



ASOCIACION ARGENTINA
DE LUMINOTECNIA
REGIONAL BUENOS AIRES

XV Jornadas Argentinas de Luminotecnia

Ciencia y Tecnología de la luz al servicio del ser humano y del medio ambiente



CIUDAD Y AMBIENTE

ARTE Y ARQUITECTURA

CALIDAD DE VIDA

INDUSTRIA Y ACADEMIA

Libro de Resúmenes

1, 2 y 3 de junio de 2022 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ISBN 978-987-20335-9-0



am **OSRAM**



XV Jornadas Argentinas de Luminotecnia

*“Ciencia y tecnología de la luz al servicio
del ser humano y del medio ambiente”*



Libro de Resúmenes

1, 2 y 3 de junio de 2022

Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Memorias de las XV Jornadas Argentinas de Luminotecnia Luz 2022 : Ciencia y tecnología de la luz al servicio del ser humano del medio ambiente / Sophia Heredia ... [et al.] ; compilación de Gustavo Alonso Arias. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Asociación Argentina de Luminotecnia - AADL, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga

ISBN 978-987-20335-9-0

1. Arquitectura . 2. Ingeniería. 3. Diseño. I. Heredia, Sophia. II. Alonso Arias, Gustavo, comp.

CDD 621.32

Permitida la reproducción parcial o total del contenido, citando la fuente y con autorización previa a AADL, contactando a: aadlcentro@gmail.com

Información editorial

Coordinación General

Tec. Gustavo Alonso Arias: galonsoarias@gmail.com

Tec. Carlos Suárez: cnsuarez@gmail.com

Sr. Jorge Menéndez: jorge@editores-srl.com.ar

Dis. Fernando Mazzetti: fernandomazzetti01@gmail.com

Tec. Guillermo Valdetaro: g_valdetaro@yahoo.com.ar

Diseño y publicaciones

Agustina Alonso Cristeff (UBA)

Bárbara del Fabro (AADL-Centro)

Sophia Heredia (UNT - AADL)

Comité Académico

Ing. Hugo Allegue (AADL-BA)

Mag. Ing. Mario Raitelli (UNT - AADL)

Dr. Eduardo Manzano (UNT - AADL)

Arq. Carlos Zoppi (UNC - AADL)

Dra. Beatriz O'Donell (UNT - AADL)

Dra. Andrea Pattini (CONICET - AADL)

Dra. María de los Rosarios Mattivi (UNM - AADL)

Dr. Luis Issolio (UNT - AADL)

Ing. Pablo Ixtaina (LAL-CIC - AADL)

Dr. Fabio Vincitorio (UNP - AADL)

Mag. Ing. Fernando Deco (UNR - AADL)

Dr. Oscar Preciado (UNT - AADL)

Ing. Luis Deschères (UBA - AADL)

Ing. Miguel Maduri (UNC - AADL)

Coordinación

Tec. Gustavo Alonso Arias (AADL-BA)

PRESENTACIÓN

Extraído de crónica de LUZ 2022, el 27 de julio de 2022 en aadl.com.ar por Ing. Miguel Maduri

Luego de dos años de haber padecido Argentina y el mundo la pandemia COVID-19, la Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL), pudo organizar a través del Centro Regional Buenos Aires, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), las XV Jornadas Argentinas de Luminotecnia (LUZ 2022), del 30 de mayo al 03 de junio del presente año en el auditorio del Consejo Profesional de Ingeniería Mecánica y Electricista (COPIME), sito en Pasaje Del Carmen 776, de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Ver Fig. 1). Es de aclarar que las jornadas originalmente estaban previstas para ser realizadas en el 2021.



Fig. 1 – Fachada del COPIME

XV Jornadas Argentinas de Luminotecnia.

Las Jornadas Argentinas de Luminotecnia, en sus inicios eran de alcance nacional, hoy su trayectoria excede ampliamente las fronteras de nuestro país no solo desde el punto de vista de la participación de expositores con sus trabajos e investigaciones en luminotecnia, sino también por la asistencia de profesionales y alumnos ávidos de capacitación que asisten presencialmente y/o que siguen las jornadas, en esta oportunidad vía el canal de YouTube.

Las jornadas en esta oportunidad se desarrollaron bajo el lema "*Ciencia y tecnología de la luz al servicio del ser humano y del medio ambiente*". El comité académico junto a las autoridades de las Jornadas previó que todos los inscriptos a las mismas puedan participar como mínimo de algunas de las siguientes actividades:

- ❖ Conferencias magistrales por especialistas invitados al evento
- ❖ Presentación de los trabajos en forma presencial y/o virtual
- ❖ Visitas guiadas a obras de iluminación de la ciudad Autónoma de Buenos Aires. (Ver visitas realizadas)
- ❖ Cena de camaradería
- ❖ Cursos y talleres de la especialidad (Ver cursos realizados)

En función de dichas actividades, las jornadas se desarrollaron desde el 30 de mayo hasta el 03 de junio del presente año.

COMITÉ ACADÉMICO:

El comité académico del congreso estuvo integrado por los siguientes profesionales y docentes luminotécnicos: Ing. Hugo Allegue, Mag. Ing. Mario Raitelli, Dr. Eduardo Manzano, Arq. Carlos Zoppi, Dra. Beatriz O'Donnell, Dra. Andrea Pattini, Dra. María de los Rosarios Mattivi, Dr. Luis Issolio, Ing. Pablo Ixtaina, Dr. Fabio Vincitorio, Mag. Ing. Fernando Deco, Dr. Oscar Preciado, Ing. Luis Deschères y el Ing. Miguel Maduri. El coordinador del Comité fue el señor Gustavo Alonso Arias (Pte. de la Regional AADL Buenos Aires).

La presentación y exposición de los trabajos estuvo clasificada en las siguientes áreas:

ÁREAS TEMÁTICAS

1. LUZ, CIUDAD Y AMBIENTE

- Iluminación exterior y vial
- Contaminación lumínica e impacto ambiental
- Eficiencia energética y aspectos económicos de la iluminación exterior
- Planes directores y Sistemas de Gestión de la iluminación

2. LUZ, ARTE Y ARQUITECTURA

- Diseño de la iluminación arquitectónica
- Integración de la luz natural y artificial
- Eficiencia energética y aspectos económicos de la iluminación interior
- Arte lumínico - Luz y patrimonio

3. LUZ, INDUSTRIA Y ACADEMIA

- Avances tecnológicos en iluminación
- Diseño de luminarias
- Mediciones de la luz y la radiación.
- Fotometría y Colorimetría.
- Educación en iluminación y formación profesional.

4. LUZ y CALIDAD DE VIDA

- Visión y color.
- Iluminación centrada en el ser humano. Iluminación integradora.
- Fotobiología y fotoquímica. Radiación germicida en respuesta a COVID-19

Las jornadas contaron con el patrocinio de las siguientes empresas e instituciones:

SMARTMATION, AmS OSRAM, IEP, CREE LED, BELTRAM Iluminación, CADIEEL y la Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL), siendo sus logos identificatorios los siguientes:



Las siguientes instituciones auspiciaron las Jornadas:

El Consejo Profesional de Ingeniería Mecánica y Electricista (COPIME), La asociación de Higienistas Ocupacionales y Ambientales de la República Argentina (AHRA), El Grupo Argentino del Color, La facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán (facet), La Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, siendo declaradas de interés académico por el honorable Consejo Directivo de la misma, la Facultad de Ingeniería de Oberá – Misiones y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue. Siendo sus logos publicitarios los siguientes:



Los días previos a las jornadas, es decir el 30 y 31 de mayo, se realizaron dos cursos.

CURSOS

“La Semiótica aplicada al Diseño de la iluminación arquitectónica” con dos jornadas de 4 Hs cátedra cada una (30 y 31 de mayo), curso que fue dado por: Mgter. Ing. Mario Raitelli y el Dr. Javier Santillán, docentes de la Universidad Nacional de Tucumán.

“Telegestión de Alumbrado Público”

Definiciones básicas para implementar y obtener resultados con un sistema de telegestión de Alumbrado Público - Casos de éxito, fue dado el 31 de mayo, por el Sr. Guido Kevin Justo, de la empresa Smartmation.

CONFERENCIAS

Durante el desarrollo de las jornadas, los asistentes participaron de seis conferencias

- “Contaminación luminosa. Efectos sobre la salud, el medio ambiente y la astronomía” por Prof. Sanhueza, Pedro - Chile. (Director de la Oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile - OPCC)
- “La iluminación en estado de cambio” por la Dra. O’Donell, Beatriz - Argentina.
- “Iluminación dinámica - La cuarta dimensión de la arquitectura” por la Arq. Mandel, Sabrina – Argentina.
- “Luz, sombra y movimiento” por Moro, Massimiliano – Italia
- “Energía solar para iluminación e infraestructura básica. Regiones afectadas por huracanes” por Gudemos, Emilio - Argentina
- “Cambios tecnológicos en iluminación. La historia nos muestra el camino a seguir”
Dr. Issolio, Luis – Argentina

PRESENTACION DE EMPRESAS E INSTITUCIONES

Los asistentes, también pudieron asistir a cuatro charlas de empresas e instituciones.

- Proyecto “Confitería El Molino” por el equipo de IEP Iluminación.
- “Iluminación arquitectónica con alto CRI o iluminación color” por CREE – USA
- Presentación de CADIEEL (Cámara Argentina de Industrias Electrónicas, Electromecánicas y Luminotécnicas) por el Ing. Guillermo de Guzmán, presidente de la comisión de iluminación.
- Presentación de WIL (Women in Lighting) por la Arq. Luciana Borgatello, embajadora de WIL en Argentina

VISITAS A OBRAS DE ILUMINACION EN CABA

- “Confitería El Molino” por el equipo de IEP Iluminación (ver foto)
- Visita al Mercado de los carruajes
- Visita al auditorio CCK.



Fig. 2 y 3 – Fachada de la confitería El Molino y su cúpula



Fig. 4 - Visita a Confitería El Molino



Fig. 5 – Cena de camaradería de la Jornada, donde se pueden ver algunas de las mesas de dicha cena.

El día jueves 02 de junio, los asistentes participaron de la tradicional Cena de camaradería. Cena, donde además del evento gastronómico (todo muy rico y variado), se pudo compartir un grato momento, ameno y distendido, que permitió reforzar los lazos entre los participantes de nuestro país y de otros países. (ver Foto).

Podemos concluir que todos los temas presentados fueron importantes y de actualidad, en las cuatro áreas temáticas vistas, como ser aplicación del LED, eficiencia, contaminación lumínica, sustentabilidad, color, iluminación natural, iluminación de edificios, etc. En estas Jornadas, se decidió premiar un trabajo por cada área temática, quedando en cambio el área Luz, arte y arquitectura, con dos premios.

Los trabajos premiados fueron:

- Evaluación de la eficiencia del recambio de luminarias de alumbrado público en San Miguel de Tucumán. Por: Heredia - Preciado - Cabello – Manzano. (Luz, ciudad y ambiente)

- Estrategias de sustentabilidad en iluminación de edificios industriales. Por Diego (Luz, arte y arquitectura)
- Mercado de los Carruajes. Iluminación de un edificio patrimonial. Por Crostelli. (Luz, arte y arquitectura)
- Proyecto de iluminación, Unidad de tuberculosis en Hospital Público de San Salvador de Jujuy. Por Sosa. (Luz y calidad de vida)
- Iluminación y satisfacción en usuarios de un taller de escuela técnica – Por Venchiarutti - Vela Decima – Lazarte. (Luz, industria y academia)

Como ya se mencionó en el inicio de la nota, las “XV Jornada Argentina de Luminotecnia”, estuvo a cargo de los integrantes de la AADL Regional Buenos Aires, a los cuales hay que felicitar por el lugar elegido (COPIME), el trabajo, el esfuerzo, la difusión del evento y la atención brindada, por todos sus integrantes hacia los participantes. El desarrollo de las Jornadas, contó con el apoyo del Comité Académico, la AADL Central y otros Centros regionales y un agradecimiento a: Gustavo Alonso Arias, Carlos Suarez, Jorge Menéndez, Fernando Mazzetti y Guillermo Valdettaro.



Fig. 6 – El Pte. de AADL Regional Bs.As. Gustavo Alonso Arias en la apertura y cierre de las Jornadas.

Es de destacar que el congreso fue realizado en modalidad mixta, es decir en forma virtual y presencial, por lo que se pudo asistir al mismo desde distintas localidades de nuestro país y del exterior. Las grabaciones estarán disponibles próximamente.

La próxima Jornada Argentina de Luminotecnia será, la N°XVI y nos encontraremos en las Termas de Rio Hondo - Provincia de Santiago del Estero, para seguir iluminando el conocimiento!!!



Fig. 7 - Fachada del CCK



Fig. 8 - Congreso en COPIME



Fig. 9 y 10 - Detalles del Mercado de los Carruajes



Fig. 10

A su vez, se pudieron disfrutar las obras de arte lumínico del Estudio Sophya Acosta Lighting Design Studio. Ref.: [//www.sophyaacostald.com](http://www.sophyaacostald.com)



Fig. 11 - Vórtice corpuscular, Sophya Acosta y Luciana Suppich

El artista italiano Massimiliano Moro, realizó una presentación desde Lugano, Suiza de sus obras dinámicas de arte lumínico. Ref.: <https://massimilianomoro.com/>

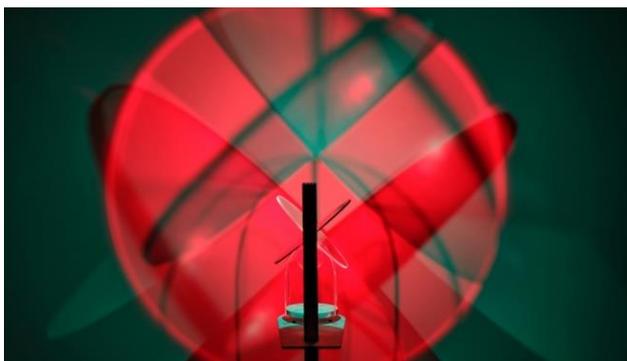


Fig. 12 - Eco Riflesso, 2019. M. Moro



Fig. 13 - Semplici Coincidenze, 2020. M. Moro

El coordinador agradece a los asistentes, a los autores de las ponencias, a los distintos profesionales de las regionales AADL de todo el país, a los integrantes de la regional Buenos Aires, a los organizadores de las jornadas, a los que colaboraron con el diseño de las comunicaciones, al presidente de AADL, y a las autoridades de COPIME por toda la colaboración prestada para llevar adelante estas exitosas XV Jornadas de Luminotecnia en la ciudad autónoma de Buenos Aires.

ÍNDICE DE TRABAJOS

LUZ, CIUDAD Y AMBIENTE

Evaluación de la eficiencia del recambio de luminarias de alumbrado público en San Miguel de Tucumán	13
<i>Heredia - Preciado – Cabello - Manzano</i>	
Características generales del mercado de alumbrado público LED en Chile	21
<i>Galleguillos - Manzano</i>	
Determinación de los niveles de pulsación en luminarias LED destinadas al alumbrado público urbano	29
<i>Chort - Frund - Krenz – Vincitorio</i>	
Uniformidad de las características cromáticas en luminarias LED de alumbrado público	37
<i>Colonna - Ixtaina - Pucheta</i>	
Reconversión eficiente del alumbrado público en la ciudad de Neuquén	42
<i>Maduri – Campiggotto - Elizondo - Simone</i>	
Efectos de la Magno-cartelería LED	52
<i>Santillán</i>	
La iluminación y la percepción de seguridad en el parque Avellaneda de la ciudad de San Miguel de Tucumán	56
<i>Dominguez - Fortuna - Gutiérrez</i>	
Efectos del recambio de luminarias con tecnología LED en una red de BT en Chile	62
<i>Riquelme - Pavez - Ciudad</i>	

LUZ, ARTE Y ARQUITECTURA

La iluminación arquitectónica como fenómeno de comunicación	70
<i>Raitelli</i>	
La iluminación de fachadas del edificio Munt y Edunt	79
<i>Raitelli - Manzano - O'Donell - Valladares</i>	
Luz que te mueve. El papel de la iluminación en la generación de emociones	84
<i>Vara León</i>	

Aproximaciones conceptuales a las etapas del diseño de iluminación	89
<i>Acosta</i>	
La poética del diseño de iluminación	93
<i>Raitelli</i>	
Mercado de los carruajes. Iluminación de un edificio patrimonial	98
<i>Crostelli</i>	
Museo de la luz - Tucumán, Argentina	104
<i>Obando - Soruco - Alcalde - De Paul Camacho - Décima - Elorriaga - Luque - Pérez - Preciado - Sánchez Tripolone - Cormenzana Méndez - Valladares - Caldelari - Contino</i>	
La iluminación y las buenas prácticas de diseño en los espacios comerciales	111
<i>Arroyo Rocha – Mazzetti</i>	
Estrategias de sustentabilidad en iluminación de edificios industriales	121
<i>Diego</i>	
Impacto de las nuevas tecnologías en la iluminación arquitectónica contemporánea. Los LEDs y las nuevas estrategias de diseño lumínico	128
<i>Zoppi - Cortadi - Aguirre Lara - Melacrino</i>	
	
Evaluación microbiológica de la radiación UVC-LED y su aplicación a una máscara respiradora	137
<i>Vincitorio - Marcuzzi</i>	
Luz, visión y factores humanos en guardias obstétrico-ginecológicas. Estudio de casos	148
<i>Paviglianiti - Ruiz - Rodríguez - Pattini</i>	
Sesgos en la evaluación del espacio iluminado en términos de luminosidad espacial	154
<i>Soruco</i>	
Análisis subjetivo del ambiente iluminado en espacios educativos de la facultad de Ingeniería, UNaM	159
<i>Nestor - Mattivi, M.A. - Mattivi, M. de los R. - Prez</i>	
Similitudes y diferencias en la percepción visual de personas de diferentes edades sobre la iluminación	167
<i>Obando - Martín – Tonello – Kirschbaum</i>	
Proyecto de iluminación, programa de tuberculosis en Hospital Público de San Salvador de Jujuy ...	172
<i>Sosa</i>	

LUZ, INDUSTRIA Y ACADEMIA

Iluminación y satisfacción en usuarios de un taller de escuela técnica	176
<i>Venchiarutti - Vela Decima - Lazarte</i>	
Discriminación cromática y rendimiento del color en pintura con iluminación LED	182
<i>Riquelme - Martin</i>	
Patrones de luminancia y calibración de luminancímetros en el INTI	190
<i>Zinzallari - Babaro - Boggio Marzet - Bonanno - Jazwinski - Mantellini - Scatena - Yasan</i>	

LUZ 2022 XV Jornadas Argentinas de Luminotecnia

Ciencia y Tecnología de la luz al servicio del ser humano y del medio ambiente

- Iluminación exterior y vial
- Contaminación lumínica e impacto ambiental
- Eficiencia energética y aspectos económicos de la iluminación exterior
- Planes directores y Sistemas de Gestión de la iluminación

LUZ, CIUDAD Y AMBIENTE



ASOCIACIÓN
ARGENTINA
DE LUMINOTECNIA



Evaluación de la eficiencia del recambio de luminarias de alumbrado público en la ciudad de San Miguel de Tucumán

Sophía HEREDIA¹, Oscar Ulises PRECIADO², Alberto CABELLO³, Eduardo MANZANO⁴

^{1, 2, 3, 4} Depto. de Luminotecnia, Luz y Visión, FACET – Universidad Nacional de Tucumán – ILAV CONICET – San Miguel de Tucumán, Argentina - ¹sheredia@herrera.unt.edu.ar - ²upreciado@herrera.unt.edu.ar - ³acabello@herrera.unt.edu.ar - ⁴emanzano@herrera.unt.edu.ar

Resumen: El consumo excesivo de energía es uno de los principales responsables del calentamiento global. Por esta razón, la eficiencia energética es uno de los ejes centrales en los “Objetivos de Desarrollo Sustentable” de las Naciones Unidas y a nivel local en el “Plan Argentina Innovadora 2030”.

En el marco de este programa nacional se enmarca el Plan de Alumbrado Eficiente (PLAE) que consiste en otorgar fondos a los municipios para el recambio de luminarias por equipos más eficientes. El municipio de la ciudad de San Miguel de Tucumán fue uno de los beneficiados con el PLAE y en el año 2018 comenzó la sustitución masiva de luminarias.

Para este trabajo se realizó un primer relevamiento en el año 2015, donde el 98,6% de las luminarias usaban lámparas de sodio en alta presión. En el año 2021 se completó un segundo relevamiento donde el 99,2% de las luminarias son de tecnología LED.

Este trabajo muestra una comparación entre las dos instalaciones de alumbrado con respecto a los requerimientos mínimos de iluminación exigidos por la normativa argentina. Posteriormente, expone una evaluación energética y el cálculo de las emisiones de CO_{2eq} asociadas al consumo de energía. Finalmente se realizan otro tipo de comparaciones entre ambas instalaciones con el fin de establecer ventajas y desventajas en términos estéticos, de mantenimiento, apariencia, seguridad y sustentabilidad.

Los resultados muestran que el consumo de energía ha disminuido en un 48,8% y se han dejado de emitir más de 1.077 tCO_{2eq} anualmente.

Palabras claves: alumbrado público, LED, iluminación urbana.

Abstract: Excessive energy consumption is one of the main causes of global warming. Because of this, energy efficiency is one of the central axes in the "Sustainable Development Goals" of the United Nations and it is also included in the Argentine local strategy in "Plan Argentina Innovadora 2030".

In the framework of this National Program, the Efficient Lighting Plan (PLAE) is contained, which awards funds to city halls in order to replace existing lighting fixtures with more efficient ones.

San Miguel de Tucumán city hall benefited with the PLAE program and as a consequence of it, in 2018 It began a massive replacement of luminaires.

Initiating this work, a survey was carried out in 2015, It's results showed that 98,6% of the luminaires used high-pressure sodium lamps. A second survey was completed in 2021, where 99,2% of the luminaires found were LED technology.

This work shows a comparison between the two lighting installations in terms of the minimum lighting requirements demanded by Argentine regulations. Subsequently, exposes about an energy evaluation and calculation of CO_{2eq} emissions associated with energy consumption. Finally, other comparisons were made between both installations in order to establish advantages and disadvantages in terms of aesthetics, maintenance, appearance, safety and sustainability.

The results show that energy consumption has decreased by 48,8% and more than 1,077 tons of CO_{2eq} emissions have been avoided annually.

Key words: LED, street lighting, urban lighting

I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es el incremento en las temperaturas de la superficie de la Tierra causado predominantemente por actividades humanas. Entre ellas podemos destacar la deforestación, los desechos industriales y los procedentes de la ganadería, los fertilizantes utilizados en la producción agrícola, la producción de energía eléctrica con combustibles fósiles, etc. Todas estas actividades incrementan la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Los sistemas de iluminación consumen energía por lo que su uso racional y eficiente puede significar importantes beneficios como la disminución de los costos de operación, una menor demanda en la red eléctrica y una reducción en el impacto ambiental al emitir menos gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Por esta razón, la eficiencia energética es uno de los ejes principales en los “Objetivos de Desarrollo Sustentable” de las Naciones Unidas [1] y a nivel local en el “Plan Argentina Innovadora 2020” y su reciente versión 2030 [2].

En el marco de este plan propuesto por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación, nace el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE) [3] dentro del cual se enmarca el Plan de Alumbrado Eficiente (PLAE) [4] que consiste en otorgar fondos a los municipios para el recambio de luminarias por equipos más eficientes.

El municipio de la ciudad de San Miguel de Tucumán fue uno de los beneficiados con el PLAE y en el año 2018 comenzó la sustitución masiva de luminarias en gran parte del municipio.

Este trabajo presenta el relevamiento y estudio del recambio de luminarias en el centro del municipio enmarcado entre 4 avenidas principales de la ciudad: avenidas Sáenz Peña-Avellaneda, Sarmiento-Belgrano, Ejército del Norte-Colón y Kirchner-Roca.

II. CLASIFICACIÓN DE VÍAS

Dentro del área de estudio se relevaron 4.892 puntos de luz y las instalaciones de alumbrado se clasificaron de acuerdo con los siguientes aspectos:

A. Según su geometría

Se recopiló información en el área, como el diseño de la instalación, el ancho de la calle (w), el espacio entre postes, la altura de la luminaria de montaje (h), la saliente (o), el ángulo de inclinación (δ) y se identificaron los diferentes diseños y características de la iluminación urbana. Sólo se consideró la iluminación funcional de la carretera para esta investigación, por lo que las calles peatonales, plazas, parques, etc., están fuera del alcance de este estudio.

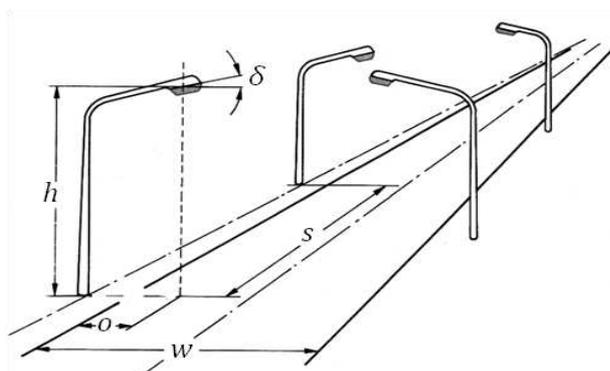


Fig. 1: Esquema de una vía de tránsito para su identificación geométrica.

Con base en la información proporcionada por la municipalidad y verificada por mediciones, se identificaron tres tipos de carreteras de acuerdo con su tamaño:

- calzada simple, dos carriles, ancho de carril de 3,5 m y ancho de acera de 2 m;
- calzada simple, tres carriles, ancho de carril de 3 m y ancho de acera de 3,5 m; y
- calzada doble, tres carriles por calzada, ancho de carril de 3 m, ancho de acera de 4 m y reserva central de 1 m (3 m para instalación tipo V).

En la figura 2 podemos ver en qué sectores del cuadrante estudiado se encuentra cada tipo de carretera.

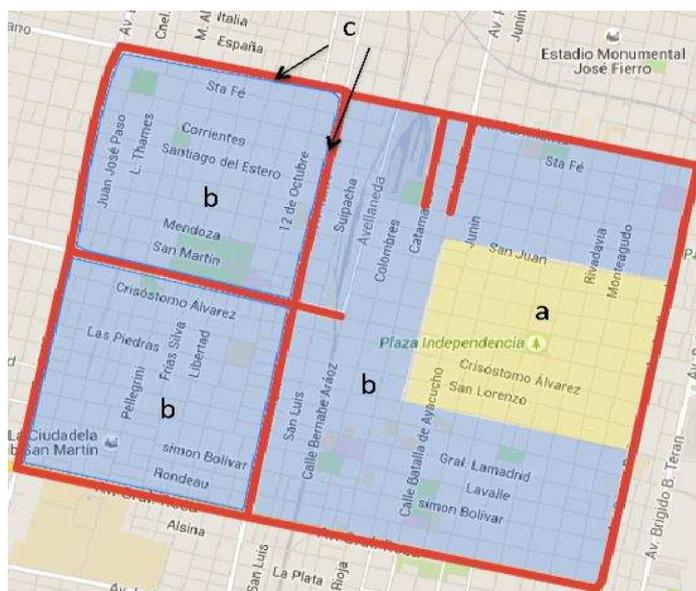


Fig. 2: Plano del área relevada. Clasificación de las vías de tránsito según su geometría.

B. Según la norma IRAM AADL J2022-2

Todos los estándares establecen una clasificación de carreteras [5] de acuerdo con criterios tales como la densidad del tráfico, la velocidad de los vehículos, la presencia de peatones, etc. Con base en estos factores, hicimos una clasificación de carreteras del centro de la Ciudad de San Miguel de Tucumán.

En general, se distinguieron cuatro tipos de carreteras:

- Carreteras principales con autovía y velocidad de hasta 60 km/h. Clase tipo C. Las avenidas periféricas en la zona son un buen ejemplo de esta vía. Este tipo de carreteras representa el 37,5% de la potencia total de iluminación instalada en el área.
- Carreteras secundarias con densidad de tráfico vehicular de moderada a alta. Hay una importante presencia de áreas comerciales y residenciales. Clase tipo D. Las carreteras con estas características representan el 33,9% de la potencia total de iluminación en el área.
- Carreteras primarias o colectoras que conectan el tráfico entre las carreteras principales. Tienen alta densidad de tráfico y alta presencia peatonal. Clase tipo E. Las avenidas típicas que cumplen con esta definición son aquellas que cruzan el centro de la ciudad. La potencia de iluminación instalada para estas carreteras alcanza el 8,1% del total.
- Carreteras residenciales con presencia peatonal moderada y tráfico vehicular bajo a moderado. Clase tipo F. Las carreteras con estas características alcanzan el 20,5% de la potencia total de iluminación instalada.

C. Según el tipo de luminaria

En cuanto a los tipos de luminarias, en el año 2015 pudimos identificar 6 tipos distintos, 5 de estos son lámparas de HPS y sólo 1 (marca Philips) con LED (tabla 1).

En el año 2021 se relevaron 8 modelos de luminarias distintas, de estos, 7 luminarias LED y 1 de HPS.

Teniendo en cuenta los tipos de calzada (geometría), los tipos de vías de tránsito y los tipos de luminarias se resolvió hacer una clasificación de 17 tipos distintos en el 2015 y 27 tipos en 2021 de distintas combinaciones que se encuentran en el área relevada de la ciudad.

	Strand RC800	400 W	55000 lm
	Strand MBA70	250 W	32000 lm
	Strand JC250	150 W	16500 lm
	Strand RS150	150 W	16500 lm
	Strand NC4V	150 W	16500 lm
	Philips BEP L1 128	200W	21300 lm

Tabla I: Tipos de luminarias instaladas en el año 2015

	Philco 1 módulo	50W	6500lm
	Philco 2 módulos	80 W	11000 lm
	Philco 3 módulos	120 W	18000 lm
	Philips BEP L1 128	200 W	21300 lm
	Strand RS160	80 W	7000 lm
	Strand RS320	160 W	14000 lm
	GE	70 W	9500 lm
	Strand NC4V	150 W	16500 lm

Tabla II: Tipos de luminarias instaladas en el año 2021

III. MÉTODOS Y MATERIALES

Para abordar este análisis y poder hacer la comparación del recambio, se llevaron a cabo dos relevamientos en el área central de la ciudad, el primero se realizó en el año 2015 y el segundo en el año 2021. Cabe destacar que el recambio de luminarias se realizó sobre la misma postación, se utilizaron las mismas columnas, con la misma inclinación del brazo pescante y saliente que se tenía.

