e $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ para T5/54 W. Para a lâmpada tipo LED-T dentro de luminária fechada, a temperatura mais elevada ($T_{\max}$) amostrada foi de $61\text{ }^{\circ}\text{C}$ e para a T8/32 W valor próximo de $72\text{ }^{\circ}\text{C}$. A temperatura máxima da LED-T 18 W em luminária fechada foi superior ao valor máximo amostrado para o tipo LED-A, E-27, 12 W (sem luminária). Os valores de máximo (temperatura) ocorreram com a maior frequência (41 %) na extremidade da fonte LED-T (# 2), provavelmente, devido a presença do circuito eletrônico de controle (drive). Uma inspeção realizada em campo, no IEE, revelou dois padrões para ligação da fonte a rede elétrica e taxa de falha de 9 % na instalação considerada. A luminância amostrada revelou duas classes de fontes com potência elétrica nominal similar (18 W).

VI. AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo suporte a partir do proj. binacional CAFB-BA n.048/2013 e aos funcionários das oficinas do IEE/USP.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] BURINI JUNIOR, E. C. et al, (2012). ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA EM LUMINÁRIA FLUORESCENTE. XI Congresso Pan-Americano de Iluminação - LUX AMÉRICA 2012, Cartagena, Colômbia.
- [2] ABNT NBR IEC 60598-1 (2010). Luminárias, Parte 1: Requisitos gerais e ensaios – Anexo K (informativo) Medição de temperaturas, p.157-156.
- [3] ABNT NBR IEC 60598-2-19 (1999). Luminárias, Parte 2: Requisitos particulares, Capítulo 19: Luminária para sistemas de ar-condicionado (requisitos de segurança), 7p.

VIII. BIOGRAFIAS

É graduado pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, onde concluiu também curso de especialização em Mecânica Fina (1985). Recebeu o título de Doutor em Energia pela Universidade de São Paulo, em 2002. A experiência profissional inclui atividades de engenharia no setor privado e público, setor de normalização técnica nacional e internacional; ensino e formação de pessoal. Iluminação moderna está incluída entre os principais campos do interesse.



Evaluación subjetiva de espacios interiores residenciales iluminados con lámparas de diferentes tecnologías

Jesús Obando^{1,2}, Carlos Kirschbaum^{1,2}, Andrés Martín^{1,2,3}

¹ Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (DLLyV), Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Argentina.

² Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV), CONICET-UNT, Argentina

³ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tucumán, Argentina

nanoobando@gmail.com, ckirschbaum@gmail.com, amartin@herrera.unt.edu.ar

Resumen: Un experimento se realizó para investigar las preferencias en la elección de fuentes de iluminación residencial interior, en el cual se evaluó una Sala de Estar simulada, bajo diferentes fuentes de luz y niveles.

Veinticuatro tipos de iluminación se evaluaron visualmente. Las fuentes de luz utilizadas en este experimento son: Incandescente (I), Incandescente Halógena (IH), Fluorescente Compacta Espiralada (FCC – FCf) y LED (LEDc, LEDf, iLEDc, iLEDf), temperatura de color de 2700K y 6500K, niveles de iluminación desde 148 lux a 606 lux, todas las lámparas con base E27.

Dieciséis observadores completaron las evaluaciones subjetivas mediante un cuestionario de diferenciales semánticos en los que evaluó Percepción de color, Nivel de iluminación y Apariencia del espacio.

Los resultados obtenidos muestran que para todas las lámparas los niveles máximos de iluminación son preferidos por los observadores. Hay evidencia significativa de que con diferentes lámparas se obtienen valoraciones similares, influyendo en el aspecto económico ya que entre las diversas tecnologías hay sensibles diferencias de precios y consumo de energía. Además, se prefieren lámparas con temperatura de color bajas (2700K) como la IH y LEDc, mientras que las lámparas de temperatura de color alta (6500K) como las iLEDf y LEDf son las menos preferidas.

Palabras claves: Iluminación interior, fuentes de luz, preferencias.

Abstract: An experiment was conducted to investigate preferences in the choice of interior residential lighting sources, in which a simulated living room was evaluated under different light sources and levels.

Twenty-four types of lighting were evaluated visually. The light sources used in this experiment are: Incandescent (I), Halogen Incandescent (IH),

Compact Fluorescent Spiral (CFw – CFc) and LED (LEDw, LEDc, iLEDw, iLEDc), color temperature 2700K and 6500K, lighting levels from 148 lux to 606 lux, all lamps with E27 bases.

Sixteen observers completed subjective assessments using a questionnaire of semantic differentials in which they evaluated Color Perception, Illumination Level and Space Appearance.

The results show that for all lamps maximum levels of illumination are preferred by observers. There is significant evidence that with different lamps, similar assessments are obtained, influencing the economic aspect since among the different technologies there are sensible price differences and energy consumption. In addition, low color temperature lamps (2700K) such as HI and LEDw are preferred, while high color temperature lamps (6500K) such as iLEDc and LEDc are the least preferred.

Palabras claves: Interior lighting, light sources, preferences.

I. INTRODUCCION

El diseño de iluminación interior residencial está influenciado por las diversas fuentes de luz que existen en la actualidad cuyas principales características son: mayor eficacia luminosa, larga vida útil y menor consumo de energía eléctrica respecto a la tradicional lámpara incandescente ya fuera del mercado argentino. Otras variantes que se incorporan en la elección de estas lámparas son: forma, manera de producir luz, características fotométricas y espectrales, reproducción de los colores, calidez o frialdad de la luz, amplitud en el rango del nivel de iluminación. Estas particularidades influyen sin dudas en las características que adoptarán los ambientes de los espacios interiores residenciales, en el confort y el estado de ánimo de los usuarios.

El concepto de eficiencia energética de las nuevas tecnologías está estrechamente vinculado no solo con el consumo sino también con el grado de satisfacción y eficiencia.

El interés de esta investigación es estudiar la influencia de estas fuentes en la evaluación subjetiva de los usuarios de ambientes típicos de viviendas. Las evaluaciones de los observadores se registran mediante cuestionarios en ambientes simulados en laboratorio.

Trabajos consultados están vinculados a la evaluación de espacios [1] [2], percepción de colores [3][4][5][6], texturas, apariencia de alimentos y bebidas [7].

Los avances realizados en el tema de investigación se presentaron en diferentes eventos [9] y [10].

II. METODOLOGÍA

Para evaluar la preferencia de los observadores, se diseñó y montó una simulación a escala real de una Sala de Estar de vivienda residencial cuyo sistema de iluminación permite tanto el cambio de las fuentes de luz como de los niveles lumínicos. Las valoraciones de los observadores se recogieron a través de un cuestionario de diferenciales semánticos. A continuación, se describen cada uno de los elementos utilizados en la investigación como así también el método de análisis estadístico de los datos obtenidos.

A. Sala de Estar

Se diseñó y montó en escala real en la sala de simulación con que cuenta el DLLyV – ILAV. La sala estaba aislada del ingreso de luz natural. Las dimensiones de la sala son 3,54m de largo, 3,12m de ancho y 2,80 de alto, equipada con elementos típicos de una Sala de Estar como: sofás, cuadros, mesa, flores y revistas, lo que le otorgan un carácter general al ambiente.



Fig. 1: Sala de Estar simulada a escala real

B. Lámparas de diferentes tecnologías empleadas

Las fuentes de luz utilizadas en este experimento fueron: Incandescente (I), Incandescente Halógenas (IH), Fluorescente Compacta Espiralada (FC) y de estado sólido (LED), todas con base rosca E27. Se utilizaron 3 niveles de iluminación para cada lámpara que varían entre un mínimo de 148 lux y un máximo de 606 lux y temperatura de color de 2700K y 6500K.

La iluminación se realizó a través de una luminaria equipada con ocho portalámparas rosca E27 lo que permitió variar los niveles de iluminación de manera precisa. A su vez, el diseño de la luminaria evitó que los observadores pudieran observar directamente las fuentes de luz, por lo que no contaron con información sobre el origen de la luz que pudiera influir sobre su juicio.

Las mediciones fotométricas se realizaron con luxómetro Minolta T-1M. Los datos de iluminancia horizontal (Eh), iluminancia vertical (Ev) se midieron en varios puntos conformando una red de valores. Los promedios de las mediciones fotométricas se muestran en la siguiente tabla.

NIVELES DE ILUMINANCIA

Lámpara	Niveles	Eh	Ev	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	
	I	1	236	45,28			
		2	357	66,97			
		3	590	111			
	IH	1	242	59,40			
		2	397	100,1			
		3	630	157,9			
	FCc	1	250	51,03			
		2	369	76,53			
		3	602	130,6			
	FCf	1	235	47,47			
		2	350	71,55			
		3	580	120,4			
	LEDc	1	252	42,95			
		2	359	58,48			
		3	610	101,5			
	LEDf	1	232	38,01			
		2	372	58,12			
		3	600	96,50			
	iLEDc	1	215	54,85			
		2	357	93,78			
		3	569	146,9			
	iLEDf	1	234	58,78			
		2	389	99,54			
		3	614	159,3			

C. Evaluaciones subjetivas

Las evaluaciones subjetivas se realizaron con un grupo de 16 observadores, 8 mujeres y 8 varones, con edades entre 18 y 33 años, algunos con visión normal y otros con miopía o astigmatismo (estos últimos con sus respectivos lentes para corrección en cada caso). Las valoraciones se registraron a través de un cuestionario con diferenciales semánticos de 7 pasos mediante el uso de pares de adjetivos bipolares que se agrupaban y se evaluaron en las siguientes categorías:

Percepción del color

- 1- Los colores de la pintura se ven (Muy mal/Muy bien)
- 2- Los colores de la pintura son (Muy débiles/Muy intensos)
- 3- Los colores del sofá son (Muy débiles/Muy intensos)

Nivel de iluminación

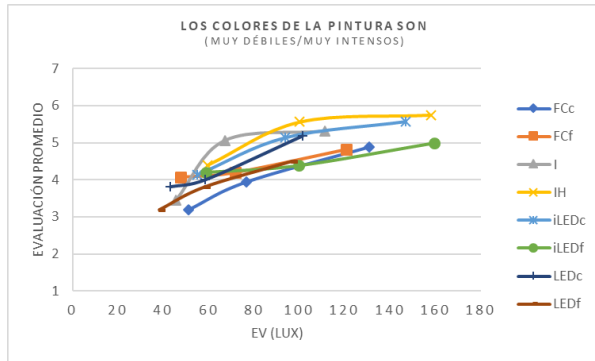
- 4- El nivel de iluminación en la superficie de la mesa es (Muy bajo/Muy alto)
- 5- El nivel de iluminación en la pintura es (Muy bajo/Muy alto)

Apariencia del espacio

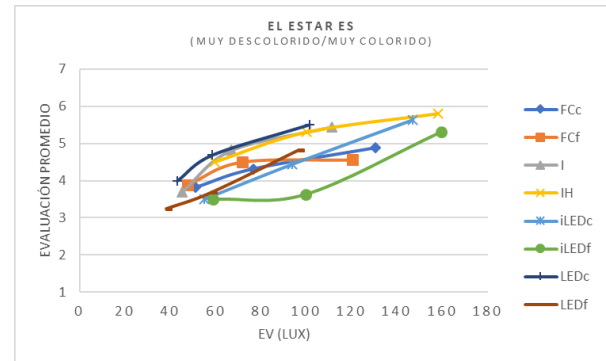
- 6- El Estar es (Muy oscuro/Muy claro)
- 7- El Estar es (Muy desagradable/Muy agradable)
- 8- El Estar es (Muy descolorido/Muy colorido)
- 9- El Estar es (Muy estrecho/Muy amplio)
- 10- El Estar es (Muy aburrido/Muy estimulante)
- 11- El Estar es (Muy frío/Muy cálido)

El tiempo de evaluación para cada observador incluyendo las diferentes lámparas con sus respectivos niveles de iluminación es de 20 minutos, tiempo recomendable para evitar que la fatiga no influya en las respuestas.

III. RESULTADOS



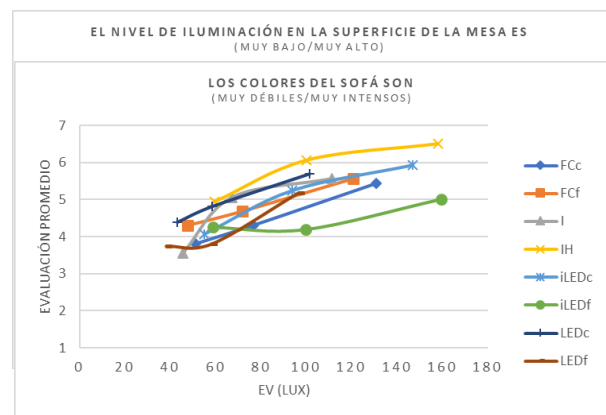
Percepción del color



nivel inferior la (iLEDf) y en un nivel intermedio las lámparas restantes.

V. CONCLUSIONES

Nivel de iluminación



De los datos obtenidos se deduce como perciben

Apariencia del espacio

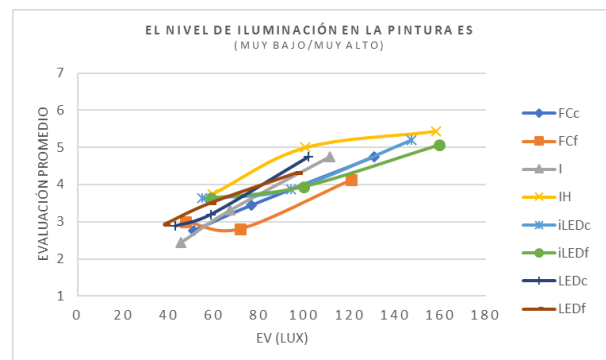
IV. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los graficos de las evaluaciones subjetivas promedio de los observadores en función de la iluminancia muestran:

Percepción del color: los niveles máximos ajustados para la apreciación de colores tanto en la evaluación de la pintura como la del sofá son evaluadas con mayores valores. Estas valoraciones se pueden agrupar entre las lámparas de temperaturas de color bajas (2700K), excepto la (FCc) que arrojan evaluaciones menores junto con el resto de las lámparas de color de temperatura altas (6500K)

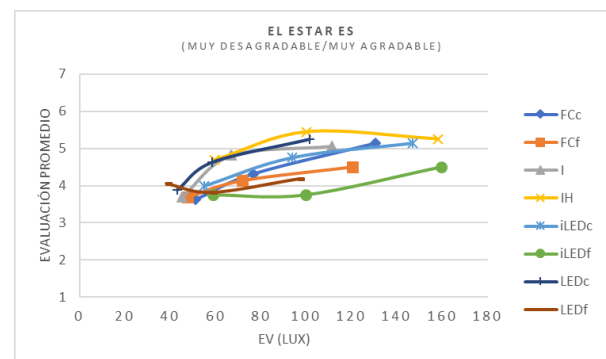
Nivel de iluminación: niveles máximos son preferidos para todas las lámparas. Valores que rondan los 600 lux.

Apariencia del espacio: Se pueden agrupar en tres niveles, las valoraciones más altas corresponden a las lámparas (IH) y (LEDc), en un



los observadores y cuales son sus preferencias en iluminación.

Los niveles máximos de iluminación son

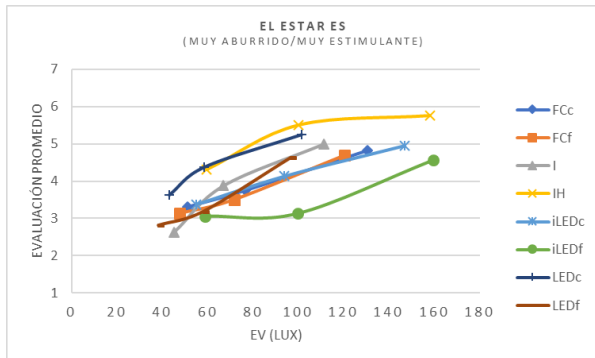


preferidos por los observadores. Se puede observar en los gráficos que con diferentes

lámparas se obtiene valoraciones similares, influyendo en el aspecto económico ya que entre las diversas tecnologías hay sensibles diferencias de precios. Además, se prefieren lámparas con temperatura de color bajas (2700K) como la IH y LEDc, mientras que las lámparas de temperatura de color alta (6500K) como las iLEDf y LEDf son las menos preferidas.

VI. RECONOCIMIENTOS

Este trabajo es parte del proyecto PICT “Efectos Psicológicos y Fisiológicos de la Iluminación” y



PIP “La percepción visual y sus aplicaciones en Eficiencia Energética, Deporte y Visión con Objetos Transparentes”

VII. REFERENCIAS

- [1] Fernandez P., Giboreau A., Fontoynt M., A Three Step Method to Design Lighting in Hotel Rooms Through a User Centered Approach. International Conference on the Effects of Light on Wellbeing. November 2012
- [2] Banu Manav, Rana Güvenkaya Kutlu, The Effects of Colour and Light on Space Perception, Colour and Light in Architecture, First International Conference 2010 Proceedings.
- [3] Schanda – Madár: Light source quality assessment, CIE Session 2007 Beijing Poster Paper.
- [4] Noor K, Effect of Lighting Variability on the Color Difference Assessment, Master's of Science in Textile Chemistry thesis, Graduate Faculty of North Carolina State University, 2003.
- [5] Yaoyuneyong G, Effects of illuminants and retail environments on color of textiles fabric, Doctor of Philosophy Thesis, Department of Textiles and Consumer Sciences, The Florida State University College of Human Sciences, Fall Semester, 2007.
- [6] Vienot F, Durand ML, Mahler E, Kruithof 's rule revisited using LED illumination, Journal of Modern Optics, Vol. 56, No. 13, 20 July 2009, 1433–1446.
- [7] Wang RWY, Chen YC, Huang CT, Research into the emotion dimensions revealed by the colors of beverage packaging, KEER2010, Paris | March 2-4 2010, International conference on Kansei Engineering and Emotion Research, 2010.
- [8] Obando J., Buriek F., Kirschbaum C., Tecnologías para la iluminación de interiores residenciales. 101° Reunión de la Asociación Física Argentina, organizada por filial Tucumán (AFA). San Miguel de Tucumán. Tucumán. Argentina. Octubre 2016.
- [9] Obando J., Kirschbaum C., Percepción de interiores residenciales iluminados con diferentes tecnologías. XXIV Jornadas jóvenes investigadores, organizado por AUGM (Asociación

de Universidades Grupo Montevideo). San Pablo. Brasil. Octubre 2016.

VII. BIOGRAFIAS

Obando Jesús, Arquitecto (FAU-UNT). Especialista MAVILE (FACET-UNT), Becario Doctoral CONICET.

Kirschbaum Carlos, Licenciado en Física (UNT). Doktor-Ingenieur (Universidad Técnica de Berlín). Investigador Principal CONICET, Prof. Emérito UNT

Andrés Martín, Investigador Asistente CONICET. Prof. Adjunto UTN.

Iluminación del Palacio de Justicia de la Ciudad de San Miguel de Tucumán

Manzano Eduardo, O'Donnell Beatriz, Raitelli Mario, del Negro Luis, De Nobrega Marcelo

Depto. de Luminotecnia Luz y Visión, Universidad Nacional de Tucumán - ILAV CONICET,

emanzano@herrera.unt.edu.ar

Martín Caldelari

Palacio de Justicia, Provincia de Tucumán.

martincaldelari@hotmail.com

Resumen: El trabajo describe la iluminación del Palacio de Justicia de la ciudad de San Miguel de Tucumán, obra que fue inaugurada en Septiembre de 2017. Dado que el edificio posee características arquitectónicas destacables y es además patrimonio histórico de la provincia, requirió considerar una serie de aspectos en el diseño de su iluminación, entre los que se destacan:

- el respeto al valor patrimonial y estilo arquitectónico,
- la percepción visual nocturna del edificio en armonía con el simbolismo
- interacción con las funciones y horarios de uso
- la preservación del edificio con el mínimo impacto constructivo sobre la fachada
- el uso de tecnología LED de calidad para asegurar el bajo mantenimiento,
- el bajo impacto ambiental y energético por el consumo, minimizando la contaminación lumínica,
- el bajo impacto visual de las instalaciones durante el día,
- instalaciones robustas anti vandálicas.

Estos y otros aspectos, junto a descripción del proyecto en sus diferentes etapas, las simulaciones del proyecto y las imágenes del resultado final de obra serán motivos de la presentación del trabajo.

Palabras claves: Iluminación arquitectónica, monumento histórico, Luminarias LED

Abstract: The paper describes the illumination of the Justice Palace from San Miguel de Tucumán, Argentina city that was inaugurated on September 2017. The building, which has remarkable architectural features and is also a historical heritage of the province, required to consider some special aspects in the lighting design, among which stands out:

- Respect for heritage value and architectural style,

- the visual perception in harmony with the symbolism
- interaction with activities and hours of use,
- preservation of the building with minimal impact on the facade
- the use of good quality LED technology to ensure low maintenance,
- the low environmental and energy impact of consumption, minimizing light pollution,
- the low visual impact of the fixtures during the day,
- anti-vandalism installations.

These and other aspects, along with description of the project in its different stages, the simulations of the project and the images of the final result of work will be commented.

Key words: architectural lighting, heritage, LED luminaire

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto de iluminación e instalación eléctrica fue realizado por el Depto. de Luminotecnia Luz y Visión [1] y constituye un trabajo en equipo donde participaron los Arq. Martín Caldelari y Laura Parra como los comitentes del Palacio de Justicia, la Arq. Mercedes Aguirre, Directora de Patrimonio del Ente Cultural de la Provincia y la Arq. Silvia Rossi del Instituto de Historia y Patrimonio de la Facultad de Arquitectura de la UNT.

La empresa que ganó la licitación y realizó la obra fue Mega S.A. del Ing. Adrian Castillo. La inspección de obra fue realizada por los Arq. Pablo Castellón y Felicitas De San Román del Palacio de Justicia.

La información fotométrica de las luminarias empleadas fue provista por el fabricante y verificadas mediante mediciones en el Laboratorio de Fotometría del DLLyV-ILAV de la UNT a cargo del Ing. Alberto Cabello.

II. DESCRIPCION ARQUITECTONICA

El edificio del palacio de Tribunales de la ciudad de San Miguel de Tucumán fue concebido por el Arq. Francisco Squirru e inaugurado en el año 1939. La obra está organizada según las leyes de la composición académica esto es, estructurado a partir de dos ejes de simetría que forman en planta un rectángulo perfecto con dos patios separados por un pabellón donde se ubican los accesos principales (ver figura 1).



Fig. 1: Edificio del Palacio de Tribunales de la ciudad de San Miguel de Tucumán.

Las fachadas principales de mayor desarrollo están compuestas por un cuerpo central donde se ubican los pórticos, dos pabellones laterales intermedios retirados y dos esquineros laterales avanzados. El techo de los cuerpos de las cuatro esquinas, está conformado por pequeños chapiteles escalonados con una linterna central. Del centro del pabellón del edificio emerge un volumen octogonal central cuyo techo está conformado también por chapiteles escalonados que rematan en una linterna central de mayores dimensiones.

Se destacan asimismo los tres niveles clásicos de basamento cuerpo y remates, siendo el primero y los últimos más masivos que el intermedio que recurre a una columnata para hacerlo más ligero. Si bien la fachada se inspira en la famosa columnata del Louvre de Perrault, es más equilibrada que aquella asignándole un mayor desarrollo al nivel central y reduciendo el basamento. Las fachadas laterales tienen idéntica conformación con la columnata entre los cuerpos de esquina, pero en este caso formada por semicolumnas, lo que unifica mas la superficie de la envolvente, asignándole una mayor jerarquía que a los frentes principales.

El cuerpo central se caracteriza por un pórtico tetrástilo¹ que indica claramente la función de acceso prescindiendo del basamento. Los pabellones intermedios están formado por un

fuerte basamento y sobre él una columnata en doble altura que culmina en un remate continuo. Los cuerpos de esquina reinterpretan la estructura de la columnata entre basamento y remate pero contenida en un marco macizo que establece claramente el límite del edificio definiéndolo como una unidad.

La escala monumental y el lenguaje remiten al neoclasicismo tardío donde se simplifican al extremo los elementos ornamentales característicos del lenguaje. La simetría, la proporción, la simplicidad y la disposición repetitiva de los elementos constructivos definen su carácter austero.

El edificio esta revestido de una terminacion y color piedra paris o símil piedra que fuera un revoque muy utilizado en la arquitectura de fines del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX, inspirado en la verdadera piedra utilizada para las construcciones en París Francia.

III. CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de iluminación del edificio basados en las actuales técnicas sobre edificios de carácter histórico y patrimonial, se fundamentan en considerar las siguientes pautas:

- la relevancia histórica,
- el simbolismo,
- la arquitectura,
- la preservación,
- el impacto visual
- las funciones que en él se llevan a cabo,
- el impacto ambiental,
- la eficiencia energética,
- el mantenimiento de las instalaciones.

El diseño requirio en primer lugar analizar la relevancia, el simbolismo y arquitectura del edificio, a partir de lo cual se propuso la puesta en valor del edificio recreando con la iluminación una imagen austera y discreta tanto en el uso de efectos de luz, como escenas y color. De este modo la imagen estaría acorde al simbolismo de la justicia y al respeto del caracter histórico patrimonial.

La escala y arquitectura del edificio fue analizada desde las distintas ubicaciones y direcciones preferenciales de observación. El edificio dado su tamaño monumental inserto en el entramado urbano permite una contemplación desde cortas y medianas distancias, desde las calles perimetrales para un recorrido peatonal y vehicular. Una mejor visibilidad se presenta en un eje de recorrido atravesando la plaza frente al mismo dada la frondosa vegetación de la plaza (ver figura 2). El techo de los cuerpos de las cuatro esquinas, es visible destacandose parcialmente los chapiteles escalonados y las linternas centrales. Con mayor protagonismo se

¹ El edificio tetrástilo tiene cuatro columnas en su fachada principal.

destaca el techo del volumen octogonal central conformado también por chapiteles escalonados que rematan en una linterna central. El edificio es también visible desde algunos edificios en altura.



Fig. 2: Vista aérea² indicando las direcciones preferenciales de visión en recorridos peatonales y vehiculares.

Por lo tanto se justifica destacar todas las fachadas del edificio y los chapiteles y linternas centrales de los techos adyacentes a las fachadas.

El entorno luminoso nocturno del edificio no planteaba conflicto dado que estaba producido principalmente por el alumbrado público, en parte con luminarias semi apantalladas de sodio de alta presión (SAP) muy depeciadas y en parte con luminarias nuevas LED luz fría apantalladas. En un futuro próximo este último tipo reemplazarán a las de SAP. Convendría prever que los niveles de iluminación sean los adecuados para la clasificación de las vías y no sobredimensionados como es la práctica habitual, lo cual podría atenuar el impacto visual de la iluminación de las fachadas. En el mismo sentido cuidar que la inclinación del pescante sea horizontal.

IV. DISEÑO CONCEPTUAL

A. Efectos luminosos

Se propusieron efectos luminosos para destacar:

- los dos pórticos principales
- los escudos sobre los pórticos principales y pórticos de fachadas laterales
- el basamento de los pabellones laterales y fachadas laterales
- los cuerpos centrales de los pabellones laterales y de fachadas laterales
- el volumen central octogonal

- los chapiteles y linternas

Los efectos se aplicarían a todas las fachadas de modo de lograr cierta simetría.

Las fachadas de los pórticos principales, que avanzan respecto del conjunto, se destacarían con iluminación rasante ascendente en las cuatro columnas rectangulares (para el pórtico frente a la plaza desde el basamento de cada columna y para el pórtico simétrico opuesto desde la escalinata) mediante un haz de luz estrecho color blanco neutro (Luminaria tipo T1 de acuerdo a tabla 1). En los paños laterales del pórtico y desde el nivel del suelo se iluminarían con luz azul (saturada) rasante ascendente de modo de dibujar la imagen de la bandera (T10). Las esquinas de encuentro con los pabellones laterales retrasados se destacarían con iluminación rasante ascendente desde el suelo con haz de luz neutro (T5). Se completaría la iluminación interior de los accesos con un baño de luz cálida (T3) del cielorraso de modo que las rejas de los pórticos vistas desde el exterior se perfilen contra un fondo claro. El escudo de la parte superior del pórtico se destacaría con un acento de luz mediante haz concentrado de luz cálida frontal (T9) proyectado desde una columna en altura ubicada al frente en la plaza.

El basamento que rodea los pabellones laterales y las fachadas laterales se destacaría con un baño de luz neutro ascendente haz medio (T6) desde el suelo frente a cada paño entre ventanas de modo de producir un patrón de luz y sombra a lo largo del edificio.

Los cuerpos centrales de los pabellones laterales y de fachadas laterales se destacarían iluminando en forma rasante ascendente (T7) los paños entre columnas desde el nivel de piso de los balcones detrás de la balustrada mediante un haz estrecho de luz cálida. De este modo se verían en contraste negativo las columnas respecto de los paños entre columnas. Este efecto luminoso se repetiría en las fachadas laterales menores del edificio con la diferencia que los balcones son de menor profundidad creando un efecto sutilmente diferente. Los escudos ubicados sobre los pórticos menores de calles laterales se destacarían con un acento de luz mediante haz concentrado de luz cálida frontal (T2).

El volumen central octogonal se destacará iluminando las fachadas visibles frente a la plaza con un baño de luz neutro uniforme (T6 y T8). Los chapiteles y linternas tanto del volumen central como de las cuatro esquinas se iluminarían con baño de luz neutra (T4) focalizada sobre las superficies visibles desde los puntos de observación de la calle y plaza mediante proyectores de haz concentrado ubicados en las cornisas del perímetro de los chapiteles.

² <https://goo.gl/maps/scvWRkDHNpL2>

B. Escenas de luz

Los efectos luminosos fueron organizados en tres escenas para crear distintas ambientaciones para noches de días de semana, de fin de semana y de festividades:

- Escena diaria: todas las fachadas y los chapiteles de las esquinas. Encendido de verano de 20h a 24h, invierno de 19h a 24h.
- Escena de fin de semana: se agrega a la escena diaria la iluminación del volumen octogonal central y sus chapiteles y linterna. Encendido de verano de 20h a 24h, invierno de 19h a 24h.
- Escena de días festivos: se le agrega a todo lo anterior la simulación de la bandera en el frente. Encendido de verano de 20h a 01h, invierno de 19h a 01h.

V. DISEÑO DETALLADO

A. Aspectos generales

A partir del diseño conceptual se efectuó una selección de luminarias, emplazamientos y enfoques de modo de generar los efectos luminosos deseados. Para los cálculos de iluminación y simulación de imágenes se trabajó sobre una maqueta en 3D planos y planos en 2D para ser utilizada en el programa Dialux. Las fotometrias de luminarias seleccionadas fueron obtenidas de la web de los fabricantes con las cuales se hicieron los mapas de luminancia de las distintas fachadas hasta alcanzar los valores en nivel y contrastes objetivos de acuerdo a la luminosidad del entorno (ver figura 3).



Fig. 3: Render de la fachada frente a la plaza en la escena festiva.

Distintas alternativas fueron generadas las cuales fueron presentadas y discutidas hasta su aprobación con los comitentes del Palacio de Justicia y con la Comisión de Patrimonio de la Provincia de Tucumán. Surgió así un diseño detallado ajustado además a los requerimientos técnicos y al presupuesto económico. Fotografías de la obra finalizada se muestran en figuras 4 a 8.

Como documentación técnica para la licitación se produjo la siguiente información:

- memoria descriptiva de la obra
- planos de luces con ubicación detallada de luminarias
- descripción técnica de cada tipo de luminaria y driver



Fig. 4: Pórtico principal sobre la plaza



Fig. 5: Fachada lateral



Fig. 6: Fachada de esquina

- detalles de ángulos de orientación para cara tipo de luminarias
- detalles del sistema de montaje y protección
- planos de instalación eléctrica
- catálogos de posibles proveedores
- computos de materiales y presupuesto general
- detalles de consumos y costos de energía
- diagrama de tareas y plazos de ejecución
- curva de inversión



Fig.7 Fachada de portico principal vista desde la plaza



Fig.8 Detalle de Chapitel y linterna esquinera vista desde edificio de enfrente.

B. Selección de la tecnología

Las luminarias seleccionadas para el proyecto fueron de tecnología LED, las cuales si son de calidad adecuada, se espera brinden las mejores condiciones de eficiencia energética, bajo mantenimiento, menores dimensiones de los respondiendo a las características cualitativas y cuantitativas necesarias para el proyecto. Se trató de homogenizar en la medida de lo posible la variedad de luminarias a fin de simplificar el mantenimiento.

C. Características técnicas de las luminarias

Fueron indicadas como relevantes las siguientes:

- Forma del proyector (o dimensiones en algunos casos)
- Apertura del haz vertical y horizontal (AH=10x60)
- Flujo luminoso mínimo (FL)
- Índice de Respuesta al Color mínimo(IRC)
- Temperatura de color correlacionada (Tcc=4000K $\pm$ 100K)
- Potencia máxima (Pot)
- Protección mecánica (IP $\geq$ 65 e IK=10)

- Acabado exterior

Ademas se indicaba un tipo de luminaria existente en el mercado o similar.

En tabla 1 se resumen las características técnicas de luminarias utilizadas.

Item	FL	AH	Pot.	Tcc	IRC	Num.
T1	2400	10	50	4000	80	8
T2	1700	21	50	2700	80	2
T3	1600	36	50	2700	80	8
T4	2300	83	50	4000	80	33
T5	870	9	15	4000	80	52
T6	940	10x60	20	4000	80	77
T7	1400	10x60	30	2700	80	74
T8	6000	63	125	4000	80	3
T9	5300	13	125	2700	80	3
T10	1100	9	60	Azul	-	8

D. Impacto visual

Para reducir el impacto visual de la instalación de iluminación, tanto durante el día como durante la noche para el peatón que recorre los exteriores del edificio, fueron seleccionadas luminarias de reducido tamaño, combinadas con ubicaciones en las cuales quedaban ocultas o enmascaras por los datalles arquitectonicos del propio edificio.

E. Preservación de la fachada

La preservación del edificio se logra con la intervención mínima posible sobre la arquitectura del edificio. Sugereiones mediante abrazaderas de canalizaciones aereas perfilando salientes e interiores fueron utilizadas en la mayoría de los casos.

F. Protección vandálica

Dada la exposición a zonas de acceso libre al público, las luminarias que rodean al edificio fueron protegidas mediante una carcasa metálica enrejada, fijada mediante tornillería al suelo de concreto, al basamento o a la escalinata (ver figura 9). En el caso de las luminarias ubicadas en los balcones se empleó un sistema similar pero más ligero en cuanto a protección (figura 10).

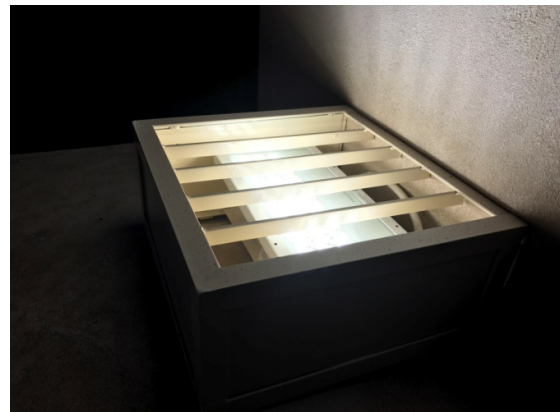


Fig. 7: Protecciones anti vandálicas en luminarias sobre basamento de columnas

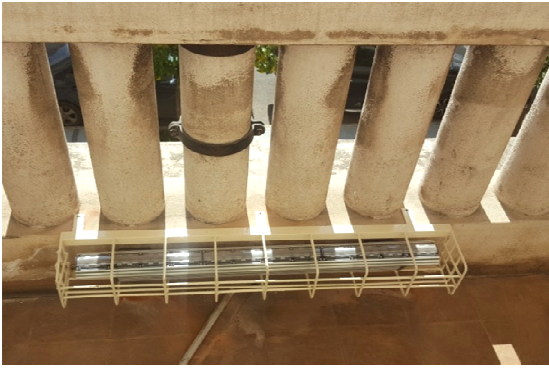


Fig. 8: Protecciones anti vandálicas en luminarias ubicadas en los balcones tras las balaustradas.

G. Verificaciones in situ y sobre los materiales

Durante el periodo de recepción de las luminarias se efectuaron mediciones fotométricas a las para verificar el cumplimiento de las características técnicas. También fueron efectuadas pruebas de campo para verificar la respuesta in situ para lograr los efectos luminosos deseados (ver figura 9)

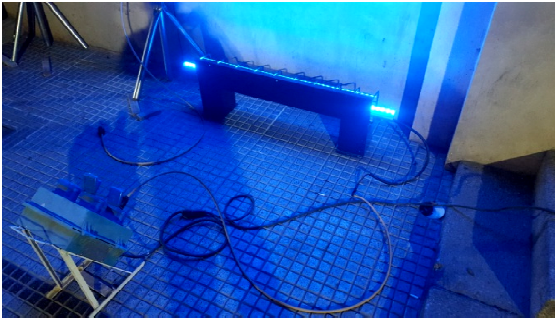


Fig. 9: Verificaciones in situ del rendimiento de las luminarias y ángulos de apuntamiento.

H. Costos³

El costo total de la obra fue a enero de 2016 \$7.210.000.- el cual se distribuye según se indica en figura 10.

La potencia total instalada en iluminación exterior del edificio fue de 8,32kW. El consumo mensual estimado en base a las escenas y horarios de funcionamiento es de aproximadamente 1123,2kWh lo que equivale a un costo mensual menor a \$2.250 lo que equivale a \$75 por noche.

VI. CONCLUSIONES

Se describe la obra de iluminación del edificio del Palacio de Justicia, del Poder Judicial de la Provincia de Tucumán la cual presentó características particulares por la arquitectura del edificio y por el hecho de constituir un patrimonio histórico para la Provincia de Tucumán.

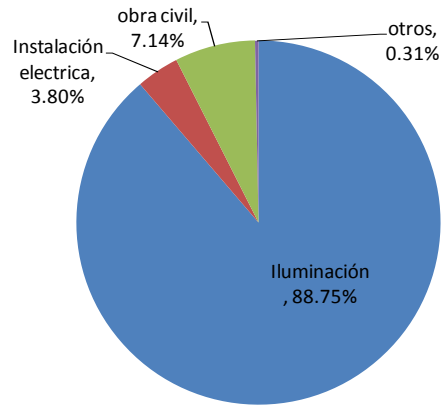


Fig. 10: Distribución de costos según rubros. Iluminación incluye provisión y mano de obra de colocación.

El proyecto desde la etapa el diseño conceptual requirió de la intervención de la Comisión de Patrimonio la cual evaluó y aprobó los efectos luminosos y escenas de luz generadas. La tecnología empleada fue luminarias LED donde el reducido impacto visual durante el día, el bajo consumo energético y la duración esperada justifican los costos de inversión.

VII. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen por el apoyo financiero para la realización de este trabajo a las autoridades del Poder Judicial de la Provincia de Tucumán, a la Universidad Nacional de Tucumán, PIUNT E523 y al CONICET.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Manzano E., O'Donnell B., Raitelli M., Del Negro L., De Nobrega M. Proyecto de iluminación exterior e instalación eléctrica del Palacio de Justicia de San Miguel de Tucumán. Noviembre 2015.

IX. BIOGRAFIAS

Eduardo Manzano, Beatriz O'Donnell y Mario Raitelli son docentes investigadores del Depto. de Luminotecnia Luz y Visión- UNT y CONICET. Luis Del Negro es docente investigador del Depto. de Luminotecnia Luz y Visión y del Depto. de Electrica Electronica y Computación - UNT. Marcelo De Nobrega es personal de Apoyo del CONICET.

³ Cotización al 29/09/17 1u\$=\$17,8



Eficiencia Energética

Caracterización de Indicadores de Eficiencia Energética y Fotométrica de Luminarias LEDs

Sophía Heredia, Alberto Cabello, Mario Raitelli

Dpto. De Luminotecnia, Luz y Visión – Universidad Nacional de Tucumán – San Miguel de Tucumán, Argentina – sophia.heredia@hotmail.com – acabello@herrera.unt.edu.ar

Resumen: Se presenta una propuesta para el desarrollo de una metodología que permita caracterizar luminarias con tecnología de Estado Sólido (LEDS) de manera integral, esto es, no sólo desde la óptica de la eficiencia energética (evaluación del consumo respecto de la cantidad de luz emitida, en unidades de lúmenes/vatios), sino también desde el punto de vista de la calidad de la iluminación, o sea, teniendo en cuenta parámetros fotométricos tales como la amplitud y forma de la distribución de intensidades luminosas (nivel de iluminación y uniformidades), lo cual influye sobre la cantidad de luminarias que se necesitan por unidad de área o longitud, tanto para luminarias de Alumbrado Público como para luminarias de interiores de aplicación comercial e industrial.

Con los resultados obtenidos se busca definir índices de calidad que permitan al diseñador de iluminación una correcta elección de las luminarias más adecuadas para su proyecto desde el punto de vista del consumo y de la minimización de costos iniciales en la etapa de diseño de instalaciones de alumbrado, nuevas o reconversión de existentes, que incorporen la nueva tecnología.