En el año 2015, la tecnología LED empezaba a llegar a la Argentina y comenzaron las primeras pruebas en Tucumán. De un total de 4892 puntos de luz, 4822 correspondían a luminarias de HPS y sólo 70 luminarias eran de LEDs, representando el 1,4% del total relevado.

En el segundo relevamiento, el año 2021 la cantidad de luminarias LED era de 4.853 correspondiendo a casi un 99,2% y sólo quedaba un 0,8% de luminarias con HPS, es decir, 39 luminarias.

Sobre estos 2 relevamientos se hizo un análisis cuantitativo y cualitativo de las principales características a considerar para poder hacer un análisis global del recambio.

IV. RESULTADOS

A. Cumplimiento de la Norma

La norma argentina IRAM-AADL J2022-2 propone una clasificación de vías de tránsito y exigencias a cumplir en cada uno de estos tipos de vías.

En cuanto a la iluminancia media (E_m), en el año 2015 el 100% de las luminarias instaladas en las vías de tránsito cumplían con las especificaciones de la norma pero en el año 2021 el valor bajó a un 77,8% de cumplimiento.

Las especificaciones de la norma incluyen 2 tipos de uniformidades, ambas han disminuido sobre todo la G2 (E_{min}/E_{max}) que descendió de 88,3% a 29,6% de cumplimiento.

Otra característica para analizar, que si bien no está especificada en la norma pero está dentro de las especificaciones del PLAE para el recambio de luminarias LEDs, es la eficacia luminosa. En 2015, la eficacia de las luminarias instaladas estaba entre 85 y 115 lm/W. Con las nuevas tecnologías ya se están alcanzando los 150 lm/W. Finalmente mencionar que todavía aparecen luminarias con eficacias de 85 lm/W en el 2021 porque queda un 0,8% de las luminarias de HPS instaladas.

B. Sobredimensionamiento

Las normas de alumbrado público, generalmente especifican requerimientos mínimos mantenidos de los niveles de iluminación para cada clase de alumbrado. Sin embargo, no existe un límite superior del nivel de iluminación por lo que es muy común encontrar instalaciones de alumbrado sobredimensionadas que, si bien cumplen con las normas, derrochan energía. En España, existe un reglamento de alumbrado [10] en el que se establece que las instalaciones no deberían superar en más del 20% el valor mínimo mantenido requerido de iluminación. Esto significa, por ejemplo, que si se ilumina una vía de clase C (norma argentina), la cual tiene un requerimiento mínimo inicial de 40 lx, el nivel de iluminación no debería ser mayor de 48 lux de E_m inicial si aplicáramos esta regulación.

En el 2015, de los 17 tipos de instalaciones, 8 instalaciones (26% del total de las luminarias) superaban el 20% de la E_m hasta en un 111% por encima y en el 2021 de los 27 tipo de luminarias 12 tipos (37% del total de las luminarias) superan el 20% hasta en un 92% más. Se hace este análisis porque esto se traduce en una pérdida de eficiencia. Si una instalación está sobredimensionada, este exceso se traduce en más consumo y molestias tanto a los usuarios como al cielo nocturno y a los demás seres vivos.

C. Mantenimiento

Es uno de los aspectos más relevantes y más a favor que tiene este recambio. Podemos analizar en la figura 3 que para las luminarias de HPS se prevé un período de limpieza al segundo año de instalada la luminaria y la misma tiene una vida útil de entre 4 y 6 años aproximadamente [7].

La figura 4 nos muestra una estimación de operaciones de limpieza de las luminarias LED. La cual se estima que debe realizarse por primera vez al quinto año de instalada la luminaria, la siguiente limpieza al año y medio y luego cada año hasta su vida útil de aproximadamente 10 años.

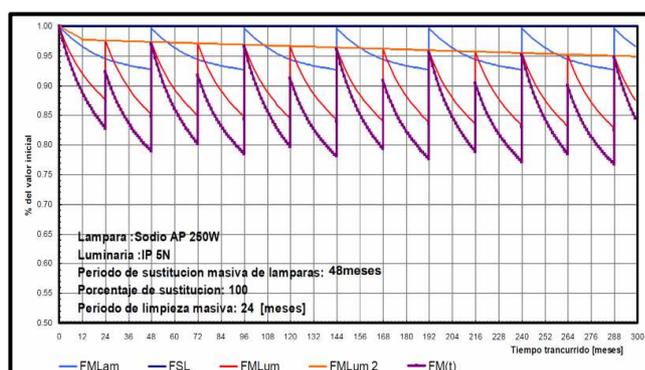


Fig. 3: Depreciación en el tiempo con cambios masivos de lámpara cada 48 m y limpiezas masivas cada 24m para luminarias IP5 a mbiente normal con HPS 250 W. Imagen extraída de: Manzano E. (2016). El mantenimiento y las luminarias LED en iluminación urbana.

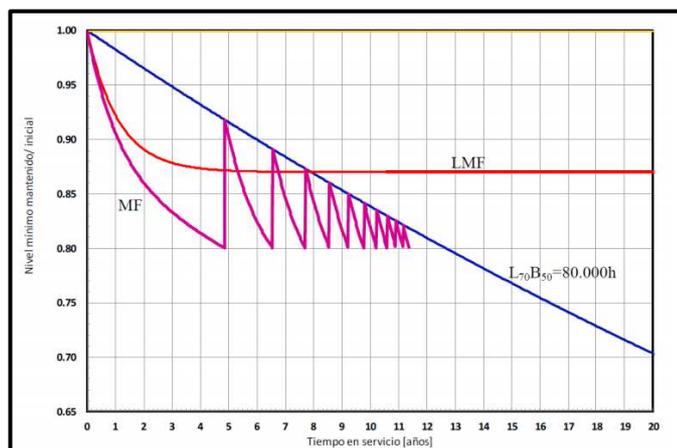


Fig. 4: Estimación de operaciones de limpieza para $MF \geq 0,8$ de luminaria LED IP65 en ambiente urbano con $L70 B50 = 80.000 h$ y 4000 h/año de servicio. Imagen extraída de: Manzano E. (2016). El mantenimiento y las luminarias LED en iluminación urbana.

D. Apariencia

El análisis de apariencia se llevó a cabo de manera cualitativa. A simple vista la comparación de ambas instalaciones presenta cambios significativos, en las imágenes se puede apreciar diferencias en cuanto a color principalmente. Dentro de las especificaciones del PLAE para el recambio de luminarias especifica que éstas tengan un Índice de Rendimiento de Color (CRI) mayor a 70. Las diferencias son grandes ya que se pasó de un CRI de 24 [11] que tienen las luminarias de HPS, a un CRI de aproximadamente 75 [mediciones de laboratorio] que tienen los LEDs. Podemos apreciar colores más puros, más nítidos e intensos. Esto genera mayor sensación de confort para el usuario nocturno tanto peatones como conductores.



Fig. 5: Comparación de Av. Sarmiento 200 (S.M de Tucumán) con luminarias de HPS a la izquierda y luminarias LED a la derecha



Fig. 6: Comparación de Calle Santiago del Estero 1100 (S.M de Tucumán) con luminarias de HPS a la izquierda y luminarias LED a la derecha

E. Consumo

El consumo se analizó primeramente con la potencia instalada. En 2015 la cifra era de 941.015 W y en 2021 bajó a 533.110 W, casi la mitad.

También se hizo el análisis en kW/h/año donde se estimaron 4.121.645 kW/h/año en el 2015 y 2.335.021 kW/h/año en 2021. Esto demuestra un ahorro muy significativo que equivale al 43,3%, lo que corresponden a 956 Tn de CO_{2eq} menos que se liberan a la atmósfera.

V. CONCLUSIONES

Consideraciones para tener en cuenta si el intercambio fue provechoso o no. Se puede ver una mayor eficiencia, una apariencia mucho más agradable, disminución casi a la mitad del consumo lo que deriva en menor contaminación ambiental y un periodo de mantenimiento mucho más grande y menos costoso. Como aspecto negativo está el sobredimensionamiento que si bien existía en el 2015 ahora aparece con más énfasis en los números y un menor cumplimiento de la norma en cuanto a uniformidades. Si bien la balanza tiene un resultado positivo no hay que perder de vista que no hay que descuidar estos aspectos. El recambio debe hacerse de una manera consciente y con estudios previos donde se analizan los tipos de calles, se las clasifica y se busca primeramente cumplir con la norma. El recambio no debe ser simplemente quitar una luminaria y reemplazarla con otra nueva.

VI. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNT proyecto PIUNT E627 y al CONICET por el apoyo económico para desarrollar el trabajo.

VII. REFERENCIAS

- [1] Objetivos de Desarrollo Sostenible. ONU. 2021. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [2] Plan Argentina Innovadora 2030. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/plan-nacional-cti/plan-cti>
- [3] 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.
- [4] PLAE (Plan Alumbrado Eficiente – Ministerio de Energía y Minería), 2021. "Especificación Técnica para la adquisición de luminarias LED de Alumbrado Público". Buenos Aires, 2021.
- [5] Norma IRAM AADL J 2022-2 (1995). Alumbrado Público. Vías de tránsito. Clasificación y niveles de iluminación.
- [6] Norma IRAM 62404-3(2017). "Etiquetado de eficiencia energética de lámparas eléctricas para iluminación general – Lámparas LED". Buenos Aires.
- [7] Manzano E., (2016). "El mantenimiento y las luminarias LED en iluminación urbana", Anales XIII Congreso Panamericano de Iluminación: LUXAMERICA 2016. Fundación Chilena de Luminotecnia- La Serena, Chile.
- [8] S. Heredia, A. Cabello, E. Manzano. (2018). Indicadores de Eficiencia Energética y Calidad Lumínica de Luminarias LEDs para Alumbrado Vial. MEMORIAS – XIV Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2018. Córdoba, Argentina.
- [9] A. Cabello, S. Heredia, 2019. Análisis y Evaluación de la Reconversión de Instalaciones de Alumbrado Público con Luminarias LEDs. Memorias XIV Congreso Argentino de Iluminación LUZ 2019. Paraná, Argentina.
- [10] CEI, Comité Español de Iluminación, "Requerimientos Técnicos Exigibles para Luminarias con Tecnología LED de Alumbrado Exterior", Madrid, 2013.
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index

VIII. BIOGRAFÍAS



Sophía Heredia es estudiante del Doctorado en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la Universidad Nacional de Tucumán. Becaria doctoral de CONICET. Es docente de la carrera de grado Diseño de Iluminación de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT.



Oscar Ulises Preciado es Doctor y Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina; Magíster en Ingeniería en Energía por la Universidad Nacional Autónoma de México e Ingeniero Eléctrico Electrónico por la misma universidad. Ha sido becario postdoctoral del CONICET y actualmente se desempeña como profesor e investigador del DLLyV-FACET-UNT.



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 Asociado 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.



Eduardo Roberto Manzano es Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España; Magister en Ingeniería e Ingeniero Eléctrico por la Universidad Nacional de Tucumán. Fue Director del Departamento de Luminotecnia Luz y Visión (DLLyV) FACET UNT (2012-2018), Director del Departamento de Ciencia y Técnica FACET UNT (2018-2022). Director Académico de la Maestría en Luminotecnia (2008-2022). Director de proyectos PICT (2006) CAFP-BA (2009-2017), PIUNT (2005-2022), Programa de articulación y fortalecimiento federal de las capacidades en ciencia y tecnología COVID-19 (2020). Profesor titular del DLLyV asignatura Diseño y Taller de Iluminación exterior. Dirige tesis de postgrado en Maestría en Luminotecnia y Doctorado MAVILE.

Características generales del mercado de alumbrado público LED en Chile

Pedro GALLEGUILLOS RODRÍGUEZ¹ - Eduardo MANZANO²

¹ Laboratorio y Asesorías LAMBDA spa – Santiago, Chile – pgalleguillos@laboratoriolambda.cl

² Depto. de Luminotecnia, Luz y Visión, FACET – Universidad Nacional de Tucumán – ILAV CONICET – San Miguel de Tucumán, Argentina – emanzano@herrera.unt.edu.ar

Resumen: El mercado del alumbrado público e iluminación en general ha presentado una continua transición desde tecnologías tradicionales en base a fuentes de descarga hacia productos con tecnología de estado sólido (SSL). Los primeros recambios masivos tuvieron como principal característica un cambio en el aspecto visual, pasando desde fuentes muy cálidas con un pobre rendimiento cromático a fuentes de luz blanca extremadamente frías.

Desde los primeros recambios masivos de luminarias con fuentes de descarga a alta intensidad (HID) a LED hasta el día de hoy, la tecnología de estado sólido ha presentado importantes avances sobre todo en materia de eficacia luminosa y desempeño a mayores temperaturas de funcionamiento. Algunos factores como el aumento en la preocupación global por utilizar sistemas de consumo eléctrico más eficientes y la reducción de costos en la producción de componentes electrónicos entre otros han influenciado positivamente al crecimiento del mercado de fuentes LED de alta intensidad (HB-LED) que actualmente representa el 46% de la inversión mundial para este tipo de tecnología.

Diversos actores influyen y participan en el mercado del alumbrado público, de entre ellos, los principales roles que constituyen este rubro son: “compradores”, “proveedores”, “certificadores” y “usuarios”. En el mercado actual chileno existen más de 800 mil luminarias LED de exteriores disponibles y aprobadas para su comercialización. Del análisis de las características de estos modelos y de los requerimientos exigidos en procesos de compra, es posible identificar tendencias que permiten establecer estándares técnico-comerciales del estado del arte de la tecnología LED en el mercado del alumbrado público en Chile.

Palabras claves: alumbrado público LED

Abstract: The general and street lighting market has had continuous changes from traditional gas-discharge sources technologies to solid state products technologies (SSL). The main characteristic of this first mass replacement was the change in the visual aspect, from very warm light sources with poor color rendering to very cool white light sources.

From the first massive luminaire replacements with high intensity discharge sources (HID) to LED until today, the solid state technology has presented great improvements, especially in its luminous efficacy and its performance at higher operating temperatures. Some factors such as the global growing concern in using efficient electrical systems and the costs reduction in the manufacturing of electronic components among other factors have had a positive influence in the growth of high-brightness LED (HB-LED) sources market, which represent a 46% of the global investment for this kind of technology.

Many actors, such as buyers, providers, certifiers and users, influence and take part in the street lighting market. Currently, there are more than 800 thousand LED outdoor luminaires available and approved for their commercialization in the Chilean market. From the analysis of the characteristics of these products and the requirements of the purchase process, it is possible to recognize trends that allow us to identify technical and commercial standards of the LED technology art state in the street lighting market of Chile.

Keywords: LED street lighting

I. INTRODUCCIÓN

Desde su introducción en el mercado del alumbrado público, la tecnología de estado sólido (SSL) ha significado asumir importantes cambios y adaptaciones que van desde la transición desde tecnologías tradicionales en base a fuentes de descarga de alta intensidad (HID) hacia productos con tecnología LED; hasta cambios y evolución que la misma tecnología ha sufrido durante todo este tiempo. Los primeros recambios masivos en luminarias de exteriores

en Santiago de Chile comienzan a mediados de la década de los 2000. La principal característica de estos recambios fue el notorio cambio en el aspecto visual, pasando desde fuentes muy cálidas con un pobre rendimiento cromático, sobre todo en el reconocimiento entre tonalidades azules y verdes dado por fuentes de descarga de sodio a alta presión (SAP), a fuentes de luz blanca extremadamente frías del tipo LED.

Para el año 2010, la eficiencia media en luminarias LED de alumbrado público bordeaba los 90 lm/W, y pese a que en términos comparativos la eficiencia efectiva aún no igualaba a la tecnología de SAP, la excelente campaña publicitaria de la tecnología LED – que relacionó exitosamente conceptos como eficiencia energética, cuidado medio ambiental y ahorros en general con esta tecnología – logró insertarla en el mercado y permitir el inicio de un recambio progresivo en el tiempo que para el año 2019, ya alcanzó el 50% del total de luminarias instaladas en exteriores en Chile¹ y se espera que alcance el 100% para inicios de la década del 2030².

De entre los principales factores que han influenciado al crecimiento del mercado global de fuentes LED de alta intensidad (HB-LED) está el reemplazo masivo de luminarias con tecnología convencional a LED, y otros factores como:

- la reducción de costos en los componentes de LED,
- el creciente enfoque por reducir los consumos de energía apoyados por acciones gubernamentales y leyes, y
- el aumento de construcciones sustentables o ecológicas.

Por otro lado, factores como el alto coste inicial o la reducción de rendimiento a altas temperaturas aún actúan como variables restrictivas en el crecimiento del mercado. El continuo crecimiento de la tecnología HB-LED está íntimamente ligada a la mayor demanda de fabricantes por reducir el consumo de energía eléctrica en sus productos, lo que ha conllevado a su vez a mantener costos constantes en investigación y desarrollo. En general, se considera que el costo inicial de la tecnología HB-LED es alto en comparación a tecnologías convencionales, ya que a lo anterior, en la matriz de costos del sistema también se incluyen los costos del circuito y de las fuentes de poder requeridas para su funcionamiento, y es precisamente este costo inicial el que restringe la aceptación de entrada, sin embargo, el costo total al considerar la vida útil del LED se estima menor a otras tecnologías y si se incluye el costo de mantenimiento y de energía eléctrica efectiva consumida la comparación tiende a ser aún más favorable hacia los LEDs y eso lo ha ido aceptando cada vez más el mercado.

En cuanto a inversión el segmento de iluminación general dentro del mercado total de HB-LEDs es el de mayor significancia actual, y en relación al año 2014, ha aumentado su volumen en 2 puntos llegando a poco más de 12.670 millones de dólares, lo que representa un 46% de la inversión total mundial para este tipo de tecnología [7]. En lo que se refiere al sector de alumbrado público, en Chile este representa uno de los principales gastos de energía de Municipios y corresponde a una de las funciones de mayor relevancia de cualquier gestión municipal con independencia de su escala, número de habitantes y complejidad del trazado.

II. ACTORES DEL MERCADO

La adquisición y/o provisión de equipamiento en Chile se realiza mediante la plataforma electrónica Mercado Público, administrada por la dirección ChileCompra. La plataforma se basa principalmente en un sistema donde participan “compradores”, correspondientes a diversos organismos públicos que exponen sus requerimientos mediante licitaciones; Y “proveedores”, correspondientes a empresas de diversa índole que ofertan productos o servicios en respuesta a estas licitaciones.

En el ámbito del alumbrado público, los compradores corresponden a toda entidad u organismo público en Chile. Estas entidades son dependientes o vinculados a la administración general del estado y tienen el deber de satisfacer necesidades de usuarios mediante la adquisición y mantenimiento de instalaciones.

Los principales organismos compradores en Chile son las Municipalidades, las cuales mediante fondos propios o externos establecen las bases Administrativas, Técnicas y Económicas de sus procesos de compra. En total son 343 municipios los existentes en el país, que incorporan en sus procesos de compra las necesidades particulares acorde

¹ Según inventario TE2 2014-2019 de SEC

² Según proyecciones del Ministerio del Medio Ambiente Chile - 2020

a las condiciones propias determinadas tanto por sus características ambientales, tipología de vías y/o rutas, cantidad de población y nivel de ingresos.

Por Proveedor entenderemos a toda empresa o institución fabricante y/o distribuidor de luminarias de exteriores. Con la inserción y masificación de la tecnología LED en el ámbito de la iluminación, la cantidad de empresas comercializadoras de productos de alumbrado público aumentó considerablemente en Chile. En base a los registros de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), el mercado nacional está compuesto por 385 marcas o empresas (de diversos orígenes e inversiones), que comercializan de manera autorizada equipos para alumbrado público en diversas tipologías y aplicaciones

En adición a lo anterior, el mercado del alumbrado público debe responder además a las demandas y necesidades de un tercer grupo o actor que denominaremos “usuario”, el cual posee un rol algunas veces subestimado para la determinación de las características técnicas de los artefactos que se tratan en las operaciones de compra de los organismos del estado. Los usuarios cumplen un rol indirecto en el sistema, pero no menos importante. Si bien, los proyectos de iluminación y características de equipos en la generalidad son desarrollados por especialistas en la materia basándose en normativas y/o reglamentos aplicados al contexto de desarrollo, la finalidad de estos proyectos es satisfacer necesidades visuales y de seguridad, las cuales son abiertamente subjetivas y dependientes de múltiples aspectos que van desde la índole social hasta aspectos personales. Por lo tanto, es absolutamente necesario considerar el entorno no solo desde la perspectiva urbanística sino que también cultural antes de ejecutar cambios que signifiquen mejoras, pues en muchas ocasiones, pese a que estos cambios implican un avance en las condiciones técnicas y de funcionamiento, por simple efecto de contraste instantáneo podría generar un impacto negativo en el usuario que implique en una sensación de inseguridad que perjudique el desarrollo de las actividades como el libre tránsito. Es importante considerar al usuario manteniéndolo informado y por sobre todo educado. Cuando los usuarios poseen conocimientos se hace más simple la adaptación a mejoras.

Un cuarto grupo de actores en el mercado corresponde a organismos encargados de certificar y/o validar el correcto funcionamiento de los productos tranzados. Estas organizaciones ejecutan pruebas y ensayos normados y sus informes funcionan como carta de garantía para asegurar el cumplimiento de ciertas condiciones y características en luminarias y sus componentes.

En Chile, estos organismos corresponden a instituciones encargados de verificar ciertas condiciones de funcionamiento y características constructivas de los equipos de iluminación y sus componentes en base a normas con reconocimiento internacional. Para que estas instituciones puedan “certificar” el cumplimiento de normas debe acreditar que todos sus procesos y procedimientos se ejecuten acorde a la norma ISO17.025 a través de un sistema trazable y replicable.

III. PROCESO DE ADQUISICIÓN

Con la finalidad de transparentar los procesos de compra de los organismos públicos, es que se establecen bases de licitación en donde se definen los parámetros que rigen cada uno de estos procesos. Las normativas y reglamentos de alumbrado público no definen de manera explícita las características de funcionamiento de productos, pues como se ha mencionado con anterioridad, responden principalmente a satisfacer necesidades visuales de usuarios, así, las características de funcionamiento de los productos a utilizar dependerán del estado del arte de la tecnología actual y serán determinadas en base al reglamento y/o norma aplicada y al contexto específico.

En base a lo anterior es que los pliegos de licitación en procesos de adquisición de equipamiento para alumbrado público deberán presentar los requisitos luminotécnicos a satisfacer, las especificaciones técnicas mínimas de funcionamiento de los equipos que permitan cumplir con estos objetivos y las condiciones de evaluación, en donde se evalúa la propuesta más ventajosa en base a los términos descritos. Por lo tanto, además de exigir el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos en los reglamentos o normativas, las bases de licitación también establecerán características como: aspectos formales, aspectos ergonómicos y aspectos funcionales.

Los grandes avances tecnológicos de la tecnología LED han permitido establecer estándares de eficiencia energética cada vez mayores, pero han supuesto una problemática en la estandarización de los procesos de compra que históricamente se han basado en los alcances y características de tecnología de iluminación convencional. Así, la definición de una luminaria ya no puede ser indicada por su potencia únicamente, ya que con la tecnología LED una misma potencia de funcionamiento no asegura un mismo flujo luminoso emitido.

Para una correcta especificación de luminarias es necesario definir aspectos o características específicas en base a los requerimientos particulares de cada instalación o lugar de destino. Muy difícilmente puede definirse un tipo de especificación genérica para toda aplicación, pues las necesidades visuales y características de entorno varían

bastante de un lugar a otro, sin embargo, si es posible definir parámetros de eficiencia energética primarios sobre los cuales se establezcan las variables específicas de cada requerimiento. Una correcta especificación debe caracterizar a la luminaria al menos desde tres dimensiones: Características Mecánicas, Características Lumínicas y Características Eléctricas.

I. Características mecánicas

Las luminarias de exterior normalmente están expuestas a altos niveles de polución, lluvia y exposición al sol y deben ser capaces de mantener sus prestaciones y funcionamiento durante las horas que se requiere. Las características mecánicas corresponden a la definición de los aspectos constructivos, así como:

- la materialidad con la que está constituida,
- el tipo de acceso o registros,
- la tipología de anclaje,
- características de su revestimiento,
- su hermeticidad, y
- resistencia a impactos

La mayoría de estas características pueden ser verificadas por un simple análisis visual, sin embargo, aspectos como el tipo de revestimiento podrá requerir de alguna prueba de adherencia de la pintura o agente aplicado, mientras que el índice de hermeticidad y la resistencia a impactos solo pueden ser verificados mediante pruebas empíricas. Para ellos, las entidades encargadas de adquisición (compradoras), exigen certificados y/o ensayos emitidos por laboratorios que acrediten el grado de hermeticidad del producto en base a la clasificación descrita en la norma IEC 60529 (código IP) [1]; y el nivel de resistencia a impactos en base a la clasificación descrita en la norma IEC 62262 (código IK)[2].

II. Características lumínicas

Corresponden a las características de emisión y/o del efecto visual deseado. Además de especificar el tipo de fuente de luz a utilizar, se definen las características de funcionamiento y distribución de la luz. Estas son:

- flujo luminoso deseado, o bien rendimiento luminoso mínimo esperado obtenido por el cociente entre el flujo luminoso emitido por la luminaria y la potencia consumida por el sistema completo,
- distribución del flujo luminoso (tipología de distribución, nivel de control del haz, emisión hacia hemisferio superior, etc),
- características cromáticas de la luz, ya sea en cuanto a la tonalidad de la radiación luminosa medida en grados kelvin (Temperatura de color correlacionada), o de la forma en que son percibidos los colores bajo dicha luz (Rendimiento de Color),
- vida útil definida en cantidad de horas de funcionamiento hasta un porcentaje determinado de depreciación de flujo luminoso.

Para verificar estas características es necesario ensayar la luminaria en laboratorios de fotometría. Un típico ensayo fotométrico permite obtener la mayoría de la información anteriormente mencionada, sin embargo, se debe tener precaución en verificar las condiciones con las que se ejecutó dicho ensayo para poder ejecutar un correcto análisis posterior

III. Características eléctricas

Corresponden a los aspectos propios del funcionamiento eléctrico, y sus características dependerán principalmente de la red eléctrica del lugar de destino y de las necesidades de emisión de luz. En la actualidad el requerimiento apunta a buscar productos cada vez más eficientes, es decir, que produzcan un buen efecto lumínico con un consumo eléctrico cada vez menor, es por ello que en muchas ocasiones también se incorporan aspectos que regulen el funcionamiento, así como su encendido y apagado, intensidad de carga o incluso vincular el funcionamiento de luminarias con otros dispositivos o equipos. Las características mínimas que se deben definir son:

- potencia de funcionamiento
- rango de tensión admitida y frecuencia de funcionamiento
- protección a sobre tensiones
- pérdidas eléctricas y armónicas del producto en funcionamiento típico o de destino

- factor de potencia del producto en funcionamiento típico o de destino
- control de funcionamiento (control de encendidos y apagados, control de intensidad), y
- clase de aislación eléctrica

La verificación de estos aspectos es de máxima relevancia, pues un mal funcionamiento podría atentar contra la vida de usuarios. Las normativas de seguridad eléctrica impuestas en el país verifican la mayoría de estos factores y definen un estándar de funcionamiento seguro, sin embargo, este estándar no necesariamente asegura el cumplimiento de las especificaciones de eficiencia deseadas por lo cual siempre es necesario solicitar ensayos de parámetros eléctricos que verifiquen el cumplimiento de los aspectos especificados.

IV. MARCO REGULATORIO

Para asegurar el cumplimiento de los objetivos del alumbrado público, debe existir un marco regulatorio de amplio alcance que defina aspectos de calidad en los entornos iluminados, es decir, se enfoquen principalmente en el resultado visual necesario del ambiente o escena, dejando los aspectos técnicos de los productos o artefactos que serán necesarios para cumplir con estos objetivos en manos de la industria y avances tecnológicos.

De manera específica, el alumbrado público está normado por una categorización de áreas en relación a las necesidades visuales particulares de cada una de ellas. Así, diversas normas establecen valores mínimos y máximos a cumplir en cuanto a: niveles de iluminación (iluminancias y/o luminancias), distribución de la iluminación (relación entre los niveles máximos, mínimos y medios de iluminancia y/o luminancia en un área determinada), relación de los niveles de iluminación con el entorno inmediato, deslumbramiento fisiológico y psicológico y aprovechamiento del flujo luminoso.

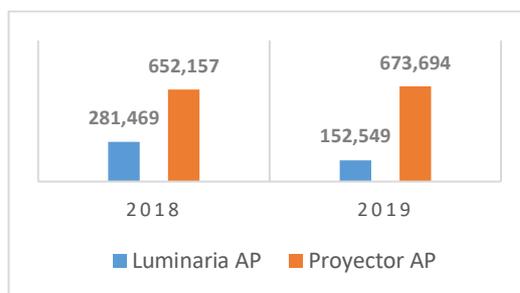
En Chile, la aplicación y supervisión de reglamentación técnica referente al alumbrado público recae principalmente en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) la cual es dependiente del Ministerio de Energía. Desde el año 2014 la reglamentación de alumbrado público está contenida en los siguientes documentos:

- Decreto número 2 del año 2014 del Ministerio de Energía que aprueba Reglamento de Alumbrado Público de Vías de Tránsito Vehicular [4].
- Decreto número 51 del año 2015 del Ministerio de Energía que aprueba Reglamento de Alumbrado Público de Bienes Nacionales de uso Público destinados al Tránsito Peatonal [5].
- Decreto Supremo número 43 del año 2012 del Ministerio del Medio Ambiente que establece Norma de Emisión para la Regularización de la Contaminación Lumínica, elaborada a partir de la revisión del Decreto Supremo N°686, de 1998, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción [6].