Abstract: A proposal is presented for the development of a methodology that allows the characterization of luminaries with solid state technology (LEDS) in an integral way, that is, not only from the point of view of the energy efficiency (evaluation of the consumption in units of lumens / Watts), but also from the point of view of lighting quality, ie. taking into account photometric parameters such as the amplitude and shape of the distribution of luminous intensities (level of illumination and uniformities), which influences the quantity of luminaries required per unit area or length, both for public lighting luminaries and for commercial and industrial interior luminaries.

With the results obtained it is intended to define quality index that allow the lighting designer a correct choice of the most suitable luminaries for his project from the point of view of the

consumption and the minimization of initial costs in the stage of design of lighting installations, new or retrofit of existing, incorporating the new technology.

Palabras claves: Eficiencia Energética - Diseño de iluminación – Fotometría

I. INTRODUCCION

En el ámbito de la iluminación de espacios públicos y privados, durante décadas la tecnología de descarga de gases ha predominado, debido a su gran capacidad en la producción de luz, y con niveles aceptables de eficiencia.

Sin embargo, los avances tecnológicos y la problemática ambiental, hacen que cada vez aumente más la demanda por fabricar productos con mayor eficiencia, sumándose a la consideración aspectos que antes no eran tan relevantes, como la radiación de energía fuera del rango visible, las pérdidas 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 general, van en desmedro de la utilización de iluminantes de tecnología convencional, y a favor de iluminantes de tecnología no convencional caracterizados principalmente como LED [1].

En los últimos años el sector de la iluminación ha experimentado un gran avance gracias a la aparición de aplicaciones cada vez más eficientes y variadas basadas en la tecnología LED.

El advenimiento de la tecnología de fuentes de luz de estado sólido (LEDs) -presentada como la "tecnología más eficiente de producción de luz"-, constituye un salto tecnológico en el campo de la iluminación similar al registrado en la informática durante los años 90 y 2000, en el sentido que el desarrollo de lámparas y luminarias para determinadas aplicaciones, está tornándose de alcance masivo (mezcla de luces, manipulación de intensidades, control dinámico de la escena) lo que

demanda investigaciones sobre criterios apropiados e identificación de daños a evitarse [2].

Los LED constituyen una tecnología avanzada y novedosa, cuyo punto más destacable respecto a cualquier otro tipo de tecnología de iluminación es la eficacia luminosa, que actualmente se sitúa entre 80-100 lm/W siendo la previsión alcanzar en los próximos años los 150 lm/W. Por ello, los dispositivos de iluminación basados en esta tecnología favorecen el ahorro y eficiencia energética contribuyendo así a la consecución de objetivos de reducción de gases de efecto invernadero para el año 2020.

Cabe destacar también la elevada vida útil de las lámparas LED, lo que unido al bajo consumo de energía eléctrica podría permitir un retorno de la inversión en un periodo de tiempo reducido, sobre todo en el sector terciario e industrial.

Otros puntos importantes de la tecnología LED son la ausencia de radiaciones ultravioletas e infrarrojas, la escasa generación de calor, el encendido instantáneo, el buen rendimiento de color y la posibilidad de regulación de la luz que permite una gestión total de la instalación de alumbrado.

Sin embargo, es fundamental que se garantice la calidad de los LED y equipos auxiliares mediante especificaciones técnicas que cumplan los requisitos establecidos en las pertinentes normas técnicas, tanto en lo que afecta a las definiciones y métodos de medición, como a los valores límite exigibles, ajustándose al diseño ecológico requerido por protocolos ambientales [3].

II. DEFINICIONES (Norma IRAM 62404-2 - Etiquetado de eficiencia energética de lámparas eléctricas para iluminación general – Fluorescentes compactas)[4]:

A. Eficacia Luminosa de una fuente:

Relación entre el flujo luminoso total emitido y la potencia total absorbida por la fuente. La eficacia de una fuente se expresa en lumen/Watt [lm/W].

B. Índice de Eficiencia Energética:

Cociente entre la potencia P de la fuente y una potencia de referencia Pr:

$$I(\%) = \frac{P}{P_r} \cdot 100 \quad (1)$$

$$P_r = 0,88 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,049 \Phi \quad \text{para } \Phi > 34 \text{ lm} \quad (2)$$

C. Potencia P de la fuente:

Es la potencia absorbida por el conjunto lámpara y balasto para lámparas compactas con balasto incorporado (se propone aplicar esta categoría a luminarias LEDs) [4].

D. Eficiencia Clase A si:

$$P \leq (0,24\sqrt{\Phi}) + 0,0103\Phi \quad (3)$$

E. Eficiencia Clases B a G si:

Clase	Condición
B	$I < 60\%$
C	$60\% \leq I < 80\%$
D	$80\% \leq I < 95\%$
E	$95\% \leq I < 110\%$
F	$110\% \leq I < 130\%$
G	$I \geq 130\%$

III. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PROPUESTA

Tomando como punto de partida las definiciones precedentes, se efectúa un análisis de un conjunto de muestras de luminarias a LEDs considerándolas como unidad "fuente luminosa + driver electrónico" con el fin de evaluar su calidad desde el punto de vista de cantidad de flujo por unidad de potencia consumida [lm/W], para luego evaluar su calidad de distribución del flujo luminoso sobre un área de referencia, en función del nivel de iluminación y del grado de uniformidad considerados como óptimos.

A. Luminarias a LEDs seleccionadas

En la primera etapa de este análisis se dispone de un conjunto de luminarias LEDs para uso en interiores clasificadas en dos grupos: I) para uso industrial y II) para uso público (comercios, oficinas, salones de venta, aulas, etc).

En la siguiente etapa, no incluida en este informe, se evaluarán con similares criterios luminarias a LEDs para su uso en alumbrado público (vial y residencial).

B. Esquemas Referenciales para el Análisis

1. Altura de montaje: para el Grupo I (uso en industrias) se usa Hr = 7 metros; para el Grupo II (uso público) se usa Hr = 3,5 metros
2. Reflectancias del recinto de referencia: para el cálculo en ambos grupos se utilizaron reflectancias de techo 80%, paredes 50% y suelo 20%.
3. Área de Referencia: para ambos grupos se considera una superficie cuadrada de 10 x 10 metros, o sea Ar = 100 m².
4. Indicador para Análisis: se utiliza el concepto de *Potencia Específica de Iluminación (Pei)* de una instalación de Alumbrado, expresada como los Watts disipados por el Sistema por unidad de Superficie y por cada 100 lux de iluminancia horizontal [W/m².100lx] [5],[6]. A partir de este indicador de calidad se buscará un indicador relacionado que minimice la cantidad N de luminarias necesarias para alcanzar un nivel de

iluminancia $E_m \geq 100 \text{ lux}$ además de un grado de uniformidad $g = E_{\min}/E_{\text{med}} \geq 0.6$ (condición simultánea).

5. Procedimiento para el análisis: i) para cada luminaria evaluada en cada grupo (I o II) se determina la cantidad N de luminarias necesaria para obtener $E_m \geq 100 \text{ lux}$ con $g \geq 0.6$ en $S_r = 100 \text{ m}^2$ y altura H_r (3,5 m o 7m, según el grupo de luminarias analizado). ii) Con la iluminancia E_m obtenida se calcula P_{ei} para S_r con la siguiente expresión:

$$P_{ei} = \frac{100 \cdot N \cdot PL}{E_m \cdot S_r} \quad (4)$$

Donde PL es la potencia que consume cada luminaria en [W].

6. Definición de índice de Calidad Lumínica QL de una luminaria: Si se ordena la ecuación (4) de modo tal de separar los términos de la siguiente manera:

$$\frac{E_m \cdot P_{ei}}{100} = \frac{N \cdot PL}{S_r} \quad (5)$$

como $S_r = 100 \text{ m}^2$, queda la siguiente igualdad:

$$E_m \cdot P_{ei} = N \cdot PL \quad (6)$$

Ordenando de la siguiente manera:

$$\frac{P_{ei}}{N} = \frac{PL}{E_m} = QL \quad (7)$$

Queda definido un índice comparativo de calidad lumínica QL para luminarias en una instalación de referencia.

Se observa que a mayor cantidad N de luminarias necesarias para superar una uniformidad de 0.6 en el recinto de referencia, menor será la calidad lumínica de la luminaria.

7. Índice de Calidad ponderado QLP : se afecta al índice QL un factor de ponderación f_p que considera la actualización tecnológica permanente de los dispositivos de estado sólido LEDs. En la actualidad se considera aceptable para un recambio tecnológico una eficacia ε de luminaria LED $\geq 100 \text{ lm/W}$, por lo tanto el factor de ponderación a aplicar será $f_p = 1.1$ si $\varepsilon > 100 \text{ lm/W}$ y $f_p = 0.9$ si $\varepsilon < 100 \text{ lm/W}$. En el futuro, a medida que la eficacia de los LEDs supere el corte de 100 lm/W , se podrá elevar la condición de uso de f_p , por ejemplo, estableciendo un nuevo corte de 120 lm/W . Esto asegura una actualización permanente del indicador de calidad lumínica de una luminaria.

Finalmente, el Índice de Calidad Lumínica de una luminaria LED queda definido como:

$$QLP = f_p \cdot QL = f_p \cdot (P_{ei} / N) \quad (8)$$

IV. MUESTRAS ANALIZADAS

Se tomaron en consideración 15 luminarias en el Grupo I y 18 en el Grupo II.

En las siguientes figuras se presentan cinco muestras de cada uno de los grupos, las más representativas, sobre las cuales se aplica la metodología de análisis.

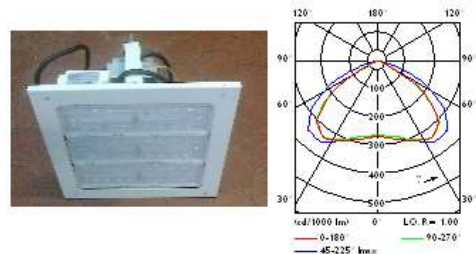


Fig. 1: Luminaria GI-1, Grupo I - Luminarias de uso industrial.

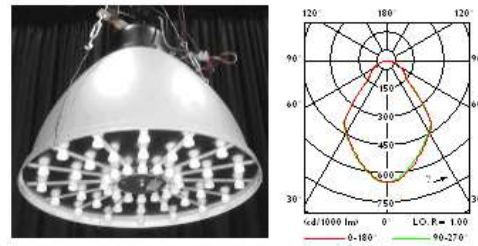


Fig. 2: Luminaria GI-2, Grupo I - Luminarias de uso industrial.

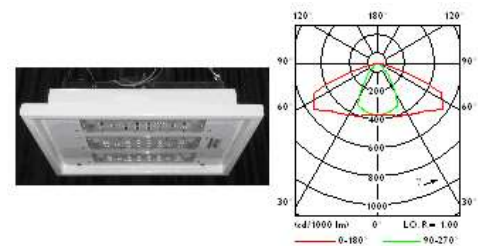


Fig. 3: Luminaria GI-3, Grupo I - Luminarias de uso industrial.

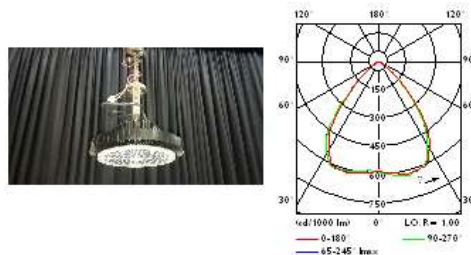


Fig. 4: Luminaria GI-4, Grupo I - Luminarias de uso industrial.

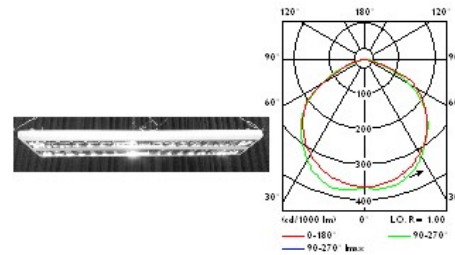


Fig. 9: Luminaria GII-4, Grupo I - Luminarias de uso civil.

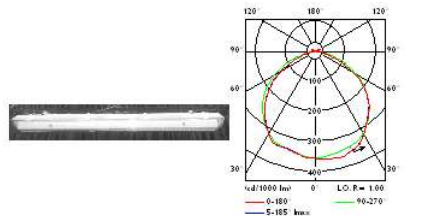


Fig. 5: Luminaria GI-5, Grupo I - Luminarias de uso industrial.

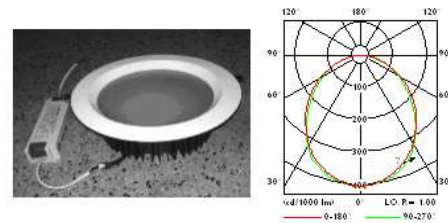


Fig. 10: Luminaria GII-5, Grupo I - Luminarias de uso civil.

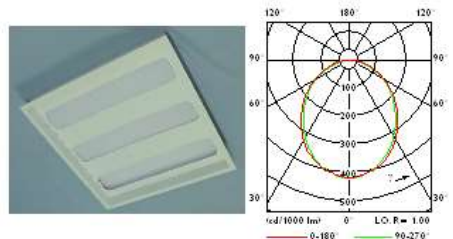


Fig. 6: Luminaria GII-1, Grupo I - Luminarias de uso civil.

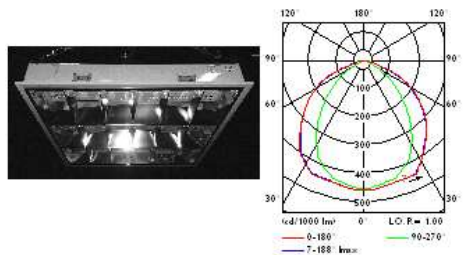


Fig. 7: Luminaria GII-2, Grupo I - Luminarias de uso civil.

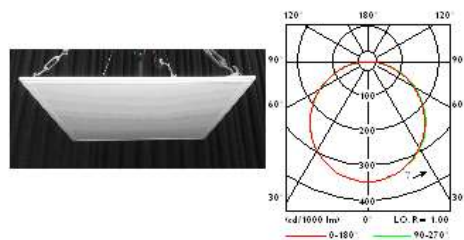


Fig. 8: Luminaria GII-3, Grupo I - Luminarias de uso civil.

V. RESULTADOS DEL ANÁLISIS

En las siguientes tablas se presentan los resultados de aplicar la metodología para calificación de eficiencia en el consumo de energía según Norma IRAM 62404-2 [4] (Tabla I), y los parámetros luminotécnicos y la Potencia específica de la instalación de referencia (Tabla II).

Tabla I: Muestras representativas de Grupos I y II y su Calificación de Eficiencia Energética

Muestra	Flujo Luminoso [lm]	Potencia [W]	Eficacia ϵ [lm/W]	Clase Etiquetado Efic.Energ.
GI-1	14151	157	90.1	A
GI-2	9383	90	104.3	A
GI-3	8428	103	81.8	A
GI-4	17817	154	115.7	A
GI-5	3783	36	105.1	A
GII-1	6279	140	44.9	B
GII-2	4363	55	79.3	A
GII-3	3391	49	69.2	A
GII-4	6818	72	94.7	A
GII-5	1233	23	53.6	B

Tabla II: Parámetros Luminotécnicos calculados para instalación de referencia

Muestra	E_{med} [Lux]	$\frac{g}{E_{min}/E_{med}}$	N [cantidad /100m ²]	P_e [W/m ² .10 0 Lux]
GI-1	128	0.75	2	2.5
GI-2	100	0.59	2	1.8
GI-3	114	0.60	3	2.7
GI-4	402	0.62	4	1.5
GI-5	95	0.72	6	2.3
GII-1	169	0.6	4	3.3
GII-2	122	0.69	4	1.8
GII-3	107	0.69	5	2.3
GII-4	184	0.62	4	1.6
GII-5	95	0.68	12	2.9

Tabla IV: Aplicación de los índices QL y QLP a ambos grupos de luminarias bajo análisis.

Muestra	QL = P_e / N	Factor Pond. fp	QLP = fp . QL	Clase Etiquetado Calidad Luminica
GI-1	1.23	0.9	1.1	A
GI-2	0.9	1.1	0.99	B
GI-3	0.9	0.9	0.81	B
GI-4	0.38	1.1	0.42	C
GI-5	0.38	1.1	0.42	C
GII-1	0.83	0.9	0.75	B
GII-2	0.45	0.9	0.41	C
GII-3	0.46	0.9	0.41	C
GII-4	0.39	0.9	0.35	D
GII-5	0.24	0.9	0.22	D

En cuanto a la utilización de los índices de calidad lumínica QL y QLP, se propone su aplicación a ambos conjuntos de muestras para su calificación en la forma de un etiquetado en Clases A, B, C, D y E, según la escala que se propone a continuación en Tabla III:

Tabla III: Escalas de Calidad Lumínica

Clases de Eficiencia Lumínica de luminarias para interiores	
Clase	Rangos de QLP
A	$1 \leq QLP < 1.5$
B	$0.75 \leq QLP < 1$
C	$0.38 \leq QLP < 0.75$
D	$0.19 \leq QLP < 0.38$
E	$QLP < 0.19$

Por lo tanto, como resultado del análisis de los parámetros que definen al índice de Calidad QL y su ponderación por límite de eficacia en [lm /W], se pueden categorizar las luminarias de ambos grupos analizados, según lo expuesto como sigue (Tabla IV):

VI. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Respecto de la luminarias del Grupo I (uso industrial), todas cumplen con la máxima calidad de eficiencia energética (Clase A), mientras que respecto de la calidad lumínica la mejor es la GI-1 (Clase A) y las de peor desempeño lumínico son las luminarias GI-4 y GI-5 (Clase C).

En el caso de las luminarias del Grupo II (uso civil), la mejor calificada es la GII-1 (Clase A de eficiencia energética y Clase B de eficiencia lumínica) y la peor es la GII-5 (Clase B de eficiencia energética y Clase D de eficiencia lumínica).

El objetivo de implementar una escala de Clases de Calidad Lumínica (etiquetado doble mediante), obedece al interés de proporcionar al diseñador de iluminación una guía para la elección de la luminaria más adecuada a su proyecto, no sólo desde el punto de vista de la eficiencia en el consumo, sino también respecto de la calidad de la iluminación, permitiéndole optimizar la cantidad de luminarias necesarias para alcanzar o superar el grado mínimo de uniformidad que garantice una distribución luminosa equilibrada y adecuada en el ambiente a iluminar, con mínimos costos iniciales de instalación, cumpliendo con los niveles mínimos recomendados por las normas que rigen la iluminación de interiores.

Es importante destacar que para poder llevar a cabo la metodología propuesta, es necesario contar con la información fotométrica de la luminarias a verificar, como así también mediciones eléctricas bajo condiciones de laboratorio (tensión y corriente estables), por lo cual es necesario contar con certificaciones fotométricas y eléctricas de un laboratorio oficial acreditado.

Con la información fotométrica se procederá a efectuar los cálculos luminotécnicos necesarios para obtener la cantidad de luminarias N según procedimiento indicado en el parágrafo III.

El procedimiento propuesto es un primer paso en la consecución del objetivo buscado, pudiendo ser mejorado mediante la introducción de índices de calidad adicionales que tengan en cuenta aspectos tales como el factor de potencia y la distorsión de la forma de onda de la corriente (contenido de armónicos).

En forma paralela se está trabajando en el mismo objetivo para luminarias de uso en exteriores, en particular en Alumbrado Público, pero siguiendo las recomendaciones establecidas por el PRONUREE [7].

VII. RECONOCIMIENTOS

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

VIII. REFERENCIAS

- [1] Sanhueza P., Manzano E., Galleguillos P., Raitelli M., Cabello A., Rodríguez Rübke L. "Luminarias de LEDs, propuesta de ensayos de calidad", Anales XI Jornadas Argentinas de Luminotecnia: LUZ 2013. AADL-Asociación Argentina de Luminotecnia-Regional Noroeste. San Miguel de Tucumán. Argentina. 2013.
- [2] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. "Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas". Madrid, 2001.
- [3] FENERCOM, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, "Guía sobre Tecnología LED en el Alumbrado", www.fenercom.com, Madrid, 2015.
- [4] Norma IRAM 62404-2. "Etiquetado de eficiencia energética de lámparas eléctricas para iluminación general – Fluorescentes compactas". Buenos Aires, 2005.
- [5] Raitelli M., Cabello A. "Comparación técnica de lámparas tubulares: Tecnología Led vs. Fluorescente". Anales de XI Jornadas Argentinas de Luminotecnia: LUZ 2013. AADL -Asociación Argentina de Luminotecnia- Regional Noroeste. San Miguel de Tucumán. Argentina, 2013.
- [6] Assaf L., Ruttkay Pereira F., "Perspectivas de la Eficiencia Energética en la Iluminación: Desafíos para el desarrollo". Anales de ENCAC-COTEDI 2003, Curitiba, Brasil, Noviembre 2003.
- [7] PRONUREE (Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía – Ministerio de Energía y Minería), "Especificación Técnica para la adquisición de luminarias de Alumbrado Público con LED". Buenos Aires, 2013.

IX. BIOGRAFIAS



Sophía Heredia: Estudiante avanzada de la carrera de Diseño de Iluminación de la facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT. Ganadora de una beca estudiantil del Consejo de Investigaciones de la UNT (CIUNT) para iniciación a la investigación, en el período 2017-2018, bajo la dirección del Prof. Alberto Cabello y co-dirección del Prof. Mario Raitelli, sobre el estudio de la Eficiencia en la Calidad de iluminación de las luminarias LED.



Alberto José Cabello: Se graduó como Ingeniero Electricista en el Dpto de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) en 1987, y obtuvo el título de posgrado Magíster en Luminotecnia en el Dpto de Luminotecnia, Luz y Visión de la UNT en 1997. 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. Actual responsable del Laboratorio de Fotogoniometría del ILAV. Sus temas de investigación incluyen estudios sobre la interacción del alumbrado urbano con el arbolado, la Polución Lumínica y la eficiencia energética de instalaciones de alumbrado.



Mario Roberto Raitelli: 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 (DLLyV) de la UNT. Actúa como responsable del Área de Servicios a Terceros del DLLyV. Participa en trabajos de auditoría, diseño y reconversión de sistemas de alumbrado para interiores y exteriores.

Efectos del recambio de luminarias LED en una red eléctrica en BT

Gonzalo Alejandro Espínola Delgado

Depto. Electrotecnia e Informática – Universidad Técnica Federico Santa María, UTFSM
Viña del Mar, Chile – gonzalo.espinola@usm.cl

Denis Eduardo Riquelme Sandoval

Depto. Electrotecnia e Informática – Universidad Técnica Federico Santa María, UTFSM
Viña del Mar, Chile – denis.riquelme@usm.cl

Javier André Eguren Aspe

Depto. Electrotecnia e Informática – Universidad Técnica Federico Santa María, UTFSM
Viña del Mar, Chile – javier.eguren@usm.cl

Resumen: El presente trabajo nace de la inquietud que se presenta el cómo afecta al sistema de distribución de energía eléctrica en baja tensión el recambio masivo de luminarias Led que se está generando en Chile a partir del año 2015. Para responder a este dilema, se realizan mediciones de parámetros eléctricos a luminarias tipo y simulaciones a un sistema eléctrico en baja tensión, para ello, se debe tomar en cuenta los elementos que lo componen, los cuales corresponden a, transformadores en BT, líneas de distribución, cargas (luminarias) y protecciones eléctricas. Se analizó un circuito de 15 luminarias, dividiendo nuestra propuesta en dos casos; el primero con luminarias con lámparas de descargas de sodio de alta presión (caso base) y el segundo con luminarias LED (recambio).

En ambos casos, se miden las características eléctricas y se obtiene el comportamiento de las lámparas de sodio de alta presión alimentadas con una señal senoidal ideal. Se diseña en el programa simulador una línea eléctrica convencional en baja tensión con elementos base y se colocan las cargas en ella. Se observa el comportamiento del sistema eléctrico y se obtienen los parámetros eléctricos fundamentales como lo son el voltaje, intensidad de corriente, potencia eléctrica, factor de potencia, índices de distorsión armónica, etc.

Abstract: This work is born from the concern on how affects the energy power distribution system in low voltage the massive replacement of LED luminaires being made in Chile since 2015. To solve this problem, measurement of electric parameters to luminaires and simulations to an electric system are made, to do so, we must take into account its components, which correspond to

BT transformers, distribution lines, charges (luminaires) and electric protection. We analyzed a circuit of 15 luminaires, dividing our proposition in two cases: the first one with high-pressure sodium lamps (base case) and the second one with LED luminaires (replacement).

In both cases, electric characteristics are measured and the behavior of the high-pressure sodium lamp supplied with an ideal sinus signal is obtained. A low voltage electrical line with base elements is designed and the basic electric parameters are obtained, such as voltage, current intensity, electric power, power factor, harmonic distortion index, etc.

Palabras claves: Distribución, LED, Armónicas.

I. INTRODUCCION

Este trabajo se deriva de la necesidad de analizar el comportamiento eléctrico de luminarias LED, debido a que en Chile se lleva a cabo un recambio masivo de luminarias con lámparas de sodio en alta presión (SAP), utilizadas tradicionalmente en alumbrado público, por luminarias que utilizan esta nueva tecnología, que promete satisfacer las necesidades de eficiencia energética, niveles lumínicos y de bienestar de la población. A pesar que la iluminación LED presenta evidentes ventajas, surgen algunas preguntas que deberían ser respondidas: ¿Qué efectos puede tener esta tecnología en la red eléctrica convencional?, ¿Se debe considerar a futuro un recambio de elementos eléctricos? Estas y otras preguntas son las que han motivado este trabajo, el que tiene como finalidad estudiar más a fondo los efectos eléctricos causados por diferentes luminarias en el sistema de distribución eléctrico nacional.

Para responder a lo anterior se midieron parámetros eléctricos de cada luminaria alimentada con una fuente de tensión AC estabilizada y se obtuvieron los reportes de parámetros eléctricos a través del software del analizador de redes utilizado, con estos datos, se simularon circuitos base en alumbrado público típicos en Chile y se analizó el comportamiento de éstos y los efectos de cada luminaria en el sistema eléctrico nacional.

II. MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS

A. Identificación de luminarias

Se midieron luminarias LED marca Downlight.

Para la medición y análisis de los parámetros eléctricos se utilizaron los siguientes equipos: Lisun LED Power Driver Tester v12.6.1.1 (software y equipo), una fuente programable de voltaje alterno marca ITECH serie IT7320, además del software ETAP v16.0.0 (simulador de redes eléctricas) todos estos pertenecientes a la UTFSM, Sede Viña del Mar.

Las mediciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Luminotecnia, perteneciente al Departamento de Electrotecnia e Informática (ELINF) de la UTFSM, sede Viña del Mar.

Tabla I: Especificaciones técnicas de equipos a medir

Caso / Fuente de luz	Elemento	Características	Fabricante
1 / LED	Módulo LED's	64 LED por placa SMD 3030 2D Lumiled	Cree
	Drivers	Drivers Electrónico de 1050 mA max, con PWM de 0 a 10V con protección de sobretensión de entrada hasta 6kV	Inventronics
	Cuerpo	Aluminio inyectado	Megabright
2 / SAP	Lámpara	Tubular SAP	Philips
	Equipo Eléctrico	Ballast	Vossloh Schwabe
	Reflector	Aluminio anodizado	Ekoline
	Cuerpo	Aluminio inyectado	Dowlight
3 / SAP	Lámpara	Tubular SAP	Philips
	Equipo Eléctrico	Ballast electrónico DNP	ELT
	Reflector	Aluminio anodizado	Ekoline
	Cuerpo	Aluminio inyectado	Dowlight

B. Circuito de medición

El circuito eléctrico utilizado para la medición de parámetros eléctricos es el que se muestra a continuación y está constituido por una fuente de tensión alterna estabilizada, el analizador de redes y las cargas asociadas al presente trabajo.

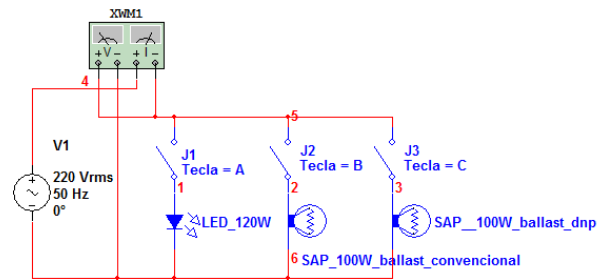


Fig. 1: Circuito eléctrico

C. Medición de parámetros eléctricos

Cada muestra se deja estabilizar por una hora, transcurrido es tiempo, se obtuvieron los siguientes resultados.:

Tabla II: Magnitudes de parámetros medidos

Parámetro	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Voltaje (V)	220,04	219,96	219,95
Corriente (mA)	595,4	581,9	492,4
Potencia Activa (W)	128,79	108,52	105,84
Potencia Reactiva (VAR)	23,33	67,4	22,83
Potencia Aparente (VA)	130,33	127,3	107,87
FP	0,9831	0,8478	0,9773
Vthd (%)	0,0	0,0	0,0
Athd (%)	12,3	24,2	12

Se obtienen las gráficas voltaje / corriente y el espectro de frecuencia de voltaje y corriente por cada lámpara, así tenemos mas claro el comportamiento de estas.

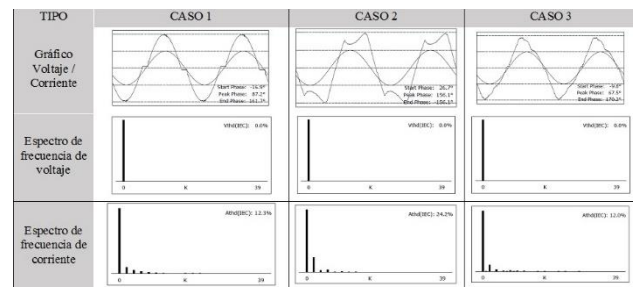


Fig. 2: Graficas voltaje / corriente y espectros de frecuencia

III. SIMULACIÓN

Con los datos detallados de las tasas de distorsión armónica de voltaje y corriente, más las gráficas y espectros correspondientes, se procede a simular un circuito base típico utilizado en

alumbrado público a través del software ETAP v16.0.0, en el cual se colocó un transformador de 15kVA, sus protecciones eléctricas respectivas, conductor tipo cable de 12 AWG con un vano de 50 m entre luminarias.

Se analizó el efecto de los armónicos presentes en tres tipos de luminarias: Led, Sodio con ballast convencional y Sodio ballast electrónico.

El sistema trifásico considera el análisis de un escenario de 15 luminarias por caso.

Los subsistemas de cada tipo de luminaria se conectan a la Barra2 de 0,38kV como se muestra en la siguiente figura:

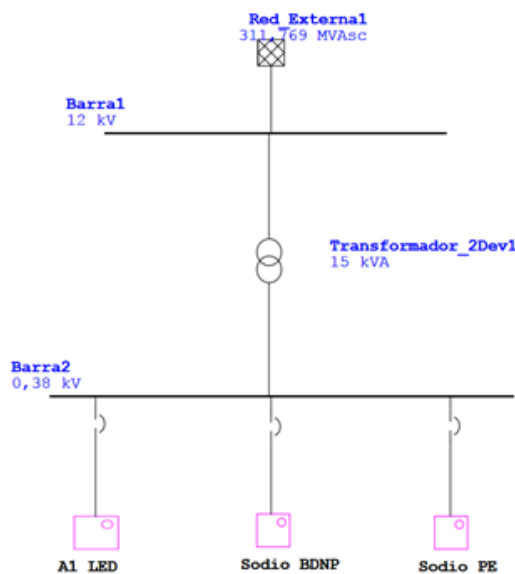


Fig. 3: Diagrama unilineal simulado en ETAP de sistema y subsistemas

El análisis de los resultados obtenidos a través de la simulación es de manera monofásica, asumiendo que cada 5 luminarias se cambia de fase y así se logra un equilibrio de carga idóneo a un circuito eléctrico trifásico.

A. Caso 1: Luminaria LED

El nivel de tensión en la Barra2 provoca una caída de tensión al 99,65%. La Potencia total consumida es de 1856W, 335VAR y 1886VA. La corriente absorbida desde la barra es de 2.9A. La tasa de distorsión armónica de corriente es de un 11,62% y se indica una pérdida en el conductor de 28,419W, las cuales se observan en las figuras presentadas a continuación.

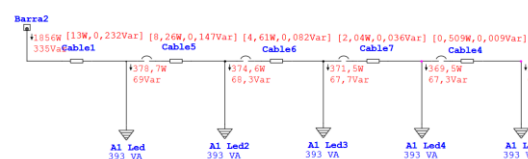


Fig. 4: Diagrama unilineal simulado de flujo de potencia en LED

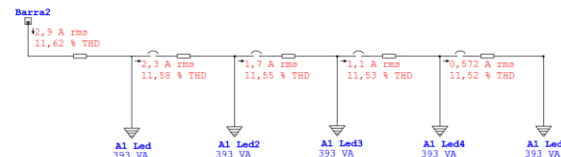


Fig. 5: Diagrama unilineal simulado de ATHD en LED

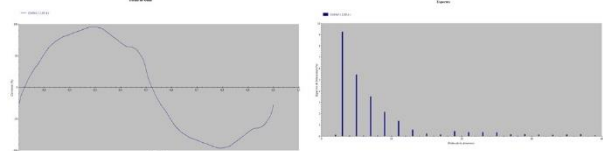


Fig. 6: Gráfico voltaje/corriente y espectro de armónico de corriente en LED

B. Caso 2: Luminaria SAP con ballast convencional

El nivel de tensión en la Barra2 provoca una caída de tensión al 99,55%. La Potencia total consumida es de 1567W, 969VAR y 1842VA. La corriente absorbida desde la barra es de 2.8A. La tasa de distorsión armónica de corriente es de un 23,34% y se indica una pérdida en el conductor de 27,125W, las cuales se observan en las figuras presentadas a continuación.

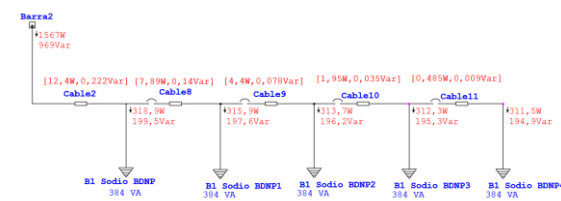


Fig. 7: Diagrama unilineal simulado de flujo de potencia en SAP convencional

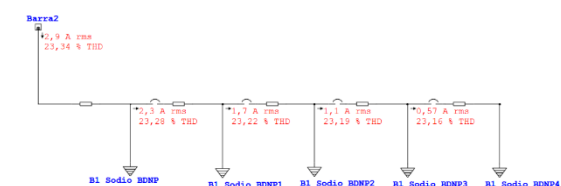


Fig. 8: Diagrama unilineal simulado de ATHD en SAP convencional

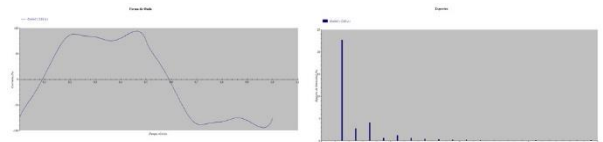


Fig. 9: Gráfico voltaje/corriente y espectro de armónico de corriente en SAP convencional

C. Caso 3: Luminaria SAP con ballast electrónico

El nivel de tensión en la Barra2 provoca una caída de tensión al 99,70%. La Potencia total consumida es de 1535W, 330VAR y 1570VA. La corriente absorbida desde la barra es de 2.4A. La

tasa de distorsión armónica de corriente es de un 11,54% y se indica una pérdida en el conductor de 19,724W, las cuales se observan en las figuras presentadas a continuación.

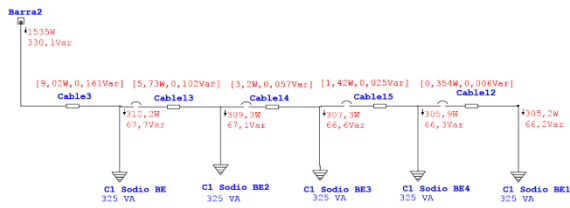


Fig. 10: Diagrama unilineal simulado de flujo de potencia en SAP electrónico

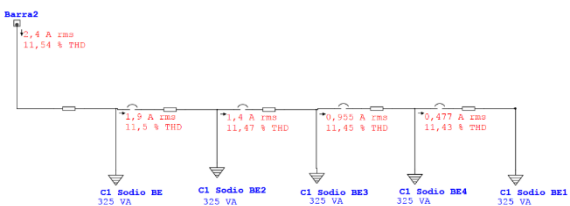


Fig. 11: Diagrama unilineal simulado de ATHD en SAP electrónico

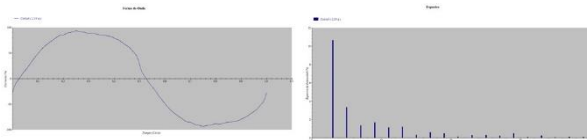


Fig. 12: Gráfico voltaje/corriente y espectro de armónico de corriente en SAP electrónico

IV. CONCLUSIONES

Respecto a las mediciones realizadas a las luminarias LED y SAP (con ballast convencional y electrónico) y la simulación respectiva a un circuito típico de alumbrado público, se puede concluir que; el circuito de alumbrado público que tiene mayor tasa de distorsión armónica de corriente es la SAP con ballast convencional, esto ocurre ya que es una carga no lineal con alta presencia de la 3ª y 7ª armónica, además, por consecuencia, presenta una mayor caída de tensión en barra2 aumentando las pérdidas por efecto Joule en los bobinados del transformador y por histéresis y corrientes de Foucault en los circuitos magnéticos.

El sistema que presenta mayor pérdida en los conductores es el compuesto por luminarias LED, esto sucede ya que la absorción de armónicas del tercer orden e impares es bastante perjudicial para el sistema eléctrico, ya que sus corrientes están en fase y se suman en el conductor neutro. Por ejemplo, con un 75% de armónica del tercer orden, la corriente que circula por el neutro es de 2,25 veces la fundamental, en cambio la corriente por fase es del orden de 1,25 veces la fundamental. Por lo tanto, cuando hay cargas no

lineales, se debe presentar especial atención al dimensionamiento del conductor neutro.

Distorsión armónica total
THD vs. Load

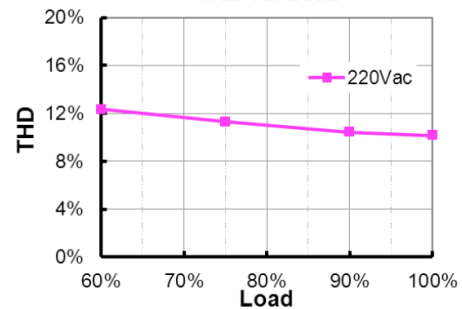


Fig. 13: Gráfico THD / Carga

Caso contrario, las luminarias de sodio con ballast electrónico presenta menor pérdida en los cables eléctricos pero su espectro de frecuencia tiende a ser parecido al del LED simulado pero con menores porcentajes en las armónicas impares.

V. REFERENCIAS

- [1] Norma NCH Elec. 4/2003. Instalaciones de Consumo en Baja Tensión.
- [2] Norma internacional IEC 61000-3-2:2003. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)
- [3] Catálogo Dowlight
- [4] Cuaderno Técnico Schneider N° 183. Armónicos: rectificadores y compensadores activos

VI. BIOGRAFIAS



Gonzalo Alejandro Espínola Delgado, Docente de Electricidad en la UTFSM, T.U. en Electricidad e Ing (E) Mantenimiento Industrial. Áreas de interés en calidad de energía en sistemas eléctricos de BT.



Denis E. Riquelme Sandoval. Docente de Electricidad en la UTFSM, Ing. Civil Eléctrico, Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (MAVILE), UNT, Argentina. Áreas de interés en investigación: Fotometría y Radiometría a fuentes luminosas. Instrumentos Fotométricos.



Javier André Eguren Aspe. Docente de Electricidad en la UTFSM, Ing. Civil Electricista, ETAP Certified Instructor. Áreas de interés en calidad de energía en sistemas eléctricos.

Eficiencia Energética en Iluminación Pública

Denis Eduardo Riquelme Sandoval

Departamento de Electrotecnia e Informática – Universidad Técnica Federico Santa María
Viña del Mar, Chile - denis.riquelme@usm.cl

Resumen: El presente trabajo se enmarca en el Proyecto "Mejorando la Iluminación Pública en el Sector Poniente de Villa Alemana – Región de Valparaíso - Chile, para fortalecer la seguridad ciudadana y el uso de los espacios públicos".

El objetivo del estudio fue comparar el consumo energético y los niveles de iluminación de dos tipos de tecnología (HPS y LED). Para lo anterior se eligió una instalación piloto de 54 luminarias.

La auditoria de los niveles de iluminación, se hizo de acuerdo a la recomendación de la Comisión Internacional de Iluminación en su informe CIE 140-2000 "ROAD LIGHTING CALCULATIONS", donde se obtuvieron la Iluminancia media horizontal (Em) y la Uniformidad (Uo) requeridas.

Se realizó un análisis tarifario en el que se evaluó las luminarias HPS con balastos convencionales, con opción tarifaria "Potencia contratada (BT-2)" versus luminarias con tecnología LED con opción tarifaria "Consumo de Energía (BT-1)" y con opción tarifaria "Potencia Contratada (BT-2)".

Abstract: This work is carried out by the Project "Improving the public illumination in western Villa Alemana, Valparaíso, Chile, to strengthen the citizen security and the use of public places".

The objective of the study was comparing the energy consumption and illumination levels of two types of technology (HPS and LED). For the aforementioned a pilot installation of 54 luminaires was chosen.

The audit of the illumination levels was made according to the recommendation of the International Commission on Illumination in its CIE 140 – 2000 "ROAD LIGHTING CALCULATIONS" report, where the average horizontal illuminance (Em) and uniformity (Uo) required were obtained.

A rate analysis was made in which HPS luminaires with conventional ballast were evaluated with "Contracted Power (BT-2)" tariff option versus luminaires with LED technology with "Energy Consumption (BT-1)" tariff and "Contracted Power (BT-2)" tariff.

Palabras claves: Eficiencia Energética, LED, Niveles de Iluminación.

I. INTRODUCCION

En este trabajo se presentan la caracterización de la Iluminación Pública, los resultados de la auditoria de los niveles de iluminancia y el análisis tarifario, realizados para el estudio eficiencia energética del alumbrado público realizado en la comuna de Villa Alemana - Chile.

Inicialmente se caracterizó las luminarias de la instalación existente (HPS) y posteriormente se procedió al cambio de éstas por luminarias LED.

II. INSPECCION DE LA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PUBLICO EXISTENTE

A. Inspección Visual

De las 54 muestras en estudio, se obtuvo información de las características de las luminarias, tipo de fuente de luz y tarifa utilizada.

TABLA I: Luminarias HPS

Luminaria	Reflector: Aluminio Anodizado Difusor de Policarbonato
Lámpara	150W. HPS
Equipo Eléctrico	Magnético Convencional
Tarifa Eléctrica	Potencia Contratada (BT-2)

B. Análisis de la Instalación

LUMINARIA: El rendimiento lumínico se encuentra bajo la eficiencia mínima exigida en la Norma NSEG 15 E.N. 78 (Especificaciones Técnicas para Luminarias de Calles y Carreteras en CHILE).

Lo anterior se explica por la depreciación producto de la polución ambiental, que es la acumulación de suciedad, insectos y polvo atmosférico en la luminaria (difusor, cubierta, etc) que afecta su rendimiento.

LÁMPARA: El flujo inicial de la lámpara es de 17.500 lúmenes, con un factor de depreciación del 60%.

BALASTO: Se midieron en Laboratorio los parámetros eléctricos, pérdidas y el factor de potencia.

TABLA II: Parámetros Eléctricos

Tensión Línea	220 V _{RMS}
Potencia Línea	178 W
Potencia Lámpara	160 W
Pérdidas	18 W
Fp	0.98

REQUERIMIENTO DE ILUMINACIÓN: Las condiciones en terreno de los Casos Bases que se dan en la comuna donde se llevó a cabo este estudio, se clasifican como P2 y P3 (Tabla IV-Clase de Alumbrado para las Vías sin separación entre usuarios, D.S N°2 / 2014).

III. AUDITORIA DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN

Se realizó una auditoria de los niveles de iluminancia en terreno, en San Jorge y Pasaje Dos de la comuna de Villa Alemana.

La primera consideró luminarias con lámparas de descarga (150W. HPS), posteriormente se hizo el cambio instalando luminarias con tecnologías LEDs (70 W y 120 W), realizando una segunda auditoria.

Para la medición de iluminancia, se toma como referencia la recomendación CIE 140 - 2000 "ROAD LIGHTING CALCULATIONS".

A. Metodología de Medición de Iluminancia

Las mediciones de iluminancia se hicieron de acuerdo a la recomendación CIE 140-2000 "Road Lighting Calculations".

En cada punto se mide la iluminancia (lx) a nivel de piso, por medio de un luxómetro. Posteriormente se calcula la iluminancia media horizontal (Em) y la Uniformidad (Uo).

Para la medición de los parámetros lumínicos de San Jorge, se consideró la longitud de 40 m de vano promedio y el ancho de la calzada de 7 m, con altura de montaje 9m.

Para la medición de los parámetros lumínicos de Pasaje Dos, se consideró la longitud de 23 m de vano promedio y el ancho de la calzada de 3 m, con altura de montaje 9m.

B. Resultados

TABLA II: Mediciones Iluminancia San Jorge (150HPS)

Sentido Longitudinal	Sentido Transversal		
	12.3	15.3	17.4
	11.9	14.9	16.9
	7.4	9.9	11.3
	5.6	7.8	10.1
	4.1	5.3	7.6
	3.3	4.6	6.1
	4.4	5.6	7.4
	6.9	9.0	10.6
	9.6	10.9	13.2
	12.2	15.9	16.6

Iluminancia media = 9.8 lx

Uniformidad = 0.3 lx

TABLA III: Mediciones Iluminancia Pasaje Dos (70HPS)

Sentido Longitudinal	Sentido Transversal		
	8.9	9.3	8.8
	5.5	5.1	5.0
	3.5	3.4	2.9
	2.4	2.3	2.1
	1.9	2.0	1.9
	2.0	2.0	2.0
	2.5	2.6	2.9
	4.4	4.4	4.3
	6.8	6.6	6.1
	10.5	10.2	9.1

Iluminancia media = 4.7 lx

Uniformidad = 0.4 lx

TABLA IV: Mediciones Iluminancia San Jorge (60LED)

Sentido Longitudinal	Sentido Transversal		
	24.6	24.2	19.4
	16.6	17.5	15.6
	10.2	10.6	10.8
	6.4	5.2	4.5
	4.4	4.8	4.0
	4.6	4.8	4.0
	6.8	6.0	4.7
	9.9	9.1	6.7
	16.2	14.0	9.6
	21.5	17.9	11.2

Iluminancia media = 10.9 lx

Uniformidad = 0.4 lx

TABLA V: Mediciones Iluminancia Pasaje Dos (40LED)

Sentido Longitudinal	Sentido Transversal		
	16.7	17.4	17.5
	13.7	14.5	14.6
	10.8	11.4	11.0
	9.1	9.2	7.3
	8.1	8.7	8.6
	8.5	9.0	9.6
	10.2	10.9	11.1
	12.2	12.8	12.9
	14.1	15.4	15.7
	16.3	17.3	17.3

Iluminancia media = 12.4 lx
 Uniformidad = 0.6 lx

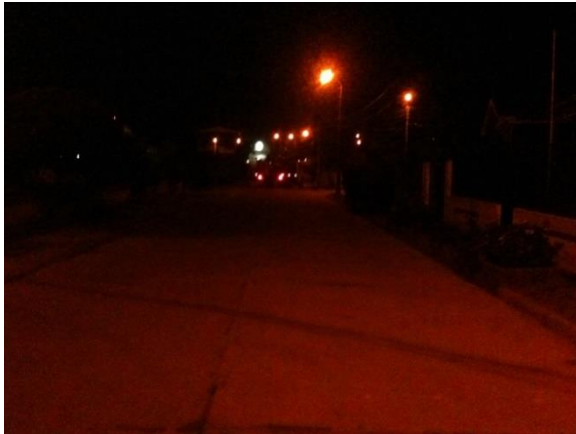


Fig. 1: Iluminación San Jorge con HPS



Fig. 2: Iluminación San Jorge con LED

IV. ESTUDIO TARIFARIO

El consumo de energía eléctrica derivada del Alumbrado Público, es uno de los gastos más significativos que tienen los municipios.

En Chile, para los suministros regulados, existen 11 opciones tarifarias, de entre las cuales el

Cliente (Municipio) tiene la libertad de escoger y las distribuidoras la obligación de aceptar.

Las tarifas usadas con mayor frecuencia en el sistema de alumbrado público son: BT-1 y BT-2, por lo que se valorizan para cada circuito las distintas opciones tarifarias factibles (BT-1 y BT-2) para un año de funcionamiento considerando el horario de operación anual del sistema.

Para este estudio, se analizaron dos casos:

Caso 1: 54 luminarias HPS, en la potencia de 150W. con sus respectivas pérdidas y opción tarifaria BT-2 versus luminarias con tecnología LEDs, potencias de 60W. y 40W. con opción tarifaria BT-1.

Caso 2: 54 luminarias HPS, en la potencia de 150W. con sus respectivas pérdidas y opción tarifaria BT-2 versus luminarias con tecnología LEDs, potencia de 60W. y 40W. con opción tarifaria BT-2.

En la tabla VI, se muestra el funcionamiento anual del sistema de alumbrado público en Chile.

TABLA VI: Horas de Funcionamiento del sistema de AP

MES	Encendido Luminarias		Hrs./Mes
	Hrs./Días	Días Mes	
Enero	9	31	279
Febrero	9	28	252
Marzo	11	31	341
Abril	12	30	360
Mayo	13	31	403
Junio	13	30	390
Julio	13	31	403
Agosto	13	31	403
Septiembre	11	30	330
Octubre	10	31	310
Noviembre	9	30	270
Diciembre	9	31	279
Total		365	4020

A. Comparación de Energía Consumida

Con los datos de los puntos anteriores, se calcula la potencia y el consumo de energía.

Luminarias HPS (150W.):

TABLA VII: Luminarias con Balasto Convencional

Cant. de Luminaria	Potencia Nominal (W)	Pérdida (W)	Potencia Instalada (kW)	Consumo Energía (KWh)
54	150	18	9,07	36.461

Potencia Total Instalada Anual : 9,07 kW
Consumo Energía Total Anual : 36.461 kWh

Luminarias con Tecnología LED (40W. y 60W.):

TABLA VIII: Luminarias con Tecnología LEDs

Cant. de Luminaria	Potencia Nominal (W)	Pérdida (W)	Potencia Instalada (KW)	Consumo Energía (KWh)
10	40	4,89	0,45	1.809
44	60	6,23	2,91	11.698

Potencia Total Instalada Anual : 3.36 kW.
Consumo Energía Total Anual : 13.507 kWh.

B. Comparación de Tipos de Tarifa

Luego de obtener el consumo de energía anual, se calcula el costo (pesos) de los tipos de tarifa.

Caso 1:

Luminarias HPS (150W.) y tarifa BT-2:

Pago Energía	\$ 2.225.798
Pago Potencia Contratada	\$ 1.406.682
Total Anual	\$ 3.632.480

Luminarias con Tecnología LED (40W. y 60W.) y tarifa BT-1:

Pago Energía Base	\$ 1.420.508
Pago Energía Adicional Invierno	\$ 88.133
Total Anual	\$ 1.508.641

Caso 2:

Luminarias HPS (150W.) y tarifa BT-2:

Pago Energía	\$ 2.225.798
Pago Potencia Contratada	\$ 1.406.682
Total Anual	\$ 3.632.480

Luminarias con Tecnología LED (40W. y 60W.) y tarifa BT-2:

Pago Energía	\$ 824.548
Pago Potencia Contratada	\$ 521.462
Total Anual	\$ 1.346.010

V. CONCLUSIONES

De las mediciones realizadas en terreno, se puede concluir que, con respecto a la iluminación de luminarias HPS, el nivel de iluminancia se encuentra bajo los parámetros mínimos exigidos en el D.S. N°2/2014 (Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tránsito Vehicular de Chile). Al realizar el cambio a luminarias con tecnología

LED, los niveles de iluminancia mejoran, lo que hace que se mejoren parámetros de Orientación Visual, Seguridad, Confort visual y una mejora en su Uniformidad.

Al ocupar luminarias LED en las potencia de 40W. y 60W., se obtiene un ahorro de consumo de energía anual de 22.954 KWh, que corresponde al 63% de ahorro de energía.

Con respecto a la opción tarifaria, se puede concluir que es conveniente mantener la opción tarifaria actual (BT-2) con luminarias LED. El costo de consumo de energía anual es de 62,95% menos, que al ocupar opción tarifaria BT-1 con luminarias LED.

VI. REFERENCIAS

- [1] CIE 140-2000 "ROAD LIGHTING CALCULATIONS". International Commission on Illumination.
- [2] D.S. N°2/2014 Reglamento de Vías de tránsito Vehicular Chile.
- [3] Norma NSEG 15 E.N. 78 - Especificaciones Técnicas para Luminarias de Calles y Carreteras en CHILE.
- [4] Norma NSEG 9 E.N. 71 - Alumbrado Público en Sectores Urbanos en CHILE.
- [5] Catálogo GE Lighting.
- [6] Valor de Energía y Potencia Contratada Chilquinta Energía S.A.

VII. BIOGRAFIAS



Denis E. Riquelme Sandoval.

Docente de Electricidad en la UTFSM, Ing. Civil Eléctrico, Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (MAVILE), UNT, Argentina. Áreas de interés en investigación: Fotometría y Radiometría a fuentes luminosas. Instrumentos Fotométricos.

Eficiencia energética en reconversiones Led del Alumbrado público

Pablo Ixtaina, Braian Bannert, Nicolás Bufo

Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – LAL CIC

pixtaina@gmail.com

Resumen: El LAL CIC, Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas, es el Centro Oficial de la provincia de Buenos Aires (Argentina) en lo referido a iluminación. Entre sus funciones se encuentra la asistencia técnica a municipios, actividad que tiene actualmente su eje en las reconversiones de instalaciones de alumbrado público a tecnología led. Las asistencias que se realizan abarcan múltiples aspectos: elaboración de especificaciones técnicas, estudios de la instalación, clasificación de calzadas, capacitación de personal, estudios de ofertas, pruebas de campo, etc.

El objetivo central de estas reconversiones es el aumento de la eficiencia del alumbrado y con ello el ahorro de energía. En este sentido, el trabajo presenta un estudio sobre la cuantificación de la eficiencia energética, a partir de relacionar el coeficiente de utilización de la luminaria, su eficacia y los resultados luminotécnicos obtenidos con su instalación en una determinada geometría. El índice utilizado, Densidad de Potencia Normalizada en iluminancia, P_{NE} , permite la rápida comparación entre distintas alternativas, combinando la eficiencia propia de la luminaria, con el rendimiento real de su fotometría en la geometría particular de la calle a iluminar.

El trabajo se completa con simulaciones mediante software y el cálculo de P_{NE} en instalaciones reales reconvertidas, lo que permite realizar una primera clasificación energética del alumbrado público para el estado actual de la tecnología.

Palabras claves: eficiencia energética, led, alumbrado público

Abstract: The Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas, LAL CIC (Buenos Aires, Argentina) is the Buenos Aires province Official Research Center in lighting. The technical assistance to municipalities in re conversion to led technology of public lighting installations is nowadays an important activity. The assistance covers many aspects: preparation of technical specifications, installation studies, classification of roadways, training of personnel, studies of offers, field tests, etc.

Increase the efficiency of the lighting system and energy saving are the target of these reconversions. In this sense, the paper presents a study on the quantification of energy efficiency, from the relation between the utilization coefficient of the luminaire, its efficiency and the results obtained with the luminaire in a given geometry. The index used, Normalized Power Density in illuminance, P_{NE} , allows the rapid comparison between different alternatives, combining the own efficiency of the luminaire, with the actual performance of its photometry in the particular geometry of the street to illuminate.

The work is completed with software simulations and the calculation of P_{NE} in real reconverted installations, which allows to built a first energetic classification of public lighting for the current state of the technology

Palabras claves: Energy efficacy, led, public lighting

I. INTRODUCCION

Considerando el esquema de la fig. 1, la iluminancia media que produce una luminaria led sobre la calzada puede obtenerse a partir de (1).

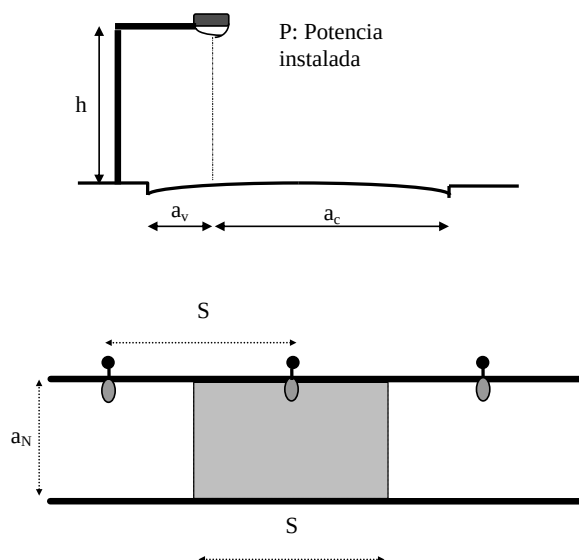


Fig. 1. Esquema elemental de la calzada

$$E = \frac{\mu v + \mu c}{a_N S} \quad (1)$$

En (1), E es la iluminancia media sobre la calzada [lx], a_N el ancho de la calzada y S la separación entre columnas. El flujo luminoso que llega a la calzada se ha cuantificado en (1) a partir de la utilización absoluta lado calzada, μc (obtenido para la distancia transversal del lado calzada a_c) y la utilización lado veredea, μv , obtenido para la distancia a_v .

Definimos la Densidad de Potencia Normalizada en iluminancia (P_{NE}) como:

$$P_{NE} = \frac{P}{a_N S E} \quad (2)$$

P_{NE} permite una rápida comparación de la eficiencia energética de la instalación, combinando la eficacia propia de la luminaria, con el eficiencia de la "forma" de emisión para la geometría particular de la calle. En (2), P representa la potencia [W] que contribuye a cada área de calzada, $a_N \times S$ representa la superficie iluminada [m^2] y E la iluminancia lograda [lx].

Para calzadas tipo A o B, [1] prescribe la aplicación de la Técnica de Luminancia. En tal caso, la eficacia de la instalación se puede cuantificar con la densidad de potencia normalizada P_N , definida como la potencia instalada por unidad de área de camino, referida al nivel de luminancia L [cd/m^2] producido (3).

$$P_N = \frac{P}{a_N S L} \quad (3)$$

Pracki [2] elaboró una propuesta de clasificación energética para instalaciones de alumbrado vial. Su estudio se basó en la simulación, mediante software, de varias alternativas de instalación: dos geometrías, pavimento estándar oscuro y claro, dos formas típicas de distribución luminosa de luminarias y variadas eficacias de lámparas. Las combinaciones logradas generaron un rango de valores posibles de P_N , que posteriormente fue utilizado para calificar energéticamente a la instalación.

La tabla I, extraída de la referencia citada, muestra el sistema de clasificación propuesto, que califica las instalaciones según su potencia normalizada en siete niveles, desde la mayor eficiencia (clase A) a la menor (clase F).

Tabla I: Clasificación en función de la potencia normalizada

Clase de eficiencia energética		P_N [W/m ² /cd/m ²]
A	La mayor eficiencia energética	<0,2
B	Muy eficiente	0,2 – 0,4
C	Eficiente	0,4 – 0,6
D	Eficiencia intermedia	0,6 – 0,8
E	Poco eficiente	0,8 – 1,0
F	Muy poco eficiente	1,0 – 1,2
G	La menor eficiencia energética	>1,2

Ahora bien, para calzadas de tipo urbano, como avenidas, calles céntricas en ciudades, zonas residenciales, la Norma IRAM indica la aplicación de la Técnica de Iluminancia -calzadas tipo C, D, E y F en [1]-. La clasificación mostrada en la tabla I deja de ser aplicable, ya que tanto los valores calculados como medidos dentro del área de evaluación se expresan en iluminancia, quedando el cálculo de P_N mediado por el coeficiente de luminancia medio del pavimento de la instalación.

De aquí surge el interés por el coeficiente P_N , cuya valoración permitiría clasificar en forma global el desempeño energético de la luminaria led en la instalación.

II. ANÁLISIS TEÓRICO

Considerando la fig.1, podemos suponer una eficiencia máxima de la luminaria en la instalación asignando un ancho de calzada tendiente a infinito. En tal hipotética situación, todo el flujo de la luminaria emitido en el hemisferio inferior alcanzaría la calzada y los coeficientes μv y μc de (1) tomarían sus valores máximos. Si a esta hipótesis le adicionamos la suposición que la emisión en el hemisferio superior es mínima y despreciable, podemos establecer la siguiente aproximación:

$$\mu v + \mu c \approx \phi_T \quad (4)$$

Siendo ϕ_T el flujo total emitido por la luminaria. Se remarca que (4) constituye solo una aproximación:

Por un lado, el flujo luminoso total de la luminaria surge de la integración sobre el ángulo sólido que la contiene espacialmente y con centro justamente en el centro fotométrico de la luminaria [3]. Por su parte, la utilización surge de integrar sobre "franjas" de superficie de calzada (franjas longitudinales al camino, en este caso).

Por su parte, solo en el caso (excepcional) de luminarias "full cut off" tendremos cero emisiones para ángulos elevados, sin considerar que es bastante común la instalación sobre pescantes con inclinaciones distintas de 0°, por lo que (lamentablemente) rara vez la energía se dirige íntegramente hacia abajo.

Con las aclaraciones anteriores, podemos re escribir la ecuación (2) como:

$$P_{NE} = \frac{P}{\mu V + \mu C} \quad (5)$$

Tomando en cuenta (4), una aproximación a la máxima (y teórica) densidad de potencia normalizada en iluminancia se puede calcular con la inversa de la eficacia real de la luminaria. Por ejemplo, considerando una luminaria con 105 lm/W, su límite en una instalación será $P_{NE} = 0,0095 \text{ W/m}^2\text{lx}$ y seguramente obtendremos valores mayores cuando se instale en una calzada real, dependiendo de cómo se adapte su emisión a la geometría particular.

III. APLICACIÓN.

A modo de ejemplo, analizaremos la luminaria cuyo diagrama polar se muestra en la figura 2.

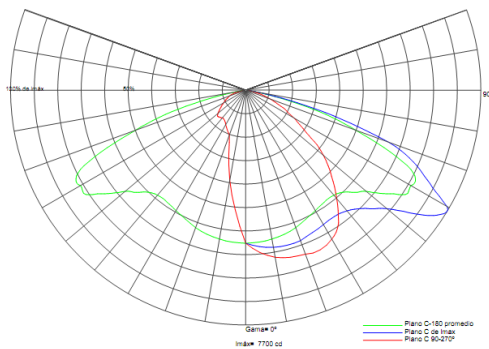


Fig. 2. Luminaria ejemplo

La tabla II muestra sus parámetros característicos, que pueden obtenerse a partir de su curva de utilización (Fig. 3).

Tabla II: Parámetros característicos de la luminaria ejemplo

Flujo:	14.733	klm	Luminaria 1	
Potencia:	140.72	W	PNE _{mín}	0.00957 W/m ² lx
η	104.7	lm/W	PNE _{Teor}	0.00955 W/m ² lx

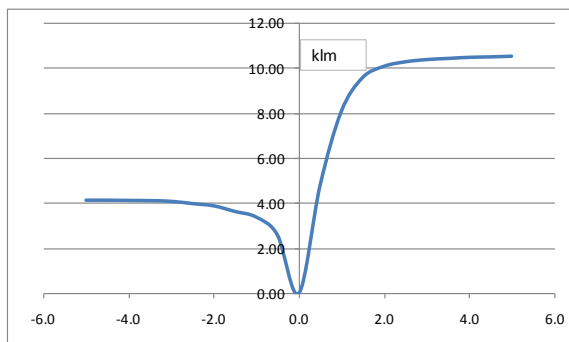


Fig. 3. Curvas de utilización

Se puede observar que su mejor prestación energética ($P_{NE} \approx 0,0096 \text{ W/m}^2\text{lx}$) se logra abarcando desde aprox. 1 vez la altura de montaje lado vereda hasta 2 por el lado camino.

La tabla III presenta un conjunto amplio de valores de P_{NE} obtenidos para combinaciones de relaciones “altura de montaje/ ancho de calzada”. La zona sombreada se corresponde con diferencias menores al 5% del mínimo, e implican un criterio válido de eficiencia energética.

Tabla III: P_{NE} calculado para la luminaria 1 (ejemplo)

Vereda		Camino									
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
0.5	0.01902	0.01716	0.01665	0.01617	0.01599	0.01581	0.01576	0.01574	0.01572	0.01572	0.01572
1.0	0.01315	0.01224	0.01198	0.01173	0.01163	0.01153	0.01151	0.01150	0.01149	0.01149	0.01149
1.5	0.01153	0.01082	0.01062	0.01042	0.01035	0.01027	0.01025	0.01024	0.01023	0.01023	0.01023
2.0	0.01108	0.01042	0.01023	0.01005	0.00998	0.00991	0.00989	0.00988	0.00988	0.00988	0.00988
2.5	0.01091	0.01027	0.01009	0.00991	0.00984	0.00977	0.00975	0.00975	0.00974	0.00974	0.00974
3.0	0.01082	0.01020	0.01002	0.00984	0.00977	0.00970	0.00968	0.00968	0.00967	0.00967	0.00967
3.5	0.01078	0.01016	0.00998	0.00981	0.00974	0.00967	0.00965	0.00964	0.00964	0.00964	0.00964
4.0	0.01074	0.01012	0.00994	0.00977	0.00970	0.00964	0.00962	0.00961	0.00961	0.00961	0.00961
4.5	0.01073	0.01011	0.00993	0.00976	0.00969	0.00963	0.00961	0.00960	0.00959	0.00959	0.00959
5.0	0.01070	0.01009	0.00991	0.00974	0.00967	0.00961	0.00959	0.00958	0.00957	0.00957	0.00957

IV. P_{NE} en una instalación

Con la idea de cuantificar las diferencias entre los valores de P_{NE} logrados en una instalación y el valor teórico, se simuló instalaciones mediante software Dialux [4], empleando la luminaria utilizada en el punto anterior (luminaria 1) junto con otras tres de diferente distribución luminosa y eficacia. Los resultados obtenidos para una configuración particular (vano: 35 m, ancho de calzada 7 m, 8,5 m de altura de montaje, 1,5 m de saliente, inclinación 0°) se muestran en la tabla IV y la figura 4.

Tabla IV: Simulación para vano: 35 m, ancho de calzada 7 m, pescante 1,5 m, inclinación 0°

	Em [lx]	P [W]	PNE [W/m ² lx]	η [lm/W]	1/η	Dif. [%]
L1	42	140.7	0.0160	104.7	0.00955	67.0
L2	46	133.7	0.0138	115	0.00870	59.2
L3	19	82.8	0.0208	91.1	0.01098	89.0
L4	59	137.0	0.0111	129.9	0.00770	43.6

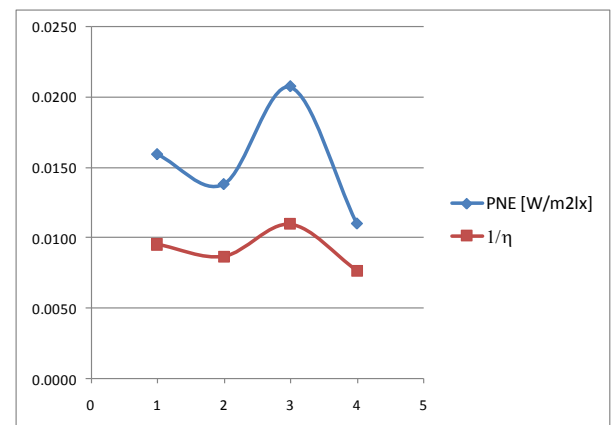


Fig. 4. P_{DE} y mínimo teórico para la instalación simulada

La luminaria 4, de mayor eficacia, es consecuentemente la que presenta el menor P_{NE} en la simulación. Asimismo, posee la menor diferencia entre valor real y mínimo teórico, lo que indica que su distribución es, de las cuatro estudiadas, la que mejor se adapta a esa geometría. Esta diferencia es poco más del doble para la luminaria 3, que, independientemente de ser la de menor eficacia, se adapta menos a la geometría en cuestión.

Si consideramos un pavimento típico de concreto asfáltico para la instalación, para las características de los asfaltos estudiados en los accesos a la ciudad de Buenos Aires [5,6], un coeficiente de luminancia medio posible sería 0,08 cd/m²lx. Con este valor, el P_{NE} correspondiente a la instalación más eficiente de la clasificación mostrada en la tabla I sería:

$$P_{NE} = 0,2 \times 0,08 = 0,0160 \text{ W/m}^2\text{lx}$$

Se puede observar que tres de las luminarias estudiadas (que fueron elegidas al azar de las últimas medidas en el LAL) superan la categoría “mayor eficiencia energética” de la clasificación mostrada, por lo que parece lógico establecer un límite más exigente en virtud del desarrollo de la tecnología led en los últimos años.

V. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

El trabajo propone la reedición del concepto de potencia normalizada, aplicándolo a iluminancia para el caso del alumbrado de vías urbanas, categorías C, D y menores de la clasificación IRAM. La incorporación del P_{NE} en pliegos y especificaciones técnicas sería complementaria e incluso superadora de la exigencia de una eficacia mínima para la luminaria propuesta para el sistema de alumbrado. En base a P_{NE} , se consideraría la eficiencia energética de un modo integral: por un lado, incorporando la eficacia de la luminaria pero además, evaluando simultáneamente el desempeño de la fotometría sobre la geometría a iluminar

Resta establecer los límites de esta nueva clasificación, que deberían rondar, según el resultado del estudio precedente, entre 0,0110 y 0,0160 W/m²lx como máximos admisibles para P_{NE} en las condiciones tecnológicas actuales. Una clasificación más completa resultará de los estudios actualmente en curso en el LAL: sobre simulaciones más amplias y a partir de la evaluación de instalaciones reales medidas en el marco de los Apoyos a Municipios en ejecución.

VI. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la CIC PBA, donde P.I. es miembro de la Carrera de Investigador Científico y Tecnológico y B.B. y NB son miembros de la Carrera Científica.

VII. REFERENCIAS

- [1] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM AADL J 2022-2, Alumbrado Público, Vías de Tránsito – Clasificación y Niveles de Iluminación. Buenos Aires, 1995
- [2] P. Pracki, “A proposal to classify road lighting energy efficiency”, Lighting Res. And Technol. Vol 43, p271-280, 2011

- [3] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, IRAM AADL J 2022-1, Alumbrado Público, Luminarias. Clasificación fotométrica. Buenos Aires, 2012
- [4] <https://www.dial.de/en/dialux/>.
- [5] P. Ixtaina, B Bannert, A Gallardo, Efectos de la iluminación led en el coeficiente de luminancia, XIII Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2016 – La Serena, Chile 2016.
- [6] P.Ixtaina, B Banner, Spectral reflectance of argentinean road surfaces. Proceedings of the Lux Europa 2017 Conference, “Lighting for modern society”, Ljubljana, Slovenia, 2017

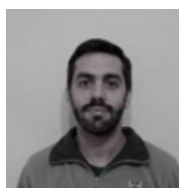
VIII. BIOGRAFIAS



Pablo R. Ixtaina (1965, La Plata, Argentina). Ing. Electricista UNLP. Docente en Mediciones Eléctricas e Iluminación para carreras de grado y posgrado en UNLP y UTN. Investigador de la CIC, ha realizado estudios de postgrado, trabajos de perfeccionamiento y visitas científicas en la Universidad Nacional de Tucumán, Universidad Nacional de La Plata, Centro de Investigaciones Ópticas, Laboratorio LMT (Berlín, Alemania), Philips Lighting Application Centre (Eindhoven, Holanda). Miembro de la Comisión “Alumbrado Público” del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). Posee alrededor de 40 publicaciones en Revistas Científicas y Técnicas, de divulgación y Actas de Congresos.



Braian D. Bannert (1988, Quilmes, Buenos Aires, Argentina). Ingeniero en Electrónica de la UNLP. Es Personal de Apoyo de la CIC. Actualmente participa en estudios relacionados al área de luminotecnia.



Nicolás Bufo (1983, La Plata, Buenos Aires, Argentina). Bachiller en Ciencias Sociales. Personal de Apoyo de la CIC (Técnico Asistente). Actualmente participa en ensayos relacionados al área de luminotecnia.



Enseñanza en Iluminación

Iluminación Paisajística, una Experiencia a Distancia.

Marta Micaela Gómez

Facultad de Arquitectura

Universidad Católica de Santa Fe

arq.martagomez@gmail.com

Resumen. *El saber cambia el mundo, y nuestro mundo está cambiando con la prontitud de los saberes nuevos¹.*

El sistema educativo tiene un reto muy importante. Deberíamos cuestionarnos, repensar principios y objetivos, reinventar metodologías docentes, replantear el concepto de la relación alumno - profesor y el proceso mismo del aprendizaje, los contenidos curriculares, además, revisar críticamente los modelos mentales que han inspirado el desarrollo de los sistemas educativos.

Con esto y con todo: ¿qué es el conocimiento virtual?²

Sin duda, aquel que, sea cual fuere su origen, se somete a las leyes de las redes virtuales, lo que significa que se estructura de acuerdo con parámetros de versatilidad, facilidad de acceso, rapidez de descarga y multimediaticidad, a lo que se agrega la posibilidad de que sus fuentes no sean confiables, esto implica investigar su veracidad. Puede leerse un libro a la manera guttenbergiana, hacer un resumen y exponerlo o puede generarse un debate definiendo enfoques, analizando posturas que generan lo que se denomina enseñanza colaborativa.

¿Qué se debe enseñar hoy para preparar a los profesionales de las próximas décadas? Es lo que se ha preguntado a sociólogos, pedagogos, profesores, psicólogos... y todos han coincidido en su respuesta: a ser competentes

El objetivo de esta ponencia es presentar la metodología aplicada y los resultados obtenidos

en el curso de Iluminación Paisajística dictado en el 2017 totalmente a distancia desde el campus virtual de la Universidad Católica de Santa Fe

Palabras claves: Iluminación de Paisajes – Educación a distancia – Luminotecnia –

I. INTRODUCCIÓN

La sociedad del siglo XXI seguramente reafirmará que aprender es la más importante fuente de riqueza y bienestar, de capacidad de competir y de cooperar en paz. En consecuencia, cada institución educativa tiene que empezar por aceptar la necesidad de transformarse en una organización competitiva para facilitar el aprendizaje personal y colectivo ante el siglo XXI.³

Este va a ser el siglo del saber más precisamente el siglo de la racionalidad científica y tecnológica, nuestra especie ha dependido siempre de sus creencias y sus tecnologías, desde tiempo inmemorial y más específicamente desde la invención de la rueda, esas creencias van siendo cada vez más penetradas por la ciencia y las tecnologías están cambiando a un ritmo sin precedentes. Las corporaciones se están reinventando en torno de las oportunidades abiertas por la tecnología de la información, y las escuelas también tendrán que hacerlo"

La educación busca dentro de sus objetivos la formación integral del ser humano, entendido como un ser de necesidades, habilidades y potencialidades buscando intervenir en las Dimensiones Cognitivas (conocimientos) Axiológica (valores) y Motora (Habilidades y Destrezas), para mejorar la calidad de vida, es

¹ CARDONA OSSA, Guillermo. Tendencias educativas para el siglo XXI. Educación virtual, online y @learning. Elementos para la discusión

² Claudia Alejandra Alvarez Sinning. Interacción virtual <http://claudiaalvarez.webnode.es/news/%C2%BFque%20es%20el%20conocimiento%20virtual/>

³ DIEZ HOCHLEITNER, Ricardo. Informe sobre educación para el siglo XXI. CLUB DE ROMA

necesario desarrollar el pensamiento crítico y estimular la actitud científica a lo largo de toda su vida educativa.

Las industrias dinámicas de la sociedad del conocimiento son las industrias de la inteligencia: la biotecnología, la informática, la microelectrónica, las telecomunicaciones, la robótica, la industria de nuevos materiales, la aviación civil, entre otras son las actividades bandera del nuevo siglo, ninguna de éstas industrias depende de los recursos naturales, ni de la mano de obra barata, ni siquiera del capital, que va a donde lo llaman con la velocidad de la luz. Estas industrias dependen de un nuevo factor de producción: se llama el **conocimiento**. En la sociedad del conocimiento el valor agregado ya no proviene de los factores clásicos de producción "tierra, capital y trabajo": viene de la tecnología antes que todo.

Hablar de educación a distancia es referirnos a un concepto conocido pero no cabalmente definido. Para Garmendia y Malvassi⁴, la educación a distancia recurre a las bases teóricas y conceptuales que sustentan y orientan todo accionar educativo, sea presencial o a distancia (...) pero requiere de ciertos conocimientos y estrategias que hacen a su especificidad como modalidad educativa (...) La educación a distancia es utilizada en diversos campos y contextos (educación formal y no-formal), en formación, capacitación, actualización, etc., en casi todos los países. En 1994 el Centro Internacional de Educación a Distancia de la Open University, registraba en sus archivos 27.068 cursos ofrecidos por 378 instituciones educativas en 27 países (Robinson, 1994). Holmberg impulsó a la modalidad a distancia proponiendo su teoría de la conversación didáctica guiada la importancia del diálogo docente-alumno, y propone el establecimiento de una conversación simulada con los alumnos que asegure la motivación y el progreso de los estudiantes (...) Holmberg fue el que realmente introdujo en la primera educación a distancia la necesidad de una comunicación interactiva entre el que enseña y el que aprende⁵.

Es difícil prever qué necesitarán saber los futuros profesionales cuando lleguen al mundo laboral, pero parece que no precisarán haber acumulado mucha información, sino habilidades para

buscarla, seleccionarla utilizarla y aplicarla de forma eficaz

Actualmente, la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología y la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU) de la República Argentina han puesto en marcha, desde el año 2002 líneas de trabajo destinadas a la actualización de la evaluación de estudios de grado y posgrado bajo la modalidad de Educación a Distancia.

En un párrafo de la entrevista que realizó Educ.ar a Marta MENA, la misma expresa acerca del camino de la presencialidad hacia la virtualidad educativa⁶.

"Encontramos en ese camino por lo menos cinco instancias transitorias:

1. En primer lugar la instancia más primitiva es la situación en que una universidad presencial introduce elementos de virtualidad en su dinámica educativa. Así, se crean páginas Web que los docentes utilizan para comunicarse con sus alumnos o se crean listas de discusión. (...)
2. Una segunda instancia la constituyen las instituciones que (...) deciden diseñar un entorno virtual para albergar algunos cursos de extensión o educación continua. No comprometen aún académicamente a toda la institución (...)
3. (...) Distintas universidades ofrecen sus cursos virtuales utilizando una misma plataforma tecnológica. Esta situación se mantiene hasta agotar la capacidad de dicha plataforma o hasta que alguna de las instituciones del grupo decide que ya se encuentra en condiciones de ofrecer una oferta virtual diversificada a través de su propio equipamiento (...)
4. por su magnitud (...) la institución adosa a su estructura una universidad virtual con gestión independiente, pero compartiendo los recursos.
5. El último de los peldaños en este camino sería la creación de la universidad virtual como organización virtual y con autonomía.

Esta instancia es aún difícil de imaginar entre nuestras instituciones. "

⁴ GARMENDIA, E.; JURIC, J.; MALVASSI, S. (1999) La educación a distancia ¿una modalidad educativa innovadora? SEAD- UNM del Plata.

⁵ MENA, Marta (2004) La educación a distancia en América Latina. Modelos, tecnologías y realidades". Ediciones La Crujía. Bs.As.

⁶ <http://portal.educ.ar/noticias/entrevistas/marta-mena-la-evolucion-de-la.php>

¿Qué se debe enseñar hoy para preparar a los profesionales de las próximas décadas? Es lo que se ha preguntado a sociólogos, pedagogos, profesores, psicólogos... y todos han coincidido en su respuesta: a ser **competentes**.

David de Prado, director del Instituto Avanzado de Creatividad Aplicada Total y del máster en Creatividad de la Universidad Fernando Pessoa, cree que la clave es "olvidarse de materias y asignaturas y centrarse en los procesos; en lugar de dedicarse a dar respuestas, hay que enseñar a hacer preguntas, despertar la curiosidad, fomentar el pensamiento libre, automático e inconsciente para formar mentes pensantes y desarrollar personas creativas, investigadoras y emprendedoras".

El desarrollo de herramientas como el celular, la computadora, consolas de video juegos, etc., es orientado a establecer una comunicación y/o intercambio de información por múltiples vías y con un alto grado de personalización e interactividad. El uso popular de estas nuevas tecnologías causa cambios acelerados en todos los contextos del ser humano, esencialmente porque ofrecen un amplio abanico de posibilidades para estar comunicados y recibir información de todo el mundo. Logrando establecer un particular modo de interactuar entre las personas, es decir, ponen al alcance de los jóvenes nuevas posibilidades de para relacionarse⁷

II. FUNDAMENTACION

Hoy, educar es gobernar. Hace 150 años lo decía Domingo Faustino Sarmiento, el presidente que prefirió su humilde título de maestro "gobernar es educar". Así era ya en el siglo XIX. Así fue durante el siglo XX y así será sobre todo, a medida que avance el nuevo siglo⁸.

Por ello la educación debe replantear sus objetivos, sus metas, sus pedagogías y sus didácticas si quiere cumplir con su misión en el siglo XXI, brindar satisfacciones a las necesidades del hombre, como dice Bill Gates en lo que trae el futuro" Las mismas fuerzas

tecnológicas que harán necesario el aprendizaje, lo harán agradable y practico".

Por ello se creó el curso a distancia Iluminación de Paisajes con ello se pretendió profundizar y ampliar conocimientos luminotécnicos, necesarios para obtener una articulación entre la técnica y la creatividad, desde una perspectiva originada en la visión exterior nocturna con el entorno, considerando una habilidad útil en la formación de un arquitecto,y/o diseñador de paisajes.

Como objetivos particulares se plantearon entre otros, el promover una visión integradora de la iluminación en su marco arquitectónico general y brindar las herramientas conceptuales necesarias para abordar los diferentes puntos de vista de la obra, del observador y del entorno, siempre desde la iluminación artificial, motivando la observación, la reflexión sobre los alcances de las tomas de decisiones, el estudio sistemático de casos, para que el aprendizaje del estudiante sea la construcción de un recorrido propio en relación con sus necesidades y expectativas.