V. CATASTRO

En Chile, SEC ha establecido la obligación de certificar el funcionamiento de todo producto eléctrico desde la perspectiva de seguridad eléctrica y prohibición de comercialización de todo producto que no cuente con un sello de aprobación. Esta certificación es ejecutada por organismos acreditados, quienes a su vez tienen la obligación de informar respecto de todo producto aprobado y rechazado. En ese sentido, toda luminaria de exterior también debe ser certificada, esto se ejecuta en base a los protocolos P.E. N°5/07 [8] y P.E. N°5/19 [9] y por lo tanto, todo producto disponible para comercializar está catastrado y registrado.

De acuerdo a estos registros, entre enero del 2018 y agosto del 2019 se aprobaron un total de 1.759.869 luminarias de exteriores correspondientes a un total aproximado de 260 modelos diferentes para ser comercializadas en el país. Un detalle a destacar es que la mayoría de estos productos corresponden a la tipología de Proyectores de Alumbrado Público, este tipo de productos se orienta principalmente a la iluminación de grandes áreas, así como playas de estacionamientos, centros deportivos, algunas áreas verdes, o patios industriales; y es precisamente esta última aplicación la que pudiese justificar tal diferencia, en el entendido de la relevancia económica que tiene la actividad minera en el país.



Esto significa que el mercado posee una amplia gama de alternativas disponibles y por lo tanto tiene la capacidad de satisfacer cualquier necesidad específica de alumbrado público. No obstante, y como se ha mencionado anteriormente, las características específicas de funcionamiento son y deben ser definidas en base al destino. Por tanto, las características técnicas de los productos comercializados realmente son definidas por los compradores (municipios) en respuesta a las necesidades de usuarios.

Un análisis de licitaciones de recambios masivos de alumbrado de exteriores (es decir, recambios a un lote mayor a 1.000 luminarias en un proceso de compra), publicadas en el portal de mercado público durante el año 2019 muestra el siguiente estándar en las características técnicas solicitadas por municipios y otras entidades públicas, el cual se podría definir como el estándar básico de calidad de luminarias de alumbrado público en el mercado chileno al año 2019, determinado principalmente por las características de la tecnología en relación a las demandas de los actores del mercado.

Los datos de la Tabla I han sido obtenidos al analizar las bases técnicas de licitaciones publicadas y/o cerradas en un periodo de un año (septiembre 2018 – agosto 2019). Del análisis llama la atención dos aspectos característicos: Los niveles de rendimiento lumínico y los rangos de temperatura de color exigidos. Respecto de la primera variable, la moda indica un estándar mayor o igual a 110 lm/W, en un rango que oscila entre 80 lm/W y 140 lm/W.

VI. CONCLUSIONES

Muchas de las luminarias analizadas corresponden a productos destinados a parques y plazas los cuales por efecto propio de sus características constructivas pierden mucho flujo luminoso y por tanto su rendimiento lumínico es menor, mientras que, si solo analizamos productos destinados al alumbrado vial, los estándares van por sobre los 120 lm/W.

Características mecánicas	Índice Hermeticidad	IP	≥66
	Resistencia al Impacto	IK	≥08
Características lumínicas	Eficiencia	(lm/W)	≥110
	Temperatura Color Correlacionada	(°K)	3,000 - 4,500
	Rendimiento de Color	CRI	≥70
	Vida Útil	(hrs)	L70 = 50,000
Características eléctricas	THD	(%)	≤20
	Factor de Potencia	CosΦ	≥0,93
	Tensión	(V)	220
	Protección	-	Sobretensión 10kV

Tabla I, Moda de especificaciones técnicas en licitaciones publicadas durante el año 2019

La diversificación de estos números no solo depende de las características constructivas o de diseño de las luminarias, sino que también es una característica muy propia de la tecnología LED que aún no ha alcanzado su madurez y se encuentra aún en proceso de cambios. Los productos comercializados en Chile no necesariamente incluyen un chip o LED package de última generación y por tanto su estándar de eficiencia podría ser distinto al estándar definido para el estado del arte de la tecnología actual. Estos datos muestran un paso por debajo con las proyecciones hechas por la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable del Departamento de Energía de Estados Unidos en 2011 (Tabla II), por lo cual se deduce que aún la brecha de crecimiento es bastante amplia.

Respecto de la temperatura de color correlacionada especificada, la mayoría de las especificaciones analizadas se centran en el rango denominado "Blanco Neutro" que va entre 3.000K y 4.500K. En retrospectiva esto es un gran avance si se compara con los estándares especificados en años anteriores. El mercado ha comprendido que el rendimiento luminoso no es el único aspecto relacionado con eficiencia, y de manera paulatina ha dejado los rangos de altas temperaturas de color correlacionada.

Esta definición también explica la diferencia entre el estándar proyectado por el departamento de eficiencia energética y energía renovable de los Estados Unidos (US EERE) en la Tabla II, ya que dicho cuadro ha sido construido en base al desarrollo de LED packages en tonalidades de color sobre 5.500K que por características propias de la tecnología LED son más eficientes en términos de flujo luminoso emitido (lm) en relación a la potencia consumida (W), por lo cual resulta lógico que al definir tonalidades de color a temperaturas menores o más cálidas, también disminuya la relación de lúmenes por watts.

	2011	2015	2020	Objetivo
Eficiencia del led (lm/W)	97	162	224	226
Eficiencia térmica	0.86	0.88	0.9	0.9
Eficiencia del driver	0.85	0.89	0.92	0.92
Eficiencia de la luminaria	0.86	0.89	0.92	0.92
Total Eficiencia	63%	70%	76%	76%
EFICIENCIA DE LA LUMINARIA lm/W	61	113	171	172

Tabla II, Proyección de evolución del rendimiento de LEDs de US EERE

La vida útil de estos productos es una de las características de luminarias LED que mayor trascendencia han tenido en el éxito de esta tecnología, sin embargo, sabemos que estos abultados números dependen de ciertas condiciones de funcionamiento. El estándar característico revisado indica una depreciación de flujo de un máximo de 30% a 50.000 horas de funcionamiento, este estándar es verificado mediante ensayos de laboratorios en base a la norma IES LM-80 que consiste en medir el decaimiento de flujo luminoso de un grupo representativo de luminarias durante 6.000 horas o más y en base a los resultados obtenidos proyectar el decaimiento a futuro. Debido a los costos de este ensayo (aproximadamente 8 meses de funcionamiento continuo a un lote de al menos 10 luminarias), es muy difícil que algún proveedor de luminarias posea ensayos o certificados efectuados a toda la oferta de luminarias que ofrece, sin embargo, para el caso del package, muchos fabricantes incluyen dicha información dentro del paquete de documentación técnica del producto, pero dado que el comportamiento de un mismo chip LED puede variar drásticamente dependiendo de las características de diseño de la luminaria donde se instala, podemos ver que esta información no es una garantía fidedigna, lo que sugiere la necesidad de establecer protocolos e indicadores de calidad que permitan al usuario tener una noción más precisa respecto de la real vida del producto.

VII. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Tucumán, proyecto PIUNT E627, y al CONICET, por el apoyo en la realización de este trabajo.

VIII. REFERENCIAS

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC) (2002a) IEC 60529 Degrees of protection provided by enclosures (IP code).
- [2] International Electrotechnical Commission (IEC) (2002b) IEC 62262 Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code).
- [3] Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción (2005) Reglamento para la Certificación de Productos Eléctricos y Combustibles, Dto N°298. Chile.
- [4] Ministerio de Energía (2014) Reglamento de Alumbrado Público de bienes Nacionales de uso público de vías de tránsito vehicular. Chile
- [5] Ministerio de Energía (2015) Reglamento de Alumbrado Público destinado al tránsito peatonal. Chile
- [6] Ministerio del Medio Ambiente (2012) Norma de emisión para la regulación de la Contaminación Lumínica, elaborada a partir de la revisión del Decreto Supremo N°686, de 1998 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Chile
- [7] Preeti Bisht (2022) Global HB-LED Market 2014-2022. Allied Market Research.
- [8] Superintendencia de Electricidad y Combustibles (2009) Protocolo de Análisis y/o Ensayos de seguridad de producto eléctrico: Luminaria para Alumbrado Público, P.E. N°5/07. Chile
- [9] Superintendencia de Electricidad y Combustibles (2009) Protocolo de Análisis y/o Ensayos de seguridad de producto eléctrico: Luminaria Proyector o Proyector de Área, para uso en Alumbrado Público, P.E. N°5/19. Chile.

IX. BIOGRAFÍAS



Pedro Galleguillos. CEO Laboratorio y Asesorías LAMBDA spa, es investigador y asesor en Luminotecnia. Diseñador Industrial; Magister en Tecnologías del Diseño; Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (MAVILE), y Candidato a Doctor en Luminotecnia, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Desarrolló su carrera en el ámbito del alumbrado público como diseñador de luminarias y análisis de proyectos de iluminación durante más de 10 años dirigiendo la unidad de I+D de la empresa Aladdin Lighting en Chile. Actualmente a la dirección del laboratorio de fotometría LAMBDA, la medición y/o de niveles luminotécnicos en terreno y asesor en procesos de implementación normativa de iluminación en entes del estado.



Eduardo Roberto Manzano, Es Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España; Magister en Ingeniería e Ingeniero Eléctrico por la Universidad Nacional de Tucumán. Fue Director del Departamento de Luminotecnia Luz y Visión (DLLyV) FACET UNT (2012-2018), Director del Departamento de Ciencia y Técnica FACET UNT (2018-2022). Director Académico de la Maestría en Luminotecnia (2008-2022). Director de proyectos PICT (2006) CAFP-BA (2009-2017), PIUNT (2005-2022), Programa de articulación y fortalecimiento federal de las capacidades en ciencia y tecnología COVID-19 (2020). Profesor titular del DLLyV asignatura Diseño y Taller de Iluminación exterior. Dirige tesis de postgrado en Maestría en Luminotecnia y Doctorado MAVILE.



Determinación de los niveles de pulsación lumínica en luminarias LED destinadas al alumbrado público urbano

Agustín CHORT¹, José Luis FRUND², Mónica KRENZ³, Fabio VINCITORIO⁴

^{1, 2, 3, 4} Grupo GiePI - UTN Facultad Regional Paraná - ⁴ fabiovincitorio@frp.utn.edu.ar

Resumen: Las luminarias destinadas al alumbrado público urbano han evolucionado de las lámparas de descarga a luminarias basadas en tecnologías de semiconductores de estado sólido. Los LED presentan ventajas fundamentales respecto de las lámparas de descarga, así como también inconvenientes en su implementación. Al igual que la tecnología precedente, las luminarias LED dependen en su funcionamiento de equipos auxiliares que tienen la función de regular la corriente que circula por los diodos emisores de luz.

La electrónica sobre la que se sustentan estos equipos auxiliares, comúnmente denominados drivers, presenta diferentes topologías y modos de funcionamiento. Además, diferentes niveles de prestación, desde configuraciones muy elementales a topologías elaboradas con capacidad de controlar cada uno de los parámetros de funcionamiento.

Si bien existen dispositivos de altas prestaciones, la evaluación del desempeño de estos sigue siendo un problema para los usuarios, normalmente entes públicos dependientes de municipios. Instituciones que carecen del instrumental mínimo necesario para la correcta evaluación del desempeño de estos sistemas. Incluso poseyendo instrumental adecuado existen parámetros relevantes que no están siendo correctamente evaluados por no existir sistemas de medición capaces de determinar las reales condiciones de funcionamiento. Este es el caso del parpadeo de alta frecuencia que se genera en luminarias LED cuando la corriente de salida del driver no es de tipo continua. Los LED son componentes que responden a frecuencias ópticamente elevadas por lo que el parpadeo es imperceptible para el ojo humano pero que presenta un riesgo latente por el denominado efecto estroboscópico. Cuando los LED son excitados por una corriente discontinua estos se apagarán cuando la tensión de polarización caiga debajo del nivel mínimo.

En este trabajo se muestra los resultados de evaluación de diferentes luminarias con diferentes señales de excitación de los LED mediante el uso de una punta de medición para osciloscopios capaz de registrar la señal de iluminancia con frecuencias ópticamente elevadas. Este dispositivo que ha sido desarrollado por el GiePi, resulta una solución adecuada para la determinación de esta variable.

Los resultados obtenidos indican diferentes modos de operación, desde una emisión totalmente continua a verdaderas pulsaciones ópticas de alta frecuencia óptica

Palabras claves: parpadeo, drivers, LED.

Abstract: Lighting system for urban public lighting have evolved from discharge lamps to Lighting system based on solid-state semiconductor technologies. LEDs have fundamental advantages over discharge lamps as well as problems in their use. Like the previous technology, LED Lighting system depends on auxiliary equipment for its operation, which have the function of regulating the current that circulates through the light-emitting diodes.

The electronics on which these auxiliary equipment are based, commonly called drivers, have different topologies and operating modes

Although there are high-performance devices, the evaluation of their performance continues to be a problem for users, normally public entities dependent on municipalities, institutions that lack the minimum necessary instruments for the correct evaluation of the performance of these systems. There are relevant parameters that are not being correctly evaluated because there are no measurement systems capable of determining the actual operating conditions. This is the case of high-frequency flickering that is generated in LED Lighting system when the driver output current is not continuous. LEDs are components that respond to optically high frequencies, so the flicker is imperceptible to the human eye, but it presents a latent risk due to the so-called stroboscopic effect. When the LEDs are driven by a discontinuous current they will turn off when the bias voltage falls below the minimum level.

This paper shows the evaluation results of different Lighting system with different excitation signals of the LEDs through the use of a measurement transductor for oscilloscopes capable of recording the illuminance signal with optically high frequencies. This device, which has been developed by GiePi, is a suitable solution for determining this variable.

The results obtained indicate different modes of operation, from a totally continuous emission to true optical pulses of high optical frequency.

Key words: Flicker, driver, LED

I. INTRODUCCIÓN

Prácticamente todas las fuentes de luz producen parpadeo. Las fuentes de iluminación convencionales como, por ejemplo, lámparas incandescentes, las fluorescentes y las de descarga de alta intensidad presentan algún grado de variación de su intensidad cuando se encuentran en funcionamiento. El parpadeo es una consecuencia de la línea de alimentación de corriente alterna de 50 Hz que en casos como las lámparas de descarga producen la interrupción de la emisión por algunos ms cada ciclo. La polaridad alterna en estas frecuencias puede resultar en un parpadeo al doble de la frecuencia de la línea de alimentación (por ejemplo, 100 Hz), a menos que se utilicen equipos auxiliares de alta frecuencia (por ejemplo, balastos electrónicos que operan sobre los 40 KHz). Si bien la inercia térmica de los filamentos incandescentes y las características de decaimiento de los fósforos utilizados en las lámparas de descarga pueden reducir la amplitud del parpadeo este se encontrará presente con diferentes niveles de incidencia. Esta amplitud se puede caracterizar de diferentes formas, siendo las más utilizadas el porcentaje de parpadeo y el índice de parpadeo. El parpadeo porcentual [1] se define en términos de la diferencia entre la salida de luz mínima y máxima durante un ciclo de forma de onda de parpadeo:

$$Flk\% = \frac{Max_{Señal} - Min_{Señal}}{Max_{Señal} + Min_{Señal}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Así, cuando una fuente de luz con algún nivel de parpadeo reduce su emisión a cero el porcentaje de parpadeo alcanza el 100 %. Por el contrario, si la salida es continua entonces el parpadeo porcentual es 0.

El índice de parpadeo o índice de flicker (*IF*) se define a partir del análisis gráfico de las área por debajo la señal de salida de luz y por encima de la señal salida de luz, considerando el valor medio en un ciclo y dividida por el área total bajo la curva de salida de luz. Esto, para una forma de onda y un ciclo de trabajo determinados. (el ciclo de trabajo se define aquí como el porcentaje de tiempo durante un ciclo de parpadeo en el que la salida de luz supera el 10 % del valor máximo) [2], el porcentaje de parpadeo y el índice de parpadeo son proporcionales entre sí.

$$IF = \frac{Area_1}{Area_1 + Area_2} \quad (2)$$

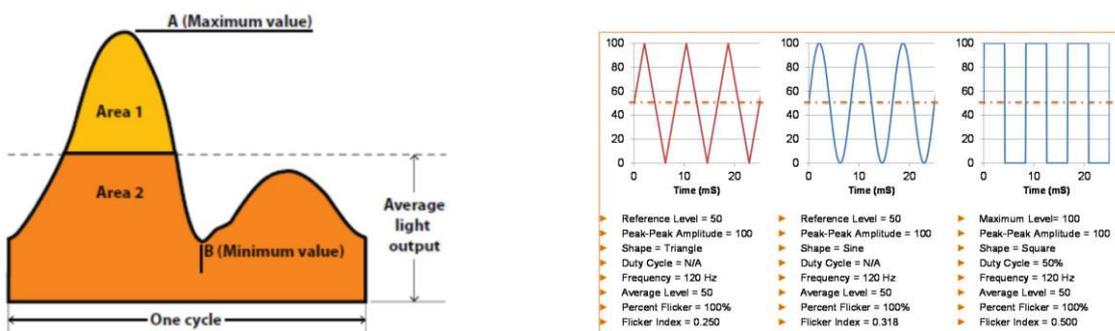


Fig. 1: Detalle de la determinación del IF en una señal periódica, considerando un ciclo y valores de referencia para diferentes formas de onda (Ploplawosky y Miller).

Con respecto a las fuentes de luz de estado sólido debe tenerse en cuenta que los LED son dispositivos semiconductores con muy buena respuesta a las altas frecuencia. Sin embargo, los LED bancos que emiten a partir de interacciones atómicas de una cubierta fosforo - fluorescente suelen tener niveles de respuesta en frecuencia más lentos pero con una banda de respuesta que va mucho más arriba de los 50 Hz.

En la literatura es posible encontrar indicaciones sobre los efectos visuales y no visuales del parpadeo, como la epilepsia fotosensible y los dolores de cabeza. Sin embargo, la percepción visual directa del parpadeo es

insignificante a frecuencias de 100 Hz o más [2], más altas que la frecuencia crítica para la mayoría de los estímulos [3]. Sin embargo, la percepción indirecta del parpadeo es posible a través de efectos estroboscópicos a frecuencias de 100 Hz y superiores [4] y se ha informado una percepción generalizada de efectos estroboscópicos a 500 Hz [5].

La variedad de métodos por los cuales los LED pueden ser excitados implica que es posible encontrar diferentes frecuencias de parpadeo y valores porcentuales de parpadeo en los sistemas de iluminación que utilizan estas fuentes. La percepción de los efectos estroboscópicos disminuye a medida que aumenta la frecuencia [4,5] y a medida que disminuye el porcentaje de parpadeo (o índice de parpadeo).

La medición del parpadeo y por lo tanto la determinación de los cálculos de IF y FLK% se realiza mediante la utilización de Luxímetro dedicados. Variantes de los Luxímetro que permiten la captura de valores de intensidad a una tasa de muestreo relativamente elevada.



Fig. 2: Instrumento fabricado por Gigahertz-Optik para la medición y determinación de los contenidos de parpadeo.

Si bien estos instrumentos son muy evolucionados y los Luxímetro son incapaces de medir la existencia de parpadeo suele ser indicio de la presencia de IF elevados la inestabilidad en la medición de iluminancia con un Luxímetro estándar.

En este trabajo se muestra el uso de un traductor desarrollado por el GiePi para la detección del parpadeo en luminarias LED, el cual se acopla directamente a la entrada de un osciloscopio digital permitiendo la medición a una alta tasa de muestreo de las variaciones en la intensidad de luz emitida.

II. METODOLOGÍA

I. Mediciones con Luxímetro

En los últimos años la medición de muestras correspondientes a equipos de iluminación pública ha sido desarrollada en el GiePi siguiendo un protocolo de evaluación. Este protocolo contempla la medición de iluminancia en dos condiciones: mediciones de larga duración y mediciones de regulación.

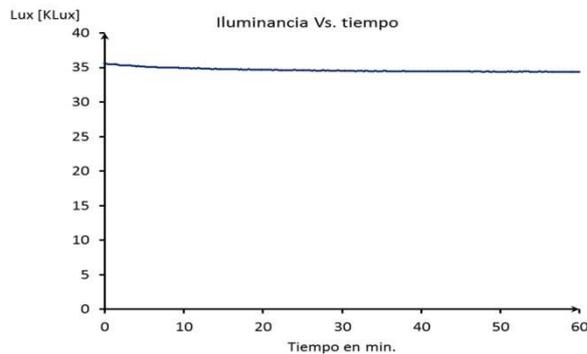


Fig. 3: Medición de iluminancia de larga duración de una luminaria fabricada por Italavia con driver Italavia de origen China.

En el primer grupo se busca determinar la estabilidad de la emisión en el tiempo, relacionando este parámetro con la temperatura alcanzada por los LED en el mismo período. Es normal observar una reducción de la emisión con el aumento de la temperatura (Fig. 3). El segundo grupo de mediciones se realiza con el fin de determinar la regulación de la intensidad luminosa cuando el driver es sometido a variaciones en la tensión de alimentación.

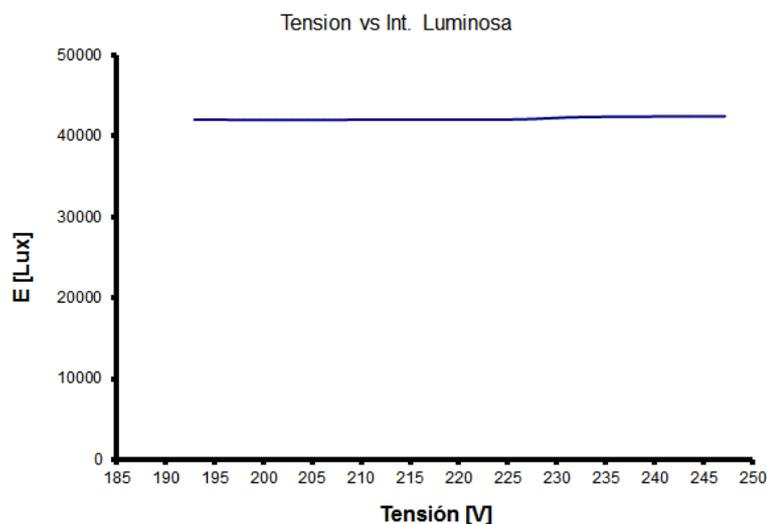


Fig. 4: Medición de iluminancia en función de la tensión de alimentación, luminaria Lepower 100W.

Estas mediciones se realizan usando un Luxímetro marca Sonel modelo LXP-1. Instrumento que posee capacidad de muestreo de 1 Hz y almacenamiento de datos en memoria interna y transmisión vía USB.

II. Mediciones con sonda desarrollada por el GiePi.

Cuando es detectada la posibilidad de existencia de parpadeo, ya sea mediante relevamiento del circuito o mediante inestabilidades detectadas con el Luxímetro se utiliza la sonda de medición de iluminancia relativa desarrollada por el GiePi. Esta sonda se conecta directamente al osciloscopio, es de tipo activa y permite obtener un oscilograma de la onda emitida desde la fuente de luz.

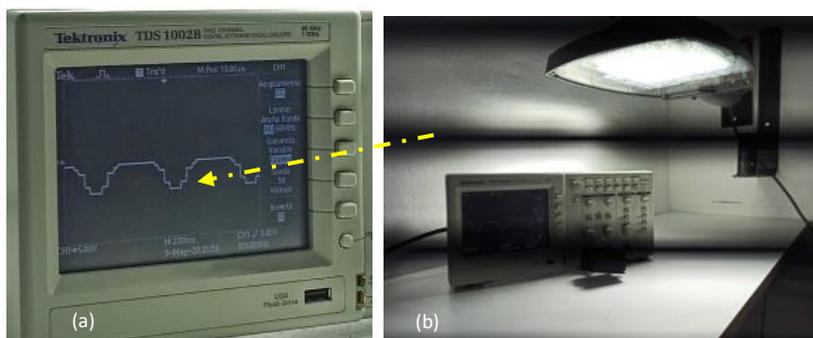


Fig. 4: Luminaria con FLK 100 %, (a) señal capturada por la sonda de iluminancia en el osciloscopio. (b) Fotografía sincronizada con la frecuencia de pulsación.

No se ha realizado un proceso de calibración y para su correcto uso en la determinación de los IF o FLK debería contarse con una sala oscura adecuada para este tipo de mediciones. Sin embargo, esta medición permite demostrar la existencia de parpadeo indeseado en la luminaria.

III. RESULTADOS

A. Mediciones con Luxímetro en luminarias con FLK elevado

Cuando las luminarias presentan un nivel elevado de parpadeo el luxímetro que no tiene una tasa elevada de muestreo pero un período de captura corto, el resultado será de mediciones puntuales con un alto grado de dispersión. Esto es debido a que el instrumento puede capturar valores en diferentes puntos de la señal. Así, aunque la emisión media sea constante los valores obtenidos se encontrarán totalmente dispersos.

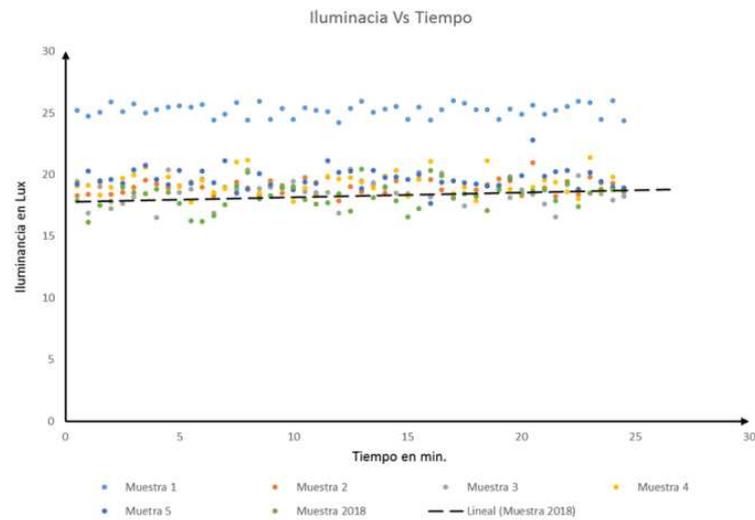


Fig. 5: Medición de iluminancia de larga duración de diferentes muestras con un FLK elevado.

Es evidente que si bien la medición indica la existencia de parpadeo no es posible tener certeza sobre los valores hallados.

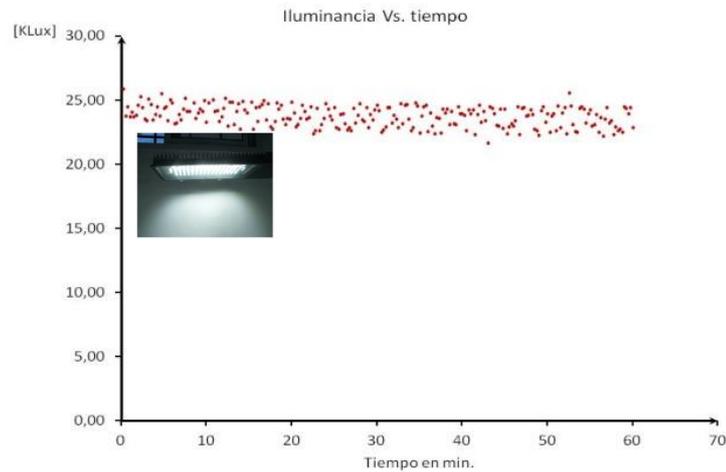


Fig. 6: Medición de iluminancia de larga duración FLK elevado de una luminaria sin identificación con un driver marca Qukai QE-50.

B. Mediciones con sonda con capacidad de medición de parpadeo.

Utilizando la sonda desarrollada por el GiePi para la medición del parpadeo se obtienen las formas de onda correspondiente a la emisión luminosa sobre las que podrían ser calculados los valores de FLK e IF. En el caso correspondiente a uno de los equipos de la Fig. 5. El resultado puede verse como un oscilograma entregado por el TK1002B a través del software WaveStar.

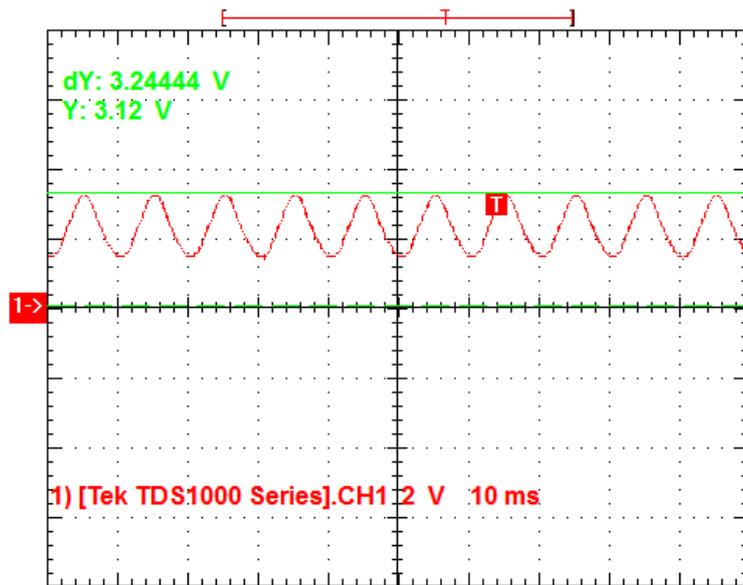


Fig. 7: Medición de iluminancia con alta tasa de muestreo a 10 ms/div. Obsérvese que mediante los cursores es posible definir el valor máximo y medio de la señal.

Si la medición de iluminancia con alta tasa de muestreo se realiza contemporáneamente con la medición de la corriente de excitación de los LED entonces es posible encontrar la correspondencia entre ambas señales, quedando en evidencia que el flicker depende de la corriente y por lo tanto de la estabilidad de la tensión entregada por el driver.