La iluminación se está consolidando como una especialidad que requiere de profesionales en la materia, ante la necesidad emergente de desarrollar a fondo este elemento en la obra arquitectónica este curso busca entregar las herramientas básicas que permitan al alumno comprender y poner en valor el paisaje a través de la iluminación, por los que los capacita a componer morfológicamente el paisaje, analizando y definiendo la composición de ellos, sus criterios de uso, sin olvidar el ahorro de energía acorde a las necesidades de los nuevos tiempos

El concepto de paisaje tiene diversos usos de acuerdo a la disciplina que lo pretende definir. Todas las nociones coinciden en contar con la presencia de un sujeto observador y de un objeto observado (el terreno) puede decirse que paisaje es todo aquello que ingresa en el campo visual desde un determinado lugar o como la extensión de terreno que puede apreciarse desde un sitio.

Los Espacios Públicos Urbanos son los mejores sitios donde se establece esa relación directa entre el espacio y las personas, donde en un mismo sitio confluyan y coexisten armoniosamente diferentes actividades sociales, económicas y ambientales.

⁷ Berríos, LI. & Buxarrais, M. (2005). Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y los adolescentes. Algunos datos. Recuperado el 17 de octubre de 2008, de <http://www.oei.es/valores2/monografias/monografia05/reflexion05.htm>

⁸ 1 GOMEZ BUENDIA, Hernando. Educación La agenda del siglo XXI. Hacia un desarrollo humano. Pag.1

La naturaleza y, en general, el paisaje urbano debería constituir un elemento fundamental en la organización y sustentación de la vida cotidiana de los ciudadanos ,a su vez desde el comienzo de las civilizaciones, hemos intentado controlar y generar luz, sin embargo las capacidades alcanzadas hoy por la luminotécnica, han hecho del diseño de iluminación un ejercicio determinante en la percepción de los espacios y las formas, poniendo en valor el paisaje durante la noche, esta le puede dar profundidades o generar límites, resaltar los elementos más importantes dentro de él y permitirnos leer un espacio de manera armónica ,descubrir las intenciones del autor, los efectos creados, deseados o indeseados, y la elección de lámparas y luminarias. La luz da forma al espacio y hace que este se perciba de distintas maneras.

Los objetivos generales del curso, fueron

- Reflexionar sobre el desarrollo e interpretación de la acción paisajística en relación con la conservación de los recursos naturales la preservación del medioambiente y la interacción que generan las actividades humanas.
- Contribuir al reconocimiento de la iluminación nocturna, en la arquitectura urbana, su relación con el medio ambiente, su dimensión como transformadora de espacios, comprometido con las significaciones sociales, económicas, ecológicas, etc., que trasciendan el mero hecho estético.
- Promover una visión integradora de la iluminación en su marco arquitectónico general y otorgar herramientas conceptuales de abordaje

Los objetivos particulares

- Motivar la observación
- Replantear el concepto de la relación alumno - profesor y el proceso mismo del aprendizaje
- Autogestionar el aprendizaje del alumno mediante el estudio sistemático de casos
- Actualizar y profundizar conocimientos sobre la iluminación utilizada en exteriores
- Utilizar soluciones eficientes, postuladas en el desarrollo sustentable desde una conciencia ambiental, basadas en la reducción del consumo energético

- Aplicar en terreno los conceptos de iluminación aprendidos mediante un proyecto propio

Los contenidos se desarrollaron en 6 módulos, uno de ellos dedicado a la familiaridad con el entorno virtual, una guía de actividades donde se consignan fechas de inicio y culminación. Otro material que se presento es una rúbrica de evaluaciones, que posibilitan al docente adoptar un criterio más objetivo y al alumno conocer los criterios de valoración para la aprobación de los mismos. La evaluación formo parte del proceso de aprendizaje y se realizó durante el mismo, por ello, se enmarcaron en los términos de una evaluación formativa done ella debe aportar al alumno información sobre su propio progreso, sus propios fallos o carencias, siendo, por lo tanto, una evaluación que responda sobre todo a las necesidades del educando.

En los siguientes módulos se repasaron los términos utilizados en luminotecnia , unidades y fundamentalmente los tipos de lamparas y luminarias para exterior que existen en el mercado, formas de iluminar distintos tipos de árboles, arbustos, en el caso de espacios exteriores con inclusión de edificaciones de valor patrimonial sistemas no intrusivos, los sistemas de automatización aplicables.

Estrategias metodológicas

El sistema permite un seguimiento constante en el marco de una enseñanza personalizada.

Independientemente de las herramientas hipermediales, video lecciones, por cada módulo, se realizaron estudios de casos analizando sus resoluciones, algunos de ellos al hacerse en grupo permitió relacionar conceptos relevantes, integrar conocimientos, y fundamentalmente a debatir

III. CONCLUSIONES

A raíz del cumplimiento de los objetivos propuestos surgieron problemáticas urbanas a intervenir, de hecho, motivaron trabajos de extensión de catedra que fueron realizados oportunamente.

El aspecto innovador surge a raíz del origen diverso de las formaciones académicas de los alumnos, originando distintos enfoques frente a la misma problemática, que permitió la acentuación de dudas, inquietudes, que llevaron a sostener acuerdos, que se realizaban a través de los foros de discusión, que a su vez fueran motivadores de

nuevas inquietudes siendo este espacio aprovechado para la puesta en común y verificación de resultados

Los alumnos fueron construyendo sus propios recorridos en complejidad creciente, y dada la dedicación a los proyectos que se realizaron, las respuestas que surgieron de problemáticas reales, y concretas ,por un lado la posibilidad de intervenir espacios urbanos con deficiencias lumínicas y por otro lado, la catedra les brindo la posibilidad de un trabajo de extensión.

La posibilidad de utilizar las ideas proyectuales de los trabajos finales ante autoridades municipales, fueron el condimento ideal para obtener buenos resultados, creativos y ejecutables, originando una motivación, al alumno, más allá de la nota y la aprobación de la materia.



Factores Humanos

Ergonomía Verde: Factores humanos en la iluminación natural sustentable.

Rodriguez, Roberto Germán^{1,2}, Lasagno Cecilia Marta¹, Monteoliva, Juan Manuel¹, Yamin Garretón, Julieta¹; Pattini, Andrea Elvira¹

¹ Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) – CCT CONICET Mendoza – Mendoza, Argentina – rrodriguez@mendoza-conicet.gob.ar

² Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño – Universidad de Mendoza – Mendoza, Argentina

Resumen: El desarrollo sustentable es aquel que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Bajo este marco conceptual, los autores posicionan a los factores humanos como una disciplina clave para lograr el necesario balance entre capital económico, social y natural. A la vez que se definen los alcances y objetivos de la Ergonomía Verde (del inglés *Green Ergonomics*), se presentan los aportes específicos de la línea de investigación de iluminación natural sustentable (INAHE – CONICET) para lograr entornos construidos verdes en términos de condiciones ambientales y consumo de energía, y a la vez ergonómicamente diseñados para permitir el desempeño eficaz y eficiente de la actividad humana (oficinas, escuelas, espacios de transición) con confort, salud, y seguridad. Se describen los resultados de la investigación en: (i) Predicción y prevención de deslumbramiento psicológico: Indicador Grado de Apertura Ocular, sensibilidad al deslumbramiento, enfoque epidemiológico, (ii) Iluminación natural en la actividad humana: Efectos en la cognición humana, envejecimiento normal del sistema visual, rendimiento visual, modelado y accesibilidad visual; (iii) Aportes metodológicos: simulación y métricas dinámicas, aplicaciones para dispositivos móviles, seguidor de ojos de bajo costo.

Abstract: Sustainable development is defined as the one that meet the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. Under this theoretical framework, the authors position 'human factors' as a key discipline to achieve the necessary balance between economic, social and natural capital. While the scope and objectives of Green Ergonomics are defined, the specific contributions within our research line in sustainable natural lighting (INAHE - CONICET) are presented. Our research aims to achieve green built environments in terms of their environmental factors and energy consumption, and at the same time ergonomically designed to allow an efficient and effective work performance (in offices, schools, transitional spaces) along with comfort, health, and safety. The results of our research are

described for different lines of work: (i) Prediction and prevention of psychological glare: Degree of Eye Opening Indicator, glare sensitivity, and the epidemiological approach, (ii) Natural lighting and human performance: Effects on human cognition, normal aging of the visual system, visual performance, modeling, and visual accessibility; (iii) Methodological contributions: dynamic simulation and metrics, mobile devices apps, low cost eye tracker.

Palabras clave: Ergonomía – Sustentabilidad – Iluminación Natural

I. INTRODUCCION

El nacimiento de la Ergonomía moderna data de julio de 1949, con la creación de la *Ergonomics Research Society*, fundada por ingenieros, fisiólogos y psicólogos británicos con el fin de "adaptar el trabajo al hombre". A partir de las palabras griegas *ergon* y *nomos*, que significan trabajo y ley respectivamente, Murrell acuñó el término "Ergonomía" para distinguir un conjunto de estudios emprendidos entre 1920 y 1948 referidos principalmente a algunos aspectos de la anatomía, fisiología y psicología experimental cuyo fin era relacionar al ser humano con una situación de trabajo [1]. Durante sus casi 70 años de existencia la Ergonomía ha evolucionado conceptual y metodológicamente, ampliando sus alcances, objetivos y campo de aplicación. Son variadas las definiciones de Ergonomía que hoy pueden encontrarse en manuales de estudio, revelando a través de sus matices la interdisciplinariedad intrínseca de este campo de conocimiento. Sin embargo, en todas ellas subyacen dos principios fundamentales: la *visión antropocéntrica* y el *enfoque sistémico*, que evidencian el grado de maduración alcanzado por esta disciplina. La luminotecnia ha encontrado en la Ergonomía en general, y en particular en las Ergonomías Ambiental y Visual, un input teórico y herramientas metodológicas para el diseño y evaluación de ambientes visuales laborales adecuados a las

capacidades y limitaciones de la visión humana, coadyuvando al desarrollo de la actividad laboral en forma eficaz, eficiente y con confort. Sin embargo, satisfacer sólo los requerimientos visuales resulta en escenarios de iluminación que Boyce [2] define como indiferentes. Es necesario atender también a canales no visuales de la iluminación [3, 4]—factores de tipo psicológico y fisiológico— para alcanzar una iluminación de buena calidad, que impacte positivamente en el consumo energético, el desempeño laboral y la salud humana. El presente artículo posiciona a la luz natural como una fuente de iluminación adecuada para satisfacer los requerimientos de funcionalidad visual, ahorro energético y salubridad propios de una iluminación de buena calidad y a la ergonomía como una disciplina clave para lograr el necesario equilibrio entre estos requerimientos.

II. ERGONOMÍA Y SUSTENTABILIDAD

Uno de los mayores desafíos que actualmente enfrenta la humanidad se relaciona con la degradación ambiental, el sobreuso de recursos limitados y el cambio climático [5]. Las potenciales consecuencias para la vida en nuestro planeta están impulsando un cambio de paradigma en cuanto a cómo vivimos, trabajamos y consumimos y exigen acciones para prevenir y mitigar el daño causado, propiciando un desarrollo sustentable. La Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo en su Informe [6] define al desarrollo sustentable como aquel que “satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades que tienen las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”.

La necesidad de ampliar la visión de la Ergonomía para incluir de manera más directa aspectos de sustentabilidad ha sido postulada por varios autores desde última década del siglo XX [7], y ha suscitado un mayor interés desde la primera década de nuestro siglo, a partir de los desarrollos de la Eco-Ergonomía [8]; ergonomía verde [9]; Factores humanos y Sostenibilidad [10]; y Ergoecología [11]. Desde distintas perspectivas, estos autores argumentan que existen paralelismos significativos entre la agenda “verde” y los objetivos de la Ergonomía. A pesar de esta aparente dispersión conceptual se destaca una fuerte voluntad de aportar interdisciplinariamente con métodos y conocimientos ergonómicos para encontrar soluciones a los problemas ambientales, desde una perspectiva sistémica. En una revisión exhaustiva de 696 documentos publicados entre 1996 y 2013, Saravia-Pinilla y colaboradores [12] encontraron que el 61.6% de los mismos representaron desarrollos conceptuales de ergonomía verde, mientras que el restante 38.4% se refirieron a aspectos metodológicos de aplicación. Se hace evidente el actual estadio germinal de la ergonomía verde, algo disociada de la praxis, en busca del rol que pueda jugar en la reducción de impactos ambientales negativos. Tal como es definida, el campo de acción de este conjunto de iniciativas que constituyen la Ergonomía Verde es muy amplio [9]. De este amplio

espectro, en la próxima sección presentaremos algunos aspectos del rol que la ergonomía puede jugar en mejorar la calidad del entorno construido sustentable para los ocupantes, a partir de los resultados de nuestras investigaciones sobre el impacto del factor ambiental iluminación natural en el confort, salud y rendimiento humanos.

El 23 de Mayo de 2007, la población mundial pasó a ser más urbana que rural, y se estima que esta proporción seguirá creciendo [13]. En promedio, tanto para países industrializados como en desarrollo, las personas pasan entre el 80-90% del tiempo dentro de espacios construidos [14, 15] que necesitan ser calefaccionados, refrigerados, ventilados e iluminados, lo cual requiere del uso de energía. En particular los edificios del sector servicios requieren proporcionalmente más energía que en acondicionamiento ambiental que aquellos del sector residencial. En ese sentido, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático [16] destacó que una significativa mitigación en el consumo energético puede lograrse con mejores diseños edilicios y que el mayor potencial de ganancia se ubica en los países en desarrollo. Sin embargo, requerimientos de sustentabilidad pueden entrar en conflicto con aspectos ergonómicos de calidad ambiental interior. Por ejemplo, la introducción de luz solar sin un adecuado control puede falta de confort visual y térmico en los ocupantes. Y es allí donde la ergonomía está en posición de jugar un rol clave en el diseño sustentable de ambientes interiores.

III. ILUMINACIÓN NATURAL ERGONÓMICA Y SUSTENTABLE

La iluminación natural mejora el rendimiento visual debido a una mejor reproducción del color por ejemplo para tareas que requieren un agudo juzgamiento del mismo. Ésta asegura altos niveles disponibles sin embargo su uso descontrolado puede ocasionar falta de confort visual por deslumbramiento y distracción, y puede reducir el rendimiento visual debido a reflexiones de velo y sombras. Lo cual se traduce en acciones que tienden a bloquear o reducir el ingreso de luz natural [17]. Acciones que se repiten ante una inaceptable pérdida de privacidad o un exceso de distracciones.

La luz natural afecta no solo las tareas visuales sino las tareas no visuales dado que también regula el sistema circadiano, responsable de establecer una representación interna del día y la noche. Para evitar estas interrupciones, son necesarias exposiciones a altos niveles de luz durante el día y bajos niveles durante la noche. Los efectos circadianos de la iluminación es un tópico de investigación y desarrollo relativamente reciente.

En cuanto a las preferencias, la iluminación natural es más valorada [18]. La presencia de ventanas que proveen visión al exterior y permiten el ingreso de luz natural puede reducir el estrés. Psicológicamente la luz natural y la vista al exterior es muy deseada. Si la vista al exterior es importante, las ventanas son

mejores que los lucernarios, el vidrio claro es mejor que el esmerilado y las cortinas translúcidas son mejores que opacas. Según Boyce (2002), la asociación entre ventanas y paisaje exterior es la primera razón por la cual las ventanas son inherentemente superiores a la luz eléctrica [19], en base a la hipótesis de la biofilia, es decir la necesidad innata del ser humano de estar en contacto con la naturaleza.

En la práctica, cuestiones económicas en relación a montos de inversión, su amortización y tasa interna de retorno es una barrera para la implementación de soluciones ergonómicas en el sector productivo. Según Lee (2005), los profesionales de la ergonomía no han sabido *vender* la disciplina a las gerencias [20]. Es por ello que los autores de este artículo promueven el enfoque económico propuesto por Boyce [19] para alentar el uso de la iluminación natural como fuente primaria de iluminación, desde un punto financiero directo o indirecto, a través de la revisión del impacto económico que su uso ocasiona.

En resumen puede decirse que *la gente ama la luz natural pero no incondicionalmente*. Los potenciales beneficios económicos, energéticos y ergonómicos que esta fuente de iluminación posee en relación a la luz artificial, dependen de cómo éstas son entregadas a los usuarios. Desde la línea de investigación de iluminación natural sustentable del INAHE – CCT Mendoza CONICET se han producido avances para lograr entornos luminosos sustentables y ergonómicos:

Predicción y prevención de deslumbramiento psicológico: Se trabajó desde dos abordajes: (i) Mejorar los modelos de deslumbramiento a partir de la inclusión de nuevos factores que pudieran afectar a la sensación de deslumbramiento, realizándose experimentos que demostraron efectos de la temperatura ambiental interior [21] y de la sensibilidad al deslumbramiento [22] en la sensación de deslumbramiento; y (ii) mejorar los métodos de predicción existentes, lográndose cuantificar el deslumbramiento a partir de la respuesta fisiológica del organismo -cambios en el tamaño de apertura ocular- a los cambios lumínicos [23]. Este método que se denominó "Grado de Apertura Ocular", tiene alto poder de diagnóstico y validez y requiere de equipamiento de medición de bajo costo. En esta misma línea de trabajo, se propuso una aproximación original: considerar a los métodos de predicción de deslumbramiento como pruebas diagnósticas en el sentido médico del término. Esto permitió extender métodos de análisis propios de la epidemiología para desarrollar un método general de evaluación de certeza diagnóstica de modelos de deslumbramiento y para seleccionar el umbral de deslumbramiento óptimo según necesidades diagnósticas específicas [24].

Iluminación Natural en la actividad humana: Se trabajó de manera interdisciplinaria en relación a la influencia de la luz natural en la cognición humana en dos ámbitos de alta demanda visual y cognitiva: oficinas y escuelas [25]. El estado de avance de los estudios orientados a oficinas muestra evidencia de

que la presencia de luz solar sin controlar en el campo visual de los trabajadores disminuye su rendimiento cognitivo durante el trabajo con computadoras. Se observa una asociación entre el deslumbramiento psicológico, la atención y la capacidad de memoria de trabajo [26,27]. En cuanto a edificios escolares, se ha informado una estrecha relación entre el desempeño atencional y la iluminación natural en escolares [28, 29]. Además, se trabajó en el rendimiento visual, modelado y accesibilidad visual para sistemas visuales jóvenes y normalmente envejecidos, la influencia del clima luminoso en el uso de los espacios de transición y sus implicancias en el desarrollo de las actividades diarias [30,31,32].

Aportes metodológicos: Se abordó una de las causas que desalientan a los proyectistas a buscar soluciones energéticamente eficientes que potencien el uso de la luz natural para iluminar espacios interiores: la ausencia de herramientas de precisión para cuantificar la cantidad de luz que ingresa a un edificio, condición indispensable para diseñar estrategias de iluminación natural eficientes adaptadas a la región [33]. En consecuencia, se desarrolló un herramienta de predicción (AppUDI) sencilla y aplicable por profesionales en entornos reales, con la precisión y validez de las simulaciones dinámicas en un software de uso intuitivo. Esta aplicación se basa en un modelo simplificado de iluminancia natural útil (UDI 100-2000lx) a partir de conocer el área y orientación de la ventana para locales perimetrales individuales en climas soleados [34, 35]. El siguiente desarrollo surgió del análisis del marco legal y normativo Argentino en iluminación, desarrollándose la aplicación PC-SRT para dispositivos móviles Android. Dentro de un marco metodológico de evaluación post-ocupacional, este desarrollo tecnológico permite el relevamiento integral del factor ambiental iluminación tanto natural como artificial. En su aplicación en campo, la aplicación móvil PC-SRT mostró una buena usabilidad. Al mismo tiempo, posibilitó profundizar en el diagnóstico y análisis de las condiciones de iluminación en los espacios de trabajo a través de la incorporación de nuevos indicadores y metodologías ya incluidas en normativas internacionales [36, 37].

IV. CONSIDERACIONES FINALES

Al revisar los alcances y objetivos de la Ergonomía Verde los autores destacan que ésta área de reciente interés por parte de la Ergonomía se encuentra en un proceso de maduración teórica. La Ergonomía suele ser asociada con el sentido común [38], lo que posiciona al especialista en ergonomía, cualquiera sea su área de incumbencia, como una suerte de *apostol* del sentido común, capaz de intervenir en cualquier contexto donde haya personas realizando una actividad. Y la sustentabilidad no ha sido la excepción de esta búsqueda de la ergonomía de intervenir y aportar desde su particular visión interdisciplinaria, antropocéntrica y sistémica. Desde el INAHE se ha realizado el camino inverso: Primero se realizaron

investigaciones e intervenciones en campo para luego reflexionar e intentar enmarcar conceptualmente esas acciones. Este artículo es el resultado de esa posterior búsqueda teórica. Aceptando el paralelismo entre los objetivos de la sustentabilidad y los intereses de la ergonomía, los autores presentaron los aportes específicos de la línea de investigación de iluminación natural sustentable (INAHE – CONICET) para lograr entornos iluminados con luz natural verdes en términos de sustentabilidad y consumo de energía, y a la vez ergonómicos al considerar las capacidades, limitaciones y preferencias de sus ocupantes.

V. REFERENCIAS

- [1] Murrell K. (2012). *Ergonomics: Man in his working environment*. Springer Science & Business media. ISBN: 9400958781
- [2] Boyce P. (2003) *Lighting quality for all*
- [3] Gligor V. (2004). *Luminous environment and productivity at workplaces*. Tesis Licentura, Helsinki University of Technology, Espoo.
- [4] Monteoliva J.M., Rodríguez R., Pattini A., Ison M. (2012). *Daylighting and Cognition. Experimental Studies on Working Memory and Attention in clerical and educational context. Experiencing Light 2012*. Eindhoven, Países Bajos.
- [5] Stern N. (2006). *Stern Review on the Economics of Climate Change*. London: HM Treasury.
- [6] Brundlandt G.H. (1987). *Our common future. Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford: Oxford University Press.
- [7] Moray N. (1995). *Ergonomics and the global problems of the twenty-first century*. *Ergonomics*, 38(8): 1691-1707.
- [8] Brown C. (2007). *Eco-ergonomics. Proceedings of the New Zealand Ergonomics Society Conference 2007*. Waiheke Island.
- [9] Thatcher A. (2013). *Green ergonomics: definition and scope*. *Ergonomics*, 56(3): 389-398.
- [10] Zink K.J., Fischer K. (2013). *Do we need sustainability as a new approach in human factors and ergonomics?* *Ergonomics*, 56(3): 348-356.
- [11] García-Acosta G., Saravia M.H., Riba C. (2012). *Ergoecology: evolution and challenges*. *Work*, 41(1): 2133-2140.
- [12] Saravia-Pinilla M.H., Daza-Beltrán C., García-Acosta G. (2016). *A comprehensive approach to environmental and human factors into product/service design and development. A review from an ergoecological perspective*. *Applied ergonomics*, 57: 62-71.
- [13] Hanlon M. (2007). *World population becomes more urban than rural*, accedido el 2/10/2017 en <http://www.gizmag.com/go/7334/>
- [14] Klepeis N.E., Nelson W.C., Ott W.R., Robinson J.P., Tsang A.M., Behar J.V., Hern S.C., Engelmann W.H. (2001). *The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants*. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11: 231-252.
- [15] Schweizer C., Edwards R.D., Bayer-Oglesby L., Gauderman W.J., Ilacqua V., Jantunen M.J. (2007). *Indoor time microenvironment-activity patterns in seven regions of Europe*. *J. Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 17(2): 170-181.
- [16] Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate change 2007 – the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the IPCC*. New York: Cambridge University Press.
- [17] Maniccia D., Rutledge B., Rea M.S., Morrow W. (1999). *Occupant use of manual lighting controls in private offices*. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 28: 42-56.
- [18] Galasiu A.D., Veitch J.A. (2006). *Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review*. *Energy and Buildings*, 38(7): 728-742.
- [19] Boyce P, Hunter C, Howlett O. (2003). *The benefits of daylight through windows*. Troy, New York: Rensselaer Polytechnic Institute.
- [20] Lee S. (2005). *Ergonomics in total quality management: How can we sell ergonomics to management?* *Ergonomics*, 48(5): 547-558.
- [21] Yamin J., Rodríguez R. & Pattini A. (2016). *Effects of perceived indoor temperature on daylight glare perception*. *Building Research and Information* 44(8): 907-929.
- [22] Rodríguez R. & Pattini A. (2014). *Experimental study on discomfort glare tolerance from a large area source in Visual Display Terminal work*. *Lighting Research and Technology* 46(2):157-170.
- [23] Yamin J., Rodríguez R., Ruiz A., Pattini A. (2015). *Degree of eye opening: A new discomfort glare indicator*. *Building and Environment* 88: 142-150.
- [24] Rodríguez R., Yamin J. & Pattini A. (2017). *An epidemiological approach to daylight discomfort glare*. *Building and Environment* 113: 39-48.
- [25] Monteoliva J.M.; Rodríguez R., Pattini A., Ison M. (2012). *Daylighting and Cognition. Experimental Studies on Working Memory and Attention in clerical and educational context. Experiencing Light 2012*. Eindhoven, Países Bajos.
- [26] Rodríguez R. & Pattini A. (2012). *Effects of a large area glare source in cognitive efficiency and effectiveness in Visual Display Terminal work*. *Leukos* 8(4): 283-299.
- [27] Rodríguez R., Yamin J. & Pattini A. (2016). *Glare and cognitive performance in screen work in presence of sunlight*. *Lighting Research and Technology* 48:221-238.
- [28] Monteoliva J.M.; Ison M.S. & Pattini A. (2014). *Evaluación del desempeño atencional en niños: Eficacia, eficiencia y rendimiento*. *Interdisciplinaria [online]*, 31(2): 213-225.
- [29] Monteoliva J.M., Korzeniowski C.G., Ison M.S., Santillán J., Pattini A. (2016). *Estudio del desempeño atencional en niños en aulas con diferentes acondicionamientos lumínicos*. *Revista CES Psicología*, 16(9): 68 - 80.
- [30] Lasagno C., Issolio L., Pattini A., Colombo E. (2014). *Transitional spaces from exterior to interior as functional vision barriers in aging*. *Lighting Research and Technology*, 46(6): 706-715.
- [31] Lasagno C., Pattini A., Rodríguez R., Colombo E. (2011). *Developing a Modelling Factor Index for Transition Spaces: A Case Study Approach*. *Architectural Science Review*, 54: 215 – 224.
- [32] Lasagno C., Colombo E., Pattini A. (2017). *Ergonomía ambiental y accesibilidad visual diurna*

de una escalinata. Caso de estudio. II Congreso Iberoamericano de Ergonomía. Montevideo, Uruguay.

- [33] Monteoliva J.M., Villalba A., Pattini A. (2015). Variability in dynamic daylight simulation in clear sky conditions according to selected weather file: Satellite data and land-based station data. *Lighting Research and Technology*
- [34] Monteoliva J. M., Villalba A., Aceña A., Pattini A. (2016). Modelo simplificado para el cálculo de iluminancia por luz natural útil (UDI) en espacios individuales perimetrales de cielos claros. Caso de estudio: Mendoza, Argentina. *Hábitat Sustentable*, 6(1): 50-59.
- [35] Aceña A., Monteoliva J.M., Villalba A. (2016). App UDI1.0. Derecho de autor de producciones tecnológicas. Bien de consumo final o su/s componente/s. (Software).
- [36] Rodríguez R, Monteoliva JM, Dumit C, Pattini A (2017). Desarrollo de una aplicación de dispositivos móviles para la medición de iluminación en espacios de trabajo. II Congreso Iberoamericano de Ergonomía. Montevideo, Uruguay.
- [37] Monteoliva J.M., Rodríguez R., Pattini A. (2015). Protocolo SRT. Derecho de autor de producciones tecnológicas. Bien de consumo final o su/s componente/s. (Software).
- [38] Sanders M.S., McCormick E.J. (1993). *Human Factors in Engineering and Design*, 7th ed. (New York: McGraw-Hill).

VI. BIOGRAFIAS

Roberto G. Rodríguez: Diseñador Industrial, egresado en 2003 de la Facultad de Artes y Diseño de la UNCuyo (FAD). Es doctor en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) (2012). Investigador Asistente de CONICET INAHE – CCT Mendoza y docente en la cátedra Ergonomía Aplicada al Diseño (FAUD - Universidad de Mendoza). Es autor de diversas publicaciones nacionales e internacionales con referato.

Cecilia M. Lasagno: Diseñadora Industrial, egresada en 2003 de la Facultad de Artes y Diseño (FAD) de la UNCuyo. Es doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente de la UNT (2014). Investigadora Asistente de CONICET en el INAHE y docente de Materiales y Procesos en la FAD-UNCuyo). Es autora de diversas publicaciones nacionales e internacionales con referato.

Juan Manuel Monteoliva: Diseñador Industrial, egresado en 2010 de la FAD-UNCuyo. Es doctor en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la UNT (2014). Becario Posdoctoral de CONICET en el INAHE y docente de las cátedras de Legislación Industrial y Diseño de Productos para la Iluminación (FAD-UNCuyo). Es autor de diversas publicaciones nacionales e internacionales con referato.

Julieta Yamin Garretón: Diseñadora Industrial, egresada en 2010 de la FAD-UNCuyo. Es doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la UNT (2016). Becaria Posdoctoral de CONICET en el INAHE y autora de diversas publicaciones nacionales e internacionales con referato.

Andrea Pattini: Diseñadora Industrial, egresado en 1985 de la FAD-UNCuyo. Es doctora en Luz y Visión por la UNTucumán (2007). Es Investigadora Principal de CONICET y directora del INAHE. Es co-directora académica de la Maestría en Desarrollo Sustentable del Hábitat Humano (UTN-FRM). Asimismo, directora de tesis de posgrado, docente y miembro del comité académico de la Maestría de Diseño para los Desarrollos Regionales (FAD-UNCuyo). Es docente en Iluminación Natural (UNT, UTN, UChile, UNLP, UNCA) y autora de diversas publicaciones nacionales e internacionales con referato, capítulos de libros y un libro en iluminación natural.



Fotometría y Radiometría

Análisis de la emisión de radiación ultravioleta de fuentes y luminarias de interiores

Mario Raitelli

Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán - Argentina - mraitelli@herrera.unt.edu.ar

Daniel Vaquez Molini

Facultad de Óptica y Optometría - Universidad Complutense de Madrid - España
dvazquez@ucm.es

Resumen: Se presenta la distribución espacial de intensidades radiantes (DIR), en el rango UV-A medida para distintas fuentes y luminarias de uso interior. Este parámetro, que es difícil de obtener de los fabricantes, se necesita para evaluar el riesgo de daño en museos mediante cálculos radiométricos. El objetivo es analizar la posibilidad de derivar la DIR a partir de su equivalente fotométrico, la distribución espacial de intensidades luminosas (DIL) que es una información normalmente disponible. Para ello se realizaron cálculos radiométricos empleando la DIR obtenida con mediciones y derivada por escalamiento de la DIL, respectivamente. Los resultados indican que ambas estimaciones difieren en el orden de 10%, lo cual se considera aceptable para hacer evaluaciones de riesgo de daño en museos.

Abstract: The spatial radiant intensity distribution (RID) in the UV-A spectrum of different indoor sources and luminaires is presented. This parameter, which is difficult to obtain from light sources manufacturers, is needed for damage risk evaluation in museums through radiometric calculations. The aim is to determine whether it is possible to derive the DIR from its photometric equivalent, the spatial luminous intensity distribution (LID), which is an information usually available. With such purpose, radiometric calculations were performed using the measured DIR and the derived one by scaling from the DIL, respectively. The results show that the differences between both estimations are about 10%, which is considered acceptable for damage risk assessments in museums.

I. INTRODUCCION

En museos y ámbitos donde se exhibe o trabaja con obras de arte, es necesario controlar los niveles de radiación ultravioleta (UV) por cuanto esta radiación, que es emitida en alguna medida por todas las fuentes de luz conocidas, tanto

naturales como artificiales, puede causar serios daños e incluso, destrucción en materiales sensibles. Normalmente, el control se realiza a través de mediciones que requieren instrumentos de costo elevado; lo cual los hace prácticamente inaccesibles para muchos museos argentinos y latinoamericanos, instituciones que, a pesar de disponer de un rico y variado patrimonio, se caracterizan por padecer serias limitaciones presupuestarias y escaso o nulo apoyo estatal [1].

Una alternativa de control de menor costo consiste en calcular las variables involucradas. Este método produce resultados bastante aproximados a los valores obtenidos con mediciones y suele utilizarse en la evaluación de sistemas de iluminación para reducir costos operativos. En museos y edificios patrimoniales, esta alternativa puede ser muy interesante también cuando es difícil acceder al lugar de emplazamiento de las obras de arte para realizar las mediciones; como por ejemplo en el caso de pinturas al fresco en cielorrasos abovedados (Fig. 1) o murales de gran altura,



Figura 1: Santuario de la Virgen de La Merced, ciudad de Tucumán. La arquitectura y elevada altura del templo dificultan el acceso para realizar mediciones sobre las pinturas al fresco del cielorraso. Imagen reproducida con permiso del diario La Gaceta, Tucumán, Argentina.

Para calcular el flujo UV incidente sobre un área se requiere la distribución espacial de intensidades radiantes (DIR) de las fuentes de luz. Este parámetro -el equivalente radiométrico de la distribución espacial de intensidades luminosas (DIL)- raramente es de interés en iluminación arquitectónica y por ello, difícil de obtener de los fabricantes de lámparas y luminarias. Con el objetivo de abordar esta limitación, en este trabajo se presenta un estudio orientado a establecer si es posible derivar la DIR a partir de la DIL, una información que normalmente es más simple de conseguir.

II. METODOLOGIA

Para efectuar el estudio, en primer lugar se midió la DIL y la DIR de distintos tipos de fuentes y luminarias de interiores. La DIR se midió en el intervalo de longitudes de onda entre los 315 nm y 390 nm es decir, dentro del espectro ultravioleta A (UV-A) según la clasificación de la Comisión Internacional de Alumbrado (CIE) [2]. Esta información fue utilizada para hacer cálculos radiométricos, empleando primero las DIR obtenidas en las mediciones y luego, las derivadas por escalamiento de la DIL, respectivamente.

III. MEDICIONES DE LAS DIL Y DIR

Las DILs y DIRs se midieron con el goniómetro a espejo del DLLyV-ILAV de la UNT, empleando sensores calibrados para los rangos visible ($V(\lambda)$) y UV-A, respectivamente. En las Figs. 2 a 7 se muestran las luminarias analizadas y sus correspondientes curvas DIL y DIR, para los planos acimutales longitudinal y transversal, o promedió, según la simetría de la luminaria, respectivamente. Se incluye también las curvas para un lumiducto de sección circular ($\phi=0.25$ m) y 1.20 m de longitud, con cierre inferior difusor medido tanto para condiciones de cielo claro como nublado (figuras 6 y 7).

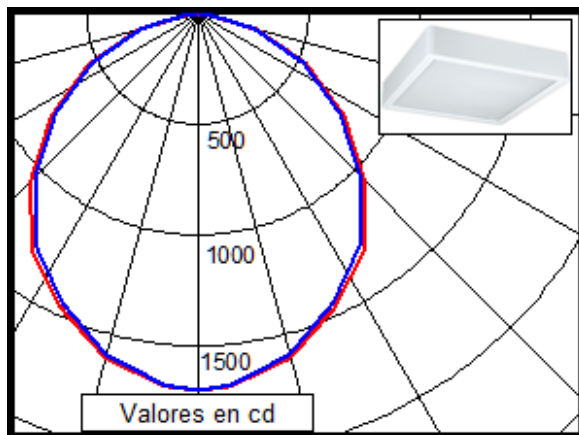


Figura 2a: Curvas DIL para los planos transversal (en azul) y longitudinal (en rojo) de una luminaria de 4 LFC de 36W, con cierre difusor.

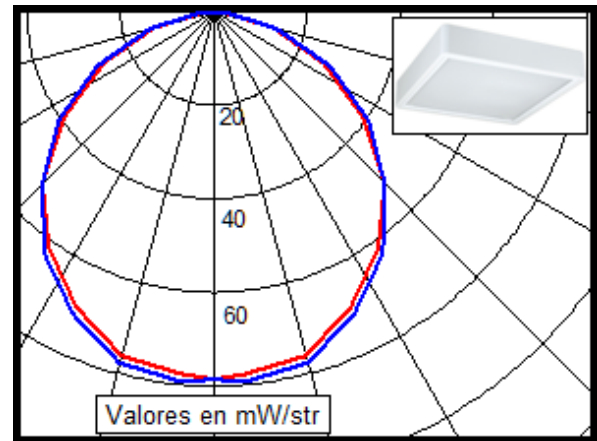


Figura 2b: Curvas DIR para los planos transversal (en azul) y longitudinal (en rojo) de una luminaria de 4 LFC de 36W, con cierre difusor

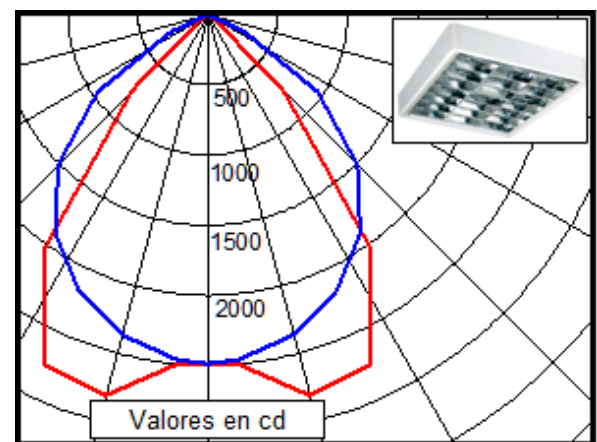


Figura 3a: Curvas DIL para los planos transversal (en azul) y longitudinal (en rojo) de una luminaria de 4 LFC de 36W, con louver doble parabólico.

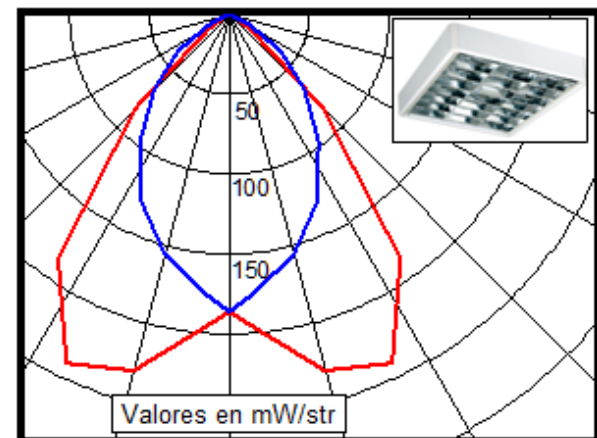


Figura 3b: Curvas DIR para los planos transversal (en azul) y longitudinal (en rojo) de una luminaria de 4 LFC de 36W, con louver doble parabólico.

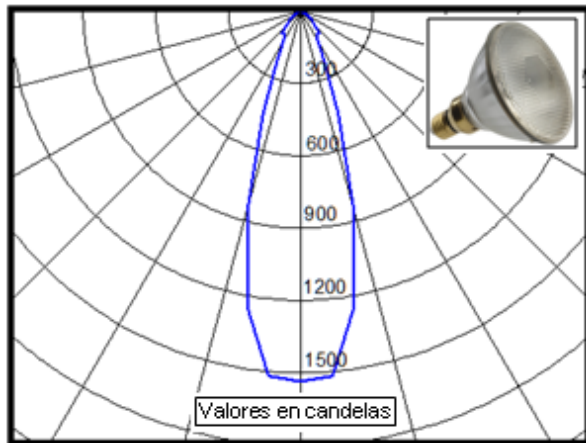


Figura 4a: Curvas DIL para el plano acimutal promedio de una lámpara halógena PAR 38 de 100W y 30° de apertura de haz.

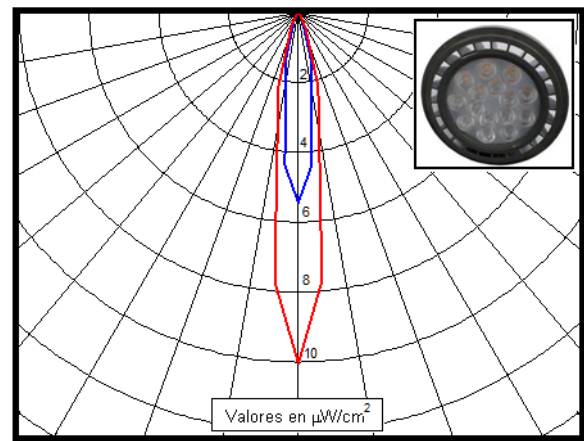


Figura 5.b: Curvas DIR para el plano acimutal promedio de una lámpara LED formato AR111, de 11 W y 10° de apertura de haz, para la versiones fría (en azul) y cálida (en rojo), respectivamente

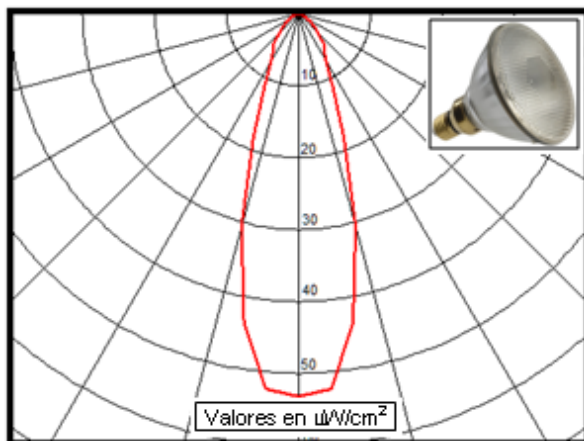


Figura 4b: Curva DIR para el plano acimutal promedio de una lámpara halógena PAR 38 de 100W y 30° de apertura de haz.