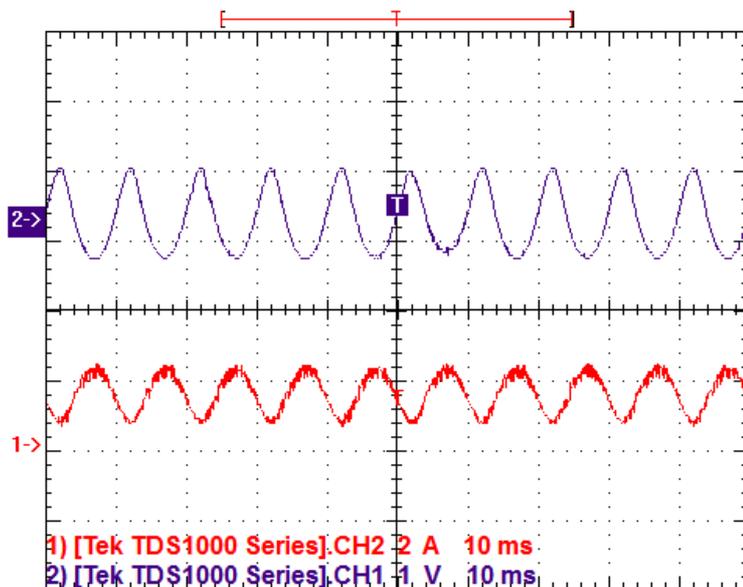


Fig. 8: Medición de iluminancia con alta tasa de muestreo a 10 ms/div. En color lila la señal de iluminancia capturada en modo CA del osciloscopio. En rojo la señal de corriente.

En la Fig. 8. se muestra el resultado de mediciones combinadas, mediciones que fueron realizadas usando un driver HTT-F36V1500GPK-L50W sobre una matriz de LED de la luminaria Lepower 100W mostrada en la Fig. 4. Así, queda en evidencia que el parpadeo depende fundamentalmente del driver ya que los LED poseen una inercia en el recubrimiento de una duración mucho menor a los 10 ms.

Un caso particular a tener en cuenta es el de las luminarias que no usan driver para LED. En estas la corriente de salida es limitada por circuitos integrados discretos los que no tienen capacidad de estabilizar la tensión de salida y por lo tanto la corriente. Así, la señal de iluminancia se corresponde con una señal que presenta un FLK del 100% y un IF cercano a 0,5.

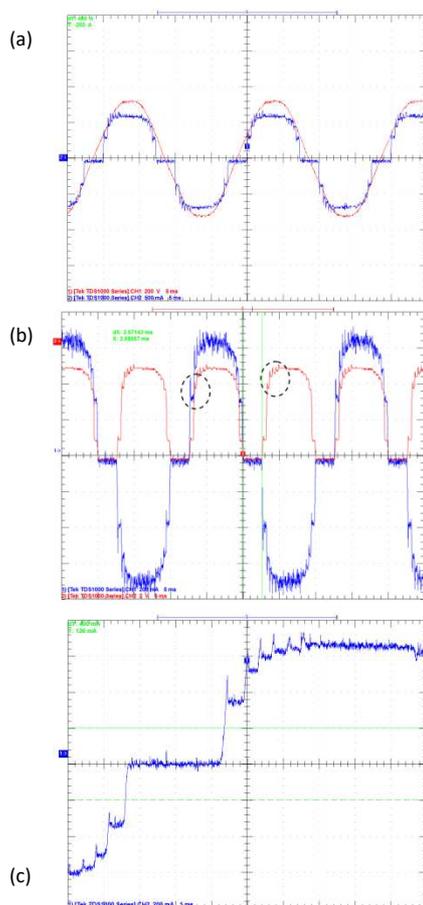


Fig. 9: Medición de iluminancia en luminaria sin driver. (a) Forma de onda de tensión y corriente de entrada. (b) Forma de onda de iluminancia en rojo y corriente de entrada en azul. (c) Picos de corriente que son reproducidos por los LED.

Evidentemente este tipo de luminarias son las que presentan la peor condición de uso ya que los LED permanecen apagados hasta 6 ms por ciclo. El efecto estroboscópico es en este caso ciertamente un parámetro a tener en cuenta por el riesgo que presenta ante partes móviles (ventilador de un motor en funcionamiento) que podrían generar accidentes severos.

IV. CONCLUSIONES

A partir de la realización de mediciones de iluminancia con luxómetro, en busca de definir la estabilidad de emisión, se pudo detectar inestabilidad relacionada con el parpadeo o flicker. Las condiciones en las que se presenta este fenómeno se encuentran directamente relacionadas con el funcionamiento del driver o en su defecto de circuitos de regulación de corriente de los LED. En las luminarias con uso de driver, el flicker normalmente se encuentra asociado a variaciones de la tensión de salida, normalmente debidas a un mal dimensionamiento del filtro de salida del circuito inversor resonante y su posterior rectificación. En los drivers que se basan en configuraciones no resonantes, tales como los reguladores en modo de conmutación, la corriente de excitación es de tipo diente de sierra y de muy alta frecuencia con lo que es difícil definir los efectos reales del flicker, aunque estos son detectables utilizando la punta de medición desarrollada por el GiePi.

Si bien el parpadeo o flicker no es desconocido, normalmente no es considerado en las evaluaciones del desempeño de los equipos de iluminación para alumbrado público urbano. Sin embargo, es un parámetro a ser tenido en cuenta tanto por los efectos sobre la salud como por el riesgo de accidente que implica.

La sonda desarrollada por el GiePi ha resultado una alternativa válida y de muy bajo costo para la medición del flicker aunque sería necesario someter el dispositivo a un proceso de calibración.

V. RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná y a la Dirección de Alumbrado Público de la Municipalidad de Paraná por proveer de muestras para su correspondiente ensayo.

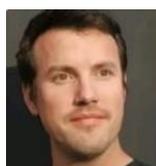
VI. REFERENCIAS

- [1] IESNA Lighting Handbook: Reference and Application, 9th edition, New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2000.
- [2] JD Bullough, K Sweater Hickcox, TR Klein, A Lok BS and N Narendran (2012). Detection and acceptability of stroboscopic effects from flicker. *Lighting Research and Technology* 44(4): 477-483. <http://doi.org/10.1177/1477153511414838>
- [3] Kelly DH. (1972 *Handbook of Sensory Physiology*, Vol. VII/4: Visual Psychophysics. New York: Springer-Verlag, , pp. 273–302.
- [4] Bullough JD, Sweater Hickcox K, Klein TR, Narendran N. (2011) Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort. *Lighting Research and Technology*; 43: 3.
- [5] Hershberger WA, Jordan JS, Lucas DR. (1998). Visualizing the perisaccadic shift of spatiotopic coordinates. *Perception and Psychophysics*; 60: 82–88.

VII. BIOGRAFÍAS



Fabio Miguel Vincitorio, Nació en la ciudad de Paraná Argentina el 21 de enero de 1970. Se graduó de ingeniero en electrónica en el año 1998. Doctor en ingeniería por la Universidad Da Coruña 2014. Profesor Titular de la cátedra de Física y Director del Grupo de Investigación en Física Aplicada a la Ingeniería. Miembro fundador del grupo de electrónica de potencia en Iluminación, en la Facultad Regional Paraná de la Universidad Tecnológica Nacional.



Agustín Chort, Nació en la ciudad de Paraná Argentina el 17 de octubre de 1985. Se graduó de ingeniero en electrónica en el año 2015. Docente investigador en la Universidad Tecnológica Nacional. Auxiliar en la cátedra Electrónica de Potencia. Integrante del grupo de electrónica de potencia en iluminación.



Mónica Fernanda Krenz. Nació en la ciudad de Paraná, Entre Ríos Argentina el 20 de febrero de 1968. Se graduó de Ingeniera Electrónica y posgraduada en Seguridad e Higiene en el trabajo en UTN FRP. Docente auxiliar de la cátedra de Medidas Electrónica II y Física Electrónica. Miembro del Grupo de Electrónica de Potencia en Iluminación. Miembro del Grupo de investigación en Física en la Facultad Regional Paraná de la Universidad Tecnológica Nacional.



Uniformidad de las características cromáticas en luminarias LED para alumbrado público

Carlos Lionel COLONNA¹, Pablo IXTAINA², Agustín PUCHETA³, Nicolás BUFO⁴.

^{1, 2, 3, 4} Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – Comisión de Investigaciones Científicas - Gonnet - Argentina.

Resumen: El uso de LEDs en el alumbrado público y vial introdujo a la par de un aumento en la eficiencia de la instalación y el consecuente ahorro de energía, el uso de luz blanca con alta reproducción cromática y la posibilidad de elección entre diferentes temperaturas de color. Esto último constituye un cambio sustancial e impensado para las tecnologías pasadas (SAP) e implica la reformulación de los métodos de evaluación de luminarias para alumbrado público.

En Argentina, la norma IRAM-AADL J 2022-1 "Luminarias – Clasificación fotométrica" establece la forma de caracterizar luminarias para alumbrado público. Entre otras cosas, define sistemas de coordenadas, método de medición y presentación de resultados de lo que técnicamente se denomina la *fotometría* de la luminaria. La norma no hace referencia ni dedica sección alguna a la caracterización cromática de la fuente luminosa y, por lo tanto, no se especifica cómo se deben obtener parámetros como las coordenadas de color, el índice de reproducción (IRC) o la temperatura de color (TCC), ni se prescriben límites para estos valores.

En cuanto a la normativa internacional (por ejemplo, IES LM79), establece la determinación del TCC a partir del promedio de varias mediciones para diferentes combinaciones angulares C , γ . Por su parte, especificaciones como las EETT PLAE, ponen límites en los posibles cambios en el color con el uso (prueba de duración de 6000 h). No hay, sin embargo, criterios claros que establezcan cuál es la discrepancia admisible entre, por ejemplo, el TCC medido y el informado por el fabricante o su falta de homogeneidad

Sobre una base de muestras de luminarias LED estudiadas en el LAL entre 2019 y 2020, el trabajo aborda la medición de los parámetros cromáticos y su uniformidad espacial. Los resultados obtenidos con las técnicas recomendadas por la IES LM-79 fueron analizados para cuantificar la falta de homogeneidad y, sobre todo, estudiar su dependencia con el ángulo de observación. Esto último posibilitó un primer análisis para determinar si esta discrepancia puede ser percibida y cómo podría afectar la estética o performance de la instalación.

Abstract: The use of LEDs in public and road lighting introduced, along with an increase in the efficiency of the installation and the consequent energy savings, the use of white light with high color rendering and the possibility of choosing between different color temperatures. The latter constitutes a substantial and unforeseen change for past technologies (SAP) and implies the reformulation of the evaluation methods of luminaires for public lighting.

In Argentina, the IRAM-AADL J 2022-1 standard "Luminaires - Photometric Classification" establishes the way to characterize luminaires for public lighting. It defines coordinate systems, measurement method and results presentation. It is called the photometry of the luminaire. The standard does not refer to or dedicate any section to the chromatic characterization of the light source and, therefore, it does not specify how parameters such as color coordinates, rendering index (CRI) or color temperature (TCC). Furthermore, there are no limits prescribed for these values.

International regulations (for example, IES LM79), establishes the determination of the TCC from the average of several measurements for different angular combinations C , γ . On the other hand, specifications such as the EETT PLAE, set limits on the possible changes in color with use (duration test of 6000 h). There are, however, no clear criteria for admissible discrepancy limits, for example, between measured TCC and that reported by the manufacturer.

Using a sample of LED luminaires studied at the LAL between 2019 and 2020, the work deals with the measurement of chromatic parameters and their spatial uniformity. The results obtained with the techniques recommended by the IES LM-79 were analyzed to quantify the lack of homogeneity and, above all, to study its dependence on the angle of observation. The latter made possible a first analysis to determine if this discrepancy can be perceived and how it could affect the aesthetics or performance of the installation

Palabras claves: LED, Índice de Reproducción Cromática, Temperatura de Color Correlacionada, coordenadas de color.

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología empleada para generar luz blanca en los dispositivos LED usados en alumbrado público y vial, se basa en una juntura azul, que emite en las vecindades de 450 nm. Una película fosforada superficial absorbe esta radiación y, mediante emisión secundaria, genera fotones de longitudes de onda más altas, enriqueciendo espectralmente al dispositivo en la región verde – rojo.

Para una fuente de luz, la medida utilizada para caracterizar su capacidad de reproducir los colores de los objetos de manera “real”, es el índice de reproducción del color (IRC). El rango del IRC va de 0 a 100, a mayor número, mejor reproducción de los colores. En este sistema, la referencia es la luz natural (IRC = 100)

La apariencia del color de la luz está caracterizada por la Temperatura del Color (TC). Se obtiene comparando su color con el del espectro luminoso que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. TC se expresa en Kelvin, temperatura a la que debería estar el cuerpo negro para emitir en el mismo “color” que la fuente evaluada. Para el caso de emisiones con espectro discontinuo o no creciente, es difícilmente comparable con el color del cuerpo negro, por lo que se emplea el concepto de temperatura de color correlacionada (TCC).

La calidad del compuesto fosforado, su cantidad, técnica de aplicación, espesor de la película, etc. son factores determinantes del IRC y del TCC de un dispositivo LED. Obviamente, el fabricante evaluará la relación costo beneficio en búsqueda de IRC elevados. Con respecto al TCC, si bien en un principio los LEDs fríos eran los predominantes en el alumbrado público, la tendencia moderna es el uso de fuentes más cálidas, que resultan menos contaminantes y en cierto modo, más amigables con el ambiente.

Un fenómeno observado es la falta de homogeneidad de las características cromáticas. Por un lado, puede haber cierta dispersión entre dispositivos “iguales” pero provenientes de distintas partidas o fecha de fabricación. Por otro lado, puede suceder que el fósforo no esté revestido de manera uniforme. En estos casos, algunos de los fotones liberados pueden estar obligados a atravesar una mayor cantidad de fosforo que otros, presentándose así variaciones cromáticas para distintos ángulos de observación.

Con el objetivo de verificar esta homogeneidad cromática, se estudió una muestra de luminarias para alumbrado público, ingresadas para ensayo en el LAL entre 2019 y 2020. Las mediciones de color se realizaron para distintos sectores tanto en elevación γ como en planos C. De ésta manera se cavilará sobre las diferencias que representan tomar los valores en una única coordenada angular o si realmente es necesario una serie de mediciones a fin de caracterizar convenientemente la cromaticidad de la luminaria.

II. DESCRIPCIÓN

El ensayo cromático puede ser efectuado mediante un sistema de espectrómetro y esfera integradora (Ulbricht), o a partir de la adquisición discreta de datos en una o más coordenadas angulares. En el primer método, una única medición permite obtener la caracterización cromática “media” de la fuente lumínica, logrando integrar todos los rayos incidentes. Sin embargo, para ensayar luminarias de alumbrado público la esfera debe ser de gran tamaño, y debe evaluarse correctamente el efecto de la posible falta de homogeneidad cromática de su pintura interior.

En la segunda alternativa se analiza la emisión punto a punto con un espectrómetro, “recorriendo” espacialmente la fuente con ayuda de un goniómetro, para luego efectuar un promedio. Este método es más laborioso que la medición con esfera. La idea del estudio es analizar la dispersión obtenida al medir solo en el nadir.

El proceso seguido fue:

- 1.- Selección de luminarias o fuentes de luz, de distintos fabricantes.
- 2.- Montaje y centrado de la muestra en el goniómetro automático (Everfine GO-2000). Una vez estabilizada se procede a realizar el ensayo.

La zona angular medida fue la recomendada por la publicación LM- 79 de la Illuminating Engineering Society, donde especifican tomar pasos verticales de 10° o menores, fijando 90° en el horizontal y luego 180° (bajo la norma CIE). El instrumental utilizado para la obtención del espectro, coordenadas de color, el IRC y la TCC fue un espectrómetro “AvaSpec 3648”, con ingreso de luz mediante fibra óptica. Esta fue posicionada sobre un trípode apuntando al centro fotométrico de la fuente de luz a una distancia de aproximadamente 2m, lo que permitió el correcto abatido de la fuente.

III. DESARROLLO

Para gamma se adquirieron datos entre 0° y 80° a pasos de 10°, la elección de no medir en 90° es por la presentación de un corte total de iluminación de los LED. Además, no es un punto muy representativo por el hecho que es un ángulo en el cual la luminaria estaría a una distancia lo suficientemente lejos del observador y su aporte sería insignificante.

A fines de obtener datos conclusivos, nos apoyamos en dos pilares, el primero es obteniendo el promedio de IRC y la TCC del plano vertical en los planos C especificados de cada luminaria. Con los resultados obtenidos se buscará encontrar un promedio dentro del grupo de muestras y compararlo con el obtenido en el cenit. De esta manera se logra verificar si presenta una diferencia significativa y en qué zona sería recomendable medir.

El segundo pilar tiene como finalidad obtener la cantidad de puntos (mínimos) que se requieren medir, haciendo uso de la nota técnica de la CIE TN 001:2014 "Chromaticity Difference Specification For Light Sources", donde se trabaja con las coordenadas u' y v' siempre y cuando se encuentre en cercanías del locus de Planck, donde pueden ser utilizados los círculos $u'v'$ que son cercanos a los descriptos por MacAdam.

Ahora bien, deberíamos asegurar si con un único punto de medición es suficiente para poder dar por realizado el ensayo, para eso hacemos uso de lo especificado en la nota técnica CIE TN 001:2014. Al trabajar con iluminación fría se cumplen los requisitos para hacer uso de los círculos $u'v'$ de "n" pasos, que, en función del número obtenido se puede estimar el porcentaje de personas capaces de discriminar la diferencia de color que resulta. Dichos círculos son descriptos con la siguiente formula:

$$(u' - u'_c) + (v' - v'_c) = (0,0011 \times n)^2$$

En ella se hace uso de las coordenadas $u'v'$, los centros de la circunferencia y los pasos requeridos. Por lo tanto, se efectúa la transformación de coordenadas xy a $u'v'$ y con los máximos y mínimos de estos, promediamos para obtener los centros, quedando solo "n" como incógnita. En la siguiente Tabla I se expresaron los valores obtenidos y los pasos necesarios para quedar contenidos en la circunferencia, en verde se encuentra marcada la muestra de menor dispersión y en rojo la de mayor. El valor del promedio arroja unos siete pasos, por encima de lo que recomienda la CIE TN 001:2014 (unos cinco pasos), comprobando que, con la toma de un único punto no es suficiente para caracterizar la uniformidad cromática de la fuente de luz debido a que se pierde información.

Como se puede observar en la Tabla I, hay una mayor dispersión en el plano C 180, podríamos focalizarnos únicamente en él, dado que el conductor al desplazarse por la calzada se mueve de manera colineal a éste. De todas maneras, haremos un análisis de ambos planos.

En la obtención de los pasos, los valores de importancia fueron los máximos y mínimos de las coordenadas, resultando de interés analizar la zona angular en la cual se encuentran y si hay algún patrón que nos permita acotar la toma de datos. En la Tabla II se describen los valores promedios y las tendencias de localización.

Tabla I

Muestra	C 90						Pasos
	Máximo		Mínimo		Centro		
	u'	v'	u'	v'	u'_c	v'_c	
1	0,2121	0,4961	0,2066	0,4748	0,2093	0,4854	10,01
2	0,2230	0,5022	0,2228	0,5020	0,2229	0,5021	0,11
3	0,2233	0,5058	0,2188	0,4963	0,2211	0,5011	4,77
4	0,2274	0,5095	0,2229	0,5041	0,2251	0,5068	3,18
5	0,2232	0,5058	0,2162	0,4919	0,2197	0,4989	7,08
6	0,2270	0,5245	0,2215	0,4885	0,2242	0,5065	16,56
7	0,2106	0,5108	0,2063	0,4835	0,2085	0,4971	12,55
8	0,2221	0,5024	0,2141	0,4897	0,2181	0,4960	6,86
9	0,2226	0,5023	0,2145	0,4895	0,2185	0,4959	6,88
10	0,2122	0,4957	0,2087	0,4874	0,2105	0,4916	4,12
11	0,2235	0,5140	0,2192	0,4919	0,2213	0,5029	10,24
12	0,2234	0,5065	0,2179	0,5022	0,2206	0,5044	3,20
13	0,2082	0,4957	0,2049	0,4756	0,2065	0,4856	9,25
14	0,2078	0,4921	0,2012	0,4724	0,2045	0,4822	9,46
15	0,2075	0,4917	0,2008	0,4761	0,2042	0,4839	7,74
16	0,2106	0,4943	0,2077	0,4882	0,2092	0,4913	3,06
17	0,2104	0,4930	0,1915	0,4827	0,2010	0,4879	9,76
18	0,2099	0,5003	0,2064	0,4840	0,2082	0,4922	7,58
19	0,2252	0,5156	0,2203	0,5050	0,2228	0,5103	5,33
20	0,1963	0,4869	0,1876	0,4730	0,1920	0,4799	7,46
21	0,1975	0,4871	0,1955	0,4741	0,1965	0,4806	5,96
22	0,2219	0,5034	0,2073	0,4838	0,2146	0,4936	11,15

Muestra	C 180						Pasos
	Máximo		Mínimo		Centro		
	u'	v'	u'	v'	u'_c	v'_c	
1	0,2196	0,5047	0,2079	0,4708	0,2138	0,4878	16,30
2	0,2280	0,5234	0,2215	0,5004	0,2247	0,5119	10,88
3	0,2235	0,5037	0,2208	0,4965	0,2222	0,5001	3,48
4	0,2269	0,5101	0,2085	0,4980	0,2177	0,5040	10,02
5	0,2249	0,5087	0,2190	0,4950	0,2220	0,5018	6,80
6	0,2304	0,5336	0,2195	0,4861	0,2249	0,5099	22,16
7	0,2176	0,5005	0,2138	0,4882	0,2157	0,4943	5,83
8	0,2230	0,5040	0,2202	0,4962	0,2216	0,5001	3,81
9	0,2239	0,5057	0,2212	0,4978	0,2226	0,5018	3,81
10	0,2188	0,5082	0,2125	0,4840	0,2156	0,4961	11,40
11	0,2249	0,5084	0,2162	0,4753	0,2205	0,4919	15,54
12	0,2275	0,5176	0,2207	0,4964	0,2241	0,5070	10,10
13	0,2140	0,4918	0,2111	0,4767	0,2126	0,4843	6,96
14	0,2148	0,4959	0,2126	0,4897	0,2137	0,4928	3,01
15	0,2148	0,4957	0,2093	0,4835	0,2120	0,4896	6,07
16	0,2159	0,4973	0,2137	0,4907	0,2148	0,4940	3,15
17	0,2164	0,4967	0,2132	0,4854	0,2148	0,4911	5,33
18	0,2152	0,4930	0,2130	0,4878	0,2141	0,4904	2,57
19	0,2280	0,5216	0,2247	0,5101	0,2263	0,5158	5,43
20	0,2086	0,4900	0,2055	0,4800	0,2071	0,4850	4,77
21	0,2099	0,4924	0,2059	0,4790	0,2079	0,4857	6,34
22	0,2198	0,4968	0,2094	0,4831	0,2146	0,4900	7,82

Haciendo distintos diezmados para los valores angulares del eje vertical se busca el valor próximo al promedio de medir completo, los resultados se encuentran en la Tabla III.

Tabla II

Muestra	C 90				C 180			
	Ángulo del:							
	Máximo		Mínimo		Máximo		Mínimo	
	u'	v'	u'	v'	u'	v'	u'	v'
1	10	70	80	20	40	40	80	80
2	0	10	80	30	60	60	30	40
3	80	70	70	80	50	50	70	70
4	70	0	80	80	60	60	80	80
5	10	80	80	70	40	40	80	80
6	60	80	80	0	40	80	10	10
7	60	80	80	20	40	40	70	70
8	50	40	80	70	40	40	80	80
9	40	40	80	70	40	40	30	30
10	0	70	70	0	80	80	70	70
11	50	80	80	70	40	40	80	80
12	30	30	80	60	80	80	70	70
13	60	80	80	70	40	40	80	80
14	50	50	80	70	40	50	80	30
15	50	50	80	70	40	40	80	80
16	40	40	80	70	60	60	80	20
17	40	40	80	80	40	40	80	80
18	30	80	80	70	0	0	60	80
19	10	0	80	70	0	80	70	40
20	10	70	80	50	50	50	80	30
21	10	70	80	80	40	40	30	30
22	70	80	80	20	70	40	80	80
	Promedio				Promedio			
	37,7	55,0	79,1	55,5	45,0	49,5	66,8	59,5
	46,4		67,3		47,3		63,2	
	Tendencia				Tendencia			
	10	80	80	70	40	40	80	80

Tabla III

Ángulo Vertical	C 90		C 180	
	Pasos		Pasos	
	Promedio		Promedio	
0 & 80	4,81		5,07	
10 & 80	4,56		4,86	
40 & 80	4,27		5,47	
0, 40 & 80	5,06		6,61	
10, 40 & 80	4,86		6,49	
0, 50 & 80	5,15		5,84	
0, 60 & 80	5,14		5,86	
0, 70 & 80	6,84		5,87	
0, 40, 50 & 80	5,18		6,71	
0, 40, 60 & 80	5,31		7,02	
0, 40, 70 & 80	7,07		7,09	
0, 40, 50, 60 & 80	5,37		7,09	
0, 40, 50, 70 & 80	7,12		7,15	
0 to 80	7,38		7,80	

Optaremos por asumir una variabilidad del diez por ciento frente a una medición completa. Para el plano C 90 estaríamos dentro de los límites descritos con una toma de datos en 0°, 60° y 80° en el vertical. Para el caso de C 180 deberíamos ensayar en 0°, 40°, 60° y 80°, esta diferencia puede estar asociada a la mayor falta de homogeneidad que presenta dicho plano descrita anteriormente.

IV. RESULTADOS

Ahora bien, para poder verificar la falta de uniformidad de la fuente de luz queda claro que es exiguo solo medir en el nadir, sino que es necesario al menos tomar las coordenadas ((x, y) o (u', v')) en las posiciones angulares detalladas en el párrafo anterior.

Para el análisis de la obtención del IRC y TCC, se desarrolló la siguiente tabla IV, en ella tenemos expresados los valores obtenidos en el nadir y los promedios para cada plano C y el total.

De manera que sea más comprensibles los datos anteriores, en la tabla V se ilustran los valores absolutos de la diferencia entre la obtención en el nadir con el promedio total. En algunos casos aislados tenemos una discrepancia

Tabla IV

Muestra	Promedio						Nadir	
	C 90		C 180		Total		TCC [K]	CRI
	TCC [K]	CRI	TCC [K]	CRI	TCC [K]	CRI	TCC [K]	CRI
1	5000,5	75,1	5428,1	73,0	5214,3	74,0	5632,8	73,6
2	4078,3	72,3	4086,6	67,2	4082,5	69,8	4061,0	72,9
3	4135,3	70,4	4114,2	71,1	4124,8	70,8	4111,5	71,2
4	3854,3	71,3	3878,6	71,9	3866,4	71,6	3814,5	71,1
5	4142,0	71,7	4137,8	71,3	4139,9	71,5	4104,7	71,9
6	4064,4	70,5	3959,7	67,9	4012,1	69,2	4324,3	72,1
7	4840,9	70,3	4826,3	72,0	4833,6	71,1	4900,7	72,7
8	4240,1	72,5	4211,2	72,1	4225,7	72,3	4166,3	72,4
9	4227,7	72,6	4152,7	72,1	4190,2	72,4	4154,3	72,9
10	4849,9	73,6	5029,5	74,3	4939,7	74,0	4995,8	74,6
11	4091,7	71,7	4176,1	71,0	4133,9	71,3	4080,5	71,7
12	4096,6	70,6	4049,5	71,6	4073,1	71,1	4073,4	72,1
13	5153,0	71,8	5186,7	72,1	5169,8	71,9	5160,9	72,0
14	5126,5	70,8	5071,4	69,2	5099,0	70,0	5019,6	70,7
15	5140,2	71,0	5124,1	70,8	5132,1	70,9	5072,1	71,2
16	4853,6	71,6	4923,9	71,8	4888,7	71,7	4831,3	71,6
17	4904,2	71,9	4951,1	71,2	4927,6	71,5	4840,3	71,7
18	4932,3	72,1	5002,3	72,3	4967,3	72,2	4889,9	72,2
19	3893,9	71,1	3902,2	70,8	3898,1	70,9	3776,7	70,7
20	6189,7	82,4	6020,7	82,6	6105,2	82,5	6105,6	83,2
21	6012,7	83,4	5881,0	83,8	5946,9	83,6	5992,5	83,6
22	5098,5	72,1	5087,7	72,1	5093,1	72,1	5134,7	72,7

Tabla V

Muestra	ΔTCC [K]	ΔCRI
1	418,5	0,4
2	21,5	3,1
3	13,3	0,5
4	51,9	0,5
5	35,2	0,4
6	312,2	2,9
7	67,1	1,5
8	59,4	0,1
9	35,9	0,5
10	56,1	0,6
11	53,4	0,4
12	0,3	1,0
13	8,9	0,1
14	79,4	0,7
15	60,0	0,3
16	57,4	0,1
17	87,3	0,1
18	77,4	0,1
19	121,4	0,3
20	0,4	0,7
21	45,6	0,0
22	41,6	0,6
Average	77,5	0,7

considerable en la TCC, como en la muestra 1 y 6, pero en el promedio podemos observar que es un $\Delta TCC = 75,5K$, en cambio para el CRI tenemos en la muestra dos y seis las mayores discrepancias, pero, aun así, son bajas, obteniendo un $\Delta CRI = 0,7$.

V. CONCLUSIONES

Con la cantidad de muestras ensayadas se concluye que en la obtención de la TCC y el CRI en el nadir es suficiente, pero para la falta de uniformidad de las coordenadas cromáticas es necesario realizar el ensayo característico de manera espacial.