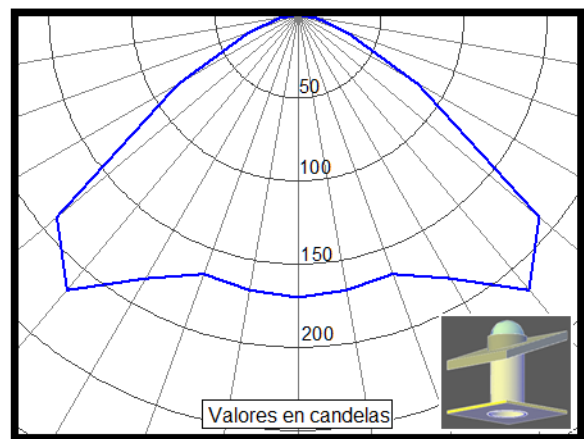


Figura 6.a: Curva DIL para el plano acimutal promedio de un lumiducto de $\phi= 0.25$ m y $l=1.20$ m. determinada el 20/05/2017 a las 12:30 horas, con condiciones de cielo claro.

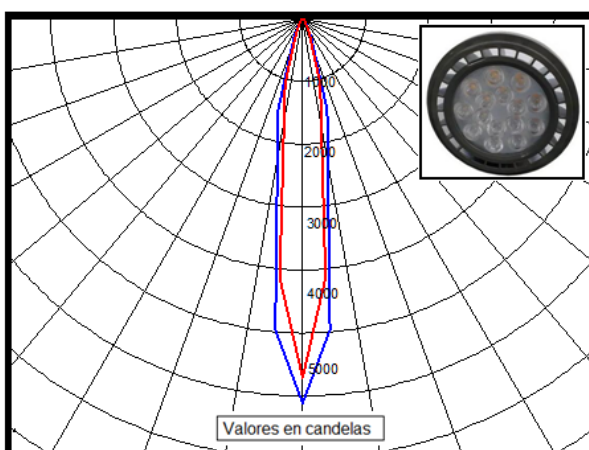


Figura 5a: Curvas DIL para el plano acimutal promedio de una lámpara LED formato AR111, de 11 W y 10° de apertura de haz, para la versiones fría (en azul) y cálida (en rojo), respectivamente.

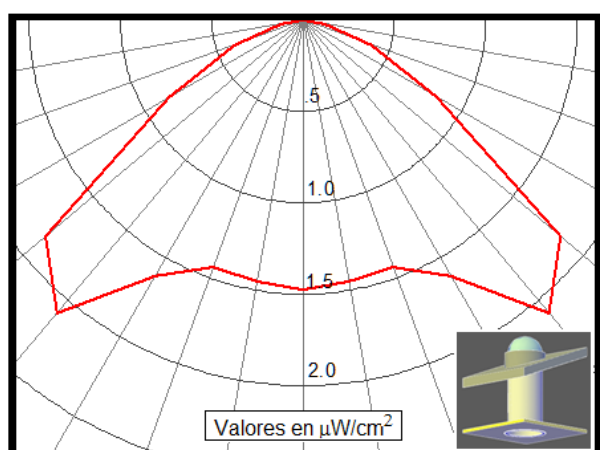


Figura 6.b: Curva DIR para el plano acimutal promedio de un lumiducto de $\phi= 0.25$ m y $l=1.20$ m. determinada el 20/05/2017 a las 12:30 horas, con condiciones de cielo claro.

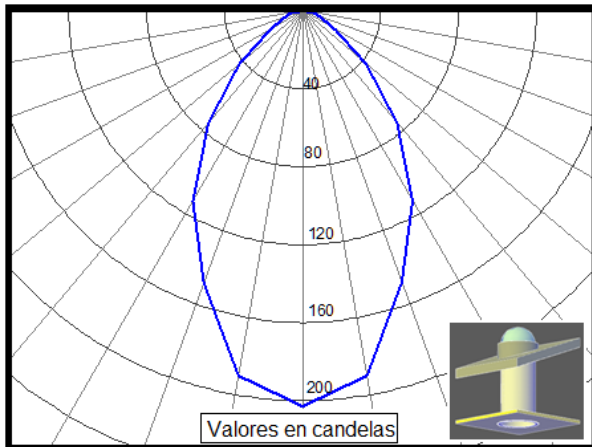


Figura 7.a: Curva DIL para el plano acimutal promedio de un lumiducto de $\phi=0.25$ m y $l=1.20$ m. determinada el 27/05/2017 a las 13:30 horas, con condiciones de cielo nublado.

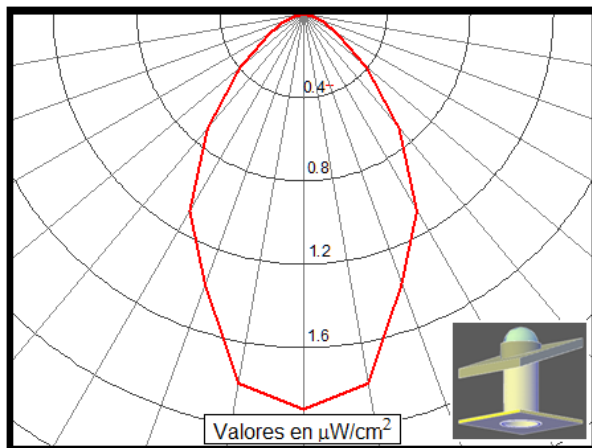


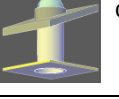
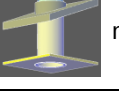
Figura 7.b: Curva DIR para el plano acimutal promedio de un lumiducto de $\phi=0.25$ m y $l=1.20$ m. determinada el 27/05/2017 a las 13:30 horas, con condiciones de cielo nublado.

En las figuras 2 a 7 se puede ver que la forma de las curvas DIL y DIR para cada tipo de luminaria analizado es muy similar; lo cual -en principio- permite suponer que las DIR podrían ser derivadas por escalamiento de las respectivas funciones DIL.

En la tabla I se muestran los flujos luminosos y radiantes, así como la emisión UV relativa de cada una de las luminarias analizadas, obtenidos con las funciones DIL y DIR aplicando el método del diagrama zonal.

Tabla I: Flujos luminoso y radiante, y emisión UV relativa de las luminarias analizadas

Luminaria	Flujo		Emisión UV relativa $[\mu\text{W}/\text{lm}]$
	Luminoso $[\text{lm}]$	Radiante $[\text{mW}]$	
	4501.6	436.1	96.9
	5159.7	775.7	150.3

Luminaria	Flujo		Emisión UV relativa $[\mu\text{W}/\text{lm}]$
	Luminoso $[\text{lm}]$	Radiante $[\text{mW}]$	
	683.8	291.7	426.6
 Cálida	1030.1	20.1	19.5
 Fría	1299.0	11.7	9.0
 c/cielo claro	636.3	418.5	657.7
 c/cielo nublado	286.3	138.2	482.7

La tabla I muestra que la emisión UV relativa de todas las luminarias analizadas -con excepción de las LEDs- es superior al recomendado para materiales sensibles en museos ($75 \mu\text{W}/\text{lm}$) [3] lo cual indica que se deben adoptar medidas preventivas si van a ser empleadas para iluminar salas de exposición de este tipo de material.

IV. CÁLCULOS RADIOMÉTRICOS

fin de determinar la posibilidad de derivar la DIR a partir de la DIL se realizaron cálculos de irradiancia sobre un plano de análisis de una instalación hipotética (Fig. 8) empleando la DIR medida y la obtenida por escalamiento de la DIL correspondiente.

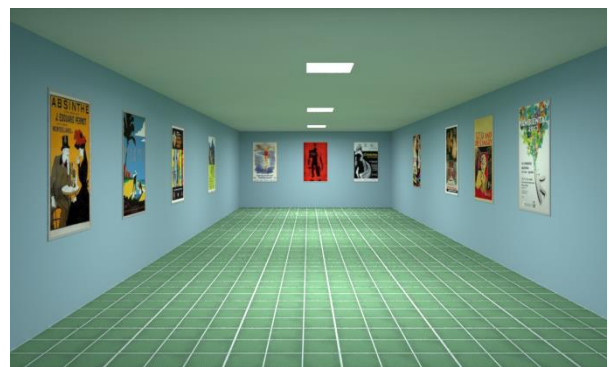


Figura 8: Instalación hipotética empleada para realizar cálculos radiométricos. Los análisis se realizaron sobre un plano de exhibición (paredes).

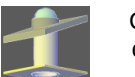
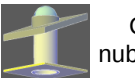
Los cálculos radiométricos involucraron la determinación de la irradiancia energética en el rango UV-A (E_{UV}). Este parámetro es el equivalente radiométrico de la iluminancia. Para su cálculo se utilizó el programa Relux Pro [4] versión 2016. Si bien este software fue concebido para hacer cálculos fotométricos, en principio, puede ser empleado también para realizar análisis radiométricos.

tricos; por cuanto las leyes que gobiernan la distribución del flujo luminoso son las mismas que rigen para la distribución del flujo radiante.

Como cualquier programa de cálculo de iluminación de interiores, Relux Pro requiere como datos de entrada, la DIL de las luminarias que se utilizan y los factores de reflexión (ρ_{vis}) y transmisión (τ_{vis}) de las superficies y objetos que constituyen el espacio de cálculo. Con estos datos el programa calcula magnitudes fotométricas, principalmente iluminancias, en una grilla de análisis definida por el usuario. Si el programa se utiliza para realizar cálculos de irradiancia energética en el rango UV, los datos de entrada deben ser substituidos por sus equivalentes radiométricos; es decir, la DIR en lugar de la DIL, y los ρ_{UV} y τ_{UV} en reemplazo de las ρ_{vis} y τ_{vis} , respectivamente. Es muy importante tener en cuenta que tal substitución es sólo numérica, esto significa que los resultados serán expresados en unidades fotométricas, pero sus valores corresponderán a magnitudes radiométricas.

A los efectos de utilizar el programa Relux Pro para hacer los cálculos de E_{UV} , las DIR obtenidas en el punto anterior fueron editadas en formato electrónico estándar IES[4]. Los resultados se muestran en la tabla II.

Tabla II: Irradiancia UV-A (Euv) media sobre el plano de exhibición de la instalación de figura 8, calculada con las DIR medidas y derivadas por escalamiento de las correspondientes DILs, respectivamente.

Luminaria	Euv [mW/m ²]		Diferencia [%]
	DIR med	DIR esc	
	7.3	6.8	6.8
	8.2	7.6	7.3
	24.4	23.2	4.9
 Cálida	3.40	3.58	5.3
 Fría	1.71	1.75	2.3
 Cielo claro	16.1	17.4	8.1
 Cielo nublado	5.1	5.6	9.8

En la tabla II se puede apreciar que -para todas las luminarias analizadas- la diferencia entre el valor de irradiancia energética UV-A calculado empleando la distribución de intensidades radian-

tes medida y la derivada de la correspondiente distribución de intensidades luminosa, respectivamente, es menor del 10%. Este nivel de incertidumbre se considera muy bueno para la mayoría de las aplicaciones de iluminación arquitectónica.

V. CONCLUSIONES

El cálculo representa una interesante alternativa para realizar evaluaciones de riesgo de daño por radiación UV en museos; toda vez que conduce a resultados bastante aproximados a los obtenidos con mediciones instrumentales pero a un costo considerablemente menor.

Conocer cómo las fuentes y luminarias emiten espacialmente la radiación UV es fundamental para realizar cálculos radiométricos. Sin embargo, esta información es difícil de conseguir por cuanto los fabricantes de fuentes y luminarias, por lo general, suministran los datos para el rango visible solamente.

Una posibilidad para superar la dificultad para disponer la distribución de intensidades radiantes de fuentes y luminarias es derivar la misma a partir del escalonamiento de la distribución de intensidades luminosas.

Los cálculos radiométricos empleando la DIR derivada de la DIL conducen a diferencias en los resultados inferiores a 10%, respecto de los análisis efectuados con la DIR medida. Este nivel de incertidumbre es muy aceptable para realizar evaluaciones de riesgo de daño por radiación UV en museos.

El software desarrollado para calcular iluminación (es decir radiación visible) puede ser empleado también para hacer análisis radiométricos; ya que las leyes que gobiernan ambos tipos de radiaciones son las mismas. Por un razonamiento similar, se puede concluir que la metodología utilizada en este trabajo para analizar la radiación UV-A, es aplicable también para todas las radiaciones ópticas del espectro electromagnético.

VI. RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el marco del programa 2014-2016 Eficiencia e impacto ambiental en la iluminación de espacios urbanos y edificios con tecnología convencional y de estado sólido, financiado por el Consejo de investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

Los autores agradecen también al programa de becas de formación en el exterior en Ciencia y Tecnología (BECAR) del Ministerio de Educación y Deporte de la República Argentina, por otorgar al Ing Mario Ratelli una beca en la convocatoria 2017 de Estadías cortas para miembros de instituciones de ciencia y tecnología en el exterior.

VII. .REFERENCIAS

- [1] Raitelli M. "Conservación preventiva en museos: Relevamiento del estado de situación en Argentina y América Latina". Memorias del Simposio: La luz en el museo y el cuidado del patrimonio. Ed. Digital. ISBN 978-950-554-976-4. Tucumán, Argentina. Octubre 2015.
- [2] Base de datos on-line del vocabulario internacional de iluminación (e-ILV CIE). Disponible en <http://eilv.cie.co.at/>
- [3] Control of damage to museum objects by optical radiation. Publicación CIE 157:2004. ISBN 978 3 901906 27 5. Comisión Internacional de Alumbrado (CIE). Babenbergerstraße 9/9A, A-1010 Vienna, Austria
- [4] Software de diseño de iluminación ReluxPro - 2016.1.1.0. Relux Informatik AG, Postfach 744, Kaspar Pfeiffer Strasse, CH-4142 Münchenstein.

VIII. BIOGRAFIAS



Mario Raitelli. Profesor Asociado e investigador en el Departamento de Luminotenia, Luz y Visión de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Se desempeña en el área de Diseño de iluminación. Responsable del Área de servicios a Terceros del DLLyV-UNT.



Daniel Vázquez Moilini. Catedrático E.U. de la Facultad de Óptica y Optometría de la Universidad Complutense de Madrid, España. Trabaja en las siguientes líneas de investigación: Arrays ópticos, Iluminación natural, diseño de sistemas ópticos, fotometría, Metrología 3D.



Nuevas Tecnologías en Iluminación

Comparação interlaboratorial: Colômbia, Argentina e Brasil

Elvo Calixto Burini Junior¹, Leonardo Assaf², Fernando Augusto Herrera León³

^{1,3} IEE/USP, Brasil) - ² DLYV/UNT, Tucumán, Argentina - ³ Universidad Nacional de Colombia e-mail: elvo@iee.usp.br

Resumo: Resultados de amostragem laboratorial a partir de lâmpada incandescente e tipo LED são apresentados e considerados. Fluxo luminoso, coordenadas de cromaticidade, temperatura de cor correlata, índice de reprodução de cor e outros parâmetros relevantes foram obtidos utilizando procedimentos rotineiros de fotometria e radiometria. O fluxo luminoso foi determinado a partir da esfera de Ulbricht e por goniometria auxiliada por computador. A partir dos desvios calculados de quantidades estimadas foi verificado que pode existir influência do tipo de fonte de luz primária sobre os resultados. Foi encontrada clara separação entre resultados da fonte incandescente (incerteza e faixa reduzidas) e LED, também entre as duas amostras LED.

Palavras-chave: Comparação interlaboratorial, fluxo luminoso, eficiência luminosa (lm/W).

Abstract: Results from laboratory surveys with incandescent and LED light sources are presented and considered. The luminous flux, chromaticity coordinates, correlated color temperatures, color reproduction index among other parameters considered relevant, were obtained using routine procedures of photometry and radiometry. The luminous flux was determined from the Ulbricht sphere (integrator) and also with computer aided goniometry. From the calculated deviations of estimated quantities it has been found that there may be influence of the primary light source type on the results. It was found clear separation between results of the incandescent source (uncertainty and range are reduced) and LED, also between the two LED samples.

Keywords: Interlaboratory comparison, luminous flux, luminous efficiency, correlated color temperatures.

I. INTRODUÇÃO

A aferição/calibração periódica do instrumental e elemento de referência, não fornece segurança quanto a ausência de desvios nos resultados. A presença de operador sem supervisão pode comprometer a qualidade dos serviços. O

resultado de medições realizadas em diferentes localidades/laboratórios, a partir de um mesmo corpo de prova possibilita a intercomparação. Neste artigo estão considerados parâmetros de uma lâmpada incandescente (INC.) e duas lâmpadas SSL (LED). Trata-se de resultados de amostragens realizadas na Colômbia (UNC), Argentina (UNT) e Brasil (IPT e IEE). O presente artigo apresenta e discute dados coletados durante eventos no período de 2010 a 2017.

II. OBJETIVO

As bases para uma avaliação de qualidade está sendo buscada. Os registros prestam-se a documentar e fixar diferenças entre resultados a partir de técnicas de uso comum, no setor de iluminação para grandezas e parâmetros elétricos, fotométricos, radiométricos e colorimétricos. Estruturar dados coletados com base em preceitos contidos na ABNT ISO/IEC GUIA 98-3 [1]. A confrontação de resultados obtidos sobre corpo de provas circulante, amostrado em três países destina-se a identificar diferenças e o nível da competência técnica, verificar a capacidade de resultados tecnicamente válidos frente aos seus pares. A lâmpada incandescente utilizada é do tipo a halogênio, base E-27, 150 W, 230 V, 2420 lm, vida 4 kh, (identificação: ILM-050) e as duas LED, E-27, identificação fornecida pela UNT, Colômbia: E-IL 1272, 7 W, 600 lm, 6500K e E-IL 1672, 11,5 W, 1050 lm, 2700K. Trata-se de um desdobramento de trabalho anterior, elaborado sobre o mesmo tema, e que discute igualmente resultados de amostragens em metrologia elétrica e óptica [2].

III. METODOLOGIA

As lâmpadas foram energizadas na tensão nominal ou em valor central da faixa de tensão declarada. A estabilização e as determinações do espectro foram realizadas com o eixo principal da lâmpada LED na horizontal (no IEE) e os parâmetros elétricos foram amostrados a partir de equipamento marca XITRON, modelo 2551 (no IEE); Yokogawa, WT1600 (UNC) e Yokogawa, WT210 (IPT). No IPT os ensaios foram realizados em esfera integradora, posição pendente com a

base para baixo; na UNC em goniômetro marca LMT, GO-DS 2000. O procedimento para a determinação da temperatura de cor correlata (Tcp) está associado ao equipamento utilizado em cada lab. e software proprietário, sendo que para a Tcp, no IEE foi considerado o observador padrão CIE 2º e houve verificação a partir do algoritmo de Robertson [3]. A metodologia e/ou equipamento utilizado na determinação do índice de reprodução de cor (IRC) é proprietária, no IPT do “Sistema de medição marca Optronix”; no IEE “software SpecWin Pro, ver. 3.1.1.1822, Instrument Systems” base no procedimento da norma DIN 6169-2 Colour rendering; colour rendering properties of light sources in the field of lighting e na UNC “espectrômetro ORB, modelo SP200, n/s 2015939”. A média aritmética foi utilizada para designar a referência. A incerteza está estimativa a partir da incerteza padrão expandida ($k=2$). Os dados fornecidos pela UNT, Argentina são limitados a amostra incandescente (ano 2010), sendo que as tabelas correspondentes foram partidas em duas colunas. Na Fig. 1 é apresentada a embalagem da lâmpada incandescente a halogênio utilizada, código ILM-050.



Fig. 1 - Embalagem da lâmpada incandescente a halogênio, código de identificação (ILM-050).

IV. RESULTADOS

Os dados estão apresentados em tabelas, por instituição e ano, sendo que na primeira linha da tabela estão os valores médios calculados e segue cada desvio relativo em relação à média (e dois gráficos). A notação "n" indica o tamanho da amostra utilizada para o cálculo da média. Na tabela 1 (e demais) o valor médio atribuído está grafado em negrito.

IV.1 Lâmpada incandescente (código: ILM-050)

IV.1.1 Corrente elétrica (ILM-050)

Tabela 1 - Desvio relativo à média das correntes elétricas medidas, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	Corrente (646,9 ± 0,8) mA; (n=4)	Corrente (648,3 ± 2,6) mA; (n=5)
IEE 2010	0,015	- 0,20
UNT 2010	(- 1,1)	0,88
IPT 2017	- 0,19	- 0,41
IEE 2017	0,17	- 0,05
UNC 2017	0,03	- 0,19

NOTA: Não foi utilizado o dado da UNT (n=4) cujo valor entre parêntesis enfatiza a remoção.

IV.1.2 Fluxo luminoso (ILM-050)

Tabela 2 - Desvio relativo à média dos fluxos luminosos determinados, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	Fluxo (2,25 ± 0,05) klm; (n=4)	Fluxo (2,26 ± 0,02) klm; (n=5)
IEE 2010	1,8	1,3
UNT 2010	(- 9,3)	- 9,7
IEE 2017	- 1,5	- 1,9
UNC 2017	- 2,2	- 2,7

NOTA: No caso n=4 não foi utilizado o dado da UNT, o valor entre parêntesis enfatiza a condição.

IV.1.3 Potência elétrica (ILM-050)

Tabela 3 - Desvio relativo à média das potências elétricas medidas, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	Potência (148,6 ± 0,3) W; (n=4)	Potência (149,0 ± 0,35) W; (n=5)
IEE 2010	0,05	- 0,19
UNT 2010	(1,2)	0,97
IPT 2017	- 0,38	- 0,62
IEE 2017	0,19	- 0,05
UNC 2017	0,15	- 0,09

NOTA: No caso n=4 não foi utilizado o dado da UNT, o valor entre parêntesis enfatiza a condição.

IV.1.4 Eficiência luminosa (ILM-050)

Tabela 4 - Desvio relativo à média das eficiências luminosas medidas, valores em (%).

Instituição da amostragem	Eficiência (15,03 ± 0,50) lm/W; (n=4)	Eficiência (14,7 ± 0,7) lm/W; (n=5)
IEE 2010	2,5	4,5
UNT 2010	(- 9,6)	- 7,8
IPT 2017	3,8	5,8
IEE 2017	- 1,6	0,3
UNC 2017	- 4,6	- 2,7

NOTA: No caso n=4 não foi utilizado o dado da UNT, o valor entre parêntesis enfatiza a condição.

IV.1.5 Distorção Harmônica Total de corrente elétrica (THDi) e de tensão da fonte (THDv)

Tabela 5 - Desvios relativos em relação às médias das

THDi e THDv medidas, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	THDi (0,47 ± 0,04) (n=3)	THD _v (0,18 ± 0,07) (n=3)
IPT ₂₀₁₇	- 14,9	- 44,3
IEE ₂₀₁₇	8,5	88,4
UNC ₂₀₁₇	6,4	- 44,3

NOTA: A THD_v (0,09 %, UNC) foi declarada.

IV.1.6 Fator de Potência (FP)

Tabela 6 - Desvio relativo em relação à média dos FP medidos, valores em (%)

Instituição da amostragem e data	PF (0,9999 ± 0,0001) (n=3)
IPT ₂₀₁₇	0,013
IEE ₂₀₁₇	- 0,027
UNC ₂₀₁₇	0,013

IV.1.7 Temperatura de cor correlata (ILM-050)

Tabela 7 - Desvio relativo em relação às médias das T_{cp}, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	T _{cp} (2813 ± 44) K; (n=4)	T _{cp} (2766 ± 62) K; (n=6)
IEE ₂₀₁₀	- 2,0	- 0,3
IPT ₂₀₁₇	2,4	4,2
(*) IPT ₂₀₁₇	(- 5,1)	- 3,5
(*) IPT ₂₀₁₇	(- 4,9)	- 3,3
IEE ₂₀₁₇	- 0,2	1,5
UNC ₂₀₁₇	- 0,2	1,4

NOTAS: (*) A amostragem ocorreu com esfera aberta parcialmente e com outro instrumento (PR-705); e (²) radiação refletida em alvo de PTFE.

IV.1.8 IRC (ILM-050)

Tabela 8 - Desvio relativo em relação à média dos IRC determinados, valores em (%)

Instituição da amostragem e data	IRC (99,2 ± 0,4); (n=3)
IPT ₂₀₁₇	- 1,1
IEE ₂₀₁₇	0,5
UNC ₂₀₁₇	0,5

IV.2 Lâmpadas tipo LED, base E-27: E-IL 1272 7 W, 6500 K e E-IL 1672, 11,5 W, 2700 K

IV.2.1 Corrente elétrica (LED)

Tabela 9 - Desvio relativo às médias das correntes elétricas medidas, valores em (%)

Instituição da amostragem e data	E-IL 1272 (61,9 ± 5,6) mA	E-IL 1672 (54,5 ± 2,1) mA
IEE ₂₀₁₇	9,8	- 3,5
IPT ₂₀₁₇	- 12,5	- 2,3
(*) IPT ₂₀₁₇	- 4,4	- 0,72
UNC ₂₀₁₇	7,1	6,5

NOTA: (*) A segunda amostra (IPT) foi obtida com a esfera integradora aberta parcialmente.

IV.2.2 Fluxo luminoso (LED)

Tabela 10 - Desvio relativo às médias dos fluxos luminosos determinados, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	E-IL 1272 (586 ± 13) lm; (n=3)	E-IL 1672 (1065 ± 43) lm; (n=3)
(*) nominal	(2,4)	(- 0,9)
(³) IEE ₂₀₁₇	- 0,9	0,1
UNC ₂₀₁₇	- 4,1	- 8,6

NOTAS: (*) O valor nominal de 600 lm e 1055 lm não foi utilizado para a média; (³) determinação a partir de goniômetro auxiliado por computador.

IV.2.3 Potência elétrica (LED)

Tabela 11 - Desvio relativo à média das potências elétricas medidas, valores em (%)

Instituição da amostragem e data	E-IL 1272 (7,02 ± 0,01) W	E-IL 1672 (11,04 ± 0,19) W
IPT ₂₀₁₇	0,10	1,10
(*) IPT ₂₀₁₇	0,17	3,18
IEE ₂₀₁₇	- 0,35	0,67
UNC ₂₀₁₇	0,08	- 4,95

NOTA: (*) A segunda amostra (IPT) foi obtida com a esfera integradora aberta parcialmente.

IV.2.4 Eficiência luminosa (LED)

Tabela 12 - Desvio relativo à média das eficiências luminosas, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	E-IL 1272 (84,0 ± 3,6) lm/W; (n=3)	E-IL 1672 (98 ± 5) lm/W; (n=3)
(*) nominal	(2,1)	(- 6,5)
IPT ₂₀₁₇	4,3	5,6
IEE ₂₀₁₇	0,5	- 0,03
UNC ₂₀₁₇	- 4,9	- 5,5

NOTA: (*) O valor nominal não foi utilizado para calcular a média.

IV.2.5 (LED) Distorção Harmônica Total da corrente elétrica (THDi)

Tabela 13 - Desvio relativo à média das THDi medidas, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	E-IL 1272 (47,5 ± 1,8) (n=3)	E-IL 1672 (49,7 ± 1,8) (n=3)
IPT ₂₀₁₇	3,4	- 0,27
IEE ₂₀₁₇	4,3	6,51
UNC ₂₀₁₇	- 7,7	- 6,24

NOTAS: A THD_v de (0,08 a 0,09) % ocorreu na parte do experimento realizada no IPT; para a UNC foi declarado 0,09 %; na USP o valor típico de THD_v de 0,1 % (7 W) e 0,3 % (11,5 W).

IV.2.6 (LED) Fator de Potência (FP)

Tabela 14 - Desvio relativo à média dos FP medidos valores em (%)

Instituição da amostragem e data	E-IL 1272 (0,91 ± 0,04) (n=3)	E-IL 1672 (0,83 ± 0,04) (n=3)
IPT ₂₀₁₇	8,6	9,1
IEE ₂₀₁₇	- 5,2	- 3,3
UNC ₂₀₁₇	- 3,4	- 5,8

NOTA: A faixa de variação foi de - 5,8 % a 9,1 %.

IV.2.7 Temperatura de cor correlata (LED)

A figura 2 apresenta distribuição espectral amostrada para a emissão de lâmpada tipo LED-A (pera), base E-27, 7 W, cujas coordenadas são $x=0,3197$ e $y=0,3343$ e $T_{cp} = 6113$ K e na figura 3, 11,5 W, $x=0,4596$ e $y=0,4083$ e $T_{cp} = 2686$ K. A tabela 15 apresenta resultado para a T_{cp} das lâmpadas tipo LED.

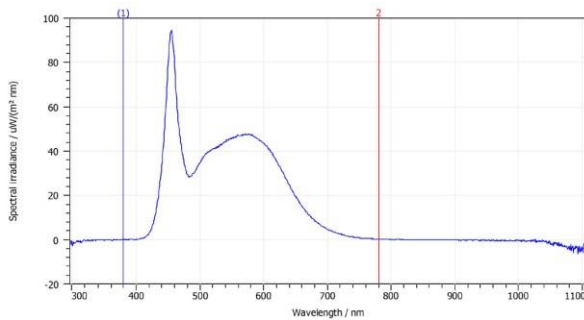


Fig. 2 - Distribuição espectral da emissão de lâmpada tipo LED (E-IL 1272), 7 W.

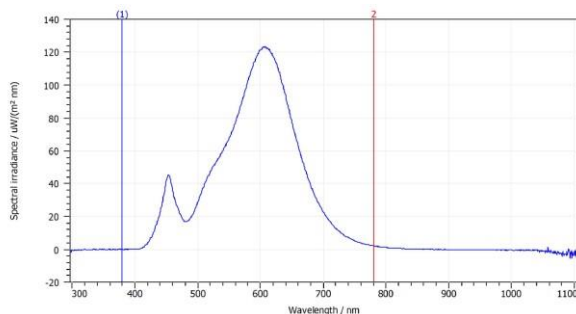


Fig. 3 - Distribuição espectral emissão de lâmpada tipo LED (E-IL 1672), 11,5 W.

Tabela 15 - Desvio relativo em relação às T_{cp} médias, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	E-IL 1672 (2656 ± 48) K; (n=4)	E-IL 1272 (5891 ± 249) K; (n=4)
(*) nominal	(1,7)	(10)
(*) IPT ₂₀₁₇	(- 5,8)	(- 19)
(⁴) IPT ₂₀₁₇	- 1,7	- 4,0
(^{4,5}) IPT ₂₀₁₇	- 1,8	- 4,5
(⁶) IEE ₂₀₁₇	1,2	4,2
UNC ₂₀₁₇	2,3	4,2

NOTAS: (*) Valor nominal (6500 e 2700) K ou resultado não utilizado para determinar a média; (⁴) a amostragem ocorreu com a esfera aberta e com outro instrumento (PR-705); (⁵) radiação refletida em alvo de PTFE; (⁶) resultado a partir de radiômetro e "software SpecWin Pro, ver. 3.1.1.1822, Instrument Systems".

IV.2.8 IRC

Tabela 8 - Desvio relativo às médias dos IRC determinados, valores em (%).

Instituição da amostragem e data	E-IL 1272 (84,2 ± 1,5); (n=3)	E-IL 1672 (83,0 ± 2,0); (n=3)
IPT ₂₀₁₇	- 4,4	2,7
(⁶) IEE ₂₀₁₇	1,5	- 1,6
UNC ₂₀₁₇	2,8	- 1,1

NOTA: (⁶) resultado a partir de radiômetro e "software SpecWin Pro, ver. 3.1.1.1822, Instrument Systems".

V. CONCLUSÕES

O presente artigo considerou dados de grandezas coletados na Colômbia, Brasil e Argentina, no ano 2010 e 2017, a partir de lâmpada LED e incandescente com o código de identificação na embalagem ILM-050. Os resultados fornecidos pela UNT, Argentina, apresentaram desvio elevado e foram considerados parcialmente na análise. Em 2010 a UNT não estava acreditada, os demais laboratórios participantes estão acreditados. A faixa de variação máxima da corrente elétrica obtida para a lâmpada incandescente não foi superior a 1,3 %, enquanto que para lâmpada LED 7 W, foi de 22,3 % valor superior ao dobro do que foi verificado para o LED 11,5 W, 10 %. A incerteza padrão expandida relativa para a ILM-050 não foi superior a 0,4 %, enquanto para LED 7 W alcançou 9 % e para a lâmpada LED potência nominal 11,5 W foi de 3,9 %. O fluxo luminoso e a incerteza padrão expandida para a lâmpada ILM-050 foi de $(2,25 \pm 0,05)$ klm ($\pm 2,2$ %; $n=4$). A faixa dos desvios relativos no ano 2017 foi de (2,7 a -2,2) %. **Nota:** No ano 2010 a faixa dos desvios relativos entre UNT e IEE está estimada em 3,9 %. A eficiência luminosa e incerteza padrão expandida estimada foi de

($15,0 \pm 0,5$) lm/W ($\pm 3,3$ %). A faixa dos desvios relativos estabelecida, considerado o ano 2017 foi de (-4,6 a 3,8) %, este resultado pode conter a faixa de 4,1 % (ano 2010), isso sustenta a hipótese levantada de tratar-se de elemento circulante similar (provavelmente amostra única) ao amostrado no ano 2010 devido ao código na embalagem e pertinência do resultado de eficiência. A temperatura de cor correlata foi estimada em (2813 ± 44) K ($\pm 1,6$ %) e o IRC em ($99,2 \pm 0,4$) ou ($\pm 0,4$ %).

Considerados os dados fornecidos pela Colômbia e aqueles obtidos no Brasil, a faixa de variação relativa do FP para a lâmpada (ILM-050) apresentou valor não superior a 0,04 % enquanto que para a lâmpada tipo LED a faixa de variação relativa alcançou 12 % (7 W) e 12,75 % (11,5 W), o valor relativo da incerteza padrão expandida estimada não foi superior a 3,8 %. Para a lâmpada tipo LED a THDi está afetada de incerteza padrão estimada em valor não superior a 6 % e a faixa máxima de variação dos desvios em 12,5 %; para a ILM-050: incerteza de 8,5 % e faixa de 23,4 %. A THDv média determinada para a ILM-050 resultou em incerteza padrão expandida de 39 % e faixa de variação superior a 100 %. A menos da THDv provavelmente devido a diferença ente tipos de fontes utilizadas é possível indicar separação clara entre a maioria dos resultados para a lâmpada incandescente com incerteza e faixa reduzidas e LED, também entre as duas amostras LED. O valor estimado para a incerteza padrão, em alguns casos, foi inferior à faixa de variação determinada entre dados amostrados do parâmetro considerado. Isto sugere oportunidade para revisão no procedimento de medição/amostragem dos parâmetros elétricos, e necessidade de melhoria do conhecimento existente em relação à interação entre fonte de energia e cada corpo de prova. A menor faixa de variação relativa de resultados ocorreu para o IRC da fonte incandescente 1,6 % e a maior para o fluxo luminoso da LED 11,5 W (> 17 %, entre IPT e UNC). Em termos de incerteza padrão expandida foram estimados valores relativos na faixa entre (0,4 a 5,1) %.

VI. AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo suporte a partir do proj. binacional CAFP-BA n.048/2013, a UNT e UNC.

VII. REFERÊNCIAS

[1] ABNT ISO/IEC GUIA 98-3 Incerteza de medição, Parte 3: Guia para expressão de incerteza de medição (GUM: 1995), 154p., 2014.

[2] Burini Junior, E C et al Comparação Interlaboratorial Utilizando Fonte de Luz Elétrica para a Qualidade de Dados. THE 12th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION - CLAGTEE 2017 (mimeo).

[3] A. R. Robertson, "Computation of Correlated Color Temperature and Distribution Temperature," J. Opt. Soc. Am. 58, 1528-1535 (1968).

VII. BIOGRAFIA

Elvo Calixto Burini Junior é graduado pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, onde também concluiu curso de especialização em Mecânica Fina (1985). Concluiu o doutoramento em Energia pela USP (2002). A experiência inclui atividades de engenharia no setor privado e público, setor de normalização técnica nacional e internacional; formação de pessoal. Iluminação moderna integra os principais campos de interesse.



Evaluación y Caracterización de Luminarias Led para Tareas Visuales de Alta Exigencias

Denis Eduardo Riquelme Sandoval

Departamento de Electrotecnia e Informática – Universidad Técnica Federico Santa María
Viña del Mar, Chile - denis.riquelme@usm.cl

Franz Yurjevic Perin

Departamento de Electrotecnia e Informática – Universidad Técnica Federico Santa María
Viña del Mar, Chile - franz.yurjevic@usm.cl

Resumen: La implementación de la iluminación artificial en la realización de diferentes tareas, como la selección de textiles, discriminación de pigmentos, apreciación visual de objetos y espacios, etc; en cada una de estas funciones visuales los LEDs han ganado espacio fundado no siempre en las virtudes de la tecnología sino más bien en las presiones del mercado que aún no conoce todas sus características y efectos secundarios.

Se ha observado que en algunos tipos de LEDs la distribución espectral de la energía no es la misma en cada dirección. Para caracterizar completamente tales LEDs, es necesario medir la energía espectral en diferentes ángulos. Una de las causas sería debido al recubrimiento en la capa externa del diodo, donde algunas veces no es cubierta uniformemente y esto produciría variaciones en la determinación o medición del índice de rendimiento del color (CRI).

Las variantes de distribución espectral podrían afectar la percepción visual de los objetos exhibidos, es por ello necesario profundizar los trabajos de investigación que respondan estos interrogantes.

El objetivo de este trabajo es caracterizar y evaluar luminarias con tecnología LED para su uso en ámbitos donde las tareas visuales requieran de la apreciación detallada de objetos y su preservación sea una prioridad.

Abstract: The implementation of artificial illumination in carrying out different tasks such as fabric selecting, pigment discrimination, visual assessment of objects and spaces, etc.; in each one of these visual functions LEDs have won a space not always based on the values of technology but in the market pressures which do not yet know all its characteristics and side effects.

In certain types of LEDs, it has been noted that the spectral power distribution is not the same in

every direction. To fully characterize such LEDs, it is necessary to measure the spectral power from different angles, one of the causes would be owing to the coating in the outer layer of the diode, where sometimes is not uniformly covered and this would produce variations in the determination and measurement of the colour rendering index (CRI).

The variants of spectral distribution could affect the visual perception of displayed objects; it is therefore necessary to deepen the research corresponding to these questions.

The objective of this work is to characterize and evaluate luminaires with LED technology for its use in areas where visual tasks require a detailed appreciation of objects and its preservation is a priority.

Palabras claves: Índice de respuesta al color (IRC), temperatura de color correlacionada (Tcc), LED.

I. INTRODUCCION

La iluminación artificial es importante para la realización de diferentes tareas, como la selección de textiles, discriminación de pigmentos, apreciación visual de objetos y espacios, etc. En cada una de estas funciones visuales las luminarias LED vienen ganando un campo significativo no siempre fundado en las virtudes de la tecnología sino más bien en las presiones del mercado que aún no conoce todas sus características y efectos secundarios.

Las luminarias usadas comúnmente son del tipo incandescente halógenas y lámparas de descargas. En los últimos años, los enormes progresos en la tecnología de iluminación de estado sólido, especialmente en términos de eficiencia energética, ha incrementado el interés por las luminarias LED como una alternativa a las fuentes convencionales en aplicaciones de

iluminación en general, pero uno de los retos de estas nuevas tecnologías es la calidad del color.

Los parámetros que se emplean para caracterizar el color son el índice de respuesta al color (IRC) y la temperatura de color correlacionada (Tcc), pero la utilización de estos parámetros para la medición de lámparas con tecnología LED, se encuentra en plena discusión.

Este tema se enmarca dentro del trabajo de investigación PID1704 y en este se hace una descripción de los parámetros que se consideraran para realizar las posteriores mediciones.

II. HIPOTESIS

La caracterización del comportamiento cromático del Led es uno de los aspectos más complejos a determinar, debido a la falta de estandarización de las fuentes de estado sólido. Actualmente para el cálculo del color del LED se utiliza el diagrama de cromaticidad CIE 1931 desarrollado por Comisión Internacional de Iluminación. Sin embargo, durante las últimas décadas se ha hecho evidente que el índice de respuesta al color no se correlaciona bien con la interpretación del color visual de fuentes de bandas estrechas como es el LED.

Los valores obtenidos para el cálculo del índice de respuesta al color del LED no dan cuenta de las valoraciones subjetivas hechas por observadores, que en muchos casos son mejores que lo que indica el valor del IRC, por lo anterior se plantea que cuando el IRC de la luminaria LED es mayor al 70 por ciento, éstas tendrían mejores propiedades de reproducción cromática que las fuentes tradicionales.

III. OBJETIVO

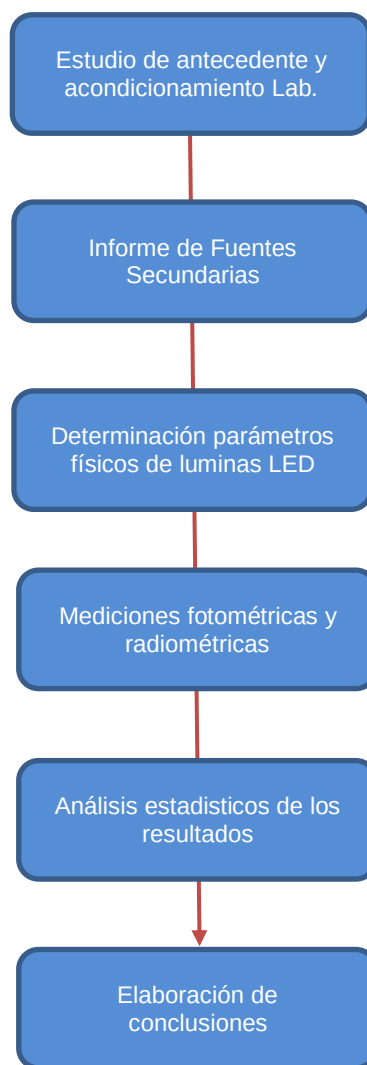
El presente trabajo busca caracterizar y evaluar luminarias con tecnología LED para su uso en ámbitos donde las tareas visuales requieran de la apreciación detallada de objetos y su preservación sea una prioridad, mediante el análisis de las características fotométricas y radiométricas de las fuentes LED y evaluando comparativamente las fuentes tradicionales y las fuentes LED en tareas visuales que requieran de la apreciación detallada de objetos y donde su preservación sea una prioridad.

IV. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizará en el desarrollo de la investigación, es de tipo experimental, cuyo objeto de estudio está centrado en la incidencia del uso de Luminarias LED para la apreciación detallada y preservación de objetos. Con las mediciones se espera obtener resultados que confirmen que las variaciones angulares de la

emisión del haz de luz de las luminarias LED influyen en la determinación del IRC para la apreciación detallada de objetos. Por otra parte, con el desarrollo de diferentes mediciones se espera determinar que las luminarias LED con un IRC superior al 70 por ciento poseen mejores propiedades de reproducción cromática que las fuentes tradicionales.

La figura 1, muestra la metodología experimental



a desarrollar.

Fig 1: Metodología Experimental

V. MEDICIÓN COLORIMÉTRICAS

A. Identificación de las muestras (lámparas LED)

Para la medición colorimétrica, se utilizaron los siguientes equipos:

- Espectroradiómetro – Ocean Optics – JAZ A2616.
- Power Driver Tester - Lisun Electronics.

- Fuente programable de voltaje alterno – ITECH.

Las mediciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Luminotecnia, perteneciente al Departamento de Electrotecnia e Informática (ELINF) de la UTFSM, sede Viña del Mar.

Se analizaron 4 muestras, las que se detallan a continuación:

Tabla I: Especificaciones técnicas de lámparas LED a medir

Muestra	Potencia Nominal (W)	Tcc (K)	IRC
1	15.0	3000	> 80
2	14.0	3000	> 70
3	7.0	4000	Sin Información
4	6.0	4000	Sin Información

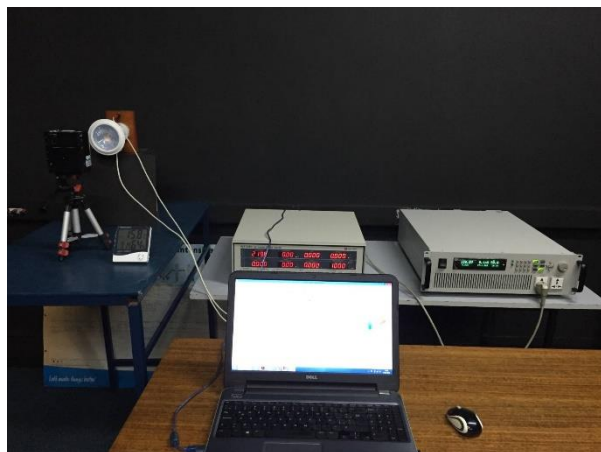


Fig 2: Circuito de medición de lámpara LED

B. Resultados

Las mediciones fueron realizadas en los ángulos de 0°, 5° y 10° para poder determinar la influencia de la variación angular de la emisión de las fuentes LED en la determinación del IRC.

Muestra N° 1:



Fig 3: Muestra N°1

Tabla II: Mediciones colorimétricas a muestra N°1

Muestra	Ángulo de medición	IRC	Tcc (K)	Potencia medida (W)
1	0°	85	2941	14.19

	5°	86	3197	
	10°	86	3152	

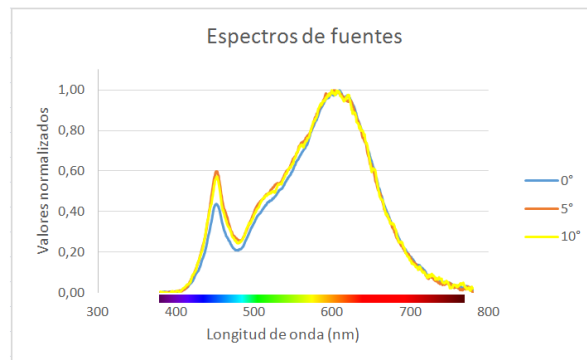


Fig 4: Espectro muestra N° 1

Muestra N° 2:



Fig 5: Muestra N°2

Tabla III: Mediciones colorimétricas a muestra N°2

Muestra	Ángulo de medición	IRC	Tcc (K)	Potencia medida (W)
2	0°	76	2946	14.38
	5°	77	2995	
	10°	76	3065	

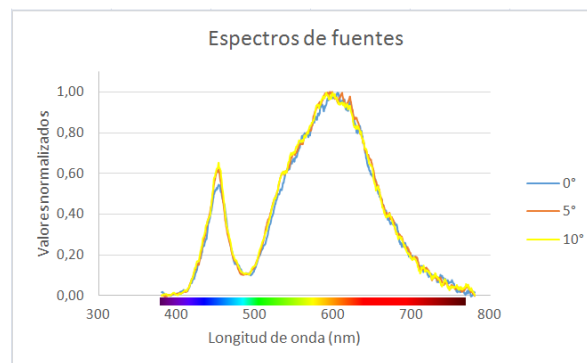


Fig 6: Espectro muestra N° 2

Muestra N° 3:



Fig 7: Muestra N°3

Tabla IV: Mediciones colorimétricas a muestra N°3

Muestra	Ángulo de medición	IRC	Tcc (K)	Potencia medida (W)
3	0°	88	4277	6.099
	5°	88	4318	
	10°	89	4324	

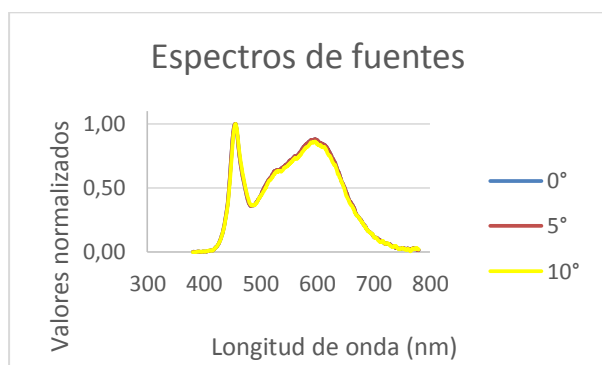


Fig 8: Espectro muestra N° 3

Muestra N° 4:



Fig 9: Muestra N°4

Tabla V: Mediciones colorimétricas a muestra N°4

Muestra	Ángulo de medición	IRC	Tcc (K)	Potencia medida (W)
4	0°	87	4121	5.65
	5°	87	4156	
	10°	89	4182	



Fig 10: Espectro muestra N° 4

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede inferir que, la distribución espectral de la energía de las lámparas LED no sería la misma en cada dirección, lo que podría explicarse, en parte, por la influencia del difusor. La distribución angular de intensidad de las lámparas LED presenta una variación espectral con la temperatura e índice de respuesta al color.

La variación en el índice de rendimiento del color, como en su temperatura de color correlacionada (Tcc), se podría deber a la circulación de corriente, la temperatura de funcionamiento, número de horas de funcionamiento y el recubrimiento en la capa externa del Chip LED.

Las mediciones que se presentan en este trabajo forman parte de una investigación que se encuentra en desarrollo. Por lo que los resultados no son concluyentes.

VII. REFERENCIAS

- [1] CIE Technical Report 127, "Measurements of LEDs", 2nd Edition, International Commission on Illumination, Vienna (2007).
- [2] A. Villamarín, A. Ferrero, A. Pons, J. Campos, A. Rabal, M. L. Hernanz, J. L. Velázquez, A. Corróns, Distribución angular de la intensidad radiante espectral de LEDs blancos de alta luminosidad, Instituto de Óptica Daza de Valdés. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Serrano 144, 28006 Madrid, Spain..
- [3] IES LM-79-08 Electrical and Photometric Measurements of Solid -State Lighting Products, Illuminating Engineering Society, December 31, 2007.
- [4] CIE N° 63-1984, "The Spectroradiometric Measurement of Light Sources", International Commission on Illumination.
- [5] Yoshi Ohno, Spectral Design Considerations for White LED Color Rendering, National Institute of Standards and Technology, 100 Bureau Drive, Gaithersburg, MD, 20899 USA.

VIII. BIOGRAFIAS



Denis E. Riquelme Sandoval.
Docente de Electricidad en la UTFSM, Ing. Civil Eléctrico, Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente

(MAVILE), UNT, Argentina. Áreas de interés en investigación: Fotometría y Radiometría a fuentes luminosas. Instrumentos Fotométricos.



Franz Yurjevic Perin. Docente de Electricidad en la UTFSM, Ing. Civil Electricista, ETAP Certified Instructor. Áreas de interés en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Luminarias LED para iluminación vial, criterios de calidad y mantenimiento

Manzano Eduardo

Departamento de Luminotecnia Luz y Visión, Universidad Nacional de Tucumán - ILAV
CONICET. Av. Independencia 1800- 4000 Tucumán. Argentina. emanzano@herrera.unt.edu.ar

Resumen Los criterios de calidad en la selección de luminarias LED para iluminación vial afectan el mantenimiento y conservación de las condiciones de iluminación de las vías de tránsito. Factores tales como: la vida, la depreciación luminosa, la estabilidad del color, la eficiencia luminosa, la depreciación por suciedad y las operaciones de mantenimiento son abordados en el presente trabajo y comparados con la tecnología tradicional de luminarias que emplean lámparas de descarga.

Palabras claves: iluminación vial, luminarias LED, mantenimiento.

Abstract: The quality criteria in the selection of LED luminaires for road lighting can affect maintenance of the lighting parameters. Factors such as life, lumen depreciation, color stability, light efficiency, luminaire depreciation and maintenance operations are addressed in the present paper and compared with the maintenance policies for traditional technology of luminaires with discharge lamps installations.

Palabras claves: Road lighting, LED luminaire, maintenance

I. INTRODUCCION

Actualmente, las instalaciones de iluminación vial tradicionalmente equipadas con luminarias con lámparas de descarga están siendo reemplazadas por luminarias LED en muchas ciudades del mundo. En pocos años posiblemente el reemplazo sea masivo. Esto trae aparejado dos problemas, por una parte poca información del comportamiento del producto en uso y por otra parte el cambio tecnológico es tan vertiginoso que las luminarias de reemplazo de hace un par de años son distintas a las actuales tecnológicamente.

Con la tecnología tradicional de lámparas de descarga, dado que el componente más solicitado siempre fue la lámpara, sus averías debían ser atendidas en un breve lapso de tiempo (24 a

48hs). La depreciación de flujo luminoso por envejecimiento de la lámpara se compensaba con cambios masivos de lámparas (preventivos) cada 4 a 6 años y la depreciación por ensuciamiento de la luminaria se compensaba con limpiezas masivas. Generalmente se hacía coincidir un limpieza con un cambio masivo. La práctica de mantenimiento mas aplicada en países en vías de desarrollo fue, en el mejor de los casos, la de cambiar las lámparas una vez que se extinguían (mantenimiento correctivo). En países más desarrollados la práctica más indicada fue la de mantenimiento correctivo y preventivo simultáneamente [1] [2].

Una característica publicitada de la tecnología de luminarias LED es una reducida demanda de mantenimiento durante su vida útil, lo cual sería muy indicado para países en vías de desarrollo. Lo ideal sería disponer de luminarias con mantenimiento cero, es decir que una vez instalada no requiera prácticamente atención durante su vida útil, es decir que no falle, que no se deprecie por envejecimiento y que al final de su vida útil se cambie por una nueva sin impactar en el medio ambiente. La tecnología LED promete, con el tiempo, acercarse a esta concepción.

Algunos aspectos son de destacar de la tecnología LED en relación al mantenimiento los cuales se diferencian de la tecnología de lámparas de descarga, entre ellos: la vida y la depreciación luminosa, la eficiencia luminosa, la estabilidad del color de la luz, la disipación del calor, el factor de mantenimiento y las operaciones de mantenimiento. Estos aspectos son abordados y discutidos en el presente trabajo.

II. VIDA Y DEPRECIACIÓN LUMINOSA

En las lámparas incandescentes se definía la vida como vida media, tiempo de servicio hasta que el 50% de la muestra ensayada deja de funcionar o sobrevivían. En lámparas de descarga, dado que además de fallar se deprecian, se define la vida

útil, que combina la vida considerando los ciclos de encendido y la reducción de flujo luminoso con el uso. Con la tecnología LED las características de comportamiento son diferentes. Las fallas abruptas completas son muy escasas y la depreciación de flujo luminoso se espera sea reducida con una duración muy prolongada. (100.000h?). En consecuencia se emplean otros parámetros para definir su comportamiento.

Para caracterizar la depreciación luminosa que experimenta una luminaria LED se emplea como referencia la depreciación que experimenta la placa o módulo de LED. Si bien el módulo de LED compone la luminaria su comportamiento en un recinto cerrado y con un disipador de calor y bajo condiciones ambientales de temperatura y de corriente eléctrica distintas a las de laboratorio es muy factible que la respuesta no sea la misma. En LM80 [3] se indica un método para caracterizar la curva de reducción que flujo luminoso en función del tiempo de uso y un valor característico "LX", por ejemplo L70 = 67.000hs significa que redujo el flujo a un 70% del valor inicial al cabo de 67.000hs de uso (ver figura 1). Dado que no se pueden efectuar ensayos de envejecimiento acelerado, el método de ensayo, para estimar la depreciación de flujo mide el flujo luminoso cada 1.000hs durante 6.000hs para más de 20 muestras (indicado en IEC 62722-2-1 [4]) y luego para tiempos mayores se efectúa una extrapolación mediante un método de ajuste (definido en TM 21-11 [5]). Debemos confiar en que el fabricante de la luminaria hace que el LED trabaje a la temperatura de juntura y corriente de driver similar a la que informa según el ensayo LM80.

La curva de línea llena de figura 1 representa un comportamiento promedio pero existe una dispersión que se representa con el porcentaje BY de la muestra de LED que no alcanza el LX esperado (ver figura 2). Por ej. L70 B10= 40.000h indica que al cabo de 40.000h el 10% de las fuentes de LED de la muestra esta por debajo del 70% de reducción de flujo luminoso inicial.

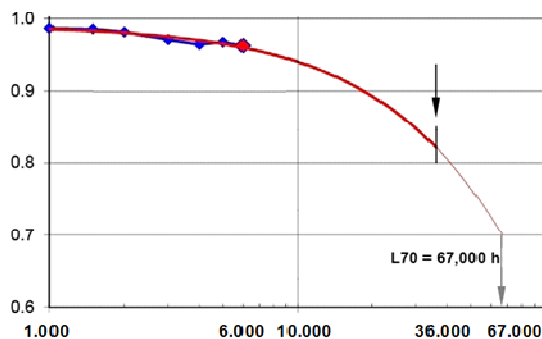


Fig. 1. L70 es el tiempo de uso hasta que el flujo luminoso alcanza el 70% del valor inicial [5].

Dado que estos parámetros dependen de la temperatura de funcionamiento, se indica como

referencia una temperatura ambiente de funcionamiento de 25°C.

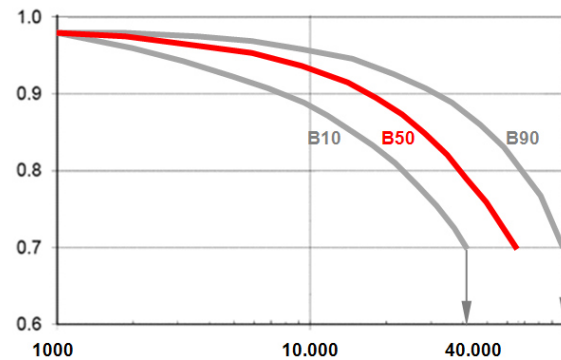


Fig. 2. Caracterización de la depreciación luminosa y el porcentaje de LED que alcanzan dicho valor [6].

Se incorporan también un indicador de falla abrupta, CZ: tiempo transcurrido hasta que ocurre Z% de falla abrupta de los componentes de la muestra. Por ej. C5 = 50.000hs indica que el 5% de las fuentes de la muestra ha tenido una falla abrupta al cabo de 50.000hs.

Como indicador de la vida de una luminaria LED para planificación del mantenimiento, se recomiendan dos criterios de conjuntos de parámetros (ver figura 3):

- el tiempo de uso para L80 B50 e independientemente el tiempo de uso para alcanzar CZ o
- un único valor del tiempo de uso para alcanzar LX BY CZ

Datos sobre vida de módulos de luminarias LED y drivers, de existir, deben indicarse separadamente. Estos datos son todavía escasos por el reducido tiempo de uso transcurrido.

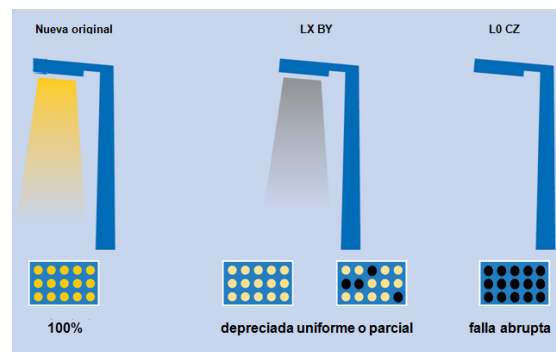


Fig. 3: representación esquemática del estado de falla de una luminaria LED [7]

La información general de luminarias suele indicar un valor muy bajo o inexistente de fallas abruptas. Si así fuera, la detección tradicional de luminarias fuera de servicio mediante rondas de inspecciones nocturnas podría ser reemplazada por otro tipo de detección tal vez más eficiente y económica (telegestión) o simplemente denuncias de vecinos. Así mismo, las operaciones de

reparación in situ de averías de luminarias serían sustituidas por el reemplazo completo y posterior reparación en el taller. El reemplazo masivo, si la vida fuera muy prolongada con depreciación muy baja, tampoco se haría con operaciones de cambio insitu. En estos casos, ya no se requerirían sistemas especiales de apertura manual por parte del operario ubicado en una cesta en altura.

Cabe destacar también que dada la velocidad del cambio tecnológico la reposición de componentes se complica o es posible que no sea factible por obsolescencia o falta de existencia.

III. EFICIENCIA LUMINOSA

Unos de los parámetros de calidad actualmente utilizados en luminarias con tecnología LED es la eficiencia luminosa, calculada como:

Eficiencia= flujo luminoso total emitido por la luminaria / potencia total consumida (lm/W)

Este parámetro difiere de la eficacia luminosa del LED y del rendimiento luminoso (parámetro empleado con luminarias de lámpara de descarga). El rendimiento luminoso no es posible aplicarlo para luminarias LED dado que la emisión de flujo de los módulos LED depende de la disipación de calor y no pueden ser separados de la luminaria.

Como bien es conocido la eficiencia de la Luminaria LED es un parámetro global, no indica cuanto efectivamente de dicho flujo es emitido hacia la calzada y cuanto hacia la vereda ni el resultado final si cumple con los requerimientos de normas. A medida que evoluciona la tecnología de LED el valor va incrementándose. Actualmente alcanza los 100 a 120 lm/W en luminarias de alumbrado público de muy buena calidad. Dicho valor es inferior al de la eficacia luminosa de los LED individuales o de la placa de LED (120 a 160 lm/W) dado que existen pérdidas en la óptica del módulo (5 al 10%), en la disipación de calor (5 a 10%) y en el driver (10%). Cabe destacar que estos son valores iniciales de eficiencia pero que dependiendo de la depreciación podría alcanzar valores en promedio un 15% inferiores a lo largo de la vida útil (hasta que $MF < 0,8$).

La eficiencia luminosa depende de la corriente de alimentación y de la disipación del calor. El valor actual óptimo de corriente aparente ser de 700mA indicado por fabricantes de luminarias (ver figura 4) [8].

IV. CONSUMO ENERGETICO EFICIENTE

El sistema de iluminación puede ser muy eficiente en términos de lm/W, tener un óptimo

aprovechamiento en términos de $W/lx/m^2$ o $W/(cd/m^2)/m^2$, pero además puede tener una gestión eficiente de la energía que consume.

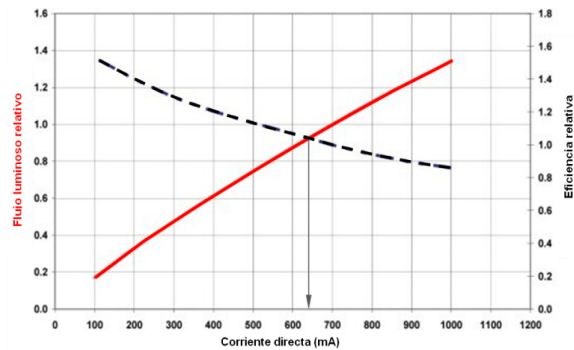


Fig. 4: Flujo luminoso y eficiencia relativa de LED en función de la corriente [8].

Dado que la inversión en tecnología LED implica un gasto muy importante [9] es más conveniente un cambio total, es decir incluir en el driver, además del estabilizador de voltaje y la protección para descargas atmosféricas, incluir un regulador de flujo luminoso y un sistema de control y gestión de la información del estado de funcionamiento. Gestionar a distancia o programar el funcionamiento es el concepto de telegestión en ciudades inteligentes. Un ahorro de energía importante puede producirse si en lugar de proveer inicialmente el 125% del nivel mínimo mantenido (factor de mantenimiento igual a 0,8), la iluminancia o luminancia se fuera incrementando gradualmente regulando el flujo luminoso de las luminarias para compensar la depreciación. Se podría de este modo reducir en teoría un 12,5% el consumo. Otra forma de reducir el consumo es regulando el flujo luminoso cuando se reduce el tráfico a partir de cierta hora de la noche [10] o mediante sensores de tráfico adaptativos en cada luminaria o por grupo de luminarias.

V. ESTABILIDAD DEL COLOR

La estabilidad del color de las luminarias LED [11] puede ser tan importante como su depreciación a lo largo de su vida. El grado de importancia depende de su aplicación. Donde se requiera discriminación del color caso de iluminación de obras de arte en museos, examinación clínica o comparación de colores en pinturas etc. También puede ser el caso cuando se baña con luz monocromática grandes superficies con múltiples luminarias (ver figura 5), donde la igualdad y estabilidad cobra importancia. Sin embargo no es el caso del alumbrado vial donde la importancia es menor.

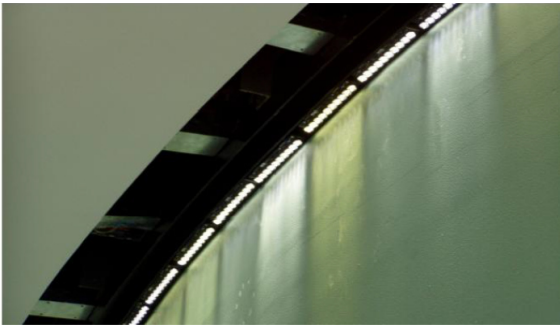


Fig. 5: Diferencias de color percibido en luminarias LED [6].

Es posible que algún cambio de color comience a ser perceptible a partir de las 25.000h. de uso de las luminarias LED. El cambio sería más perceptible cuando por proximidad se compare una luminaria nueva (reemplazada por falla) con las restantes envejecidas. Aún en dicho caso no será relevante siempre y cuando la Tcc no se aparte en más de 100K. Causas del cambio de color en LED [12] pueden deberse a cambios físicos en la capa de fósforo que filtra la luz azul por procesos de fabricación. Desprendimientos o deslaminado (ver figura 6) son algunas causas potenciales.

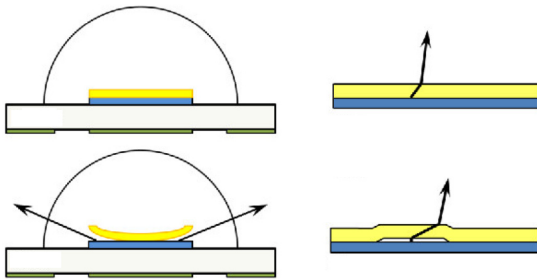


Fig. 6: Posibles causas del cambio de color en LED por desprendimiento o deslaminado de la capa de fósforo [12].

En caso que sea necesario garantizar la estabilidad del color, dos son las métricas que se recomiendan como indicadores de la magnitud del cambio de color: la desviación $\Delta u'v'$ y los pasos de las elipses de MacAdam:

El color de un LED [11] se describe en el diagrama de cromaticidad CIE 1976 por sus coordenadas (u',v') , ver figura 7. Para mantener la apariencia un apartamiento máximo recomendado de $\Delta u'v'$ medida en 9 de cada 10 muestras de una fuente luminosa debe ser inferior a 0.007 durante los primeros 6.000 horas de funcionamiento. $\Delta u'v'$ no indica la dirección del cambio, sólo la magnitud del mismo (ver figura 7).

El color de un LED también puede ser caracterizado por un punto (x,y) en el diagrama de cromaticidad CIE 1931 (ver figura 8). Si alrededor de dicho punto se traza la elipse de MacAdam correspondiente, cuanto más cerca se encuentre otro LED, menos desviación de color

se notara cuando dichos LED se coloquen unos al lado de los otros en una instalación de iluminación.

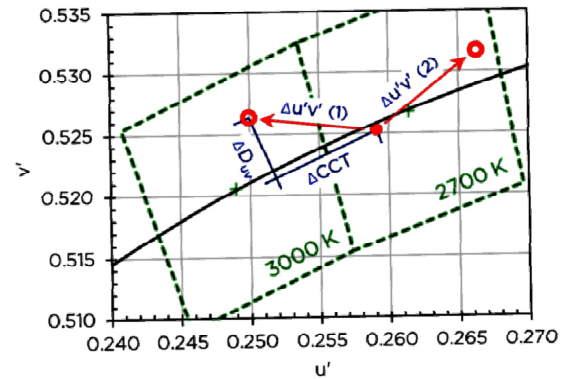


Fig. 7: $\Delta u'v'$ como indicador del cambio de color en luminarias LED [11].

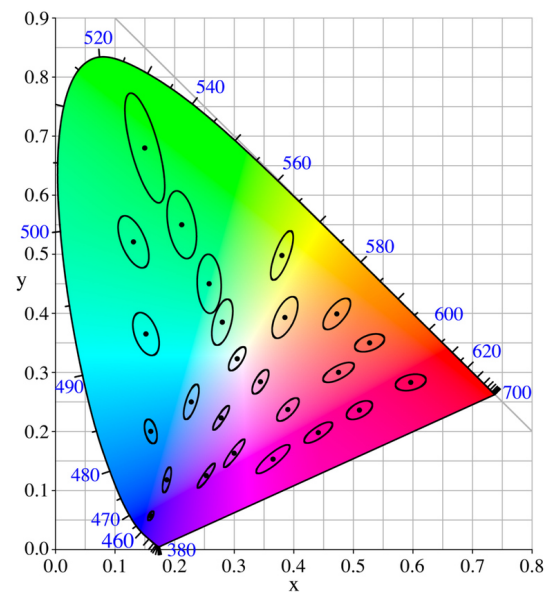


Figura 8: Elipses de MacAdam como indicador del cambio de color en luminarias LED [9]

La distancia desde el punto deseado en cada elipse se mide en SDCM (Standard Deviation of Colour Matching) de manera, por ejemplo, que una SDCM de 1 paso significa que no existen diferencias de color entre LED, mientras que 2 ó 3 pasos implican que apenas existe alguna diferencia visible de color (figura 9). Aun cuando en el mercado se acepta hasta una uniformidad de color de 7 SDCM, se recomienda que el número de pasos de SDCM sea como máximo 5, como limite deseable de uniformidad de color [6].

Cabe destacar que $\Delta u'v'$ engloba también cambios en la temperatura de color correlacionada (desplazamiento sobre la curva Tcc) y Duv, sin embargo con cualquiera de estas dos últimas métricas se tendría una caracterización insuficiente de la diferencia de color.

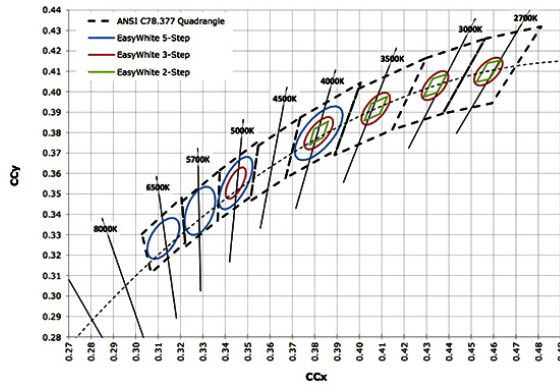


Fig. 9: Elipses de MacAdam con distintos pasos como indicador del cambio de color en luminarias LED [14].

El índice de respuesta al color (IRC) y la temperatura de color correlacionado (Tcc) son parámetros que se emplean para caracterizar las propiedades de color de fuentes luminosas. Hasta ahora se emplearon con lámparas de incandescencia, fluorescencia y descarga siendo discutida su aplicación para la tecnología LED. Su uso todavía se mantiene hasta tanto surjan nuevas normativas.

VI. DISIPACIÓN DEL CALOR

Tanto la emisión de flujo como la vida depende fuertemente de la disipación de calor generado por los LED. En la figura 10 se puede observar la dependencia del flujo emitido con la temperatura de juntura (Tj) de los LED o módulos de LED [15]. Si bien es importante trabajar con datos de vida y depreciación para la Tj real cuando los LED operan dentro de la luminaria, dicho dato también es complicado de obtener sin abrir la luminaria y afectar su comportamiento. La información fotométrica y de vida de la luminaria a una temperatura ambiente de 25°C sigue siendo el requerimiento de ensayo.

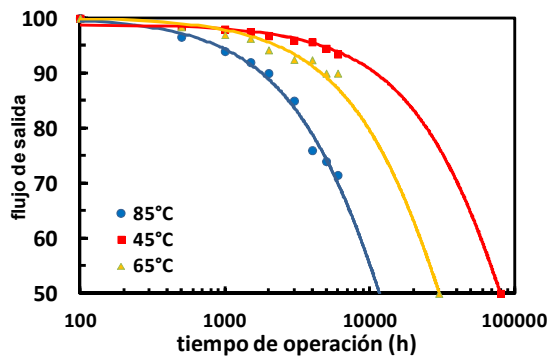


Fig. 10: Vida y flujo luminoso en función de la Tj de LED [15].

Dado que la disipación del calor es crítica para garantizar la calidad de la luminaria, es conveniente asegurar el buen diseño del disipador, y su mantenimiento auto limpiante libre de acumulación de hojas o cualquier elemento que reduzca la evacuación del calor (ver figura 11).



Fig.11: Ejemplos de distintos diseños de disipadores en luminarias LED

VII. FACTOR DE MANTENIMIENTO

Con la tecnología tradicional de lámparas de las descarga para mantener las instalaciones por arriba de las condiciones mínimas de iluminación requeridas según normas había que compensar la depreciación con un factor de mantenimiento (MF: maintenance factor), indicado en la expresión (1), que englobaba: a) las fallas aleatorias debidas en su gran mayoría a las lámparas (LSF: lamp survival factor), b) la reducción de flujo de las lámparas (LLMF: Lamp lumen maintenance factor) y c) la depreciación por ensuciamiento de las luminarias (LMF: Luminaire maintenance factor) [16].

$$MF = LSF \cdot LLMF \cdot LMF \quad (1)$$

La iluminancia (E_m) o luminancia (L_m) en servicio sobre la calzada nunca debía caer por debajo de la mínima mantenida indicada en normas [17] [18] para lo cual la iluminancia (E_i) o luminancia inicial (L_i) de la instalación de iluminación se sobredimensionaba de acuerdo a la expresión (2).

$$E_i = E_m / MF \quad (2)$$

Además ya en algunos países con normas sobre eficiencia energética, $E_i \leq 1,2 E_m$ limitando así $MF \leq 1/1,2$ (0,83). La norma Argentina [19] establece valores de E_i e indica un FM=0,75 sin límite superior de E_i . Como ventaja, establecer valores iniciales facilita el control de una obra nueva.

Las informaciones de LSF y de LLMF, obtenidas bajo condiciones de laboratorio, fueron siempre responsabilidad de los fabricantes de lámparas. Las condiciones reales de funcionamiento en la calle generalmente diferían de las de ensayo. En figura 12, por ej., se observan datos de LSF de lámparas de sodio de alta presión de un fabricante y datos obtenidos de registros históricos de fallas [1] donde se pueden observar diferencias importantes.

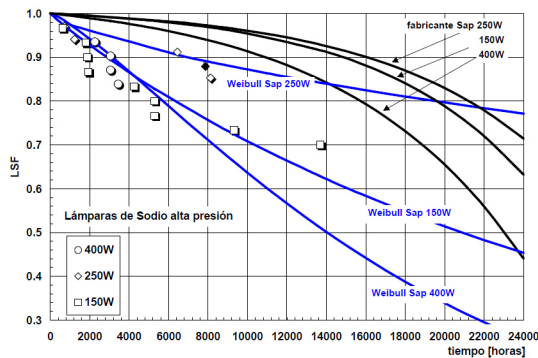


Fig. 12: Datos de LSF de fabricantes y de registros sobre fallas de lámparas HPS [1].

La depreciación por ensuciamiento de la luminaria (LMF) la calculaba quien efectuaba el proyecto a partir de datos de la CIE 154 [16]. En figura 13, se observan las curvas de depreciación de luminarias con cerramiento contra el ingreso de agua grado IP6X en ambientes limpio (rural) medio (suburbano) y sucio (urbano - industrial). Se indican también estudios más recientes [20] con luminarias IP65 en ambientes rurales E1/E2 y urbanos E3/E4 [21] para dos alturas de montaje, donde dada la mejora en la calidad de los cerramientos actuales y en particular la reducción de la contaminación ambiental en Inglaterra (donde se efectuaron estos estudios), la depreciación podría resultar ser un 50% menor y por lo tanto el MF mayor que el resultante de CIE 154.

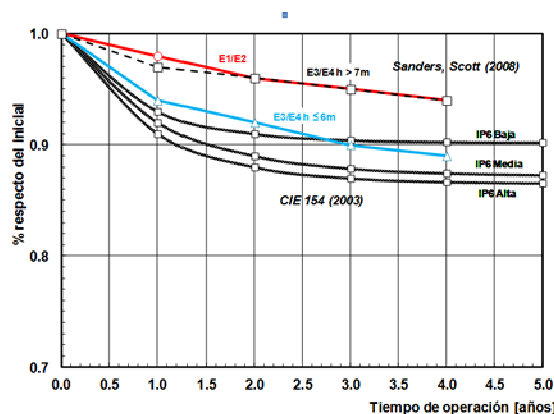


Fig. 13: Depreciación de luminarias en función de la contaminación ambiental, Manzano (2016) [23].

Con la tecnología LED la supervivencia de la Luminaria (LSF) podrá ser estimado en base a la información de falla abrupta CZ de LED o módulos LED y cuando se dispongan de datos sobre luminarias estos podrán reemplazarlos. Por otra parte, la depreciación de flujo luminoso, se podría estimar también en base a LX BY, además de utilizar L80 B50 como criterio de calidad para especificar luminarias.

En cuanto a LMF, la depreciación de la luminaria, podría esperarse que tuviera una respuesta similar a las luminarias convencionales [22]. Las

formas exteriores podrían producir alguna discrepancia dado que existen luminarias con cierre plano y las hay con lentes expuestas con curvatura (ver figura 11).

VIII. POLÍTICAS Y OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

Con la tecnología tradicional de lámparas de las descarga de lámparas de sodio de alta presión (HPS) ocurrían fallas aleatorias, en su gran mayoría debido a la lámpara que se atendían con mantenimiento correctivo. Se detectaban por inspecciones regulares y/o denuncia de vecinos y se reparaban in situ durante la noche en plazos de 24 a 48h por lo que no afectaban al MF. Salvo casos complicados la luminaria no se retiraba del punto de luz. Como indicador de calidad, la tasa de fallas no debía superar el 1 al 3% dependiendo del estado de las instalaciones, grado de complejidad de zona y exigencia del municipio [2].

La depreciación por ensuciamiento de luminarias se compensaba con limpiezas programadas masivas cada 2 años generalmente. La depreciación de flujo luminoso se compensaba mediante remplazos masivos programados de lámparas cada 4 o 6 años haciendo coincidir la operación con una limpieza. Estas operaciones de mantenimiento hacían que las luminarias vuelvan a comportarse como cuando eran nuevas salvo por una pequeña depreciación permanente (3% con IP 65). En figura 14 se indica un ej. de operaciones de mantenimiento para $MF > 0,8$.

Con tecnología LED el mantenimiento cambiaría. Las predicciones hasta ahora indicarían que el valor de Z% sería muy bajo para ser considerado con lo cual se propone para el diseño $LSF=1$. Si así fuera el caso, el mantenimiento correctivo podría depender de la fiabilidad del driver y de otros componentes eléctricos. Las inspecciones nocturnas no serían necesarias e inclusive hasta la telegestión para detectar fallas y reducir tiempos de mantenimiento sería cuestionable. La detección de averías tan ocasionales podría depender de un método más simple y económico (denuncias de vecinos) y la reparación in situ ser reemplazada por el reemplazo completo y reparación posterior en taller (si la tecnología todavía existiese). En este último caso, el cierre que garantizara una buena hermeticidad no requeriría de sistema de aperturas y cierres especiales como para que un operario lo pudiera efectuar ubicado en una cesta en altura.