VI. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la CIC PBA, donde P.I. es miembro de la Carrera de Investigador Científico y Tecnológico, C.C., A.P. y N.B. son profesionales y personal técnico

VII. REFERENCIAS

- [1] NORMA IRAM-AADL J 2022-1 (2013). Alumbrado público. Luminarias. Clasificación fotométrica.
- [2] IES LM79 (2008). Electrical and photometric measurements of solid state lighting products. Illuminating Engineering Society.
- [3] CIE TN 001:2014.
- [4] E MANZANO et al *Medición espectral y de características cromáticas de luminarias LED de alumbrado vial* – Memorias del XIV Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2018- Córdoba, Argentina, 2018.
- [5] Avantes. StarLine spectrometers:
<https://www.avantes.com/products/spectrometers/starline/>
- [6] Everfine Gonio photometers.
<https://www.everfine.net/en/products.php?fid=1&cid=8>

VIII. BIOGRAFÍAS

Colonna Carlos Lionel (1991, Oriente, Bs. As., Argentina). Ing. Electronico UNLP. Becario Doctoral de la CIC. Ha realizado cursos de postgrado en la UNLP, participado en la realización de trabajos de investigación. Actualmente desarrolla sus actividades y su doctorado en el área de Luminotecnia del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – CIC.

Ixtaina Pablo R. (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 en Actas de congresos.

Pucheta Agustín A. (1989, La Plata, Bs. As., Argentina). Ing. Electromecánico UNLP. Profesional de la CIC. Ha realizado estudios de postgrado en la UNLP y visitas al Laboratorio LMT (Berlín, Alemania). Actualmente desarrolla sus actividades en el área de Luminotecnia del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – CIC.

Bufo Nicolás (1983, La Plata, Bs. As., Argentina). Personal de Apoyo de la CIC (Técnico Asociado), Bachiller en ciencias Naturales. Actualmente desarrolla sus actividades en el área de Luminotecnia del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – CIC.

Reconversión del Alumbrado Público mediante LED en la ciudad de Neuquén

Miguel MADURI¹ - Benjazmin CAMPIGOTTO² - Ángel ELIZONDO³ – Daniel SIMONE⁴

^{1, 2, 3, 4} Universidad del Comahue (UNCo) - Facultad de Ingeniería – Departamento de Electrotecnia – (Grupo Comunicaciones y Eficiencia Energética) - AADL Regional Comahue – Neuquén, Argentina – ¹ madurimiguel@gmail.com ; ² campleue@yahoo.com.ar; ³ aeelizondo@hotmail.com; ⁴ daniel.simone@fain.uncoma.edu.ar

Resumen: Es de público conocimiento que, en nuestro país si bien el consumo de energía por persona es algo menor que en los países desarrollados, su uso aún está lejos de ser sustentable, racional y eficiente.

En el 2007, se implementó por parte del Poder Ejecutivo Nacional el Decreto 140, denominado PRONUREE (Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía). Si bien dicho decreto está vigente, hay que decir que situaciones de índole económica – financiera, como ser el precio de la energía subsidiado, la falta de crédito, la falta de insumos importados, restricciones de importación y de dólares, etc. han postergado la tan ansiada transformación energética en cuanto al uso eficiente de la energía que hacen que, la matriz energética de Argentina siga siendo fósil dependiente.

En la provincia de Neuquén, entre los años 2010 – 12, gracias al PRONUREE, se cambiaron unas 20.000 luminarias, mientras que en la ciudad de Neuquén fueron otras 10.000 luminarias de bajo rendimiento (incandescentes, mezcladora y de vapor mercurio), por sodio de alta presión.

En la Universidad Nacional del Comahue (UNCo), entre los años 2018 – 20, se dictaron cursos de formación de profesionales en Eficiencia Energética, donde se graduaron 31 Gestores Energéticos en la Provincia del Neuquén y un número similar en la Provincia de Río Negro. Gestores que posteriormente fueron agentes multiplicadores en eficiencia energética al realizar diagnósticos en empresas productivas, de servicios y/o turísticas y en organismos oficiales como escuelas y municipios de ambas Provincias.

En el caso de la ciudad de Neuquén, profesionales del Municipio, la Cooperativa eléctrica CALF y la UNCo, vienen participando en la adecuación de especificación técnica, mejora y eficiencia del alumbrado público de espacios verdes, bulevares y arterias, mediante el empleo de luminarias LED con el objetivo de un uso eficiente y sustentable del alumbrado.

La compra de los nuevos artefactos (LED), hasta el momento fue realizada con fondos propios del presupuesto del Municipio de Neuquén, mientras que la mano de obra fue realizada por la Cooperativa CALF, sin costo hacia la Municipalidad, dentro del contrato de concesión vigente.

Palabras claves: Eficiencia Energética, PLAE, Alumbrado Público, LED.

Abstract: It is public knowledge that, in our country, although energy consumption per person is somewhat lower than in developed countries, its use is still far from being sustainable, rational and efficient.

In 2007, Decree 140, called PRONUREE (National Program for the Rational and Efficient Use of Energy), was implemented by the National Executive Branch. Although said decree is in force, it must be said that situations of an economic-financial nature, such as the subsidized price of energy, lack of credit, lack of imported inputs, import and dollar restrictions, etc. They have postponed the long-awaited energy transformation in terms of the efficient use of energy, which means that Argentina's energy matrix continues to be dependent on fossil fuels.

In the province of Neuquén, between the years 2010-12, thanks to PRONUREE, some 20,000 lights were changed, while in the city of Neuquén another 10,000 low-performance lights (incandescent, mixer and mercury vapor) were replaced by high-efficiency sodium. Pressure.

At the National University of Comahue (UNCo), between the years 2018-20, training courses for professionals in Energy Efficiency were given, where 31 Energy Managers graduated in the Province of Neuquén and a similar number in the Province of Rio Negro. Managers who were later multiplier agents in energy efficiency when carrying out diagnoses in productive, service and/or tourism companies and in official organizations such as schools and municipalities of both Provinces. In the case of the city of Neuquén, professionals from the Municipality, the electrical cooperative CALF and UNCo have been participating in the adaptation of the technical specification, improvement and efficiency of public lighting in green spaces, boulevards and arteries, through the use of LED luminaires with the objective efficient and sustainable use of lighting.

The purchase of the new devices (LED), until now, was carried out with funds from the budget of the Municipality of Neuquén, while the labor was carried out by the CALF Cooperative, at no cost to the Municipality, within the current concession contract.

Palabras claves: Energy Efficiency, PLAE, Street Lighting, LED

I. INTRODUCCIÓN

1.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA

Hablar de reducción del consumo de energía y/o ahorro de energía implica usar menor energía.

La eficiencia energética involucra la optimización en su uso. ¡La eficiencia energética es más que ahorro energético, es cuidar el planeta del hoy y el de nuestros nietos! Veamos algunas definiciones:

- La eficiencia energética, es la reducción del consumo de energía, ya sea de una instalación de alumbrado, un equipo, maquina, aparato eléctrico o de combustión, etc. sin sacrificar nuestro confort, ni la calidad de vida, protegiendo el ambiente, haciendo uso de equipos, instalaciones o máquina de mejor rendimiento y/o tecnología y/o mediante el cambio cultural de hábitos y costumbres en cuanto al uso.
- Del punto de vista social, la eficiencia energética, es considerada como una acción solidaria en la que la sociedad cuida la energía para que pueda llegar a quienes carecen de ella, sin agravar los efectos del cambio climático.
- La Eficiencia Energética. tiene que ver con la cantidad de energía útil que se puede obtener de un sistema o de una tecnología en particular, sin afectar el resultado.
- Es una forma de gestionar la demanda de la energía, obteniendo un resultado igual o mejor con menor consumo o un resultado mayor consumiendo lo mismo.
- La mejora de la eficiencia energética permite mitigar el cambio climático.

En Argentina, la eficiencia energética si bien no es un concepto nuevo, históricamente, se está en deuda con el sistema, donde hubo y hay acciones aisladas (algunas obligadas por cuestiones económicas), por ejemplo, en el sector privado (comercial, industrial y residencial), y por otra parte planes y/o programas a nivel gubernamental que no tuvieron continuidad con los gobiernos.

1.2. ACCIONES Y NORMATIVA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARGENTINA Y EL MUNDO

Argentina, incursiona en el tema de Eficiencia Energética (E.E.) desde el año 1985, durante la presidencia del Dr. Raúl Ricardo Alfonsín, (10 de diciembre de 1983 al 08 de julio de 1989). Mediante, el Decreto N°2247/85 que establece el Programa de Uso Racional de la Energía (URE). Algunos de los fundamentos fueron los siguientes:

- Establecer la EE en todos los sectores consumidores de energía (industria, transporte, residenciales y comerciales, agrícola).
- Sustitución de Combustibles escasos por otros abundantes: Petróleo por Gas y renovables como el Etanol de biomasa.
- Finalización de Centrales Hidráulicas y evaluación de nuevas fuentes de energía.
- Creación de Grupos de Estudio sobre Energía – Capacitación en uso racional

El programa no tuvo el impacto ni el éxito deseado en materia de eficiencia energética, debido a la política tarifaria (precio de la energía), falta de maduración del proceso, Inestabilidad macroeconómica - inflación años 1987 – 89.

A nivel mundial, las emisiones industriales, la generación y por ende el exceso del consumo de energía fueron y siguen siendo algunos de los principales responsables del calentamiento global.

En el año 1997, surge el protocolo de Kioto (Japón), donde se pone en funcionamiento la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) comprometiéndolo a los países industrializados a limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Argentina ratificó el protocolo de Kioto mediante la sanción Ley N.º 25.438.-

La adopción de la eficiencia energética y su mejora continua, es vital para un desarrollo sustentable, en Argentina y el mundo. La estrategia del sector energético para contrarrestar el desequilibrio de corto plazo entre la oferta y demanda de energía, es disminuir el consumo. Hay que tener en cuenta que la matriz energética en Argentina y el mundo sigue siendo fósil dependiente.

En la COP 21 (Paris 2015), la CMNUCC alcanzó un acuerdo histórico para combatir el cambio climático “mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C”. Argentina ratificó el Acuerdo de París, en el año 2016 mediante la sanción de la Ley N.º 27270-

En el año 2004, la Secretaría de Energía mediante la Resolución 415, aprueba el Programa de Uso Racional (PURE). En el año 2005, la Secretaría de Energía mediante la Resolución 552, aprueba el Programa de Uso Racional de Energía Eléctrica (PUREE). Se aplicó en las áreas concesionadas de las empresas EDENOR SA., EDESUR SA. y EDELAP SA. En el año 2005, la Secretaría de Energía mediante la Resolución 931, aprueba el Programa de Uso Racional de Energía Eléctrica (PUREE). Se aplicó a los grandes usuarios del mercado.

En el año 2007, Argentina mediante el Decreto 140, del Poder ejecutivo Nacional, puso en marcha el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE). Decreto, que declaró de interés y prioridad nacional el Uso Racional y Eficiente de la Energía. Entre las distintas medidas aplicadas con el Decreto, se dispuso:

- A nivel residencial, se cambiaron las lámparas incandescentes por fluorescentes compactas.
- Se prohibió la comercialización de las lámparas incandescentes en todo el país.
- En el alumbrado público se cambiaron las lámparas de vapor de mercurio y mezcladoras por lámparas de sodio de alta presión.
- Se dictaron cursos de capacitación en eficiencia energética,
- A través del IRAM y la Secretaría de Comercio Interior, se reflató la Resolución de la Ex Secretaría de Industria, Comercio y Minería N° 319/1999 “Lealtad Comercial, Aparatos Eléctricos – Comercialización” el uso de etiquetas de eficiencia en aparatos electrodomésticos, gasodomésticos, vehículos y viviendas, (a la fecha hay más de veinte etiquetas obligatorias y voluntarias con estándar de certificados de eficiencia).
- Se publicaron además avisos en los medios de publicidad sobre el ahorro energético y eficiencia de la energía.

A mediados de diciembre de 2015, con cambio de gobierno mediante se relanzó el (PRONUREE), creando la Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética con la finalidad de implementar y monitorear programas de uso eficiente de la energía, en coordinación y cooperación con las universidades Nacionales. Por ejemplo, en la Universidad Nacional del Comahue (UNCo), entre los años 2018 – 20, se dictaron cursos de formación de profesionales en Eficiencia Energética (Ver fig.1), donde se graduaron 31 Gestores Energéticos en la Provincia del Neuquén y 26 en la Provincia de Río Negro. Gestores que posteriormente, realizaron diagnósticos en 158 empresas productivas, de servicios y/o turísticas y en organismos oficiales como escuelas y municipios de ambas Provincias. Algunas de las empresas con el diagnóstico accedieron posteriormente al crédito de la Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética (Fondo Argentino de Eficiencia Energética), para la implementación de las mejoras en eficiencia energética como ser compra de tecnología, cambio de procesos productivos, etc.



Fig. 1. Carátula del programa de Eficiencia Energética en la UNCo

En abril de 2017 mediante la Resolución 84-E/2017, se implementó el Plan “Alumbrado Eficiente” (PLAE), siguiendo los lineamientos del PRONUREE, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética en el alumbrado público. Mediante el PLAE, se aprobaron proyectos para el recambio del alumbrado público por 94.070 luminarias de lámparas de descarga por luminarias de tecnología LED, permitiendo un ahorro de 60 GWh/año. A fines del 2018, se instalaron más de 86.000 luminarias LED a lo largo y ancho del país, de las cuales el 63 % fueron de fabricación nacional.

La aplicación del PLAE, fue implementado en 17 provincias (Ver Fig. 2), mediante la firma de convenios, donde los fondos fueron de carácter no reintegrables. El PLAE estuvo a cargo de la Dirección Nacional de Ejecución de Programas de Ahorro y Eficiencia Energética con los municipios de las provincias que adhirieron al plan.

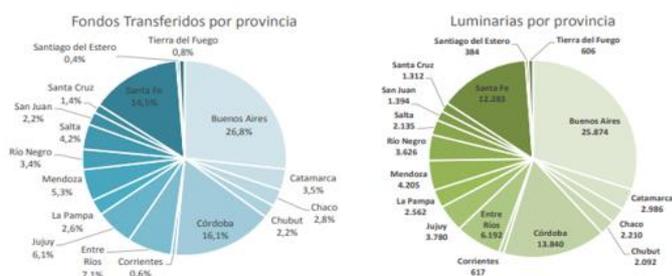


Fig. 2. Cantidades luminarias LED y porcentajes fondos transferidos a las provincias a fines de 2018.

Con el cambio de gobierno en Argentina (2019-23), y luego de padecer 18 meses de la pandemia del COVID 19, en septiembre del 2021, mediante la Disposición 1/2021, la Dirección Nacional de Generación Eléctrica de la Secretaría de Energía de la Nación, actualizó las Especificaciones Técnicas del Plan de Alumbrado Eficiente (PLAE) y aprobó un nuevo Reglamento Particular para la Transferencia de Fondos del PLAE. El nuevo PLAE, tenía por objetivo:

- Contribuir a la eficiencia de los sistemas de alumbrado público en todo el país.
- Evaluar la conveniencia de usar equipos y sistemas economizadores de energía en el alumbrado.

El plan se aplicó en las provincias y municipios de todo el país y se financio hasta 2000 luminarias LED para cada municipio. Los aportes fueron no reembolsables a los municipios, A la fecha la Secretaría de Energía, no informo las cantidades de luminarias ni los municipios que han accedido en el 2021 al PLAE, ni el estado de situación o concreción de las obras.

En el presente año, la Secretaría de Energía de la Nación informó (abril 2022), que hay cinco localidades de nuestro país, que han accedido al PLAE del año 2022 con la misma mecánica y objetivos, para la reconversión del alumbrado Público. Las localidades son las siguientes:

II. ALUMBRADO PUBLICO EN LA CIUDAD DE NEUQUEN

LOCALIDAD	PROVINCIA	ARTEFACTOS	Km de red	CO ₂ (evitados)
EZEIZA	Buenos Aires	1222		
Fontana	Chaco	510	68	323 tn
Gdor. Macia	Entre Rios	259	10.6	143 tn
Naschel	San Luis	473	15.5	255 tn
Rio Gallegos	Santa Cruz	1072	30	259 tn
Pehuajo	Buenos Aires	997	23.4	339 tn

La ciudad de Neuquén, al igual que en el resto de las ciudades del interior de la provincia homónima entre los años 2010 – 2013 mediante el PRONUREE (Decreto 140/07), se cambiaron más de 30.000 luminarias de la vieja tecnología por las de sodio de alta presión (unas 20.000 en la provincia y 10.000 en la ciudad). Se cambiaron

dos lámparas incandescentes por dos fluorescentes compactas en forma gratuita a cada usuario de la ciudad y se cambiaron las lámparas de los semáforos entre otras acciones.

Desde ese entonces, no hubo más adhesiones en la materia, ya sea porque el Alumbrado Público en el caso de las localidades de Zapala, Cutralco, Plaza Huinca, Plottier y Neuquén, el alumbrado público esta concesionado por los municipios (la operación y el mantenimiento), en las respectivas cooperativas eléctricas que prestan el servicio de distribución de electricidad.

En el resto de las localidades, tampoco han accedido a planes de reconversión del alumbrado público existente, ya sea por falta de continuación del plan, por falta de financiamiento o por falta de información en tiempo y forma para acceder a los requisitos.

Los pequeños cambios o modificaciones realizadas en el sistema del alumbrado público, fueron realizados por tratarse de obras nuevas o por reconversión de las existentes, en casi todos los casos se trataron de fondos propios de los presupuestos de cada municipio.

El alumbrado público de la ciudad de Neuquén, como ya se menciona es operado y mantenido por la Cooperativa Provincial de Servicios Públicos y Comunitarios de Neuquén limitada (CALF). A fines del año 2021, se contaba con

unas 34.000 luminarias en lámparas de sodio de alta presión (SAP), siendo el 94% de 150 - 250W y el resto son de 400 W.

Entre el año 2017 al 2018, se realizaron en conjunto con la Municipalidad de Neuquén, la colocación a modo de prueba de las primeras 32 luminarias de LED, en tres arterias céntricas (C.H. Rodríguez, Roca y Alderete).

Por su parte la Municipalidad de Neuquén desde el año 2018, no obstante, la diferencia económica en cuanto al costo de las luminarias LED versus las de sodio de alta presión, viene realizando algunas obras nuevas y significativas para la ciudad con tecnología LED, como ser alumbrado vial y de espacios verdes, con financiamiento del gobierno nacional de turno, como ser:

- La obra del Metrobús en la ciudad – 6km - 450 luminarias LED de 240 W
- El Nudo vial sobre elevado, en el cruce de la Av. Alfonsín y Dr. Ramón – 110 luminarias LED.
- Las sendas peatonales en el Parque Norte – 4,5km - 290 luminarias LED de 70 W.
- Ciclo vía y senda peatonal adyacente a las vías del FF.CC – 300 luminarias LED de 70 W
- La Costanera del rio Limay – 3km - 120 luminarias LED de 240 W.

III. RECONVERSION DEL ALUMBRADO EN NEUQUEN

El presente gobierno municipal, con el objetivo de dar señales hacia los consumidores en el tema eficiencia, el cuidado del ambiente, la baja del consumo y en el futuro el costo del alumbrado público, encaro la reconversión del alumbrado público y de espacios verdes dentro de las posibilidades del presupuesto municipal.

El año pasado, profesionales de la Municipalidad, de la Cooperativa del servicio de distribución eléctrica CALF y de la Universidad Nacional del Comahue (UNCo), con el objetivo de realizar la reconversión del alumbrado, comenzamos a analizar en conjunto el cuadro de situación del parque lumínico existente en el área centro, las avenidas, los barrios residenciales, zonas comerciales, etc. cantidad de luminarias, potencias y las normativas vigentes del alumbrado de la ciudad, como ser:

En el centro, las veredas son de 4m de ancho y las calzadas de 12m, se utilizan columnas metálicas de 8 m de altura libre, emplazadas a 0,50m del cordón, brazo pescante de 2,5m y ángulo de inclinación de 15°.

En el centro y en las vías jerarquizadas de la ciudad, entre los años 2001-03 con la crisis económica, se implementó el “Shopping a cielo abierto” mediante iluminación adicional en las veredas. En las columnas existentes, se les agrego un 2° artefacto “Ornamental” a media altura con lámpara de sodio de 150 W – CRI de 24 y en los casos de columnas inexistentes se colocó una columna específica de cuatro (4) metros de altura libre. (Ver fotos de fig.3).



Fig. 3. Iluminación de vereda: Fte. Al Banco Hipotecario con columna de 4 metros (foto Izq.), calle Corrientes y Mitre columna tradicional (foto centro) y calle Corrientes y Perito Moreno columna tradicional (foto Der.)

En base a los tipos y modelos de artefactos LED existentes en el mercado y los tipos de arterias a reconvertir, se aplicó la norma IRAM – AADL J 2022 – 2:2010 (Ver fig.4 y 5).

La reconversión en una primera etapa, comenzó con las arterias que comprenden la zona céntrica-comercial y las avenidas jerarquizadas como ser la Ex-Ruta 22 (hoy Av. Mosconi), las avenidas Argentina, 9 de Julio, Olascoaga, y el acceso al Aeropuerto de Neuquén para la mejora de la eficiencia y puesta en valor de dichas arterias.

En las arterias del centro-comercial, como ya se mencionó, se contaban hasta el año pasado para las cuadras convencionales de 100 metros de longitud, mínimamente con cuatro (4) columnas de ocho (8) metros de altura libre en disposición tres bolillos equipados con artefactos de 250 W en sodio hacia la calzada y artefactos ornamental equipados con sodio de 150 W hacia la vereda. Es decir, cada punto de luz tradicional totalizaba 400W, sin contar

las pérdidas. Los espacios libres de la disposición tres bolillos, se complementaban con dos (2) columnas más por cuadra y vereda, mediante columnas de cuatro (4) metros de altura libre equipados con artefactos ornamental también con sodio de 150 W hacia la vereda, es decir la cuadra paso de ser de tres bolillos a bilateral equipada con cuatro (4) puntos de luz por cada vereda de la cuadra. En la reconversión, mediante el uso de Luminarias LED, quedo de tres bolillos con dos columnas por vereda con artefactos LED. Veamos el detalle de potencia con sodio por cuadra:

- Potencia Instalada por vereda: 2 columnas con artefactos de (250 + 150) W + 2 columnas con un artefacto de 150 W c/u = Total 1100 W.
- Potencia eléctrica por vereda: 1100 W + 10%(1100W) = 1210 W.
- Potencia eléctrica total por cuadra: 2 x 1210W = 2420W. (Ver Ítem 5. Ahorro Obtenidos)

CLASE	VELOCIDAD TRANSITO	DESCRIPCION TIPO DE TRANSITO
C	Semi-rápido V<= 60 km/h	Calzadas de una o dos direcciones de desplazamiento, con carriles de estacionamiento o sin ellos, con intensa presencia de peatones y obstáculos
D	Lento V<= 40 km/h	Calzadas con desplazamiento lento y trabado; con carriles de estacionamiento o sin ellos; con intensa presencia de peatones y obstáculos.
E	Moderado V<= 50 km/h	Acumulan y conducen el tránsito desde un barrio hacia vías de tránsito de orden superior, (Clases A, B, C, D).

Fig. 4. Cuadro resumen de la Norma IRAM – AADL J 2022-2:2010

CLASE	VALORES MÍNIMOS		
	NIVEL INICIAL Emed [lx]	UNIFORMIDAD	
		G1 = Emin/Emed	G2 = Emin/Emáx
C	40	1/2	1/4
D	27	1/3	1/6
E	16	1/4	1/8

Fig. 5. Norma IRAM – AADL J 2022-2:2010 – Valores mínimos de iluminación y de uniformidad G1 y G2

En base a los cálculos realizados, con los datos de anchos de veredas - calzadas, altura, separación de columnas, nivel lumínico (mínimo) deseado y los rendimientos de los artefactos de LED existentes en la actualidad en el mercado, se obtuvo como primera medida los valores de las potencias y marcas de artefactos para cada posible aplicación. Además, se definieron otras características que están en la tabla de datos garantizados y exigibles a los proveedores de artefactos LED (Ver modelo fig.7). Otros datos o valores a requerir es la forma de la distribución lumínica (transversal o longitudinal), porcentaje de distribución lado calzada y lado vereda, etc.

DATOS GARANTIZADOS	EXIGIDOS	OFRECIDOS
Tensión	220V	
Potencia	50/140/200/240W	
frecuencia	50 Hz	
Factor de potencia	≥ 0.95	
Temperatura de color del LED	3000 a 4500	
Índice de reproducción cromática IRC	> 80	
Eficacia luminosa con cubierta protectora	> 140	
Grado de protección grupo óptico IP	> 65	
Ángulo de montaje regulable +/- 10°	(-10/+ 10°)	
Luminaria: Certificado de seguridad eléctrica en cumplimiento Resolución 169/18 Seguridad Eléctrica, ensayada según norma IRAM AADL J2028-2-3 o IEC 60598-1 edición 7		
Dispositivo protección ante descargas atmosféricas separado de la fuente. Tensión de operación: 220 V AC. Nivel de protección (Up): 1500V. Tensión máxima de Operación: 275 V AC. Corriente máxima de descarga (relación 8/20): 10KA.		

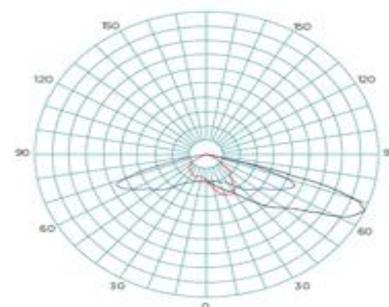
Fig. 7. Modelo de Tabla de datos garantizados mínimos en luminarias LED

IV. RESULTADOS DE EFICIENCIAS OBTENIDAS.

Para la reconversión del alumbrado en el ámbito mencionado del centro-comercial de la ciudad de Neuquén, el área comprendió un total de 48 cuadras, es decir 96 veredas (Tierra del Fuego a Nordenstrom y desde las calles Félix San Martín – Planas a las vías del FF.CC.). En dicho rectángulo existían 384 puntos de luz.

La luminaria seleccionada, tiene la particularidad que su curva de distribución luminosa es: 65% lado calzado y 35% lado vereda (Ver Fig. 8), además tiene la particularidad que permite tener regulación del ángulo de montaje, el cual puede ser variado en (-5°, 0°, +5° y +10°). Para un mejor rendimiento, se adoptó el montaje en 0°

Dado que las arterias, de esta zona son de características comercial (Calzadas con desplazamiento lento y trabado; con carriles de estacionamiento, con intensa presencia de peatones y obstáculos) el nivel inicial mínimo de iluminación (Norma IRAM – AADL J 2022-2:2010), sigue siendo el mismo, es decir 27 Lux, al igual que los grados de uniformidad.



Ver Fig. 8 curva de distribución

4.1. EFICIENCIA EN LA ZONA CENTRO – COMERCIAL

El artefacto LED, seleccionado es de 200 W – CRI > 80, temperatura de color < 4500°k, rendimiento superior a 140 Lm /W y dada su distribución luminosa, no es necesario colocar artefactos hacia la vereda. Es decir, la potencia con LED desde cada lado de la vereda hacia la calzada es de 400W (2 luminarias de 200W c/u.) de cada vereda en disposición tres bolillos.

Para el caso de la vereda existente con iluminación de Sodio de alta presión (SAP), vimos que la potencia era de 1100W, (2 columnas con luminarias de (250+150) W + 2 columnas con una luminaria de 150 W. Total = 1100 W + 10% pérdidas (1100W) = **1210W, en cada vereda.**

El reemplazo de los artefactos con lámparas de sodio, por las luminarias LED (Ver Fig. 9 fotos), implica que el ahorro es: $(1,210 - 0.400) \text{ kW} = 0,810\text{kW}$. **(67%)**, por cada vereda.

En las 96 veredas por los 0.810 kW = equivalen a **77.76 kW/h de ahorro.**

Si consideramos 11 Horas de oscuridad, al año tendríamos un ahorro de 312.206kW/H/año que equivalen a: 167 Tn de CO₂.

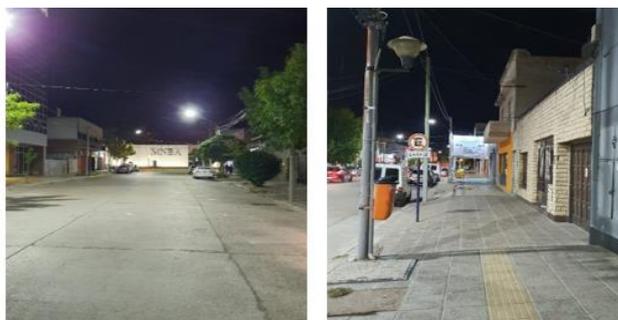


Fig. 9. Fotos con la iluminación LED. Foto Izq. Calle Santa Cruz. Foto Der. Iluminación en vereda de calle Chubut

4.2. EFICIENCIA EN LAS AVENIDAS: ARGENTINA – 9 DE JULIO.

Las Av. Argentina – 9 de Julio, tienen vereda de 4m, 2 calzada de 9m c/u. y un boulevard en el medio que es iluminado en la actualidad con LED por la municipalidad. La forma constructiva de los puntos de luz en las avenidas es similar a la ya vista en el área Centro - Comercial (iluminación de calzada + vereda).

En estas avenidas, la diferencia radica en las cantidades de los puntos de luz, cantidad de luminarias y la potencia, ya que para la reconversión se consideraron también las luminarias de las bocacalles adyacentes, mientras que por la categoría de la arteria el nivel mínimo de iluminación es de 40Lux. El área comprendió 10 cuadras, es decir 20 veredas.

Se emplearon 100 Luminarias LED de 240 W, – CRI > 80, temperatura de color < 4500°k, rendimiento superior a 140 Lm /W y el ángulo de montaje fue de 0°.

La vereda en la Avenida, equipada con Sodio (SAP), tenía incluyendo la bocacalle adyacente:
5 columnas (250+150) W = 2000W - considerando las perdidas: 2000W +10% (2000W) = 2200W.

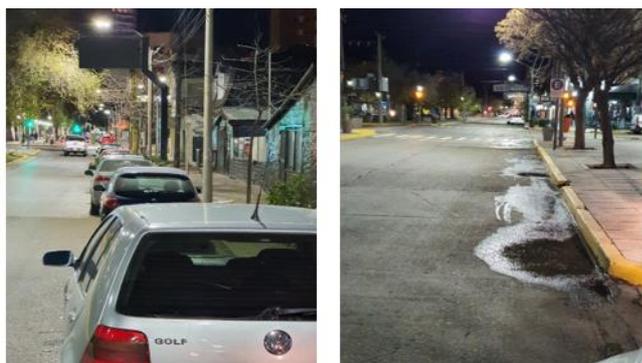


Fig. 10. Fotos con la iluminación LED. Foto izq. Av. 9 de Julio y Brown. Foto Der. Av. Argentina esq. Perito Moreno

La vereda reconvertida mediante LED (Ver Fig. 10), incluyo la bocacalle adyacente:
5 columnas con luminarias de 240W = 1200W.
El ahorro es: (2,200 – 1,200) kW = 1kW. **(45%)**, por cada vereda.

En las 20 veredas con un 1 kW c/u. = **El ahorro es de 20 kW/hora.**

Si consideramos 11 Horas de oscuridad, al año tendríamos un ahorro de **80.300kW/H/año que equivale a: 43 Tn de CO₂.**

4.3. EFICIENCIA EN LA Ex- RUTA 22 (Av. MOSCONI).

La Ex Ruta 22 (Av. Mosconi), atraviesa la ciudad de Neuquén en dirección Este – Oeste, en dirección hacia Bariloche. Dicha avenida es de dos carriles de 9m más banquina y guard rail separador, fue diseñada hace 30 años. La ubicación de las columnas, es en disposición bilateral con columnas metálicas de 9m de altura libre, separación entre columnas de 30 metros y la distancia a la cinta asfáltica es de 5m. Los artefactos eran de la ex empresa Siemens, equipados con lámpara de SAP de 400W – CRI 24, tulipa de policarbonato, y el ángulo de montaje de 15°.

La reconversión, se realizó considerando un nivel mínimo de iluminación de 40Lux (hoy avenida urbana). El área comprendió 13 km de longitud. Se emplearon 900 Luminarias LED de 240 W – CRI > 80, temperatura de color <4500°k, rendimiento superior a 140 Lm /W y el ángulo de montaje fue de 10°.

Si en cada 1000 m de longitud, de la avenida estaba equipada con 33 artefactos de SAP de 400 W c/u. la potencia es:

33 columnas 400 W en los 1000m = 400 W + 10% (400) W = 440W x 33 = **14.52 kW.**
Dado que la disposición es bilateral, en los 1000 m se tienen 2 x 14.52kW = **29.04kW.**
En la longitud total de 13.6 km de longitud, se tienen 13.6 km x 29.04 kW/km = **394.9kW/H**

Con los artefactos **LED, de 240 W**, se tiene:

33 columnas con artefactos LED de 240 W, en los 1000m = 240W x 33 = **7.92 kW.**
Dado que la disposición es bilateral en los 1000 m se tienen 2 x 7.92kW = **15.84kW.**
En la longitud total de los 13.6 km de longitud, se tienen 13.6 km x 15.84 kW/km = **215.424kW**

Es decir, el reemplazo del sodio por LED (Ver Fig. 11 fotos), dio como resultado que la eficiencia nos da un ahorro de: (394,9 – 215,42) kW = **179kW/H.** Es decir, un **45,43%**. En toda la extensión de la Ex ruta 22 (Av. Mosconi).

Si consideramos 11 Horas de oscuridad, al año tendríamos un ahorro de **718.685kW/H/año que equivale a: 384 Tn de CO₂.**



Fig. 11. Ex Ruta 22 acceso a Neuquén. Foto Izq. Iluminación Sodio. Foto Der. Iluminación LED

En todos los casos mencionados, La compra de los artefactos (LED) para la reconversión del alumbrado, fue realizada con fondos propios del presupuesto del Municipio de la ciudad de Neuquén, mientras que la mano de obra fue realizada por la Cooperativa CALF, sin costo hacia la Municipalidad, dentro del contrato de concesión vigente.

V. CONCLUSIONES

El uso de luminarias LED, produce no solo la puesta en valor del alumbrado público, de las arterias y los inmuebles beneficiados por la reconversión, sino también la satisfacción en los ciudadanos.

La disminución del consumo, con la tecnología existente hasta el momento en artefactos LED (en base al rendimiento en Lm/W), da lugar como mínimo un 45% de disminución en el consumo, cuando en realidad los niveles de iluminación obtenidos a prima facie (sin considerar envejecimiento o depresión lumínica en el tiempo), están dando por encima de los niveles establecidos por la Norma, situación que hace que habrá que revisar a futuro el valor de potencia futuro a usar en los distintos tipos de arterias.

La disminución del consumo, con el uso de la tecnología existente hasta el momento en artefactos LED, contribuye a una menor contaminación ambiental, haciendo el uso del alumbrado más sustentable.

El uso de la tecnología LED, es de esperar que dé lugar a la baja del costo del alumbrado hacia el usuario y también en el costo de mantenimiento del alumbrado.

La eficiencia energética en Argentina, a pesar de los cambios de gobiernos tiene que ser una política de estado en post de un ambiente más sustentable.

VI. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a:

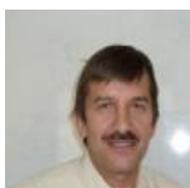
- A nuestros familiares.
- Al personal técnico de la Municipalidad de Neuquén (Obras Publicas y Órgano de Contralor Eléctrico)
- Al personal técnico de la Cooperativa CALF (Dpto. de Desarrollo y Dpto. Explotación).
- A los Alumnos de 5° de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la UNCo.

VII. REFERENCIAS

- [1] PRONUREE (Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía – Ministerio de Energía y Minería).
- [2] PLAE (Plan Alumbrado Eficiente – Ministerio de Energía y Minería)
- [3] Especificación Técnica para la adquisición de luminarias de Alumbrado Público con LED.
- [4] Norma IRAM AADL J 2022-2. Alumbrado Público. Vías de tránsito. Clasificación y niveles de iluminación.
- [5] Ley Nº 25.438. Ratificación protocolo Kioto
- [6] COP 21 (Paris 2015) CMNUCC.
- [7] Ley Nº 27270. Ratificación del Acuerdo de París, en el año 2016.
- [8] Resolución 415/2004, Secretaría de Energía. Programa Uso Racional (PURE).
- [9] Resolución 552/2005. Secretaría de Energía. Programa Uso Racional (PURE).
- [10] Resolución 319/1999. Ex Secretaría de Industria, Comercio y Minería. Lealtad Comercial, Aparatos Eléctricos – Comercialización”. Uso de etiquetas de eficiencia en aparatos electrodomésticos, gasodomésticos, vehículos y viviendas.

- [11] Manual de la AADL. – Luz, Visión, Comunicación.
- [12] Eficiencia Energética: Acciones a escala regional: Región Comahue, Patagonia Argentina. IX Congreso Nacional y VIII Congreso de Extensión del Mercosur – Tandil 2021, Ing. M. Maduri, D. Simone, A. Elizondo y C. Moreno.
- [13] AEA 90364-8 Eficiencia energética en las instalaciones eléctricas de baja tensión.
- [14] <https://revistas.unc.edu.ar/index>. La institucionalidad de la eficiencia energética en la republica argentina: un análisis de las principales políticas en el periodo 1980 – 2017 de Maximiliano franco Camarda
- [15] www.energia.gob.ar/home/eficiencia. Subsecretaria de Ahorro y Eficiencia
- [16] www.infoleg.gob.ar Información legislativa

VIII. BIOGRAFÍAS



Ing. Miguel Maduri

Universidad Nacional del Comahue (UNCo) – Fac. Ing. Dpto. de Electrotecnia. Prof. Adjunto: Instalaciones Eléctricas, Estaciones Transformadoras y otras
Vicepresidente de la AADL reg. Comahue, Cargos varios desde 1991.
1° Coordinador del Órgano “Control Municipal del Servicio Eléctrico” de Neuquén 2004 -07.
En Municipalidad de Neuquén (jefe de División y director de O. Publicas, 1992-2004.
Expositor en Congresos y Luxamerica IX, XI, XII y XIII presentando trabajos

Director de Proyectos de Extensión varios.

Participa, del Proyecto de Extensión “Eficiencia Energética en el Edificio Cipolletti.

Autor de Publicaciones Varias.

Ing. Benjazmin Campigotto

Universidad Nacional del Comahue (UNCo) – Fac. Ing. Dpto. de Electrotecnia. Prof. Adjunto: de Luminotecnia y participa en otras materias.

Presidente de la AADL reg. Comahue, Cargos y dedicaciones varias desde 1991.

Participa, del Proyecto de Extensión “Eficiencia Energética en el Edificio Cipolletti.

Ing. Daniel Domingo Simone

Universidad Nacional del Comahue (UNCo) – Fac. Ing. Dpto. de Electrotecnia. Prof. Adjunto, en el área comunicaciones desde 2012.

Investigador Categorizado, Secretaría de Políticas Universitarias, Cat. V, desde 2009.

Director Proyecto de Proyecto de Extensión “Eficiencia Energética Edificio Cipolletti.

Ha participado en proyectos de investigación y de extensión en la Fac. Ing. UNCo.

Mg Ángel Eduardo Elizondo

Universidad Nacional del Comahue (UNCo) – Fac. Ing. Dpto. de Electrotecnia.

Master en Ingeniería de Software. ITBA. 2015.

Ing. Electrónico e Ing. Agrimensor, Facultad de Ingeniería de la U.N. San Juan 1989

Profesor en Docencia Superior. Univ. Tecnológica Nacional. Fac. Reg. Neuquén (UTN).

Profesor materias varias: UTN –NQN y UNCo

Participa del proyecto de Proyecto de Extensión “Eficiencia Energética Edificio Cipolletti.

Efectos de la magno-cartelería LED

Javier E. SANTILLÁN¹

¹Dpto. Luminotecnia, Luz y Visión “Ing. Herberto C. Bühler”, FACET, UNT – Inst. de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV), CONICET/UNT - jsantillan@herrera.unt.edu.ar

Resumen: Además de ser utilizados para lámparas y sistemas de alumbrado en interiores y exteriores, los LEDs permiten la creación de dispositivos de presentación dinámica de imágenes, tales como pantallas o carteles de cualquier tamaño imaginable y con valores muy altos de intensidad luminosa. Al estar ubicados en zonas urbanas de alta densidad, se vienen presentando toda una serie de cuestionamientos, así como de reclamos por parte de los ciudadanos. El propósito de este trabajo es considerar algunos de los efectos de la magno-cartelería LED, los cuales pueden dividirse en medioambientales, visuales y no-visuales. Se considera a modo de ejemplo el caso de un cartel ubicado en un cruce de avenidas muy transitado en la ciudad de San Miguel de Tucumán. A partir de lo analizado se ponen en evidencia algunos aspectos y consideraciones luminotécnicas y visuales que deberían tenerse en cuenta para la utilización de dicho tipo de cartelería luminosa.

Abstract: In addition to being used for lamps and indoors and outdoors lighting systems, LEDs allow the creation of dynamic image presentation devices, such as screens or billboards of any imaginable size, and with very high values of light intensity. Being located in high-density urban areas, a whole series of questions have been presented, as well as claims from citizens. The purpose of this work is to consider some of the effects of LED magno-billboard, which can be divided into environmental, visual and non-visual. As an example, we consider the case of a billboard located at a busy intersection of avenues in the city of San Miguel de Tucumán. Based on what has been analysed, some lighting technical and visual aspects and considerations that should be taken into account for the use of this type of billboards are highlighted.

Palabras claves: cartelería LED, contaminación lumínica, efectos de los carteles en las personas

I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías en iluminación evolucionan y su influencia puede verse en todos los campos de la actividad humana. En estos últimos tiempos los iluminantes de estado sólido como los diodos emisores de luz o LEDs han cobrado extrema relevancia debido a sus características de policromaticidad, intensidad luminosa, rendimiento luminoso, bajo consumo eléctrico y excelente relación costo-beneficio. Además de ser utilizados para lámparas y sistemas de alumbrado en interiores y exteriores, los LEDs permiten la creación de dispositivos de presentación dinámica de imágenes, tales como pantallas o carteles de cualquier tamaño imaginable. Es por ello que la primera dificultad con la que nos encontramos al hablar de “cartelería” es referida al tamaño. Como la palabra “gigantografía” se aplica a imágenes estáticas de gran tamaño (si bien pueden estar iluminadas con fuentes LED de gran intensidad) hemos optado por usar el término “magno-cartelería LED” para referirnos específicamente a carteles publicitarios autoiluminados -de varios metros cuadrados de superficie-, constituidos por gran cantidad de LEDs. Se separa también de la idea de “cartelería digital” pues ahí pueden utilizarse back-lights LEDs, que no es lo mismo.

Al estar ubicados en zonas urbanas de alta densidad, se vienen presentando toda una serie de cuestionamientos así como de reclamos por parte de los ciudadanos, lo que evidencia una falta de lineamientos o estándares sobre el uso de este tipo de carteles, debida posiblemente a lo complejo de las temáticas involucradas. El propósito de este trabajo es considerar algunos de los efectos de la magno-cartelería LED, los cuales pueden dividirse en medioambientales, visuales y no-visuales.

II. METODOLOGÍA

A diferencia de otros tipos de carteles, los basados en LED pueden generar valores muy altos de luminancia (encima de las 10000 cd/m²) y variar dinámicamente en el tiempo. El obtener los valores de dichas variaciones es

una segunda dificultad intrínseca a la medición de las intensidades de luz reflejadas o emitidas por los carteles de gran tamaño. No se encuentra en la literatura métodos desarrollados para medir esos valores, que además de la variación de intensidades luminosas características de dicha tecnología presentan el problema típico de los carteles, es decir el que en condiciones reales las intensidades de luz percibidas pueden cambiar muy rápidamente desde el punto donde se encuentra el observador (por ejemplo si se traslada en un automóvil). Una propuesta del grupo polaco de Tomczuk y colaboradores [1] es utilizar el parámetro de la Luminancia y calcular a partir de ella el Contraste de Luminancias (C), siguiendo para las mediciones una serie de pautas recomendadas para obtener la información luminotécnica y geométrica. Entre ellas se destacan el utilizar un instrumento calibrado, con un campo de medición $\leq 1^\circ$, considerar la altura de medición de 1,5m (típica altura de los ojos de un conductor de un vehículo automotor) [2].

Se considera a modo de ejemplo el caso de un cartel de área $\leq 10\text{m}^2$ [2] ubicado en un cruce de avenidas muy transitado en la ciudad de San Miguel de Tucumán el cual presenta publicidad de forma dinámica durante el día y hasta medianoche. Las mediciones fueron realizadas en el horario nocturno, a una distancia de 20m, con un ángulo de elevación de la visión de 22° considerando el centro del cartel, utilizando un luminancímetro Minolta LS100 con un campo de medición de 1° . Se tomaron 10 medidas de luminancia para cada color (blanco, rojo, verde, azul) [3] y del entorno del cartel.

III. RESULTADOS

Como fue planteado, uno de los problemas es lo dinámico de las imágenes presentadas por este tipo de display, lo que implica que las intensidades y colores están utilizados en función de los contenidos de las publicidades. Es así que los valores son promedios (L_m) y máximos (L_{max}) de los niveles de luminancia medidos cuando alguno de los colores eran presentados de forma predominante y están expresados en cd/m^2 . Blanco: $L_m=1790$ y $L_{max}=2100$; Rojo: $L_m=757,6$ y $L_{max}=1100$; Verde: $L_m=727,8$ y $L_{max}=810$; Azul: $L_m=439$ y $L_{max}=615$.

El contraste de luminancia sería la diferencia entre el valor máximo de luminancia y el valor promedio de las luminancias del fondo donde se encuentra el cartel: $C=(L_{max}-L_m)/L_m$ por lo que se tendría: $C_{blanco}= 962,3$; $C_{rojo}= 503,6$; $C_{verde}= 370,5$; $C_{azul}= 281,1$

IV. DISCUSIÓN

Si bien los datos que estamos considerando se refieren a un solo caso y es necesario un relevamiento mayor y sistemático, la intención de esta presentación es disparar la discusión sobre esta problemática directamente vinculada a los objetivos de las Jornadas, pues en nuestra Institución hemos recibido preguntas al respecto por parte de vecinos que sufren incomodidades debido a este tipo de magno-cartelería.

A. Consideraciones desde el medio ambiente visual

Al comparar con los valores presentados por Tomczuk y colaboradores [1] estos autores encuentran que del total de carteles con tecnología LED relevados por ellos, todos presentan valores de luminancia máxima mayores a $1000 \text{cd}/\text{m}^2$, siendo que el 56% presenta valores de luminancia máxima entre 1000 y $4000 \text{cd}/\text{m}^2$. Con un valor máximo de $2100 \text{cd}/\text{m}^2$ vemos que coincidimos con estos autores en los referido al rango de luminancias observadas, las cuales sobrepasan los valores sugeridos por legislaciones de algunos países que han comenzado a limitar los niveles de emisión, como los Emiratos Arabes (contraste de 12:1 con un máximo de $1000 \text{cd}/\text{m}^2$) o de Polonia ($4000 \text{cd}/\text{m}^2$ durante el día, $600 \text{cd}/\text{m}^2$ durante la noche). Desde el punto de vista del medio ambiente visual, los valores excesivos pueden producir niveles de polución visual y lumínica debido a la gran cantidad de luz que es emitida y reflejada en todas direcciones. Como plantea Hecht 2015 [4] respecto al uso de LEDs para iluminación en las vías de circulación, al poner la preocupación en el aspecto energético y procurar obtener niveles altos de iluminación con bajo costo, no se ha prestado demasiada atención a qué sucede con ese exceso de iluminación ni como puede afectar a los usuarios. De hecho si uno observa los valores sugeridos por la CIE 2017 [2] para la intrusión de luz del alumbrado público, queda en evidencia que la luz emitida por la magno-cartelería LED supera ampliamente dichos valores, aunque no es en realidad un artefacto de alumbrado propiamente dicho (p.e. emite en sentido horizontal, sin control de los ángulos de iluminación, etc). Aún así, en el estado actual de las cosas, aunque hubiere un cartel de este tipo cada $1,6 \text{Km}^2$, el 96% de la polución seguiría debiéndose a otras fuentes luminosas [3].

B. Consideraciones desde el "ciudadano"

Aquí no quería hablar de "usuario" o de "observador" pues eso supone una intencionalidad. Y según puede notarse, los ciudadanos no siempre están siendo afectados voluntariamente por este tipo de magno-cartelería LED.

Desde esta perspectiva del factor humano puede observarse que gran parte de los trabajos de investigación están referidos a los “efectos visuales” en los conductores de los automotores. Estos se dividen en los efectos distractivos de las imágenes presentadas (y la forma en que se lo hace), y a los efectos en el sistema visual, sobre todo el deslumbramiento.

El efecto distractivo de la cartelería ha sido objeto de estudio desde hace varias décadas, a lo que en los últimos tiempos se sumó las especiales características de la cartelería llamada “digital”. Aquí el efecto puede ser doble: por un lado, la distracción visual, al hacer que el conductor quite sus ojos del camino; o la distracción cognitiva, al desconcentrarlo o ocupar su mente con algo que lo distrae de la conducción (“mirar sin ver”) aumentando drásticamente los tiempos de reacción. Si consideramos las variaciones temporales de luminancia, así como la dinámica de los contenidos presentados en el cartel que tomamos de ejemplo, no sorprende que los resultados de las investigaciones sugieren claramente que los magno-carteles digitales alteren la atención del conductor [5][6][7], aunque no hay acuerdo en lo referido al grado en que esto impacta en la seguridad. Lo que si está claro es que la edad de los conductores es un factor significativo [5][8], presentando mayor tiempo de observación el grupo de los adolescentes y jóvenes.

En lo referido al deslumbramiento fisiológico, si bien puede producirse debido a los niveles de iluminación emitidos por la magno-cartelería LED, es difícil el caracterizarlo correctamente siguiendo las normativas acostumbradas para iluminación de vías de tránsito. Esto se debe a las particulares ópticas que pueden incorporar los LEDs las que produce distribuciones asimétricas y cuyas intensidades varían de acuerdo al punto de observación. Por lo tanto que ocurra deslumbramiento dependerá de la ubicación y tamaño del cartel, así como de la distancia y ángulo de observación respecto al conductor. El efecto fisiológico del parpadeo es conocido, y puede producir epilepsia fotosensible en frecuencias entre 3 y 70 Hz [9].

Es así que al ser aditivos los potenciales factores distractivos (visuales y cognitivos) y fotométricos (alta luminancia, altos contrastes, flicker) es la ubicación inadecuada la que puede cobrar la mayor relevancia al magnificar potencialmente los efectos negativos de la magno-cartelería sobre los ciudadanos [10].

Respecto a los efectos no-visuales, una queja que puede escucharse seguido es la de los vecinos cuyas viviendas se ubican en las inmediaciones de los magno-carteles LED y sufren la intrusión de su luz en el horario nocturno. Este tipo de exposición descontrolada se conoce como LAN (Light at Night) y puede generar una serie de efectos físicos (síndromes metabólicos, enfermedades cardiovasculares, incidencia en algunos cánceres, problemas con algunos fármacos) y psicológicos (alteraciones cognitivas, alteraciones emocionales (p.e. stress), alteraciones en el bioritmo, etc.) [11]. Esto se agrava en los adultos mayores (>60 años) pues presentan una mayor sensibilidad a los efectos no-visuales de la luz [12]. Si consideramos que el pico de emisión de algunos LEDs coincide con el pico de supresión de Melatonina, no sorprende que aún siendo el menor nivel de emisión de estos carteles el del color azul (en nuestro caso $L_{max}=615 \text{ cd/m}^2$), lo mismo sea suficiente para producir efectos negativos en la calidad del sueño de los vecinos en las inmediaciones [13].

V. CONCLUSIONES

Las mediciones realizadas indican que este tipo de magno-cartelería LED puede presentar sin dificultad niveles altos de luminancia, e incluso lo hace de forma dinámica (publicidades animadas) variando intensidades y colores. Si bien pudo verse que existe un corpus notable de información desde el campo de la luminotecnia y de los factores humanos en iluminación, llama a atención la falta de pautas y control por parte de los organismos estatales en muchos países.

En ese sentido, en lo referido al nivel de iluminación, tratando de que sea más simple su implementación, los autores coinciden en que los carteles deben cumplir con los requerimientos de una zona E2 [2]. La lógica es que sería muy poco probable que ellos estén ubicados en una zona E1, pero que a su vez, al cumplir el nivel E2, perfectamente cumplen también con lo exigido para las áreas E3 y E4. Es así que siguiendo esa razonamiento, según Lewin [3] en horario nocturno un cartel de 3x6m no debería emitir un promedio de más de 300 cd/m^2 considerando una distancia de observación de 45m. Otros autores sugieren metodologías dinámicas de control, en las cuales el nivel medio de la luz del magno-cartel se ajustaría un porcentaje por encima del valor de la iluminación imperante en el medio ambiente que lo rodea.

En lo que respecta al aspecto distractivo, es importante tener en cuenta que la “distracción externa” representa entre el 6 y 9% del total de causas en los siniestros vehiculares y que los datos muestran que los tiempo en que se miran los carteles se vé duplicado al tratarse de magno-cartelería LED [14].

Respecto a su funcionamiento en horario nocturno debe ser doblemente limitado: no sólo en intensidad como se indicó anteriormente, sino también en el tiempo de encendido. Esto permitiría que los vecinos puedan contar con un tiempo de descanso de calidad, especialmente los adultos mayores.

Por todo lo anterior es evidente que el aspecto de la “ubicación” cobra gran relevancia al poder mitigar o aumentar (según sea el caso!) dichos efectos. Es en ese aspecto donde los organismos estatales deben contar con legislaciones que permitan controlar la difusión de la cartelería, como puede leerse en la Ley de Publicidad Exterior de la Ciudad de Buenos Aires: “La publicidad exterior que por sus características o tipo de tecnología empleada genere sensación de movimiento en su mensaje o imágenes, cualquiera sea su tamaño y ubicación, deberá presentar tanto en forma previa al otorgamiento de los permisos [...], estudios de impacto lumínico al tránsito vehicular y peatonal, en este último caso la presentación debe realizarse dentro de los 180 días posteriores a su instalación. Dichos estudios deberán ser tratados y considerados por la Comisión de Paisaje Urbano al momento de analizar el otorgamiento” (Incorporado por el Art. 1º de la Ley Nº 4.118, BOCBA Nº 3839 del 24/01/2012). Sin embargo sigue siendo ambigua o poco clara respecto a los parámetros visuales y luminotécnicos a ser determinados, así como a la forma de medición y evaluación de los mismos.

Habiendo establecido algunos de los factores relevantes que producen efectos en los ciudadanos que circulan o viven en las inmediaciones de magno-carteles LEDs, creemos que aún es mucho lo que resta por investigar y que como especialistas del campo de la luminotecnia y la visión tenemos mucho por aportar a esta temática.

VI. REFERENCIAS

- [1] Tomczuk, P., Chrzanowicz, M., & Jaskowski, P. (2022). Procedure for measuring the luminance of roadway billboards and preliminary results. *LEUKOS*, 18(1), 2–20.
- [2] International Commission on Illumination (CIE) (2017). Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations. 2nd ed. doi:10.25039/TR.150.2017.
- [3] Lewin, I., & FIES, L. C. (2008). Digital billboard recommendations and comparisons to conventional billboards. Lighting Sciences Inc., www.lightingsciences.com
- [4] Hecht, J. (2015). Exploring a New “Twilight Zone”: LED Street Lighting and Human Vision. *Optics and Photonics News*, 26(10), 34–41.
- [5] Belyusar, D., Reimer, B., Mehler, B., & Coughlin, J. F. (2016). A field study on the effects of digital billboards on glance behavior during highway driving. *Accident Analysis & Prevention*, 88, 88–96.
- [6] Sorum, N. G., & Pal, D. (2022). Effect of Distracting Factors on Driving Performance: A Review. *Civil Engineering Journal*, 8(2), 382–405.
- [7] Costa, M., Bonetti, L., Vignali, V., Bichicchi, A., Lantieri, C., & Simone, A. (2019). Driver's visual attention to different categories of roadside advertising signs. *Applied ergonomics*, 78, 127–136.
- [8] Sisiopiku, V. P., Islam, M. M., Wittig, S., Welburn, S. C., & Stavrinos, D. (2014). Perceived and real impacts of digital advertising billboards on driving performance. *Advances in Human Aspects of Transportation: Part II*, 8, 408–419.
- [9] Harding, G. F. A. and Harding, P. F. (1999) “Televised material and photosensitive epilepsy,” *Epilepsia* 40, 65–69.
- [10] Domke, K., Wandachowicz, K., Zalesi, M., Mroczkowska, S., & Skrzypczak, P. (2012). Large-sized digital billboards hazard. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 7(4), 367–380.
- [11] Smolensky MH, Hermida RC, Reinberg A, Sackett-Lundeen L, Portaluppi F. (2016). Circadian disruption: New clinical perspective of disease pathology and basis for chronotherapeutic intervention, *Chronobiology*
- [12] Najjar RP, Chiquet C, Teikari P, Cornut PL, Claustrat B, Denis P, Cooper HM, Gronfier C. (2014) Aging of Non-Visual Spectral Sensitivity to Light in Humans: Compensatory Mechanisms? *PLoS ONE*. 9(1):e85837.
- [13] Meng-Wei Lin, Pin-Hsuan Hsieh, Erik C. Chang, and Yi-Chun Chen (2014) Flicker-glare and visual-comfort assessments of light emitting diode billboards, *Appl. Opt.* 53, E61-E68
- [14] Decker, J. S., Stannard, S. J., McManus, B., Wittig, S. M., Sisiopiku, V. P., & Stavrinos, D. (2015). The impact of billboards on driver visual behavior: A systematic literature review. *Traffic injury prevention*, 16(3), 234–239.

VII. BIOGRAFÍAS



Javier Santillán es Doctor en Psicobiología por la Universidad de Sao Paulo (USP), Magíster en Percepción Visual y Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la UNT.

La iluminación y la percepción de seguridad en el Parque Avellaneda de la ciudad de San Miguel de Tucumán

Javier E DOMINGUEZ¹ – M. Paula FORTUNA²– M. Agustín GUTIERREZ³

^{1, 2, 3} Departamento de Luminotecnia Luz y Vision –FACET- UNT- San Miguel de Tucumán, Argentina

Resumen: Este trabajo formó parte del examen para aprobar la asignatura Psicología Ambiental de la carrera Diseño de Iluminación (UNT). El objetivo fue investigar la relación entre la iluminación y la percepción de seguridad en usuarios del parque Avellaneda de San Miguel de Tucumán, mediante una metodología cuantitativa-cualitativa.

Una muestra intencional de 58 personas respondió un cuestionario sobre la percepción de la iluminación artificial del parque, su confort visual y la sensación de seguridad en el lugar. Estos datos fueron asociados con los valores de iluminación provistos por lámparas de mercurio halogenado, sodio y lámparas led.

Los resultados del estudio muestran que el rango de iluminancias medido entre 6 y 22,3 lx, se asocia a percepciones de menor y mayor sensación de seguridad respectivamente, demostrando la importancia de la iluminación del espacio público en variables psicológicas como el miedo. Con respecto al confort visual los encuestados manifestaron no experimentar molestias visuales (deslumbramiento) mientras realizan sus actividades en el parque bajo la actual iluminación.

Palabras Claves: iluminación; percepción visual; sensación de seguridad; confort visual.

Abstract: This study was part of the examination to pass the Environmental Psychology subject belonging to the Lighting Design career (UNT). The objective was to investigate the relationship between the current lighting and the perception of security in users of the Avellaneda park in San Miguel de Tucumán, by means of a quantitative-qualitative methodology.

A random sample of 58 persons answered a questionnaire about their perception of the park's artificial lighting, their visual comfort and the feeling of security in the place. These data were associated with the lighting values provided by Metal Halide, Sodium lamps and led lamps.

The results of the study show that the range of illuminances measured between 6 and 22.3 lx, was associated with perceptions of a lower and higher sense of security, respectively, which demonstrates the importance of lighting in public spaces on psychological variables such as fear. As to visual comfort, the respondents stated that they did not experience visual discomfort (glare) while performing their activities in the park.