La información de depreciación por reducción de flujo luminoso y por envejecimiento permanente estaría en LX BY lo que combinado con la depreciación por ensuciamiento permitiría establecer los períodos de mantenimiento. Como ejemplo, para Luminarias LED IP65 en ambiente urbano, con L70 B50= 80.000h, 4.000h/año de servicio, para mantener un $MF > 0,8$ de diseño, la primera limpieza debería ser efectuada a los 5

años, luego a 1,5 años y posteriormente aproximadamente anual hasta los 10 años a partir de donde no se puede compensar con limpiezas. Más aún limpiezas anuales hacen muy

costoso el mantenimiento. Como ventaja, al tener un muy buen cierre $IP \geq 65$ la parte óptica, no sería necesario abrir la luminaria para limpieza (ni para cambio de Módulos al tener un Z% muy bajo -

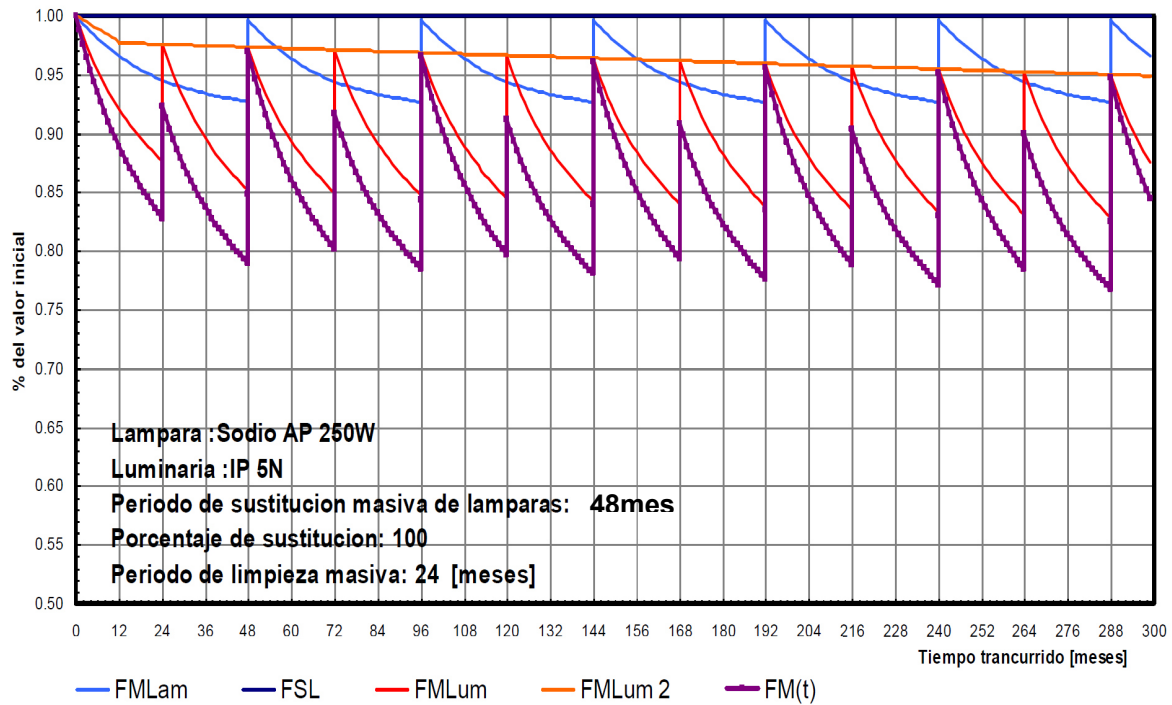


Fig. 14: Depreciación en el tiempo con cambios masivos de lámpara cada 48m y limpiezas masivas cada 24m para luminarias IP5 ambiente normal con HPS 250W

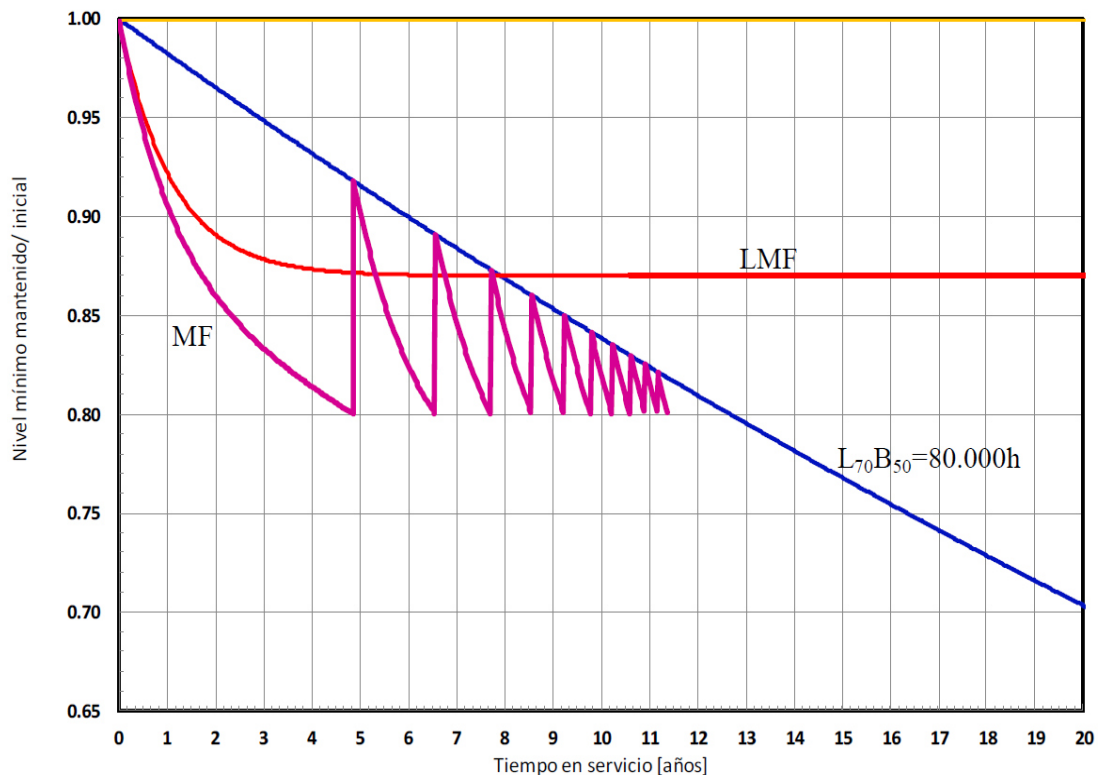


Fig. 15: Estimación de operaciones de limpieza para $MF \geq 0,8$ de luminaria LED IP 65 en ambiente urbano con $L_{70} B_{50} = 80.000h$ y 4000h/año de servicio Manzano(2016)[23].

LSF muy alto) con lo cual el mantenimiento se facilita y los costos se reducen.

IX. CONCLUSIONES

Las luminarias a LED debido a sus características intrínsecas son diferentes de las luminarias con tecnología convencional de lámparas de descarga lo que modifica el mantenimiento. Indicadores relacionados a la vida y la depreciación luminosa, la eficiencia luminosa, la estabilidad del color de la luz, la disipación del calor, el factor de mantenimiento y las operaciones de mantenimiento son discutidos. Dada la reducida antigüedad de las instalaciones no es posible disponer de datos suficientes para caracterizar estos parámetros, sólo es posible estimar posibles resultados.

X. AGRADECIMIENTOS

Agradezco por el apoyo financiero para la realización de este trabajo a la Universidad Nacional de Tucumán, proyecto PIUNT E523 y al CONICET.

XI. REFERENCIAS

- [1] Manzano E. (2001). Estudio de una metodología para la evaluación del alumbrado urbano. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. 143 pag. ISBN B.29945-2001 / 84-669-4966-7. <http://www.tdcat.cesca.es/TDCat-0402101-074606/> Barcelona, España, Abril 2001.
- [2] Manzano E., Deco F., Gagliardi I. (2007). Considerations about quality management for urban lighting. Actas del 26th Session of the CIE, Commission Internationale de L'Eclairage, Beijing, China, Julio 2007. ISBN 978 3901 906 596.
- [3] IES LM-80-08 (2008). Measuring lumen maintenance of LED light source. Illuminating Engineering Society.
- [4] IEC 62722-2-1 (2014). Luminaire performance - Part 2-1: Particular requirements for LED luminaires.
- [5] TM-21-11 (2011). Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources. IES, Illuminating Engineering Society.
- [6] Guía sobre tecnología LED en el alumbrado. (2015). <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-LED-en-el-alumbrado-fenercom-2015.pdf>
- [7] Zentralverband Electrotechnik und Elektronikindustrie e.V. Lighting Division. (2013) Guide to reliable planning with LED lighting.
- [8] Cooper J. (2007) Driving LED lamps – some simple design guidelines. <http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-4/issue-8/features/driving-led-lamps-some-simple-design-guidelines.html>.
- [9] 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

- [10] Tapia Garzón J., Manzano E., Gao S., Rojas M., De Nobrega M. (2009) Eficiencia energética en el alumbrado público. Revista: Energías Renovables y Medio Ambiente, Impreso en la Argentina. ISSN 0328-932X Vol. 23, pp. 35 - 39, 2009
- [11] U.S. Department of Energy (2014). Solid-State Lighting Technology Fact Sheet. LED Color Stability. 3/2014. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/color-shift_fact-sheet.pdf.
- [12] IES (2014). LED Color Stability Is Still a Question. <http://www.ies.org/Ida/HotTopics/LED/20.cfm>
- [13] MacAdam Elipses (2016). https://en.wikipedia.org/wiki/MacAdam_ellipse.
- [14] Keeping S. (2015). Hot Binning Improves LED Consistency at Higher Operating Temperatures. <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2015/may/hot-binning-improves-led-consistency-at-higher-operating-temperatures>. 5-5-2015.
- [15] Lee P. (2015). Advancements in UV LED curing technology and solutions for print. http://www.excelitas.com/Downloads/UV_EB_Tech_nology_Article.pdf. visitado 20-09-2016.
- [16] CIE 154 (2003). The maintenance of outdoor lighting systems. Commission Internationale de L'Eclairage.
- [17] CEN EN 13201-2 (2003). European Standard. Road lighting - Part 2: Performance requirements.
- [18] IESNA, (2005). ANSI/IESNA RP-8-00 American National Standard Practice for Roadway Lighting.
- [19] IRAM (2009). IRAM AADL J2022-2. Alumbrado público. Vías de tránsito. Clasificación y niveles de iluminación, Argentina.
- [20] Sanders A., Scott A. (2008). Review of luminaire maintenance factors. CCS Street lighting project SL3 2007.
- [21] CIE 126 (1997). Guidelines for minimizing sky glow. Commission Internationale de L'Eclairage.
- [22] Mockey Coureaux I.O., Manzano E. (2013). The energy impact of luminaire depreciation on urban lighting. ELSEVIER. Energy for Sustainable Development, Volume 17, Issue 4, August 2013, Pages 357–362. ISBN 0973-0826.
- [23] Manzano E. (2016). El mantenimiento y las luminarias LED en iluminación urbana. Pag. 276-283, Memorias del XIII Congreso Panamericano de Iluminación, La Serena, Chile, 23-25 Noviembre 2016. ISBN 978-956-368-059-1.

XII. BIOGRAFIAS

El autor realizó sus estudios de Ingeniería y Maestría en la Universidad Nacional de Tucumán y de doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña. Es actualmente docente del Dep. Luminotecnia Luz y Visión en la carrera de grado Diseñador de Iluminación, Especialización MAVILE, Maestría en Luminotecnia y Doctorado. Dirige proyectos de Eficiencia Energetica con subsidios del PIUNT y CONICET.

Polución lumínica. Luminarias no contaminantes para el Norte de Chile

Pedro Sanhueza¹, Pablo Ixtaina²

¹Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile – OPCC

²Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – LAL CIC
psanhueza@opcc.cl

Resumen: El trabajo aborda el tema de la contaminación lumínica generada por el alumbrado público, su vínculo con el consumo energético y el ambiente, particularizando sobre la situación del Norte de Chile y la incidencia del alumbrado de rutas en el deterioro de la observación astronómica. Sobre este punto, se comentan las actividades que se están realizando a partir del convenio de cooperación entre el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia (LAL-CIC, Argentina) y el Observatorio de Las Campanas (La Serena, Chile), con la colaboración de la Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile –OPCC. Las mismas incluyen el estudio y selección de luminarias de "espectro acotado" (con requisitos de emisiones más estrictos que los señalados en el D.S. N°043/2012 MMA, Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica [1]), junto con la calificación de las vías según el Dto N°2-2015-ME (reglamento de alumbrado público chileno[2]) y tomando en cuenta las directrices del Ministerio de Obras Públicas: el llamado Manual de Carreteras de esta repartición pública.

Finalmente, se comentan las conclusiones alcanzadas en la serie de pruebas en laboratorio y terreno, con luminarias con diversos espectros acotados, llegando a una selección de opciones en las cuales se reduce o directamente se eliminan las emisiones espectrales cercanas al azul, dado su mayor impacto en el brillo del cielo nocturno, producto de la dispersión en la atmósfera.

Palabras claves: Contaminación lumínica, LED, astronomía, espectro electromagnético, PC ámbar, ámbar.

Abstract: The paper describes a common project between the Laboratorio de Acústica y Luminotecnia (LAL-CIC, Argentina) and Las Campanas astronomical observatory, with the cooperation of the Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile –OPCC. The study was called "low light pollution road lighting for Northern Chile Windows to the Universe, and its aim is the design and construction of a LED luminaire within low polluting emissions, and modern technological

standards. The luminaire emitting spectra would agree with efficient lighting criteria and limited to astronomical observation necessities.

Key words: Light pollution, LED, astronomy, electromagnetic spectrum, PC amber, amber led.

I. CONTEXTO

La Ruta del Algarrobo es una intervención sobre la Carretera Panamericana, en el tramo La Serena a Vallenar, Regiones de Coquimbo y Atacama, en el norte del país. En lo central, se le han agregado dos nuevas pistas, mejorado ciertos trazados y señalética, incorporado zonas de descanso y dos plazas de peaje; además de un parque de luminarias en todas las singularidades en las cuales, se ha asumido por parte del Ministerio de Obras Públicas, pudiese haber riesgos de accidentes o por necesidades operacionales: retornos, enlaces, pasos sobre y bajo nivel, además de los peajes y áreas de descanso antes nombrados. Esto ha implicado un cambio de escenario drástico en el paisaje nocturno.



Fig. 1. Foto gentileza Dr. Yuri Beletski, LCO

Antes de los inicios del año 2016, solo estaban iluminados los villorios cercanos, con luminarias SAP y niveles moderados de iluminación; la Carretera Panamericana no tenía nada de iluminación. Ahora, en cambio, se dispone de un total de 3.700 luminarias, todas con lámparas de sodio de alta presión –SAP- con luminarias de 70, 150 y 250 vatios; con cubiertas inferiores de tipo lenticular, además de proyectores de área de 400W instalados en las plazas de peaje y zonas de descanso, llamadas áreas de servicios generales.

Luminarias 250W	869
-----------------	-----

Luminarias 150W	382
Luminarias 70W	116
Proyectores 400W	128
Total	1.495

Tabla 1: Total luminarias y proyectores entre km 549,950 y 638,880. Todas en VSAP. Fuente: OPCC.



Foto 1: Imagen satelital de emisión de luz nocturna de la zona de La Serena hasta Vallenar, 2013. Fuente: www.lightpollutionmap.info¹

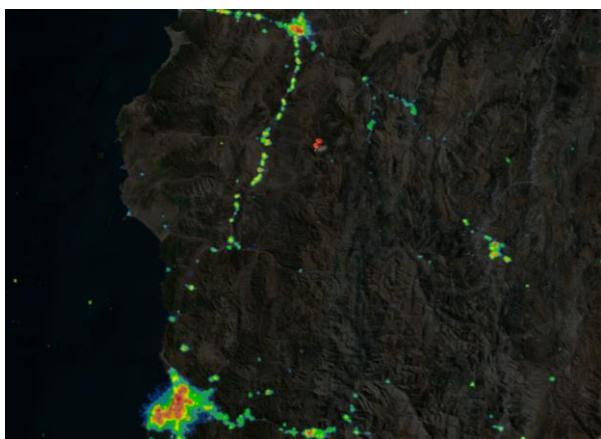


Foto 2: Imagen satelital de emisión de luz nocturna de la zona de La Serena hasta Vallenar, 2016. La franja iluminada corresponde a La Ruta del Algarrobo. Fuente: www.lightpollutionmap.info

Según los cálculos de terreno y revisión de las simulaciones realizadas en gabinete, se ha podido comprobar, que el proyecto implementado (el actual), conlleva una sobre iluminación respecto de los parámetros contenidos en el Manual de Carreteras del MOP, la normativa de alumbrado público, que

aplica a todo el país, y la llamada Norma Lumínica chilena.

Por otra parte, y aunque resulte paradójico, este conjunto de 3.700 luminarias recientemente instaladas deberá ser reemplazado para mediados del año 2019. En mayo de ese año se acaba el llamado periodo de gracia, que permite que las luminarias que cumplen el anterior decreto supremo sobre contaminación lumínica, el D.S.Nº 686/1998 MINECON (la anterior Norma Lumínica), puedan seguir siendo usadas en las regiones astronómicas, pese a no cumplir el actual D.S.Nº 043/2012 MMA. El caso es que esas luminarias no cumplen el vigente decreto, por lo que deberán ser retiradas y reemplazadas, ya que es difícil que los fabricantes acepten modificar las luminarias actuales y someterlas a una nueva certificación. Hasta donde ha podido ser verificado por la OPCC, a las grandes empresas, especialmente las que importan sus luminarias, les resulta muy engorroso e injustificado comercialmente, el modificar y luego certificar dicho equipamiento.

El requerimiento legal antes nombrado se vuelve más justificado dado que el observatorio de Las Campanas albergará el proyecto Gran Telescopio de Magallanes –GMT- el cual será por algunos años, el telescopio óptico más grande del mundo. Este proyecto consta de un total de 7 espejos de 8.4 metros de diámetro, siendo equivalente a un espejo de 24.5 metros de diámetro. Sus objetivos científicos son el estudio de la energía y la materia oscura, el origen de las estrellas, la evolución de las galaxias y los agujeros negros. Su construcción ya se inició y se espera su puesta en marcha a fines de esta década. Esto obligará a extremar las medidas de protección del cielo nocturno en su entorno, dada la mayor sensibilidad del equipamiento que se construye e idealmente, acercarse a los niveles de oscuridad previos a la puesta en operaciones de la iluminación de esta ruta.

II. ASPECTOS ESPECTRALES Y DE RENDIMIENTO

La instalación actual ha sido realizada en su totalidad con lámparas de vapor de sodio de alta presión –VSAP- tanto luminarias como proyectores de área. Sus valores bajos en azul le permiten cumplir los requisitos de ambas normas lumínicas. En ese aspecto, no habría, a priori, necesidad de cambiar esta tecnología. Sin embargo, la tendencia actual hacia la iluminación de estado sólido, hace difícil sostener esta opción. Aún más, es posible conseguir ahorros energéticos y diseñar proyectos con mejores resultados en cuanto a uniformidad. También es posible eliminar completamente las emisiones en azul, dado su mayor incidencia en la dispersión atmosférica, utilizando las fuentes del tipo ámbar.

¹VIIRS/DMSP/World Atlas of Light Pollution, 2015

Los LEDS ámbar emiten un espectro muy cercano al monocromático y con una eficiencia baja, si se los compara con los led blancos.

La figura 2, extraída de [1], muestra el espectro medido a una luminaria experimental ámbar, ensayada en el LAL.

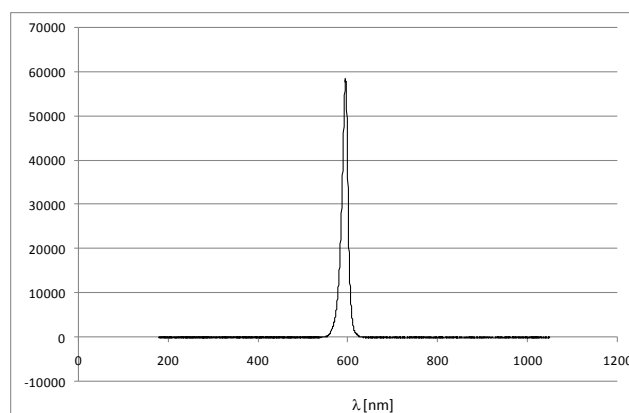


Fig. 2. Espectro de la luminaria PC ámbar monocromática estudiada en el LAL

La luminaria alcanzó una eficacia total de 48 lm/W, razonable para este tipo de LEDS. Sin embargo, las condiciones de diseño resultaron en una baja emisión, 2800 lm. A fin de “competir” con una luminaria tradicional VSAP de, por ej, 150 W, es esperable un flujo mayor, no menos de 10 - 12 klm, de otro modo, resulta antieconómico (por la cantidad de luminarias a emplear) diseñar una instalación con geometría típica urbana.

La opción de LED PC (con recubrimiento fosforado) permite mejorar la eficacia del dispositivo. Siempre con la idea de “acotar” el espectro limitando la emisión en azul, la prueba con PC-ámbar (juntura azul, recubrimiento emisor en amarillo), generó una alternativa un poco más eficiente [1].

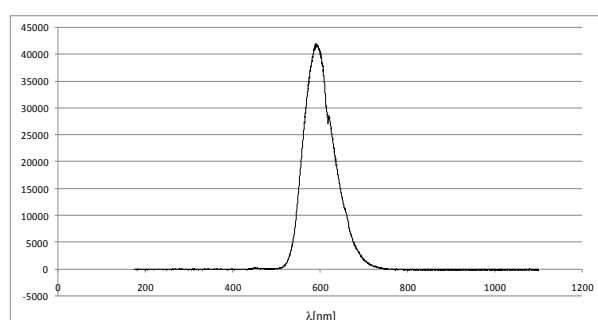


Fig. 3. Espectro de luminaria con LED PC-ámbar

La luminaria experimental PC ámbar probada en inmediaciones de La Serena (septiembre, 2016), con 150 W de potencia y 7000 lm, consiguió valores luminotécnicos acordes a lo esperado, lográndose una apreciación de la escena para la cual el cambio SAP por LED era apenas perceptible.

Sin embargo, las eficiencias globales se mantuvieron bajas. Las proyecciones para PC ámbar permiten prever eficacias de hasta 80 lm/w, pero con placas LED poco exigidas lo que conlleva a

mayor cantidad de LEDS por luminaria y mayor costo por dispositivo.

Otras opciones a explorar son LEDS PC blancos muy cálidos (2000K) (fig.4) o incluso la opción “verde” con la que se conseguirían, a costo razonable, eficiencias muy cercanas a los LEDS blancos “normales” para luminarias viales. Estas opciones se están evaluando actualmente.

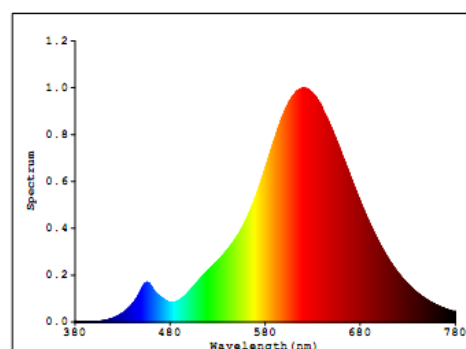


Fig 4. LED 2000 K (Nichia [2])

La anterior opción, al presentar un cierto contenido de azul, no la haría una opción razonable en la zona de influencia cercana a los observatorios de La Silla y Las Campanas. En zonas más alejadas, si podría ser una opción válida.

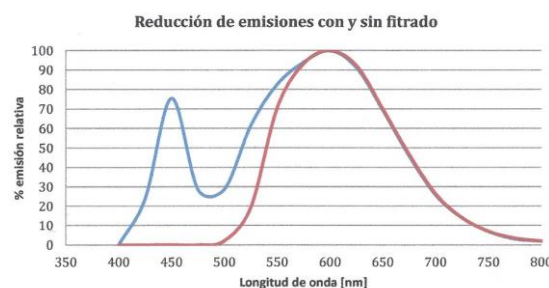


Fig 5. LED 4.000 K con filtro de azul del fabricante Salvi

Ahora bien, la opción de utilizar un LED frío (de unos 4.000k) con la adición de un filtro que “corte” todo el azul presenta ventajas que la hacen más factible que las opciones PC ámbar y PC ámbar monocromático, ya que presenta una mejor respuesta de reproducción cromática y mayor rendimiento. Implica, eso sí un espectro más amplio que las dos anteriores opciones. Sin embargo, al no contener azul, la hace una opción muy interesante de evaluar.

III. SITUACIÓN ACTUAL.

A partir de los anterior, se ha aplicado un criterio de zonificación, en donde se prioriza un tramo visible de las obras de la ruta desde los observatorios de Las Campanas y La Silla, junto con tramos cercanos que, si bien no tienen una visión

directa desde ambos observatorios, sus halos luminosos son notoriamente percibidos en ambos centros de investigación. Para esta zona de influencia directa, se había optado por proponer luminarias Idel tipo LED PC ámbar monocromático, con espectro bien restringido, que recuerdan de algún modo a las de sodio de baja presión. Sin embargo, los pobres resultados en términos de uniformidad, rendición de color y niveles de iluminación en general, han obligado a repensar estos criterios. Para aquellas porciones de ruta más alejadas de los observatorios, en cambio, se habían propuesto opciones con un espectro algo más amplio, PC ámbar, siempre controlando las emisiones espectrales bajo los 460nm. Las potencias y flujos logradas en luminarias experimentales junto con las pruebas de campo, han permitido diseñar los distintos componentes del proyecto lumínico con mejores uniformidades, un más razonable rendimiento en color y sin llevar a la necesidad de igualar o incluso incrementar los niveles de consumo eléctrico

IV. ALGUNAS CONCLUSIONES

La actual iluminación de la Ruta del Algarrobo ha implicado un impacto negativo en la calidad del cielo nocturno, que afecta a los observatorios astronómicos de Las Campanas y La Silla, especialmente en ángulos cenitales bajos y medios.

Esta zona es una de las mejores del mundo para la observación astronómica. Prueba de ello es la construcción del Telescopio Gran Magallanes – GMT- lo que demuestra su plena validez.

La iluminación convencional utilizada, con tecnología de lámparas de descarga, ente caso, VSAP, y cubiertas lenticulares, aunque presenta niveles bajos de azul, ha incidido negativamente en la calidad del cielo nocturno de la zona. Más aún, ha podido comprobarse una sobre iluminación, lo que agrava el efecto negativo.

Por ello, la iluminación de reemplazo debe combinar lo siguiente: reducir los niveles de iluminación a lo estrictamente necesario (y seguir de paso la normativa chilena vigente); reducir las emisiones espectrales al mínimo razonable, eliminando totalmente el contenido de azul de las fuentes, con las opciones LED PC ámbar y PC ámbar filtrada equivalente (la opción mostrada en la figura 5); y cumplir con el criterio de cierre total (ful cut off) que la tecnología de estado sólido con buen diseño permite con cierta holgura, lo que es un requisito de obligatoriedad con la actual normativa lumínica de este país.

V. RECONOCIMIENTOS

A la CIC PBA, donde P.I. es miembro de la Carrera de Investigador Científico y Tecnológico.

VI. REFERENCIAS

- [1] Ixtaina, Sanhueza, Alumbrado vial de baja contaminación para la "Ruta del Algarrobo", Chile., XIII Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2016 – La Serena, Chile 2016.
- [2] http://www.nichia.co.jp/en/about_nichia/index.html
- [3] <http://www.lightpollutionmap.info>
- [4] <http://www.salvi.es>

VII. BIOGRAFIAS



Pedro A. Sanhueza (1963, La Serena, Chile). Licenciado y Magister (s) en Ciencias Sociales con Mención en Sociología y Economía (ILADES); Diplomado en Medio Ambiente (UCN). Ha sido

responsable de la cátedra de Evaluación de Impacto Ambiental (ULS), responsable de la creación de la oficina regional del medio ambiente de Coquimbo (CONAMA), de la Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile –OPCC- de la redacción del D.S.Nº043/2012 MMA, Norma Lumínica. Corresponsable de la organización del XIII Congreso Panamericano de Iluminación Lux América La Serena 2016.



Pablo R. Ixtaina (1965, La Plata, Argentina). Ing. Electricista UNLP. Docente en Mediciones Eléctricas e Iluminación para carreras de grado y posgrado en UNLP y UTN. Investigador de la CIC. Director del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia, Centro Oficial de la

provincia de Buenos Aires en lo referido a luz y sonido. Ha realizado estudios de postgrado, trabajos de perfeccionamiento y visitas científicas en la Universidad Nacional de Tucumán, Universidad Nacional de La Plata, Centro de Investigaciones Ópticas, Laboratorio LMT (Berlín, Alemania), Philips Lighting Application Centre (Eindhoven, Holanda). Miembro de la Comisión "Alumbrado Público" del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). Posee alrededor de 40 publicaciones en Revistas Científicas y Técnicas, de divulgación y Actas de Congresos.

Proyección del uso de Tecnología LED/SSL y su impacto en el consumo de energía en los circuitos de iluminación de la República Argentina

Assaf, Leonardo(lassaf@herrera.unt.edu.ar)

Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión "Ing. Herberto C. Bühler"

Estévez, Miguel(mestevez@herrera.unt.edu.ar)

Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación
Universidad Nacional de Tucumán

Resumen: Se presenta un análisis del impacto en el consumo de energía de los circuitos de alumbrado de la Argentina atribuido a la penetración de las tecnologías LED y SSL (Luz de estado sólido). Para su elaboración se ha recurrido a diferentes fuentes; (a) importación de productos registrados por la Administración Nacional de Aduana; (b) base de datos NOSIS; (c) relevamientos de instalaciones y (d) ensayos sobre lámparas y equipos de mercado realizados en el Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión "Herberto C. Bühler".

Se ha utilizado el "modelo de consumo por lámpara", que considera que la cantidad de lámparas absorbidas anualmente por el mercado, en sus diferentes tipos y potencias y la vida-media de cada tipo, determinan la energía absorbida por todos los circuitos de iluminación de ese año. Como conclusión, se estimó para el año 2016 un consumo de 18TWh en iluminación, un 14% de los 132TWh facturados por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. – CAMMESA. El creciente consumo de tecnología LED, en razón de la mayor eficiencia, proyecta una remisión de energía de 4 TWh por año, 3% de todo el consumo argentino. Se incluye también un listado de las barreras existentes de la tecnología de estado sólido en la iluminación argentina.

Abstract: An analysis of the energy consumption of Argentina's lighting circuits, attributed to the penetration of LED and solid state lighting technologies, is presented. It is based on different sources (A) importation of products registered by the National Customs Bureau; (B) data from NOSIS database; (C) surveys of installations and (d) tests on available lamps and equipment carried out in the Department of Lighting, Light and Vision "Herbert C. Bühler".

A "consumption per lamp" model has been used, which considers that the number of lamps (different types and powers) annually sold, and the average life of each type, are determinants of the power of all lighting circuits in the year. As a conclusion, a consumption of 21 TWh by lighting was estimated for the year 2016, which represents 18% of the total amount of energy delivered by the Argentine's electric market wholesale company - CAMMESA (120 TWh). The growing consumption of LED technologies, due to its greater efficiency, projects energy saving of about 4 TWh per year, which represents 3.3% of all consumption of Argentina. The work also includes the existing barriers of solid state technology in lighting in Argentina.

Palabras claves: Iluminación, Energía, LED

I. INTRODUCCION

A nivel global la iluminación representa entre el 12 y 26% de todos los usos finales de la electricidad, además de conformar uno de los grupos de consumo con alta capacidad de remisión de energía mediante la eficiencia energética, como es analizado en este trabajo.

¿Cómo incidirá en el consumo de energía eléctrica la adopción de tecnología LED en los sistemas de alumbrado? Responder a este interrogante con una adecuada precisión es fundamental para la planificación y el análisis energético del país. La iluminación, como se señaló, es una parte importante del consumo de energía eléctrica; la introducción de lámparas más eficiente, como es el caso de los LEDs, en comercios, hogares e industrias, podría verse reflejado en una disminución en el consumo total.

Pocos trabajos han intentado responder al interrogante planteado precedentemente. Los que han sido revisados (1), (2) recurren a suposiciones arbitrarias y simplificaciones que se trasladan a las conclusiones a las que arriban. El análisis de este problema ofrece ciertas complicaciones; el mercado de lámparas involucra muchos actores y condiciones por lo que lo que podría denominarse "lógica de reposición y selección de productos de iluminación" que motivan las decisiones de los consumidores y usuarios a elegir la tecnología LED u otra, resulta en una dinámica compleja. En primer lugar las percepciones de los usuarios y consumidores, luego la oferta y disposición comercial de productos; luego, datos sobre productos, potencias, tipos, desempeño energético.

II. CALCULO DEL CONSUMO PRESENTE

El consumo energético puede desagregarse en diferentes sectores de consumo, tales como residencial, comercial, industrial, etc. o bien según los usos finales de la energía, como podría ser, refrigeradores, calentamiento de agua, iluminación, etc. En nuestro país, la Secretaría de Energía y CAMMESA, proveen datos del consumo total segmentado en 10 sectores de consumo. No hay datos sobre los distintos usos finales, salvo el caso del Alumbrado Público que constituye un sector del consumo cuyo uso final es sólo alumbrado. El consumo en cada sector está conformado por diferentes usos, entre los cuales se encuentra la iluminación. Para determinar el consumo en un solo tipo de uso final, por ejemplo, iluminación de todos los sectores deben utilizarse métodos de estimación, como el "modelo de consumo por lámpara" que se basa en la asociación del consumo con la reposición de lámparas en las instalaciones y que aplicaremos en este trabajo.

III. OBTENCION DE DATOS

El consumo nacional de lámparas está abastecido por la importación, de manera que la primera fuente son los datos registrados por la Administración Nacional de Aduanas (ANA) que fiscaliza los ingresos de productos desde el exterior. Toda importación o despacho a plaza, como se denomina, debe documentarse a los fines fiscales o estadísticos. Conociendo la cantidad de lámparas que ingresan anualmente a la Argentina es posible aplicar el modelo de cálculo de consumo descripto.

La información de la ANA es de acceso público (Sistema Malvinas), lamentablemente la forma de clasificación adoptada, basado en el Nomenclador de Bruselas y el nomenclador común del MERCOSUR no es muy explícita ni tiene una buena correlación técnica con los

productos lo cual dificulta la identificación de las diferentes partidas.

Las fuentes de información y los datos recabados fueron:

a) Investigación del mercado de lámparas. Se tomó las partidas de interés que corresponden al capítulo 85 de la sección XVI del nomenclador aduanero para obtener los datos del mercado de lámparas correspondientes al periodo 2012-2016. A fin de corroborar que no hubieran discrepancias, se cruzó información del sistema informático aduanero nacional (Malvinas) con bases de datos de NOSIS, empresa de dicada a recopilar y clasificar datos.

Los resultados muestran las tendencias del mercado, con un -inicialmente paulatino- incremento de las tecnologías LEDs (Tabla 1).

Tabla 1: Importación de lámparas por tipo y año.
Fuente: propia con datos ANA

Tipo de lámpara / año	2012	2013	2014	2015	2016
INCANDESCENTES HALOGENAS	94.261.622	67.239.282	81.922.360	91.954.946	76.012.851
FLUORESCENTES LINEALES Y COMPACTAS	67.420.611	67.420.611	68.561.434	69.903.785	64.379.595
DESCARGA ALTA INTENSIDAD (Na y Hg)	2.299.356	2.299.356	2.641.932	2.755.307	2.359.526
INCAND. CLARAS, DECORATIVAS	3.503.952	3.503.952	2.743.652	2.241.776	3.395.710
DIODOS EMISORES DE LUZ, LED's	3.811.968	5.430.746	6.428.620	12.024.255	55.396.458

b) Relevamiento de instalaciones. A fin de establecer el uso de lámparas en hogares y comercios se ha implementado el relevamiento de instalaciones mediante encuestas. La primera encuesta se llevó a cabo entre los años 2013 y 2014, y fue implementada con la colaboración de alumnos y docentes del departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación de la Universidad Nacional de Tucumán, oportunidad en que se relevaron un total de 95 instalaciones entre viviendas y comercios. Para la segunda encuesta (2016-2017) se instrumentó un formulario por internet, alcanzando 273 hogares (ver: <https://goo.gl/forms/eW16yY2Pdos2zf73>). Los datos recopilados se exponen en Tabla 2. Encuesta 2013-2014: Como resultado destacable, en la muestra se encontró que, pese a las regulaciones del estado nacional (ley 26473/08 y Resol. N° 319/99, Sec. de Comercio) que implica la prohibición de comercialización de lámparas incandescentes comunes, éstas, junto con las halógenas (también incandescentes), son ampliamente usadas, con un 53 % de participación en el consumo de energía; las lámparas fluorescentes sean tubulares o compactas representan sólo un 28 % y los LED's no son significativos en la muestra, según puede observarse, según las encuestas realizadas los años.

Tabla 2: Encuesta del DLLyV, hogares y comercios de San Miguel de Tucumán y Gran San Miguel de Tucumán. Años 2013-2014 y 2016-2017)

Tipo de Lámpara	Cantidad Total	
	Año 2014	Año 2016
Incandescentes comunes	323	188
Incandescentes halógenas	546	384
Fluorescentes lineales y circ.	307	552
Fluorescentes Compactas	1109	2261
Diodos Emisores de Luz, LEDs	0	1146

c) Parámetros de lámparas en el mercado argentino. De acuerdo a ensayos de muestras efectuados en el Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (UNT), el desempeño de lámparas es inferior al declarado por las etiquetas de los fabricantes.

Tabla 3: Eficiencia, Duración y Potencia Media (ponderada) de lámparas. Fuente: propia en base a ensayos

Tipo de lámpara	Eficiencia (lm.W ⁻¹)	Duración (horas)	Potencia media (vatios)
Incandescentes Halógenas	12-16	1.100	58
Fluorescentes Lineales y Compactas	60-70	4.500-6.000	36
Descarga de Alta Intensidad (Sodio y Mercurio)	80-110	9.000-18.000	226
Normales Claras Decorativas o Fantasía	9-11	900	50
Diodos Emisores de Luz, LED'S	70-90	10.000-20.000 ¹	9

IV. MODELO DE ESTIMACION DEL CONSUMO EN BASE AL MERCADO DE LAMPARAS

Este modelo supone que la reposición de cada lámpara en el mercado está necesariamente ligada con un consumo determinado. Es decir, que los datos del consumo de lámparas en el mercado implican un consumo de energía en iluminación. Es aceptable suponer que durante toda su vida, una lámpara que ha dejado de funcionar y ha sido reemplazada por otra, necesariamente implicó un consumo de energía,

Donde:

W_{Lai} es el consumo anual de las lámparas de clase i

N_i número de lámparas importadas en un año

α_i fracción de lámparas destinadas a reposición

T_{Lui} vida útil de la lámpara i

P_{Li} potencia de la lámpara y (si correspondiera) equipo auxiliar i

Los valores de T_{Lui} y P_{Li} informados en las etiquetas o catálogos comerciales de lámparas suelen tener discrepancias con los productos del mercado, por tal razón para los cálculos se

utilizan datos de ensayos de muestras que se realizan periódicamente en el DLLyV de la UNT. Esto es especialmente importante para lámparas LED's, una tecnología en etapa de maduración, con discrepancias más altas que las convencionales

En este modelo el factor α_i , es decir, fracción de lámparas destinadas a reposición, está afectada en los años de transición tecnológica, por el incremento de la proporción de lámparas en stock de las empresas importadoras y comerciales. Tal como sucedió en el año 2011 con la importación de Lámparas Fluorescentes Compactas.

V. APLICACIÓN DEL METODO

Del estudio de las estadísticas de importación de LEDs se observa que se produce un incremento interanual muy grande entre los años 2014-2016 (Tabla 1)

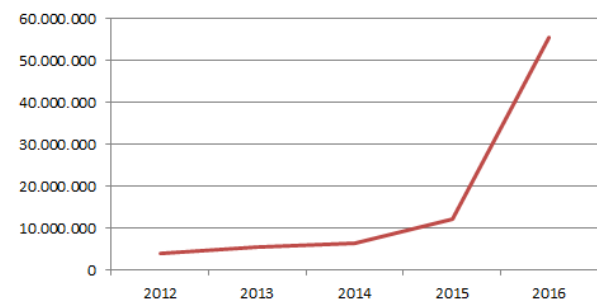


Fig.1: Importación de LEDs

La proyección para el año 2017, en base a las importaciones hasta el mes de mayo, es de 88.000.000 de unidades.

Esto hace suponer que una gran parte de las lámparas incrementan el stock de los comerciantes y además las ventas se incrementan por la novedad tecnológica y la publicidad. Esta situación lleva a que la consideración del coeficiente α_i sea distinta a la de los otros tipos de lámparas en particular para la etapa de transición.

Los datos muestran que a partir del año 2016, los usuarios se volcaron masivamente al consumo de lámparas LEDs lo que hizo trepar las importaciones. Luego del pico de importación de los años 2016 y 2017, el mismo disminuiría hasta estabilizarse en razón de la mayor duración de las LEDs respecto del resto de las lámparas

La tabla 4 muestra un análisis de la evolución del consumo de energía eléctrica en Argentina y la participación de la iluminación en el mismo

Tabla 4: Participación de la iluminación en el consumo en el consumo Fuente: ADDERA

	2013	2014	2015	2016
Consumo de Electricidad en Argentina TWh	124,3	126,3	131,8	132,7
Consumo en Iluminación TWh	15,9	17,2	17,2	18
Participación de la iluminación en el consumo de electricidad	13%	14%	13%	14%

En la misma se observa que si bien el consumo de energía eléctrica se incrementó un 7 % la participación de la iluminación se mantuvo casi constante con variaciones del 1% por lo que se produjo un ahorro en términos de energía.

VI. SIGNIFICACIÓN DE LA SSL

La tecnología LED promete una mejora sustancial en la conversión energía en luz y se asocia con la tecnología SSL que abarca los sistemas automáticos de control. Esta tecnología emergente posibilita el aprovechamiento de la luz natural y una disminución del desperdicio de energía por factor ocupacional o sobre-dimensionado de las instalaciones. Las SSL ofrecen un gran potencial de ahorro, de hasta un 30%, según diversas referencias; sin embargo no tienen un uso ni una difusión en los medios técnicos en la Argentina.

VII. CONCLUSIONES

Aunque las lámparas LED muestran un crecimiento exponencial en el mercado en los últimos años, la eficiencia del alumbrado argentino, especialmente en el hogar, es aún baja, según el perfil de lámparas que se venden y la encuesta de hogares, (Tablas 1 y 2).

Si se reformularan los rangos del etiquetado de eficiencia actual (IRAM N° 62404-1-2-3), extendiendo la prohibición comercialización de lámparas etiquetadas "C" e inferiores quedarían fuera de mercado las lámparas Incandescentes halógenas comunes y Reflectoras halógenas Incandescentes. Esto obligaría al uso de Lámparas LED's o fluorescentes compactas-más eficientes- con el resultado de una reducción del consumo de energía de alrededor de 3TWh/año. La tecnología LED, una vez que alcance su maduración, podría competir en precio y desempeño con las lámparas de bajo consumo (LFC). El reemplazo de LFC por LED's, mediante regulaciones del estado o una reformulación de los rangos de etiquetado, podría aportar 1 TWh adicional de ahorro, en total un 3,3% del consumo anual nacional. Una masificación de uso de LEDs podría ayuda a la utilización de sistemas automáticos de control, lo cual aportaría una cantidad equivalente de ahorro de energía.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Gil S. (2016). EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA ARGENTINA. Borrador de una posible hoja de ruta. IEDS – CNEA/ EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS
- [2] Tanides C, Bodelon E et alt. (2010). Escenarios energéticos para la Argentina (2013-2030) con políticas de eficiencia.
- [3] Assaf L, Estevez M. Dimensionando el consumo y eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de la república argentina, mediante el análisis del consumo de lámparas. Encuentro Latinoamericano de uso racional y eficiente de la energía. Buenos Aires, Setiembre 2013.
- [4] Ley 26473 HONORABLE CONGRESO DE LA NACION ARGENTINA. Prohibición de las lámparas incandescentes, Dic-2008.
- [5] Resolución N° 319/99 ex Secretaría de Industria, Comercio y Minería.
- [6] Ley 26473 Honorable Congreso de la Nación Argentina. Prohibición de comercialización de las lámparas incandescentes, Dic-2008. Resolución N° 319/1999. Ex Secretaria de Industria, Comercio y Minería.
- [7] IRAM N° 62404-1-2-3. ETIQUETADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICAS DE LÁMPARAS ELÉCTRICAS PARA ILUMINACIÓN GENERAL.