Key words: lighting, visual perception, sense of security, visual comfort.

I. INTRODUCCIÓN

Los espacios públicos son un tema de importancia en la planificación urbana de las grandes ciudades por los beneficios que aportan a su comunidad, como el comercio, el turismo y la seguridad. Actualmente el estilo de vida de las personas cambió de diferentes maneras con la llegada de la pandemia del Covid-19. Uno de ellos fué el aumento de la frecuencia de uso de los espacios verdes urbanos, que trajo beneficios en el bienestar personal y redujo efectos negativos del estrés [1]. Con la visibilidad de estas nuevas necesidades el comportamiento social se convierte en una variable importante a tener en cuenta en el diseño de estos lugares.

Estos acontecimientos impulsaron a indagar el nivel de satisfacción de las personas que frecuentan esos lugares respecto a la iluminación de los mismos. El estudio se llevó a cabo en uno de los parques más concurridos de la ciudad de San Miguel de Tucumán, el parque Avellaneda. A través de la recolección de datos objetivos (relevamiento fotométrico) y subjetivos (encuesta de opinión), se buscó obtener información sobre la percepción de iluminación, el confort visual y la sensación de seguridad que experimentan las personas que concurren al parque. La importancia

de la participación ciudadana en estudios como éste, permite conocer el efecto del diseño de iluminación en personas/usuarios del espacio público.

Se usó como referencia la norma luminotécnica Americana IESNA G-1-03: Guideline for Security Lighting for People, Property, and Public Spaces, y así encontrar puntos de comparación entre requerimientos mínimos de iluminación y la percepción del espacio.

II. METODOLOGÍA

La metodología consistió de un relevamiento fotométrico que incluyó mediciones de iluminancia sobre el piso, debajo de cada luminaria y entre luminarias, como así también la caracterización del tipo de lámpara y artefacto.

El estudio se complementó con mediciones subjetivas mediante la administración de una encuesta de opinión que indagaba aspectos de percepción visual, confort visual y sensación de seguridad, en 58 usuarios del parque.

El muestreo fue intencional, o sea, se encuestaron a las personas que llegaban a los puntos de medición seleccionados.

La encuesta estuvo compuesta por ítems en formato de preguntas cerradas y otras tipo Likert, además de datos sociodemográficos y sobre patologías oculares.

III. DESCRIPCIÓN DEL ESPACIO

El parque Avellaneda es un espacio público para realizar actividades al aire libre. Posee espacio de juegos, gimnasios al aire libre, un bar, bancos, arbolados, anfiteatro.

Las columnas que conforman a la iluminación del parque tiene una altura aproximada de 5 mts con una separación entre columnas de 10 a 15 mts. Las luminarias contienen lámparas de mercurio halogenado, sodio y lámparas led.

Un sector del parque puede ser caracterizado como un ambiente de alta luminosidad que se encuentra cercano al monumento del Bicentenario y sobre una de las avenidas principales de la ciudad. Fig. (2). Y otro sector como un ambiente de luminosidad media que se encuentra adyacente al Cementerio del Oeste de Tucumán.



Fig.(2)

IV. RECOLECCIÓN DE DATOS

Se encuestaron 58 personas en el mes de diciembre año 2021, distribuidas en 4 zonas que consideramos para nuestra evaluación, como se muestra en las figuras Fig. (1)

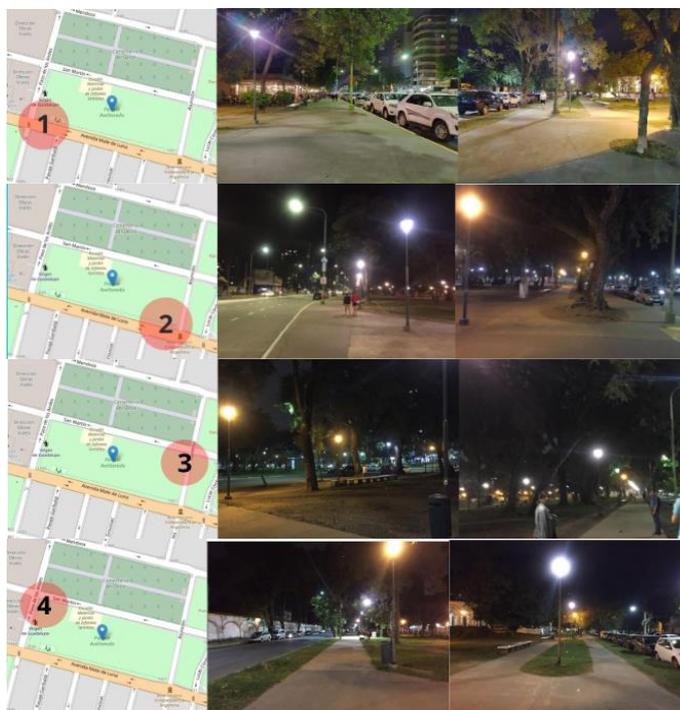


Fig. (1)

Evaluamos la sensación de: seguridad, confort, percepción visual y distribución lumínica para conocer sus niveles de satisfacción a través de una encuesta.

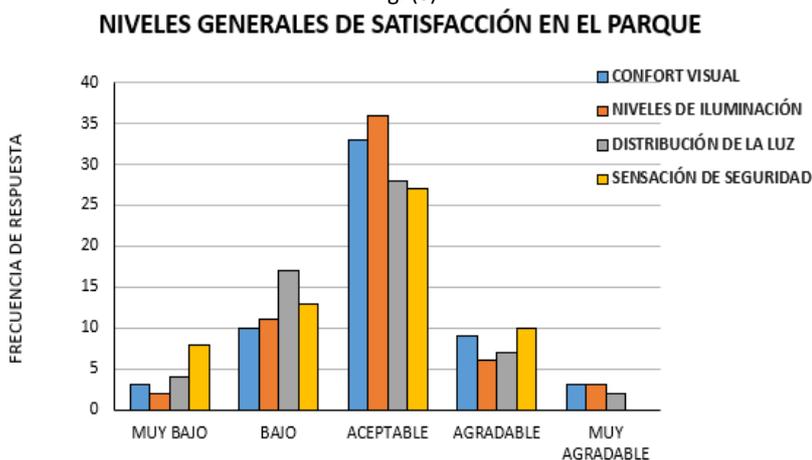
V. RESULTADOS

La mayoría de los encuestados manifestaron que los niveles generales de satisfacción con respecto al nivel de la luz, confort visual y distribución de la luz del parque son aceptables y la minoría manifestaron que son muy bajos. Fig.(3)

Con respecto a la sensación de seguridad la gran mayoría lo consideran aceptable.

Además un 74% de los encuestados tienen preferencias por temperaturas de color fría, un 17% cálida y el 9% neutra

Fig. (3)



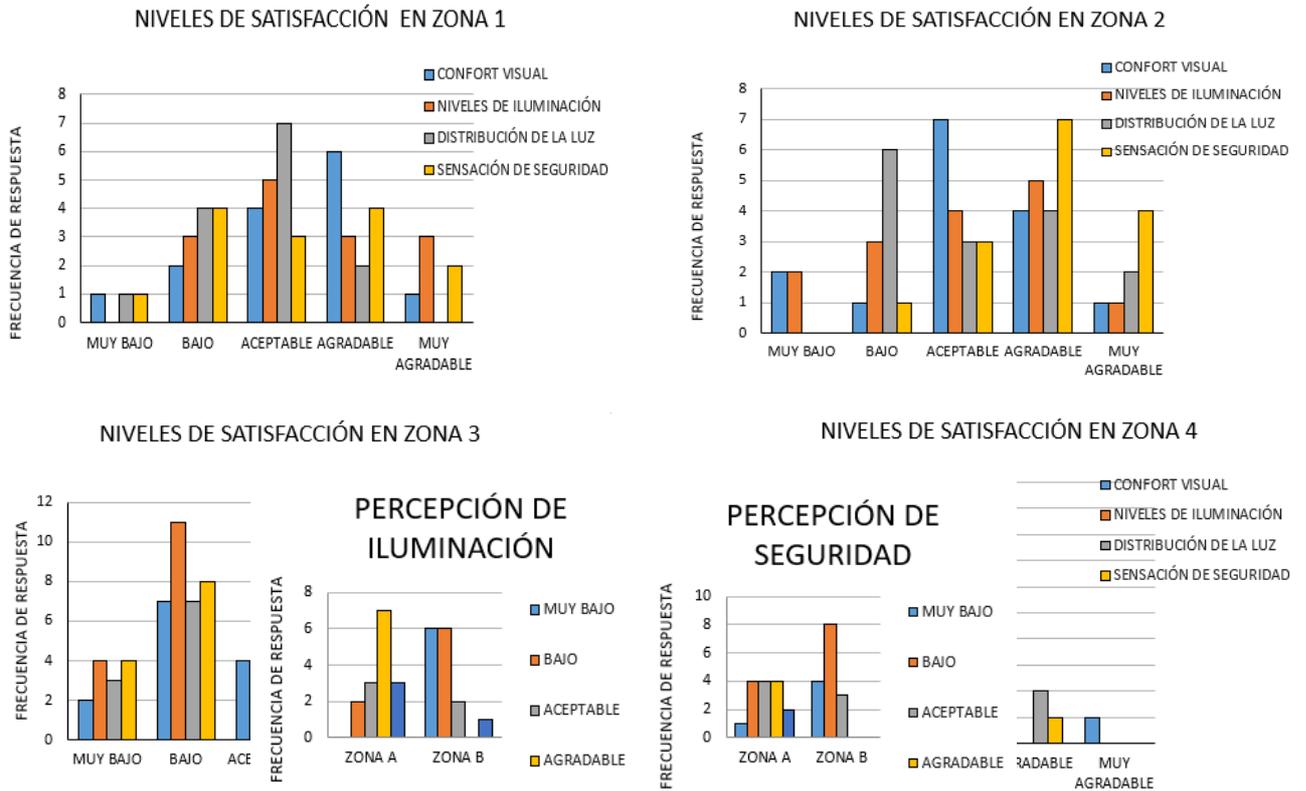


Fig. (4)

Con respecto al confort visual, nivel de iluminación y la sensación de seguridad , se pudo observar que resulta más agradable para la zona 1, aceptable para la zona 2. A diferencia de la zona 3 y 4 que resulta bajo. Fig. (4)

• **MEDICIÓN DE ILUMINANCIA (PUNTOS DE ILUMINANCIA)**

El rango de iluminancias medido oscila entre 6 y 22,3 lux. Con uniformidad mayor a ¼. Fig. (5)

Los resultados demostraron que las personas ubicadas en la zona A y zona B perciben de forma muy diferente el espacio a pesar de tener niveles de iluminancia similares. En la zona A la percepción de iluminación y seguridad son más agradables que en la zona B. Fig. (6)

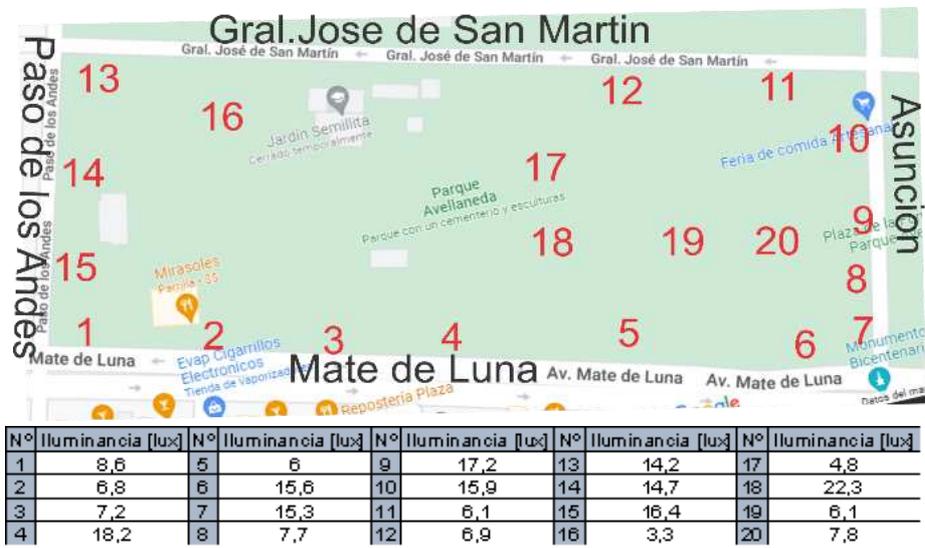


Fig. (5)



Fig. (6)

VI. DISCUSIÓN

Todos los encuestados manifestaron reconocer obstáculos y rostros de otras personas en el espacio. Este resultado es coherente con los valores de medición de iluminancia ya que se aproximan a los valores mínimos recomendados por las normas IESNA para la respectiva luminosidad del ambiente. Fig.(9).

Zone and Description	Recommended Maximum Illuminance
Zone E1 <i>Intrinsically dark</i>	1 lux (0.1 fc)
Zone E2 <i>Low ambient brightness</i>	3 lux (0.3 fc)
Zone E3 <i>Medium ambient brightness</i>	8 lux (0.8 fc)
Zone E4 <i>High ambient brightness</i>	15 lux (1.5 fc)

Fig. (9): IESNA G-1-03 Guideline for Security Lighting for People, Property, and Public Spaces

El mayor porcentaje de los encuestados no sintieron molestias visuales al llevar a cabo sus actividades, ya que no sufrieron deslumbramiento ni incomodidad en su campo visual en el parque. Aún así se observó que las personas que presentaron mayor deslumbramiento, probablemente ocurre por ser un sector cercano a una zona de mayor tránsito de vehículos, y por existir un cambio de dirección vehicular que eventualmente impacta en la línea de visión de los peatones.

Se encontró sectores en donde los niveles de iluminación cumplían con las normas luminotécnicas de referencia IESNA G-1 0-3 [3], pero perceptualmente los encuestados se sintieron disconformes y más inseguros. Estos resultados coinciden con los sectores que presentaban alto contraste entre luz y sombra, y más presencia de luminarias con temperatura de color cálida.

Casi en la mayoría de los casos quedó evidente la preferencia por las luminarias con temperaturas de color más frías. Esto podría deberse a que las luminarias de estas características benefician la visión periférica de las personas [2] En consecuencia suponemos que esta fué la razón del impacto positivo en la sensación de seguridad, al mejorar la detección de posibles amenazas en un campo más amplio.

En las zonas que caracterizamos como un ambiente de alta luminosidad, cercana al monumento del Bicentenario y sobre la avenida principal, se observan niveles de satisfacción altos. Estos demuestran niveles aceptables de confort visual y sensación de seguridad, que puede deberse a la predominancia de luminarias con temperatura de color fría, mejor distribución de la luz y una mayor circulación de personas.

En las zonas que caracterizamos como un ambiente de luminosidad media, adyacente al Cementerio del Oeste de Tucumán, se observan niveles de satisfacción bajos. Estos demuestran bajos niveles de confort visual y sensación de seguridad, que puede deberse a la predominancia de luminarias de temperatura de color cálida, peor distribución de la luz y una menor circulación de personas.

El contraste anteriormente marcado también es evidenciado por una diferencia de mantenimiento de las instalaciones del parque. La zona más próxima a la avenida es considerada en mejor estado. Esta diferencia coincide con el aumento de la sensación de inseguridad.

Las limitaciones y ventajas a la hora de recolectar los datos fueron la diversidad de edades de las personas y los distintos grados de patologías oculares que presentaban.

VII. CONCLUSIONES

Con el análisis, la planificación y la ejecución de este proyecto de investigación, llegamos a la conclusión que si bien existen normas luminotécnicas que dan una pauta de los valores recomendados de iluminación, estos no contemplan los efectos emocionales que pueden afectar en las personas. Los resultados de esta investigación nos sugieren posibles mejoras que impactarían de manera positiva en la percepción de seguridad y el confort de las personas en espacios públicos:

- Optar por luminarias con temperatura de color fría
- Evitar bajos niveles de uniformidad mediante una adecuada distribución de la luz.
- Respetar los períodos de mantenimiento de la instalación lumínica.

Creemos que estas contemplaciones incorporan soluciones a las necesidades de iluminación urbana y alentamos a seguir explorando las características de los espacios verdes, en relación con la seguridad, para que el bienestar ciudadano migre hacia mejores cifras en el futuro.

VIII. RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a la profesora Dra. Tonello Graciela por motivarnos y guiarnos en la realización de esta investigación y al DDLLYV por poner a disposición herramientas e instrumentos.

IX. REFERENCIAS

- [1] Berdejo-Espinola, V., Suarez-Castro, A.F., Manao, T., Fielding, K.S., Ying OH, R., Fuller, R. (2021). Urban green space use during a time of stress A case study during the the COVID- 19 pandemic in Brisbane, Australia. *People and Nature*, 3 (3): 597-609. doi: 10.1002/pan3.10218
- [2] Van Bommel, W.J.M.; "The spectrum of light sources and low lighting levels: the basics", *The Lighting Journal (ILE)*, October (2009).
- [3] IESNA G-1-03: Guideline for Security Lighting for People, Property, and Public Spaces.(2003)

Efectos del recambio de luminarias LED en una red eléctrica en baja tensión

Cristian Andrés PAVEZ BARRIOS¹ - Denis Eduardo RIQUELME SANDOVAL² - Ricardo Javier CIUDAD CARTAGENA³

^{1,2} Depto. Electrotecnia e Informática – Univerisidad Técnica Federico Santa María, UTFSM, Viña del Mar, Chile

¹ cristian.pavez@usm.cl – ² denis.riquelme@usm.cl

³ Depto. Mecánica – Univerisidad Técnica Federico Santa María, UTFSM, Viña del Mar, Chile – ricardo.ciudad@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, debemos tomar en cuenta los elementos que lo componen, los cuales corresponden a, transformadores en BT, líneas de distribución, cargas (luminarias) y protecciones eléctricas. Analizamos un circuito de 30 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.

Este estudio permite hacer un análisis de los costos del consumo de energía para un caso tipo.

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 30 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.

This study allows an analysis of the costs of energy consumption for a typical case.

Palabras claves: Distribución, LED, Armónicas, Ahorro Energía.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enfoca en analizar el comportamiento eléctrico de luminarias LED, debido a que en Chile se viene llevando a cabo un recambio masivo de luminarias con lámparas de sodio en alta presión (SAP) que se utilizan en alumbrado público por esta nueva tecnología que promete satisfacer las necesidades de eficiencia energética, niveles lumínicos y de bienestar de la población, pero, nos hemos preguntado, ¿Los efectos que causará esta

tecnología en la red eléctrica convencional?, ¿Debemos considerar a futuro un recambio de elementos eléctricos?. Estas y otras preguntas debemos cuestionar y así estudiar mas a fondo los efectos electricos causados por distintas lamparas en el sistema de distribución eléctrico nacional.

Para responder a ello 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 estos y los efectos de cada luminaria en el sistema eléctrico nacional.

II. MEDICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS

I. Identificación de luminarias

Con el apoyo de la empresa Downlight la cual nos proporcionó las luminarias para su medición, las

Las mediciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Luminotecnia, perteneciente al Departamento de Electrotecnia e Informática (ELINF) de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Viña del Mar (José Miguel Carrera).

El software ETAP v20.6.0 (simulador de redes eléctricas) y los equipos LED Power Driver Tester, fuente programable de voltaje alterno marca ITECH serie IT7320, todos estos pertenecientes a la Universidad Técnica Federico Santa María - Sede Viña del Mar.

Tabla I: Especificaciones técnicas de equipos a medir

Caso / Fuente de luz	Características
1 / LED	Drivers Electrónico de 1050 mA max, con PMW de 0 a 10V con protección de sobretensión de entrada hasta 10kV, Fabricante Invertronics
2 / SAP	Ballast Magnético, fabricante ELT

II. 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.

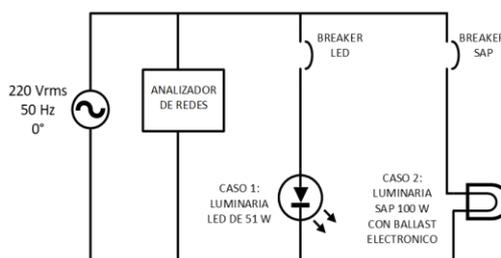


Fig. 1: Circuito eléctrico

III. Medición de parámetros eléctricos

Cada muestra se deja estabilizar por una hora aproximadamente, transcurrido ese tiempo se procede a descargar informe y estos son los resultados arrojados:

Tabla II: Magnitudes de parámetros medidos

Parámetro	Caso 1	Caso 2
Voltaje (V)	220	220
Corriente (mA)	236	581,9
Potencia Activa (W)	51	115
Potencia Reactiva (VAR)	9,32	67,4
Potencia Aparente (VA)	51,83	127,3
FP	0,9831	0,8478
Vthd (%)	0,0	0,0
Athd (%)	12,3	24,2

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

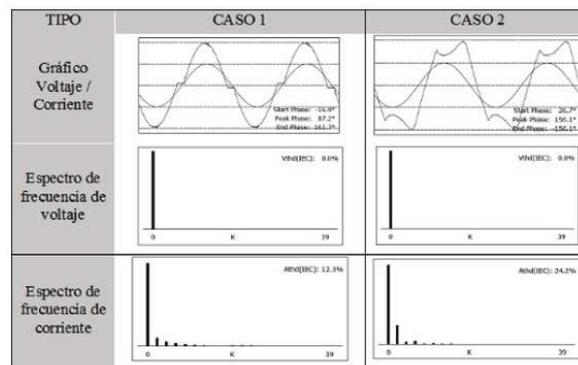


Fig. 2: Graficas voltaje / corriente y espectros de frecuencia

III. SIMULACIÓN

Con datos detallados de tasas de distorsión armónica de voltaje y corriente más las gráficas y espectros correspondientes, procedemos a simular un circuito base típico utilizado en alumbrado público nacional a través del software ETAP v20.6.0, en el cual se colocó un transformador de 20kVA, sus protecciones eléctricas respectivas, conductor tipo cable de 12 AWG con un vano de 50m entre luminarias.

Se analiza el efecto de los armónicos presentes en tres tipos de luminarias: LED, Sodio con ballast convencional

El sistema trifásico considera el análisis de un escenario de 30 luminarias por fase.

Los subsistemas de cada tipo de luminaria se conectan a la Barra 2 de 0,38kV como se muestra en la siguiente figura:

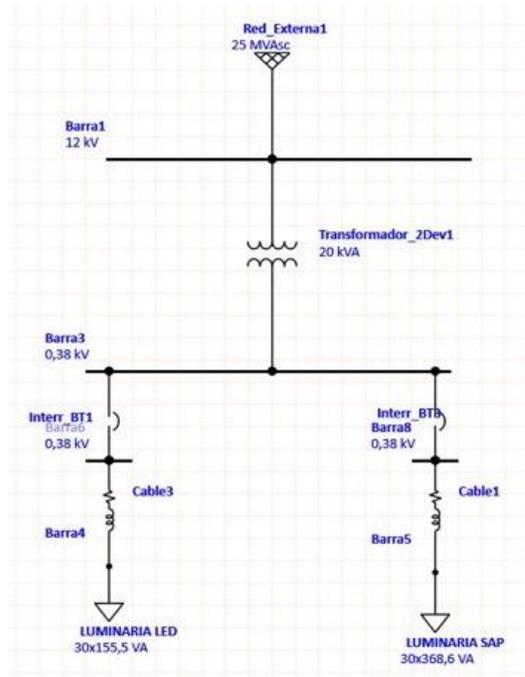


Fig. 3: Diagrama unilineal simulado en ETAP de sistema y subsistemas

El analisis de los resultados obtenidos a traves de la simulación es de manera trifásica.

I. Caso 1: Luminaria LED

El nivel de tensión en la Barra 2 provoca una caída de tensión al 0,43%. La Potencia total consumida es de 4,49kW, 0,815kVAR y 4,563kVA. La corriente absorbida desde la barra es de 7,8A. La tasa de distorsión armónica de voltaje es de un 0,408%, La tasa de distorsión armónica de corriente es de un 13,37%, las cuales se observan en figuras presentadas a continuación.

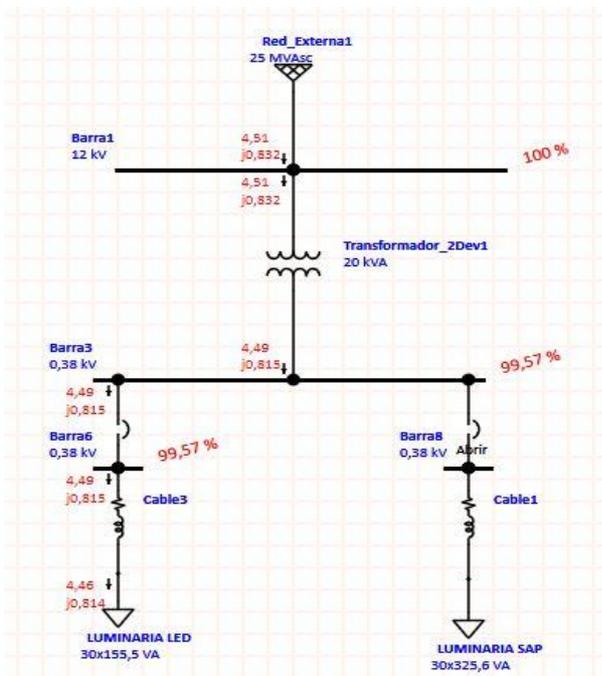


Fig. 4: Diagrama unilineal simulado de flujo de potencia en LED

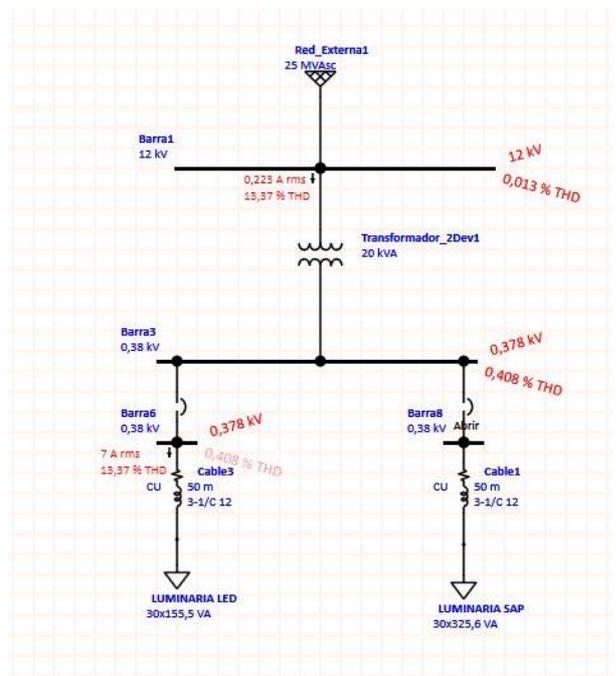


Fig. 5: Diagrama unilineal simulado de ATHD en LED

II. Caso 2: Luminaria SAP con ballast convencional

El nivel de tensión en la Barra 2 provoca una caída de tensión al 1,21%. La Potencia total consumida es de 9,85kW, 4,83kVAR y 11kVA. La corriente absorbida desde la barra es de 16,9A. La tasa de distorsión armónica de voltaje es de un 0,932%, La tasa de distorsión armónica de corriente es de un 11,24% las cuales se observan en figuras presentadas a continuación.

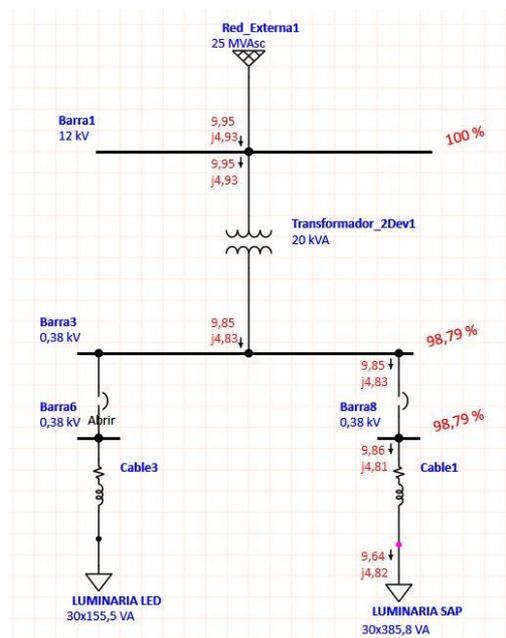


Fig. 6: Diagrama unilíneal simulado de flujo de potencia en SAP convencional

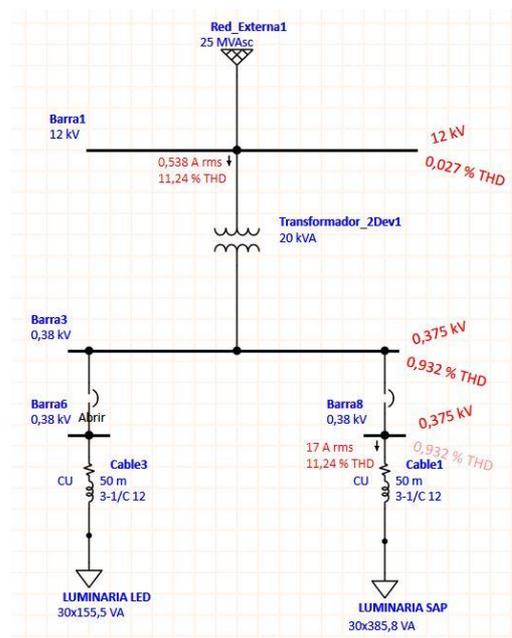


Fig. 7: Diagrama unilíneal simulado de ATHD en SAP convencional

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. Para este estudio, se analizaron dos casos:

- Caso 1: 30 luminarias SAP, en la potencia de 100W. con sus respectivas pérdidas y opción tarifaria BT-2.
- Caso 2: 30 luminarias con tecnología LEDs, potencia de 51W. con opción tarifaria BT-2.