IX. BIOGRAFIAS



Leonardo Assaf: Recibió el título de Ingeniero Electricista en 1977, y luego de Doctor en Ingeniería por la Universidad Nacional de Tucumán. Actualmente es Profesor Asociado y Director del Programa de Investigación

Sistemas Conversores de Energía, financiado por el Consejo de Investigaciones de la UNT, que desarrolla en el Departamento de Luminotecnia, luz y Visión y el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación, de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Ha sido Presidente de la Asociación Argentina de Luminotecnia, AADL.

Miguel Ángel Estévez: Recibió el título de Ingeniero Electricista Orientación Industrial en 1987 y posteriormente el de Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la Universidad Nacional de Tucumán. Actualmente es Profesor Titular a cargo de las cátedras Circuitos Eléctricos I, Circuitos Eléctricos III y Laboratorio de Circuitos Eléctricos. Investigador en el proyecto "Efectos del uso intensivo de consumidores eléctricos de baja potencia y de impedancia no lineal en redes de distribución eléctrica" financiado por el Consejo de Investigaciones de la UNT dentro del programa Sistemas Conversores de Energía.

Tubos Led Aplicados en la Iluminación del Túnel Subfluvial Uranga Silvestre Begnis

Mónica Krenz, Agustín Chort, José Luis Frund, Arturo Casano, Fabio Vincitorio. GiEPI Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Paraná. Almafuerte 1033, Paraná, Entre Ríos. Argentina. fisicaelectronica@frp.utn.edu.ar

Resumen El túnel Subfluvial Uranga Silvestre Begnis representa para las provincias de Santa Fe y Entre Ríos todo un símbolo de progreso y tecnología. Habiendo pasado más de 48 años de su inauguración sigue siendo objeto de actualización tecnológica. En el mes de agosto de 2016 y después de un completo estudio de factibilidad las autoridades de este Ente decidieron actualizar el sistema de iluminación interior. Originalmente diseñado con iluminación basada en tubos fluorescentes T40 se procedió al reemplazo por tubos de Tecnología LED de 14,5 W. El objetivo fundamental del reemplazo podría circunscribirse en la necesidad de hacer más eficiente el sistema, reduciendo el consumo eléctrico. Desde su instalación el Grupo GiEPI viene realizando trabajos de seguimiento con el fin de comprobar el desempeño de este nuevo tipo de sistema de iluminación. Las acciones de seguimiento contemplan la medición de la iluminancia en el interior, de parámetros eléctricos (distorsión armónica total, alta frecuencia, etc.) y la determinación de la reducción del nivel de iluminancia debido a la polución propia del viaducto. Además, se contempla realizar estudios sobre las causas que pudieran dar origen al reemplazo de los tubos LED.

Los resultados a un año de su instalación muestran una leve reducción en la iluminancia fundamentalmente relacionada con la polución que afecta a los tubos. Sin embargo, este efecto no justifica acciones correctivas de ningún tipo. Por otra parte de los 3800 tubos instalados no se han producido hasta la fecha ningún reemplazo y las bajas registradas corresponden a problemas en los zócalos de conexión.

Abstract: The tunnel Subfluvial Uranga Silvestre Begnis represents a symbol of progress and technology for the provinces of Santa Fe and Entre Ríos. Having passed more than 48 years of its inauguration, it is still subject to technological updating. In the month of August 2016 and after a complete feasibility study, the authorities of this Agency decided to update the interior lighting system. Originally designed with lighting based on

T40 fluorescent tubes, it was replaced by LED Technology tubes of 14.5 W. The fundamental objective of the replacement could be circumscribed in the need to make the system more efficient, reducing the electricity consumption. Since its installation, the GiEPI Group has been carrying out follow-up work in order to verify the performance of this new type of lighting system. The follow-up actions include the measurement of indoor illuminance, electrical parameters (total harmonic distortion, high frequency, etc.) and the determination of the reduction in the level of illuminance due to the pollution of the viaduct. In addition, studies are being carried out on the causes that could give rise to the replacement of the LED tubes.

The results one year after installation show a slight reduction in illuminance, fundamentally related to the pollution that affects the tubes. However, this effect does not justify corrective actions of any kind. On the other hand, of the 3800 tubes installed, no replacement has been produced to date and the registered losses correspond to problems in the connection sockets.

Palabras claves: Nuevas tecnologías de iluminación, eficiencia energética, LED, fluorescentes.

INTRODUCCIÓN

Las ciudades de Paraná y Santa Fe en la República Argentina se encuentran unidas por uno de los primeros túneles sub fluviales construidos en el mundo. Sus obras se comenzaron en el año 1962 y fueron inauguradas en 1969. La obra representó todo un logro de la tecnología disponible en aquellos días. Hoy representa una obra emblemática, no solo por lo que significa desde el punto de vista tecnológico si no porque permitió abandonar definitivamente el aislamiento de la provincia de Entre Ríos. Aislamiento impuesto por el río Paraná, uno de los 6 ríos de más caudal en el mundo. La provincia de Entre Ríos integra junto con la de Corrientes y Misiones una de las dos Mesopotamias que existen en nuestro planeta.

Desde su diseño, se estableció que no solo representaría una obra civil de magnitud extraordinaria para la época si no que la obra eléctrica y electrónica también lo serían. Sistemas de ventilación, iluminación, comunicaciones y circuito cerrado de televisión integran el conjunto de mayor desarrollo tecnológico, tanto en su construcción como en la actualidad.

En este contexto y habiendo pasado más de 45 años desde su construcción, la tecnología aplicada en el mantenimiento y funcionamiento del enlace vial sigue en permanente evolución.

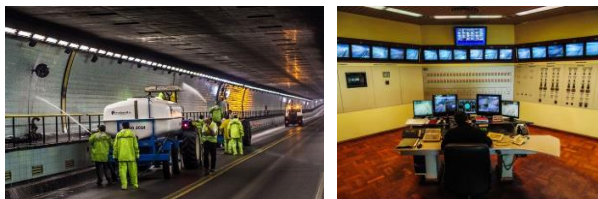


Fig. 1. Fotos del complejo túnel sub Fluvial Urunga - Silvestre Begnis. Interior en el que se ve el sistema de iluminación y sala de control.

En agosto de 2016 se reemplazaron íntegramente los equipos auxiliares y los tubos fluorescentes de 3800 luminarias. Para ello, se utilizaron tubos de nueva tecnología LED (Tubos construidos con diodos emisores de luz), los que fueron seleccionados luego de rigurosos ensayos, que solo superaron 5 fabricantes. Los tubos fueron instalados en las mismas luminarias alterando el cableado original para compatibilizarlo con los nuevos dispositivos. Sin embargo permanecieron sin modificaciones los tendidos eléctricos de alimentación desde el edificio de mando hasta el interior del túnel. Así, los 3800 equipos de iluminación se encuentran conectados en dos circuitos trifásicos independientes, manteniéndose los sistemas de medición y protección originales.

Por otra parte, esta instalación constituye un campo de pruebas ideal para este tipo de tecnología en iluminación. 3800 equipos conectados 24 horas al día en circuitos eléctricos controlados, con condiciones ambientales favorables. Funcionando bajo la supervisión de personal técnico altamente calificado.

A. Tubos LED usados

Para el reemplazo de los tubos fluorescentes originales la UTN Santa Fe seleccionó como válidos los tubos LED Philips MAS LED tube 1200mm SO 14.5W 865 T8 ROT que finalmente fueron adquiridos y cuyas características básicas son mostradas en la Fig - 2. [2]

I. METODOLOGÍA

A. Objetivos.

La instalación del número de dispositivos anteriormente mencionados constituye todo un campo de pruebas para una tecnología

emergente en iluminación, como lo son los denominados tubos LED. Las condiciones ambientales acotadas, el uso continuo y las perturbaciones eléctricas que pudieran generarse en los sistemas de potencia establecen condiciones particulares de ensayo. Además, la polución atmosférica se constituye como el principal parámetro a ser analizado, en función de los efectos que pudiera causar la deposición de hollín sobre el recubrimiento plástico. Así, podría definirse como objetivo general: analizar la respuesta de esta tecnología con el fin de sugerir su implementación en gran escala en otras aplicaciones.

Operating and Electrical	
Input Frequency	50 to 60 Hz
Power (Rated) (Nom)	14.5 W
Starting Time (Nom)	0.5s
Warm Up Time To 60% Ligth (Nom)	Instant full lighth
Power Factor (Nom)	0.9
Voltage (Nom)	220-240 V

Figura 2. Detalles de los parámetros eléctricos principales del tubo Philips MAS LED tube 1200mm SO 14.5W 865 T8 ROT. Fuente: Philips.[2]

Desde de un punto de vista netamente técnico los objetivos se circunscriben en dos grande puntos:

- El análisis eléctrico y electrónico del sistema de iluminación. Determinado efectos sobre las líneas eléctricas. Además, el desempeño de la electrónica estudiando el origen de los daños en los tubos que deban ser reemplazados.
- El análisis luminotécnico: acotado a la determinación de la variación de la iluminancia en el interior del túnel, controlando como principal causa de depreciación los efectos de la contaminación.

Además de estos objetivos, cabe mencionar el desarrollo de una red de sensores de iluminancia que permitirán controlar en forma permanente este parámetro dentro del túnel. Sistema que será instalado en el año 2018.

B. Metodología de medición y seguimiento.

Para la medición de iluminancia se establecieron tres metodologías diferentes. Dos de ellas en ejecución y la tercera en desarrollo. De estas tres mediciones previstas, la primera de ellas es la que se realiza con una frecuencia mensual. La segunda semestral y la tercera será la de ciclo continuo cuando la red de sensores se encuentre instalada.

La medición de iluminancia que denominaremos de referencia, se basa en la medición de los niveles de intensidad usando un Luxímetro Sonel modelo-LXP-1. Dado que no es posible la medición estacionaria de los niveles de iluminancia dentro del túnel, dado que para esto debería interrumpirse la circulación vehicular por largos períodos de tiempo, se optó por un método

de medición basado en la captura de gran cantidad de datos. Para esto, el instrumento es montado sobre un vehículo (Fig.-3) en una posición determinada. Las mediciones se toman en movimiento con una tasa de muestreo de 1 s y conociendo que el período de captura del instrumento es de 300 ms. En promedio se realizan 200 mediciones por recorrido realizándose un total de 6 recorridos, tres en un sentido y tres en sentido opuesto. Es de mencionarse que existen diferentes factores que pueden afectar el resultado de las mediciones, entre ellos la emisión de luz por parte de los vehículos que circulan, el ángulo de incidencia del sol sobre los ingresos y las fechas de lavado del interior del túnel. Así, se sabe que las mediciones obtenidas no son rigurosas y el cálculo de los promedios [3] solo tiende a dar un valor indicativo de los niveles relativos de iluminancia. Lo que se busca con esta metodología de medición es obtener una tendencia de la existencia de depreciación luminosa, pero sin definirla con exactitud.



Fig. 3. Foto que muestra el montaje del sensor. Durante la medición, se conecta el instrumento a un PC el que mediante un cable tipo USB permite almacenar los datos en tiempo real y controlarlos mediante una gráfica en la pantalla del ordenador.

Una segunda metodología de determinación de la depreciación luminosa se realiza a intervalos de 6 meses. En esta se solicita al personal del túnel la extracción de un tubo LED. Este debe ser seleccionado al azar y controlando de no tocar la parte central del mismo. Lo que se busca es retirar el tubo con su patrón de contaminación sin haber sido manipulado. Una vez extraído, en el laboratorio, se le realizan ensayos eléctricos y electrónicos en los que se controla el buen funcionamiento. Además se realiza una medición de iluminancia en dos condiciones diferentes. Primero se mide durante un intervalo de tiempo de hasta 30 minutos la intensidad emitida por el tubo. Posteriormente, luego de una limpieza con alcohol, se repite el ensayo determinado los valores de reducción de la emisión en función del nivel de suciedad depositado. Este ensayo,

evidentemente no contempla la depreciación luminosa de los LED y solo busca controlar los efectos de la contaminación.

Finalmente se está planificando la inserción de una red de sensores que mantendrán constantemente controlado el nivel de iluminancia dentro del viaducto. Se espera que esta metodología de medición pueda ser implantada a mediados del 2018.

II. RESULTADOS

A. Mediciones de referencia.

Habiendo transcurrido un año desde la puesta en funcionamiento de la instalación, la cantidad de medidas instantáneas realizadas supera ampliamente las 14.000. Esta cantidad de información fue procesada de manera de obtener valores promedio correspondientes a cada una de las fechas de medición.

En la gráfica de la Fig. 4. Se muestran los resultados obtenidos correspondientes a dos ciclos de muestreo, diferenciándose el ciclo de ida y el de vuelta.

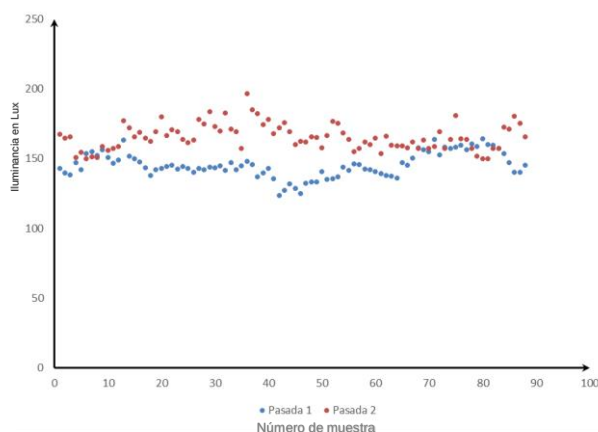


Fig. 4. Gráfico que muestra las primeras mediciones instantáneas tomadas el vehículo en movimiento. Se diferencian las mediciones de ida (Pasada 1: Paraná – Santa Fe) y de regreso (Pasada 2: Santa Fe- Paraná) porque las luminarias se ubican en forma asimétrica respecto de la calzada.

Es evidente que existe una importante dispersión entre las mediciones, en gran medida afectadas por la imposibilidad de mantener una velocidad constante y una posición fija respecto de las luminarias. Además, puede notarse que existe mayor intensidad en los valores de la pasada 2 o retorno. Esto se debe a que las luminarias se encuentran mucho más cerca de la calzada. Si se observan los valores de regreso se puede notar una mayor dispersión y esto es debido a que constantemente las luminarias son arrancadas por camiones de altura cercana al límite. Así, las luminarias de Santa Fe a Paraná se las puede considerar como totalmente desalineadas.

Con el fin de definir los intervalos de incerteza, se realizaron durante la primera medición un total de

6 pasadas cuyos resultados pueden verse en la figura 5.

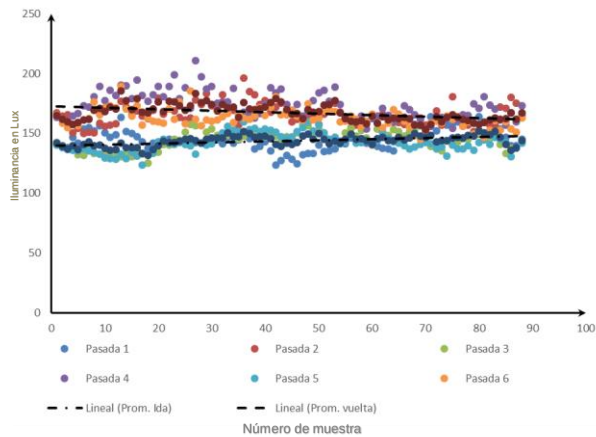


Fig. 5. Gráfico que muestra las primeras mediciones instantáneas tomadas el vehículo en movimiento. En línea de puntos se muestran las curvas de regresión lineal correspondientes a los promedios de las mediciones instantáneas de las tres pasadas.

Nuevamente la gráfica de la Fig. 5 muestra una gran dispersión de valores, sin embargo las líneas de regresión correspondiente a los promedios instantáneos muestran un cierto grado de uniformidad. De todos los datos graficados en la Fig. 5 se obtienen solamente dos valores promedio que son considerados como los valores verdaderos.

En la Fig. 6 se representan los valores promedios obtenidos de cada uno de los relevamientos de medición desde el 8 de agosto de 2016 hasta el presente.

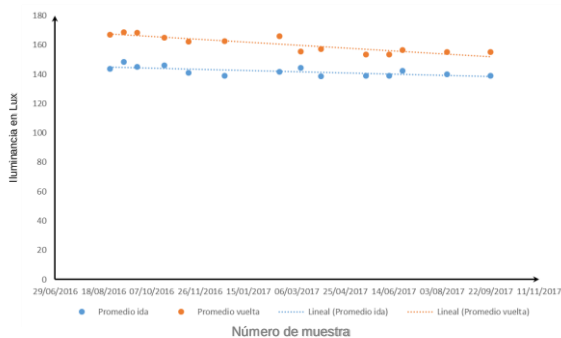


Fig. 6. Gráfico que muestra la distribución de valores correspondientes a cada uno de las fechas de medición.

De los valores obtenidos de los relevamientos no existiría una notable disminución en la intensidad de luz emitida por el sistema. Comparando el mayor valor registrado con el último valor medido encontramos una disminución del 7% en el recorrido de ida y del 8 % en el recorrido de regreso.

B. Determinación de la atenuación por polución.

Tal como se describió en forma precedente, una segunda serie de mediciones se realizaron controlando los niveles de polución en los tubos.

Hasta el momento se han realizado dos determinaciones, una en el mes de diciembre de 2016 y una en el mes de junio del 2017.

Las mediciones realizadas en el mes de diciembre indicaron una reducción de la emisividad de un tubo elegido aleatoriamente de 6,72 % tal como se muestra en la Fig. 7.

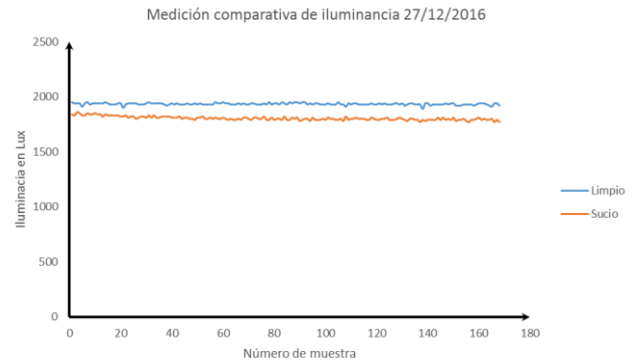


Fig. 7. Gráfico que muestra la iluminancia en un período de 30 minutos con el tubo en las condiciones de extracción y luego de haber procedido con la limpieza, mes de diciembre.

En el tubo ensayado en el mes de junio los resultados indicaron una depreciación del 17,2 %.

Además de los ensayos de iluminancia relativa se realizó un análisis microscópico utilizando una lupa estereoscópica observándose la presencia de deposiciones de hollín mayormente circulares y de una fina capa relativamente uniforme. Este análisis fue realizado con el fin de detectar posibles incrustaciones del carbono en el recubrimiento.



Fig. 8. Fotografía de la superficie del recubrimiento del tubo, con 22x, antes de ser realizada la limpieza con alcohol.

C. Diseño de una red de sensores de iluminancia y temperatura.

La red de transductores que se utilizará como método de control de los niveles de iluminancia en tiempo real, se sustenta en la aplicación de dispositivos microcontrolados conectados

mediante un sistema de comunicación robusto y una serie de sensores digitales. Estos sensores tienen la capacidad de medir los niveles de iluminancia y temperatura, contruidos con un alto grado de integración.

Estos transductores tendrán la función de medir constantemente la iluminancia y temperatura a la que se encuentre expuesto. Este equipo dispone de un sistema de comunicación basado en RS 485 (físico) utilizando el protocolo de comunicación MODBUS, el cual hace que estos equipos puedan ser utilizados por cualquier sistema SCADA que utilice MODBUS como protocolo de comunicación, como el que se encuentra actualmente instalado en el túnel.

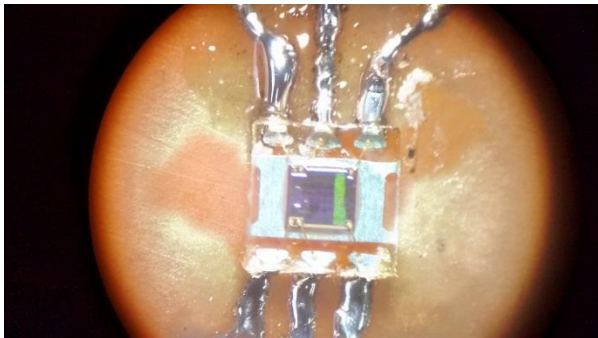


Fig. 9. Fotografía del sensor de iluminancia obtenida mediante el uso de la lupa estereoscópica con 22x aumentos.

En la Fig. 10 se muestra esquemáticamente el funcionamiento del sistema que al momento de su instalación contará con 27 puntos de medición.

Cada uno de estos puntos de medición permitirá tomar mediciones instantáneas de los niveles de iluminancia a lo largo del túnel. De esta forma se espera obtener un mapa de intensidades y una medida cierta de la depreciación luminosa del sistema basado en tubos LED.

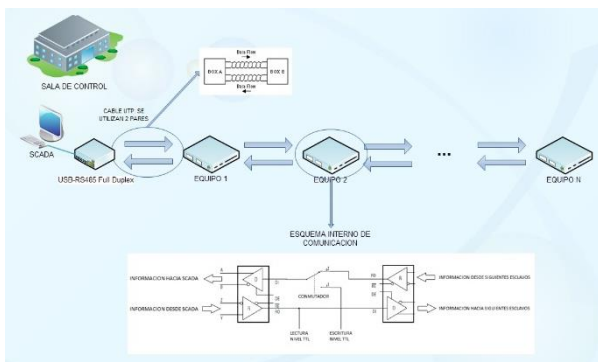


Fig. 10. Esquema en el que se sintetiza la topología a utilizar en la red de sensores integrados.

III. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Desde la instalación de los tubos LED se han venido realizando mediciones periódicas de los niveles de iluminancia, mediante la única metodología posible. Esta metodología no puede ser considerada como ortodoxa y los resultados

obtenidos presentan altos niveles de dispersión. Sin embargo la utilización de gran cantidad de mediciones instantáneas tiende a minimizar los errores metodológicos. Independientemente de esto es la única metodología aplicable en las condiciones de operatividad del túnel. Se entiende que hasta que no se avance con el proyecto de la red de sensores las mediciones obtenidas indicarán solamente una tendencia aproximada en la depreciación lumínica.

Los resultados obtenidos nos muestran que se habría producido una depreciación que rondaría 7% en un año de operación, valor que fue similar al obtenido en la depreciación de un tubo extraído en el mes de diciembre. Sin embargo la depreciación por polución registrada en un tubo extraído en el mes de junio indica valores del 17%. Valor que contradice los resultados observados en la gráfica de la Fig. 6. Es evidente que existe la posibilidad de haber extraído un tubo extremadamente sucio, dado que en los ingresos es posible observar mayores niveles de contaminación que en el interior.

De la observación de la gráfica documentada en la Fig. 6. Vemos que existe un cierto grado de normalización en la ubicación de los puntos, a partir del mes de junio, independientemente del sentido de circulación. Esto indicaría una distribución más homogénea en cada lado de la calzada, diferenciándose fundamentalmente en los niveles de iluminancia sobre cada margen.

Las imágenes obtenidas mediante microscopía muestran además una distribución de la polución en una forma totalmente aleatoria, observándose solo una fina capa de hollín pero principalmente puntos de concentración.

IV. CONCLUSIONES

El seguimiento y control de los tubos de reemplazo LED que se ha aplicado en el interior del túnel podemos establecer como conclusión general que el reemplazo ha sido totalmente beneficioso. Particularmente se ha ganado en eficiencia energética [1] si bien no ha sido analizado este aspecto en este trabajo. Desde el punto de vista del desempeño lumínico de los tubos han demostrado un alto grado de confiabilidad no habiéndose registrado en el primer año de uso fallas en ninguno de los 3800 tubos instalados.

Los resultados documentados muestran un bajo nivel de depreciación luminosa, en el interior del túnel, sin embargo en el análisis individual no se registran iguales resultados. Queda en evidencia que la metodología aplicada no es la mejor pero es la única que puede ser implementada en las condiciones actuales. Además, se concluye que en las próximas mediciones de polución se

deberán analizar más de un ejemplar, con el fin de obtener datos más representativos.

V. REFERENCIAS

- [1] J.L. Frund, M.F. KRENZ, A. CHORT, ARTURO M CASSANO, F.M. VINCITORIO. Improvements in power factor by replacing fluorescent tubes with equivalent LED tubes. Sicel 2017, Bucaramanga Colombia.
- [2] Philips Ligthing data sheet, MASTER LEDtube EM/Mains. Noviembre 2016.
- [3] Navidi Wiliam, (2006). Estadística para ingenieros. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana. México. ISBN: 970-10-5629-9

“Una Nueva Metodología de Selección de la Distribución Espectral de Fuentes de Uso en Museos para la Adecuada Exhibición y Preservación de Obras de Arte”

Arana Sema, F.¹⁻², Pujol Ramo, J.¹ Ajmat, R.F.², Sandoval, J.²

1 Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Rambla Sant Nebridi 10, Terrassa, Barcelona 08222, España.

2 Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (DLLyV). Universidad Nacional de Tucumán, Av.N. Kirchner 1800, Tucumán 4000, Argentina.

Resumen:

Se presenta una nueva metodología para la selección y el diseño de la emisión espectral de fuentes de iluminación de uso en museos. Se basa en la obtención del Perfil de Reflectancia Espectral Representativo (P.R.E.R.) de una obra de arte, para luego iluminarla con una emisión espectral coincidente en su forma con la del P.R.E.R de la obra. Esto reduciría al mínimo el daño por radiación en el objeto de exhibición, debido a que el deterioro por radiación es un efecto de la energía absorbida. Para evaluar la calidad de la presentación, se ha calculado la diferencia de color CIELAB (1976) para los tres colores primarios presentes en las reproducciones de obras de arte que son parte de la muestra, iluminadas bajo el iluminante D65 en comparación con un iluminante simulado cuyo perfil de emisión espectral coincide con la forma del P.R.E.R. del objeto. Los resultados en general se encuentran por debajo de 3 unidades CIELAB, límite considerado de tolerancia estricta en la reproducción del color.

Palabras clave: metodología, perfiles de reflectancia espectral, iluminantes

Abstract:

A new methodology to select light source spectral distribution for use in museums is presented. It is based upon obtaining the Representative Spectral Reflectance Curve (RSRC) for each artwork and then lighting it with a light source which spectral power distribution is coincident in shape with the object's RSRC. This should cause minimum damage due to radiation on the object, given that object deterioration due to radiation is an effect of absorbed energy. In order to evaluate presentation quality, colour differences were calculated for the three primal colours present in

an artwork sample, illuminated under Illuminants D65 and under a simulated illuminant which spectral power distribution matches the R.S.R.C. of the object. Results are in general lower than 3 CIELAB units, considered the limit for strict tolerance in normal colour reproduction.

Keywords: methodology, spectral reflectance, Illuminants.

I. INTRODUCCIÓN.

Actualmente, la iluminación de museos cumple la misión de preservación mediante el empleo de un doble criterio: la clasificación de objetos según su sensibilidad al daño por radiación y las normativas de exposición anual para preservación del daño por radiación (CIE, 2004) [1]. Es inevitable cierto grado de deterioro por iluminación en toda exhibición, debido al fenómeno físico que lo produce (Thomson, 1994) [2].

La hipótesis de este trabajo se basa en que es posible obtener el perfil de reflectancia de una obra de arte que sea representativo de la misma. Iluminar una obra de arte con una fuente cuyo perfil de emisión espectral sea coincidente, dentro de los límites experimentales, con el perfil de reflectancia espectral representativo del objeto iluminado, permite reducir a un mínimo el deterioro por radiación en el objeto iluminado, ya que el deterioro por iluminación tiene como factor principal a la radiación visible y no visible incidente absorbida. Lo anterior permitiría el máximo cumplimiento de la función de Preservación. Adicionalmente, el estímulo visual resultante de la interacción entre el perfil de emisión espectral de la fuente (P.E.E.F) y el perfil de reflectancia espectral representativo de la obra de arte (P.R.E.R), permite una visión del color lo suficientemente adecuada para el cumplimiento de la función de Presentación.

I. METODOLOGÍA-PRESENTACIÓN.

Para la elaboración de la metodología de adquisición de perfiles espectrales, se ha considerado que un perfil de reflectancia espectral es representativo de una obra de arte pictórico, en la medida en que contiene en sí, la información espectral de las diferentes partes de la obra, atendiendo a sus variaciones y de una manera proporcionada en su integración final. Al caracterizar espectralmente una obra de arte pictórico, se le considera una distribución aleatoria de color en una superficie. Los factores de la medición que influyen en la caracterización del perfil espectral son esencialmente: que la cantidad de mediciones realizadas en una superficie relevan la generalidad de los sectores del área en estudio con todas las variaciones presentes en el área, y que la información obtenida de los diferentes sectores participe de manera proporcionada en el perfil espectral final (Araujo et al.,2010) [3].

Definición y procesamiento de la muestra.

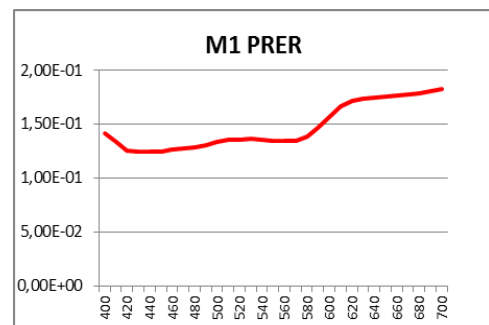
MUESTRA: Reproducciones de obras de arte, de impresión industrial en cartulina blanca mate, tamaño A4. Se eligió un primer conjunto de obras de arte moderno, el cuadro "Composición en Azul, Amarillo y Rojo, 1921" de Piet Mondrian, denominado M1 y tres obras de Paul Klee, "Plancha de color QU1", llamado M2; "Arkitekturder", en adelante M3 y "Highway" o M4 (Fig. 1).



Fig.1 .Muestras de obras de arte utilizadas

En la primera fase, se realizaron mediciones de reflectancia espectral de los colores presentes en las reproducciones de obras de arte. El criterio adoptado ha sido medir en tamaño constante, los diferentes colores y todos los cambios que se detectan en las reproducciones de obras de arte en cantidad suficiente para establecer una caracterización adecuada de la misma, en cuatro cuadrantes, como se indica en la figura 1. La medición se realizó en una cabina construida para tal fin, con superficies internas pintadas de blanco, textura uniforme y un soporte para las muestras. El foto-espectroradiómetro empleado fue el Photoresearch Spectrascan PR 715. Las fuentes utilizadas para la medición han sido lámparas de incandescencia, alimentadas con corriente eléctrica continua regulada a 54 Amperios.

Se obtiene el perfil de reflectancia espectral representativo (P.R.E.R) de las muestras. El procedimiento aplicado para la elaboración de los P.R.E.R, ha sido realizar un promedio de todas y cada una de las mediciones espectrales en cada uno de los cuadrantes en los que se han dividido previamente las obras, obteniéndose el perfil de reflectancia espectral para cada uno de los cuadrantes, que a su vez, se promediaron entre sí para obtener el Perfil de Reflectancia Espectral (P.R.E.) de cada una de las muestras. Al momento de ponderar el valor de cada medición espectral y su consecuente participación en la integración final del perfil de reflectancia espectral, se ha optado por un criterio de ponderación doble: el primero de los métodos empleados ha sido obtener un coeficiente de ponderación de área (C.P.A.), considerado como aquél que expresa la representatividad de cada medición de uno o más colores en función del área total del objeto. El coeficiente de ponderación de área (C.P.A.) obtenido para cada medición se multiplicó luego por el perfil espectral de la medición correspondiente. Con este paso del procedimiento, se obtuvo una relación ponderada del valor de cada una de las mediciones en la integración del Perfil de Reflectancia Espectral de cada una de las muestras. El segundo método de ponderación se ha obtenido analizando los histogramas de la imagen digital de las reproducciones. El criterio utilizado ha sido relacionar la distribución de píxeles RGB del histograma de cada una de las mediciones de los sectores parciales del objeto, deduciendo la proporción que tal distribución representa dentro del histograma RGB de la imagen total de cada objeto de la muestra. Ese coeficiente de píxeles (C.P.) se multiplicó por el perfil espectral de las mediciones, obteniéndose una relación de ponderación para cada medición, que se compara con la del método geométrico. De lo anterior surge para cada objeto de la muestra, el que se considera su Perfil de Reflectancia Espectral Representativo (P.R.E.R.) (Fig. 2).



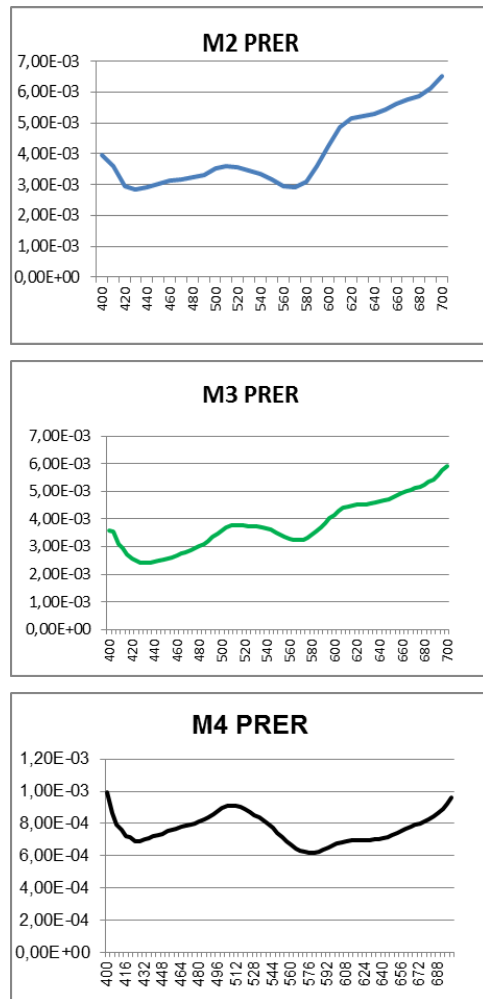


Fig.2. Perfiles de reflectancia espectral representativos (P.R.E.R.) de los objetos de la muestra.

I. EVALUACIÓN DE LOS ILUMINANTES SEGÚN LA PRESERVACIÓN Y LA PRESENTACIÓN

Uno de los objetivos del trabajo es elaborar un método de selección y evaluación de los iluminantes CIE, con el propósito de contar con un menú de perfiles de iluminantes susceptibles de ser cargados en un iluminador de emisión regulable, que pudiesen cumplir aceptablemente con las misiones de presentación y preservación al iluminar el objeto de exhibición. Se ha utilizado un criterio de evaluación de los iluminantes CIE consistente en lo siguiente: a) Seleccionar los perfiles de iluminantes más cercanos y/o coincidentes en su forma a la del perfil de reflectancia espectral representativa (P.R.E.R.) de la muestra que se desea iluminar. b) De entre los perfiles seleccionados con el criterio arriba descrito, establecer un ranking de preferencia en función del menor desfase de correspondientes mediciones espectrales de la emisión resultante en cada uno de los casos. Con los resultados de las mediciones de emisión de los perfiles MATCH, se ha realizado el cálculo de la diferencia de color CIELAB (1976) de los colores presentes en el objeto de la muestra, bajo la emisión de un Iluminante D65, comparados con

potencia existente entre el perfil de emisión del iluminante y el de reflectancia del objeto, especialmente en el rango de 400 nm. a 500 nm., donde se encuentra el mayor riesgo de daño por absorción energética para la muestra u obra a ser iluminada. c) Descartar los perfiles de iluminantes CIE cuya forma acuse saltos y/o pronunciadas variaciones en favor de aquellos cuya forma es más suavizada entre valles y picos, debido a que el daño por absorción de energía en objetos es sensible a tales picos y/o grandes saltos energéticos, aspecto que se agudiza en función de la menor longitud de onda en la que pueden llegar a producirse (Miller, 2006) [4].d) Diseñar el perfil de emisión de un iluminante a partir del perfil de reflectancia espectral representativo (P.R.E.R.) de cada una de las muestras (M1, M2, M3 y M4), cuya forma sea idéntica y coincidente a la del P.R.E.R. de la muestra correspondiente, a la que se dota de una potencia de emisión. Al perfil del iluminante diseñado se ha dado en llamar MATCH 1,2,3 o 4, según el objeto de la muestra de la que procede su diseño.

Por otra parte, la hipótesis del presente trabajo implica cumplir adecuadamente la función de presentación. Se trata de evaluar la calidad de presentación de los colores presentes en la muestra, iluminados con una emisión cuyo perfil espectral provenga de la selección de iluminantes CIE o bien sea el perfil del iluminante diseñado como MATCH para el objeto. El criterio ha sido el siguiente: tomar como referencia el Iluminante D65, ya que es el Iluminante que se emplea más extensamente para mediciones de color y realizar el cálculo de la diferencia de color en unidades CIELAB (1976) entre los colores presentes en la muestra, iluminados bajo el perfil de emisión espectral del D65 y los mismos colores, iluminados con los perfiles seleccionados entre los iluminantes CIE. Asimismo, se calculó la diferencia de color entre los colores de un objeto bajo el iluminante D65, comparados con los mismos colores bajo el Iluminante MATCH diseñado para dicho objeto.

I. RESULTADOS.

Luego de realizados los cálculos de diferencia de color, los perfiles MATCH 1,2,3 y 4 se han introducido en un iluminador de lámparas de LED

los mismos colores bajo la emisión medida, proveniente del iluminador cargado con el perfil de emisión MATCH correspondiente al mismo objeto iluminado (TABLA I).

TABLA I

MUESTRA M1	M1	M4	M14
------------	----	----	-----

Cálculo	3,65	2,70	1,39	
Experimental	3,64	2,69	1,38	
MUESTRA M2	M2 19	M2-47	M2b-20	M2c-12
Cálculo	2,30	2,13	1,30	1,19
Experimental	3,07	2,56	1,89	1,39
MUESTRA M3	M3 c8	M3 45	M3 b6	M3 d5
Cálculo	2,19	2,98	0,24	0,33
Experimental	2,19	2,98	0,25	0,33
MUESTRA M4	M4 a50	M4 e33	M4 g40	M4 c50
Cálculo	0,22	0,11	0,44	0,06
Experimental	0,22	0,11	0,44	0,06

a. Resultados de la diferencia de color CIELAB (1976) para las muestras bajo MATCH 1-4 y D65.

II. CONCLUSIONES.

Se encuentra en desarrollo una metodología de selección de fuentes para su implementación en museos, que se ha testado en unas primeras muestras con buenos resultados tanto en la etapa de cálculo como en la experimental, en general las diferencias de color están por debajo de 3 unidades CIELAB (1976). La información de perfiles espectrales puede ser utilizada del modo propuesto, en un sistema de iluminación que permita regular el nivel y el espectro de la emisión de luz que se proyecta sobre un objeto. Lograr una interacción controlada entre la información espectral proveniente del objeto a iluminar y la radiación visible emitida por una fuente, supondría un avance significativo en el grado de precisión con el que se administra el deterioro de objetos de museo, permitiendo al mismo tiempo un adecuado cumplimiento de la presentación.

III. REFERENCIAS.

- [1] CIE. Commission Internationale de L'Eclairage (2004a). "Control of damage to museum object by optical radiation". Commission Internationale de L'Eclairage. Paris. pp: 30
- [2] Thomson, G. (1994). "The museum environment". 2nd Edition ed. Butterworth-Heinemann series in conservation and museology, ed. A. Oddy and D. Lintrum, Oxford, UK: pp. 160-293.
- [3] Araujo, P., Maciel Linhares, J., Cardoso Nascimento, S. (2010). "Colour rendering of art paintings under CIE illuminants for normal and deficient observers". Journal of the Optical Society of America: 26 (7) 1668-1677.
- [4] Boyce, Peter R. (2006). "New approaches to lighting". Butterworth - Heinemann. Oxford, UK: pp. 5-13.

IV. BIOGRAFÍAS.

Fernando Arana S. Arquitecto UNLP en 1996. Máster en Arquitectura, Energía y M.A. (UPC) Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña en 2014. Docente e investigador de la Universidad Nacional de Tucumán. Doctorando en Ingeniería óptica (UPC).

Jaume Pujol R. Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Autònoma de Barcelona en 1981 y doctorado en la misma Universidad en 1990. Es Catedrático de Universidad del Departamento de Óptica y Optometría de la Universidad Politécnica de Cataluña, en la actualidad es director científico de dicho centro. Actividad investigadora focalizada fundamentalmente en los campos de la Óptica Fisiológica y el Color. Ha publicado más de 60 artículos en revistas internacionales de impacto y ha presentado más de 150 comunicaciones a congresos.

Raúl Ajmat. Arquitecto UNT. Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente. PhD in Architectural Design, De Montfort University, Reino Unido. Profesor de la Universidad Nacional de Tucumán. Investigador del Instituto de Investigaciones en Luz, Ambiente y Visión CONICET-UNT.

José Sandóval. Ingeniero Electricista UNT. Profesor e investigador Universidad Nacional de Tucumán. Investigador del Instituto de Investigaciones en Luz, Ambiente y Visión CONICET-UNT.