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

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

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

TABLA III: Horas de Funcionamiento del sistema de AP

Luminarias SAP (100W.):

TABLA IV: Luminarias con Balasto Convencional

Cant. de Luminaria	Potencia Nominal (W)	Pérdida(W)	Potencia Instalada (KW)	Consumo Energía (KWh)
30	100	15	3,45	13.869

Potencia Total Instalada Anual : 3,45 kW

Consumo Energía Total Anual : 13.869kWh

Luminarias con Tecnología LED (51W.):

TABLA V: Luminarias con Tecnología LED

Cant. de Luminaria	Potencia Nominal (W)	Pérdida(W)	Potencia Instalada (KW)	Consumo Energía (KWh)
30	51	0,85	1,53	6.151

Potencia Total Instalada Anual : 1.53 kW.

Consumo Energía Total Anual : 6.151 kWh.

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

Caso 1:

Luminarias SAP (100W.) y tarifa BT-2:

Pago Cargo Fijo	\$	1.046
Pago Energía	\$	1.205.993
Pago Presente en Punta	\$	16.331
Uso Sistema Troncal	\$	7.045
Total Anual	\$	1.230.415

Luminarias LED (51W.) y tarifa BT-2:

Pago Cargo Fijo	\$	1.046
Pago Energía	\$	533.259
Pago Presente en Punta	\$	16.331
Uso Sistema Troncal	\$	3.115
Total Anual	\$	552.705

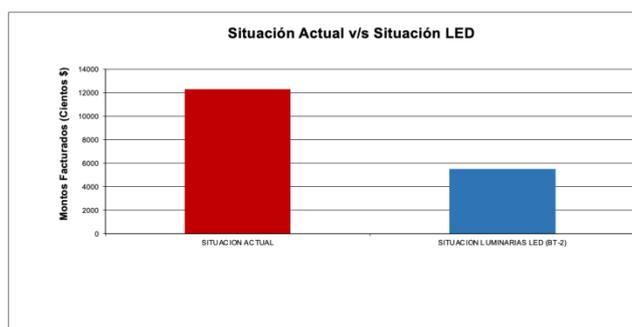


Fig. 10: Gráfico BT-2 Situación actual vs Situación LED

V. CONCLUSIONES

Respecto a las mediciones realizadas a las luminarias LED y SAP (convencional y electrónico) y simulación respectiva a un circuito típico de alumbrado público, podemos concluir que; el circuito que mayor cantidad en la 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 Barra 2 aumentando las pérdidas por efecto Joule en los bobinados del transformador y por histéresis y corrientes de Foucault en los circuitos magnéticos.

Dada las simulaciones el %THD en Voltaje no supera el 8%, de acuerdo a la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución Chilena del 2017.

Al ocupar luminarias LED en las potencias de 51W., se obtiene una disminución de potencia del 55,8%, que corresponde al 55,1% de ahorro tarifario.

VI. REFERENCIAS

- [1] Decreto Supremo N° 8 “Reglamento de Seguridad de las Instalaciones de Consumo de Energía Eléctrica”.
- [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] Cuaderno Técnico Schneider N° 183. Armónicos: rectificadores y compensadores activo

VII. BIOGRAFÍAS



Cristian Andrés Pavez Barrios, Docente del departamento de Electrotecnia y Informática en la UTFSM, Magister en Innovación Tecnológica y Emprendimiento, Ingeniero Civil Industrial. Áreas de interés en investigación: Calidad de la Energía Eléctrica, Evaluación de proyectos..



Denis Eduardo Riquelme Sandoval. Docente del departamento de Electrotecnia y Informática 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.



Ricardo Javier Ciudad Cartagena., Docente de Departamento de Mecánica en la UTFSM, Magister en Gestión empresarial, MBA Internacional, UPC Magister en Dirección y Liderazgo para la gestión, Ingeniero Civil Industrial. Áreas de interés en investigación: Calidad de la energía, economía, Proyectos de mantenimiento.

LUZ 2022 XV Jornadas Argentinas de Luminotecnia

Ciencia y Tecnología de la luz al servicio del ser humano y del medio ambiente

- Diseño de la iluminación arquitectónica
- Integración de la luz natural y artificial
- Eficiencia energética y aspectos económicos de la iluminación interior
- Arte lumínico - luz y patrimonio

LUZ, ARTE Y ARQUITECTURA



ASOCIACIÓN
ARGENTINA
DE LUMINOTECNIA

La iluminación arquitectónica como fenómeno de comunicación

Mario RAITELLI¹

¹Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión - FACET - UNT Tucumán, Argentina - mraitelli@herrera.unt.edu.ar

Resumen: Se presentan los fundamentos que permiten considerar a la luz como un sistema de comunicación, que informa las características funcionales, estéticas y simbólicas de un espacio. Esta perspectiva hace posible que el diseño y la evaluación de un sistema de iluminación puedan ser abordados desde la semiótica. Mediante ejemplos y análisis de casos se describen los conceptos básicos y metodológicos para aplicar esta disciplina en la práctica de la iluminación.

Abstract: The fundamentals by which light is considered a communication system that informs the functional, aesthetic and symbolic characteristics of a space are presented. This perspective makes possible that both, design and evaluation of a lighting system to be approached from semiotics. The basic and methodological concepts to apply this discipline in the practice of lighting are described through examples and case analysis.

Palabras claves: Diseño y evaluación de iluminación, semiótica.

I. INTRODUCCIÓN

El diseño de iluminación se puede considerar, básicamente, como un proceso de comunicación (Fig. 1) donde el diseñador (sería el emisor) busca “informar” al receptor (el comitente) como la configuración de luz que propone (el mensaje) puede satisfacer sus necesidades y expectativas.

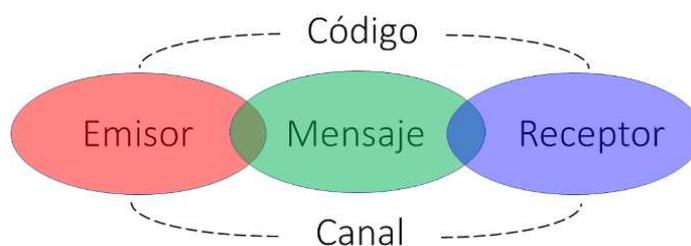


Fig. 1: Sistema de comunicación

Para ello se vale de una serie de recursos, como planos, esquemas, renders, etc. (serían el canal de comunicación) que funcionan bastante bien para comunicar los aspectos físicos del proyecto, pero que no siempre sirven para transmitir las ideas o conceptos que tienen que ver con la respuesta subjetiva; es decir, con las emociones y sensaciones que la propuesta puede inducir. Para abordar este último aspecto, la semiótica se constituye como una alternativa interesante, pues es una disciplina que estudia cómo se procesa la información en contextos de comunicación.

Un enfoque semiótico aplicado al análisis de sistemas de iluminación puede ayudar a explicar, por ejemplo, ¿por qué una escena o atributo luminoso puede tener un significado?, ¿qué recursos se pueden utilizar para transmitir un mensaje visual?, ¿cómo los usuarios podrían interpretar un efecto luminoso?, o ¿por qué a veces las personas responden de manera diferente a estímulos visuales similares?

II. CONCEPTOS DE SEMIÓTICA

En términos generales, se puede considerar que la semiótica ayuda a explicar cómo se asocia la información transmitida con su significado. La premisa fundamental de esta disciplina es que el ser humano para comunicarse se vale de signos; es decir, tiene la capacidad de crearlos, transmitirlos, recibirlos e interpretarlos.

El proceso de creación de significado a partir del empleo de signos es un complejo mecanismo mental que involucra tres instancias:

El **objeto** a representar o al cual se hace referencia. Este puede ser de existencia concreta o abstracta. Por ejemplo, un automóvil, un ventana, un concepto o idea de diseño, etc.

El **signo** que se utiliza para representar al objeto, y que se denomina el representante o sustituyente (en el sentido que lo reemplaza en el proceso comunicativo). Por ejemplo, para describir un proyecto se puede utilizar un plano (o un esquema, una maqueta, etc.) que “*representa*” (hace referencia) a la idea que se quiere comunicar.

El **interpretante** que es una “imagen mental” que se genera en el receptor cuando percibe el signo, y que lo conecta con su representante.

Por ejemplo, para hablar sobre el cabildo de Buenos Aires, se podría utilizar un boceto como el de la Fig. 2 para referirse al mismo. El receptor, al observar el boceto, podría pensar en la gesta de mayo de 1810, en algún aspecto de su arquitectura, o en cualquier otro atributo de este objeto. Esta idea que se forma es lo que constituye el interpretante.

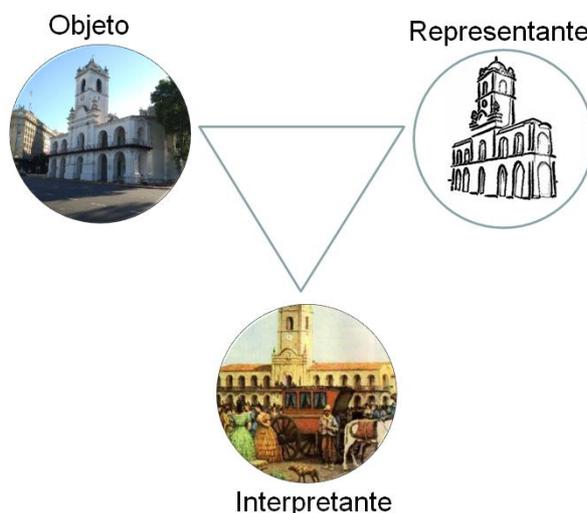


Fig. 2. Componentes del proceso de significación

Dado que el signo es un elemento fundamental para la comunicación, es necesario estudiar sus características (naturaleza, clases, tipos, etc.) -y fundamentalmente- que función desempeña en el acto comunicativo y de creación de significado.

III. EL SIGNO SEMIÓTICO

Un signo se puede definir como una entidad dotada de contenido informacional que representa o hace referencia a una entidad diferente, para un receptor, y en un determinado contexto. Por ejemplo, la cruz es un signo del cristianismo pero no representa lo mismo para la religión musulmana, un olor desagradable en un alimento indica que está en mal estado, etc. Entonces, todo lo que se percibe puede ser un signo (palabras, imágenes, objetos, sonidos, gestos, olores, etc). Para la semiótica aplicada al análisis de la iluminación interesan los signos visuales, es decir los que se perciben por medio de la luz. Así, un signo visual es todo lo que emite o absorbe luz; por ejemplo, una fuente (natural o artificial), un objeto que refleja y/o transmite y/o absorbe luz.

IV. CONCEPTOS DE SEMIÓTICA

TIPOS DE SIGNOS

Por lo general los signos se presentan agrupados. Por ejemplo, en lingüística las palabras se forman con varias letras. Además, actúan en base a relaciones entre sus componentes. La relación más importante es entre el objeto y su representante. Esto permite clasificar a los signos en tres categorías: Iconos, índices, y símbolos.

I. Signos icónicos

Se trata de signos que guardan una relación de semejanza con el objeto que representan. La semejanza puede ser morfológica, o de alguna otra propiedad del objeto. Un ejemplo de signo visual icónico sería una ventana virtual (Fig. 3).



Fig. 3: Iconos. Las ventanas y lucernarios virtuales se asemejan a los reales por su forma, y también por que pueden mimetizar la luz natural.

II. Indices

Son signos que tienen conexión física real con el objeto que representan. La conexión puede consistir en la proximidad, la relación causa efecto o en cualquier tipo o relación. Las señalizaciones luminosas, una guía visual, etc. son ejemplos de signos indiciales (Fig. 4).



Fig. 4: Una señalización de salida es un signo indicial pues indica la dirección de circulación.

III. Simbolos

Son signos que se refieren al objeto que representan en virtud de una ley o convención; es decir, no guardan aparentemente ningún tipo de relación o similitud con lo que representan. Un logotipo empresarial, el escudo de un club, etc. son ejemplos de signos simbólicos.

V. TIPOS DE MENSAJES

Un mensaje visual puede tener dos niveles de significación: El *donotativo* y el *connotativo* (Fig. 5). El primero es el que hace referencia a los elementos puramente descriptivos; es decir, a los significados que se puede percibir de forma directa (formas, colores, geometría, etc.). El significado connotativo en cambio, es el que interpreta el receptor. Se trata de un nivel de significación subjetivo, que excede la mera descripción. Esto es lo que explica por que un mismo estímulo luminoso puede ser interpretado de diferentes maneras por distintos usuarios.



Fig. 5: El significado denotativo de una ventana es la posibilidad iluminar con luz natural; el connotativo sería, por ejemplo, la conexión con el exterior, la pérdida de privacidad, etc.

VI. TIPOS ANÁLISIS

Un estudio semiótico involucra tres niveles o dimensiones de análisis diferentes (Fig. 6).

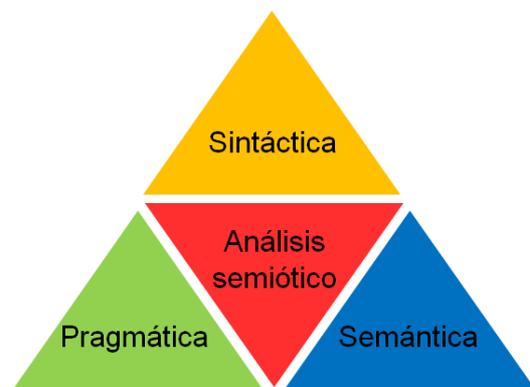


Fig. 6: Dimensiones del análisis semiótico.

A. Análisis sintáctico

Corresponde al estudio de las relaciones entre los propios signos. Así el orden en que se presentan incide en la interpretación del mensaje. Esto es evidente en los sistemas de signos lingüísticos. Por ejemplo, las palabras “RAMO” y “AMOR” tienen las mismas letras pero dispuestas en distinto orden y esto hace que tengan diferentes interpretaciones.

El análisis sintáctico de un sistema de iluminación corresponde al estudio de la configuración espacial, temporal, cromática, etc. La sintaxis permite, por ejemplo, determinar cómo se deben disponer las luminarias en el espacio, la secuencia y sincronismo para crear efectos luminosos dinámicos, o establecer una línea de tiempo mediante la iluminación, etc.

B. Análisis semántico

Se refiere al estudio de las relaciones entre los signos y su significado con independencia del contexto. Corresponde al nivel de significación denotado. El análisis semántico de una situación de iluminación evalúa el efecto visible que produce en el espacio; por ejemplo, una iluminación uniforme, un contraste, etc.

C. Análisis pragmático

Es el estudio de las relaciones entre los signos y su significado incluyendo al receptor y al contexto donde tiene lugar el proceso comunicativo. Corresponde al nivel de significación connotado.

El análisis pragmático de una instalación de iluminación sirve para evaluar el impacto que produce en los usuarios.

En la Fig. 7 se muestra, como ejemplo, un análisis semiótico del sistema de signos correspondiente a las luces de tráfico. La sintaxis indica el orden en que se disponen las luces. La semántica establece el significado de cada signo, el cual es válido para cualquier contexto pues se trata de un sistema que se utiliza universalmente. Por esta misma razón, el análisis pragmático debería coincidir con el semántico. Sin embargo, existen contextos donde por distintos motivos no siempre se respeta la indicación de la luz roja.

	Análisis:		
	Sintáctico	Semántico	Pragmático
	Luz roja arriba	Parar	Avanzar (si no hay tráfico)
	Luz amarilla al medio	Precaución	Avanzar c/precaución
	Luz verde abajo	Avanzar	Avanzar

Fig. 11: Análisis semiótico de un sistema de luces de tráfico.

VII. EL ANÁLISIS SEMIÓTICO APLICADO AL DISEÑO DE ILUMINACIÓN

El análisis semiótico aplicado al diseño de iluminación puede contribuir a abordar aspectos no directamente relacionados con el desempeño visual de los usuarios, como, por ejemplo, la ambientación visual del recinto, el efecto emocional sobre los ocupantes, la necesidad de crear o dotar al espacio con una identidad, carácter, status, etc. La definición de estos criterios es lo primero que se debe hacer en todo proyecto. Luego hay que identificar los elementos que actúan como signos visuales, y asociarlos con los posibles significados que podrían “comunicar” (interpretantes). Finalmente, el análisis sintáctico, semántico y pragmático establece la relación de estos elementos signíficos con los parámetros fotométricos que permiten implementar las ideas del diseño.

VIII. RELACIÓN ENTRE SIGNOS Y PARÁMETROS FOTOMÉTRICOS

Los parámetros fotométricos se constituyen en los atributos que permiten relacionar los signos visuales o luminosos con el significado que pueden transmitir. En la tabla I se muestran los principales parámetros, algunos de sus posibles interpretantes y el significado o interpretación que se puede hacer de acuerdo con sus valores

Tabla I: Parámetros fotométricos

Parámetro fotométrico	Interpretante	Significado
Luminancia	Sensación de claridad	Claridad/obscuridad
	Atmósfera visual	Seguridad/inseguridad
		Atractivo/repulsivo
Distribución de intensidad luminosa	Dirección de la luz	Claridad/obscuridad
	Uniformidad de la iluminación	Variedad/monotonía
		Destacar/disimular (objetos, sectores, etc.)
Temperatura de color	Apariencia de la luz	Calidez/frialdad
	Atmósfera visual	Relajación/dinamismo
		Temporalidad
Índice de reproducción cromática	Color de objetos	Apariencia visual de objetos
		Interés/indiferencia
		Atractivo/repulsivo

IX. EJEMPLOS

A. *Espacio exterior*

El concepto de diseño de iluminación para este tipo de espacios depende de muchos factores, tales como el contexto urbanístico, arquitectónico, social, los usos y costumbres nocturnas de los transeuntes, la importancia comercial, turística, patrimonial del espacio, etc.

En la Tabla II se presentan los elementos visuales del espacio de la Fig. 12 que pueden tener una función comunicativa, y sus respectivos interpretantes:



Fig. 12: Espacio exterior

Tabla II: Objetos e interpretantes visuales del espacio de circulación de la Fig. 12.

Objeto	Interpretante
Veredas	Circulación peatonal
	Encuentro social
	Otras actividades (venta ambulante, espera, vigilancia, etc.)
Calzada	Circulación vehicular
Área verde	Espacio de relajación
Fachadas	Delimitación del espacio
	Separación espacio privado-público
Ventanas y balcones	Conexión interior-exterior
	Sensación de privacidad
	Seguridad

Análisis semántico: La iluminación ambiental hace visible todo el espacio, destaca los planos verticales, y permite apreciar los detalles (Fig. 13). Por el contrario, una iluminación más dirigida hacia los planos horizontales y de bajo nivel, crea contrastes, deprime los planos verticales, y oculta detalles (Fig. 14).



Fig. 13: Iluminación ambiental



Fig. 14: Iluminación horizontal.

Análisis pragmático: La configuración de luz de la Fig. 13 crea la sensación de claridad, permite apreciar bien los rostros (lo cual es importante para la seguridad en áreas con poca circulación nocturna de peatones). El empleo de fuentes con tonalidad fría produce sensación de dinamismo y estimula a recorrer la zona. Esta propuesta podría ser apropiada para zonas comerciales.

La iluminación que muestra la Fig. 14 deprime los planos verticales y los rostros, hace aparecer al espacio como oscuro y -por lo tanto- podría crear la sensación de poca seguridad. Sin embargo, el uso de luces cálidas induce la impresión de calma y tranquilidad, por lo cual la propuesta podría ser adecuada para un área residencial (observar como se minimiza la “luz intrusa” hacia los edificios) o una zona donde, por ejemplo, se quiera promover la gastronomía gourmet nocturna.

B. Patio interno de un edificio público

En las Fig. 15 se muestra el patio principal del edificio del rectorado de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). La iluminación de este importante espacio se reemplazó recientemente por un nuevo sistema con fuentes LEDs RGB.



Fig. 15: Patio principal del edificio del rectorado de la Universidad Nacional de Tucumán

El análisis sintáctico de este proyecto indica que las luminarias están dispuestas en arreglo matricial, por encima del cielorraso, que es de paneles blancos translúcidos. Con esto se consigue una iluminación ambiental difusa. El comando de estos artefactos permite crear distintos efectos cromáticos dinámicos y también pre-programar hasta 7 escenas. Además, en las galerías que rodean al patio se han montado luminarias direccionables con fuente LEDs.

La propuesta incluyó la programación de cinco escenas cromáticas, que se encienden en días específicos, y dos con luz blanca para iluminación funcional. La idea es que estas escenas se enciendan para conmemorar las efemerides patrias y los días del medio ambiente, del cáncer de mamas, y de la diabetes infantil, respectivamente. En la tabla III se presentan los análisis semánticos y pragmáticos de este proyecto, y en la Fig. 16 se muestran las escenas correspondientes.

Tabla II: Análisis semántico y pragmático de la iluminación del patio principal del edificio del rectorado de la UNT

Análisis	
Semántico	Pragmático
Color: Celeste, blanco, celeste, en días patrios nacionales	Conmemoración efemérides nacionales de Argentina
Color: Blanco, celeste, blanco, en días patrios provinciales	Conmemoración efemérides provinciales de Tucumán
Color: verde, los días 5 de junio	Conmemoración del día mundial del medio ambiente
Color: rosa, los días 19 de octubre	Conmemoración del día mundial del cáncer de mamas
Color: azul, los días 14 de noviembre	Conmemoración del día mundial de la diabetes infantil
Color: blanco, sin atenuación	Iluminación funcional en meses de invierno
Color: blanco, atenuado al 50%	Iluminación funcional en meses de verano



Fig. 15: Escenas de luz programadas para iluminación funcional, y para conmemorar efemérides nacionales y provinciales, y los días mundiales del cáncer mamas, de la diabetes infantil, y del medio ambiente.

X. CONCLUSIONES

- La semiótica ofrece una perspectiva diferente para el análisis de sistemas de iluminación arquitectónica.
- Permite incorporar al análisis conceptual no sólo cuestiones técnicas, sino también subjetivas
- Como herramienta de diseño representa un enfoque diferente para el análisis de alternativas.
- Facilita la comunicación (con el equipo del diseño, como con el comitente) de las ideas y conceptos de diseño.
- Como estrategia de evaluación, la semiótica es especialmente útil en situaciones que parecen técnicamente correctas pero que no llegan a satisfacer las expectativas.

XI. REFERENCIAS

- [1] Coviello A.L, Toscano D.E, Sarem S. Chaya J.L. (2018). Términos fundamentales de semiótica. Libro digital. Ed. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Filosofía y Letras. ISBN 978-987-754-122-9.
- [2] Chandler D. (2001) Semiotics for Beginners. Libro digital. Disponible en: <http://visual-memory.co.uk/daniel/Documents/S4B/semiotic.html>
- [3] Karam T. (2011). Introducción a la semiótica de la imagen. PORTALCOMUNICACION.COM. ISSN 2014-0576.
- [4] Schielke T. (2019) The Language of Lighting: Applying Semiotics in the Evaluation of Lighting Design, LEUKOS, 15:2-3, 227-248, DOI: 10.1080/15502724.2018.1518715.
- [5] Beaver M.H, Blossom N.H. (2009) Perceptions of light-space compositions: Is light like language? Journal of Interior Design 2009; 34: 35–46.

XII. BIOGRAFIAS



Mario Raitelli

Magister en Luminotecnia por la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Profesor del Área de diseño de iluminación del Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (DLLyV) de la UNT, en asignaturas de grado y posgrado. Dicta el curso Iluminación de museos de la maestría en museología de la UNT y el módulo Luminotecnia en la especialización en Higiene y seguridad de la UTN-FR Tucumán. Participa en proyectos de investigación de su especialidad. Actualmente es director del DLLyV.

Iluminación de la fachada del edificio MUNT y EDUNT

M. RAITELLI¹, E. MANZANO², B.M. O'DONELL³ y N. VALLADARES⁴

^{1, 2, 3, 4} Departamento de Luminotecnia Luz y Visión. FACET-UNT- Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión. CONICET – UNT

¹mraitelli@herrera.unt.edu.ar

Resumen: El objetivo de este trabajo es presentar los criterios y las propuestas adoptadas en el diseño de iluminación de las fachadas del edificio donde funcionará el museo de arte moderno –MUNT- y la editorial de Universidad Nacional de Tucumán – EDUNT-.

El proyecto está basado en los criterios actuales que se recomiendan para la iluminación de edificios históricos y patrimoniales: relevancia histórica del edificio, simbolismo, arquitectura, preservación, impacto ambiental, eficiencia energética, vida útil y mantenimiento de las instalaciones. A fin de satisfacer estos criterios se recurre a la tecnología Led para minimizar el consumo de energía y costos de mantenimiento, emplear luminarias de pequeñas dimensiones, y fuentes de luz con temperatura de color blanco cálida y excelente índice de reproducción de colores. Este diseño de iluminación apunta a crear un efecto estético que realce el edificio, mediante el revelado de su volumetría y el destaque de detalles de su arquitectura y ornamentación. También se sugiere la implementación de escenas de luz con cambios de colores, para ser utilizadas en ocasiones especiales.

Palabras claves: Diseño de iluminación, patrimonio histórico, iluminación LEDs.

I. DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA

Se trata de un edificio que es patrimonio histórico nacional ubicado en calle Virgen de la Merced, primera cuadra, acera este, de la ciudad de San Miguel de Tucumán. Cuando se traslada la ciudad de San Miguel de Tucumán al sitio actual, se les otorgó a los Mercedarios una manzana en el mismo sitio que hoy corresponde al edificio motivo de este proyecto. El gobernador de Tucumán C.Gutiérrez, en 1848 declara propiedad de la provincia las posesiones que los Mercedarios dejaron en Tucumán. En 1854, el gobernador de Tucumán, propone el uso del edificio del antiguo convento de la Merced para colegio de enseñanza primaria, designando a Edmundo Buessard director del mismo.



Figura 1. Edificio MUNT y EDUNT de la Universidad Nacional de Tucumán. <http://bicentenario.csnat.unt.edu.ar/p/poder-legislativo-y-judicial/legislatura>

Luego se denominará Escuela Central. Posteriormente en 1857, el gobierno autoriza a los Sres. Labougle y Pelissot a establecer un colegio de enseñanza primaria y secundaria (Colegio San Miguel). El gobierno de Tucumán, acepta la propuesta educativa de Amadeo Jacques y lo designa director del Colegio San Miguel en 1858. En la misma institución se funda una Biblioteca Pública en 1858. El Gobierno de la Nación dispone la creación de un Colegio Nacional en Tucumán en 1864; por lo que el gobierno local cede las instalaciones de la escuela del estado, con el objeto de fundar allí dicho colegio en 1865.

En 1905, el Gobierno Nacional transfiere a la provincia el sitio y edificio del colegio Nacional y, a su vez la provincia otorga a la nación la manzana del actual Colegio Nacional, para su construcción.

En este edificio, correspondiente a la fachada colindante norte funciona también hasta la actualidad la Escuela y Liceo vocacional Sarmiento de la UNT; mientras que en su fachada oeste y sur, funcionó hasta Marzo de 2012 la Honorable Legislatura de Tucumán; luego de su traslado al nuevo edificio de calle Muñecas al 900; el gobierno provincial lo transfiere a la Universidad Nacional de Tucumán, con destino a la Escuela Sarmiento.

Se trata de un edificio de dos plantas, de estilo neoclásico. La altura total del inmueble es aproximadamente 18.50 metros. Las fachadas cuentan con carpintería de madera en puertas y ventanas, pintadas actualmente con colores claros. Las ventanas disponen, además, de herrería artística de hierro de color negro. Es importante destacar el deterioro del edificio, como consecuencia del abandono que sufren desde que dejó de funcionar allí la Legislatura de la provincia de Tucumán, hace casi diez años. También hay que mencionar que previo a su iluminación, se procederá a la restauración total de las fachadas.

En este edificio funcionarán el museo (MUNT) y la editorial (EDUNT) de Universidad Nacional de Tucumán.

II. CRITERIOS DE DISEÑO

La elaboración de las propuestas del presente anteproyecto se basa en los criterios actuales que se recomiendan tener en cuenta para la iluminación de edificios históricos y patrimoniales:

- la relevancia histórica del edificio
- su simbolismo
- las funciones que en él se desarrollan
- su arquitectura
- la preservación
- el impacto visual
- el impacto ambiental y eficiencia energética
- la vida útil y el mantenimiento de las instalaciones.

A fin de satisfacer los citados criterios se adoptan las siguientes estrategias para desarrollar la propuesta de la iluminación de las fachadas:

- Empleo de luminarias que minimicen el impacto visual por su presencia, tanto durante el día como de noche
- Intervención mínima posible sobre la arquitectura del edificio.
- Uso de Luminarias de pequeñas dimensiones con tecnología Leds
- Empleo de fuentes de luz con temperatura de color blanco cálida y excelente índice de reproducción de colores
- Racionalizar el consumo de energía.
- Minimizar los costos de mantenimiento
- Minimizar la cantidad de luminarias.
- Homogenizar en la medida de lo posible la variedad de luminarias a utilizar, a fin de simplificar el mantenimiento.

La propuesta de iluminación para las fachadas apunta a realzar la estética del edificio, mediante el revelado de su volumetría y el destaque de detalles de su arquitectura y ornamentación, y sus ritmos. También se prevé la implementación de escenas de luz con cambios de colores, para ser utilizadas en ocasiones especiales.

La iluminación proyectada incluye las fachadas: principal, orientada hacia el oeste, y la sur que, a pesar de ser medianera con la propiedad de la iglesia Nuestra Señora de la Merced, resulta visible desde el exterior a través del enrejado de la iglesia. También se incluye, la fachada de la propiedad colindante norte (actualmente es parte de la Escuela y Liceo vocacional Sarmiento de la UNT) dado que tiene un estilo arquitectónico similar al edificio principal. La totalidad de luminarias propuestas son de tecnología LED.

III. PROPUESTA DE ILUMINACIÓN

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 planos 3D y planos en 2D para ser utilizada en el programa Dialux Evo. Las fotometrías 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 de acuerdo a la luminosidad del entorno. Los sistemas de iluminación propuestos son los siguientes:

- **Iluminación de aberturas en PA y PB:** Se realizará mediante luminarias de tecnología LED, de formato lineal y distribución luminosa asimétrica de 30 W. Estos artefactos se dispondrán en forma aplicada en los dinteles de las aberturas. La temperatura de color de las fuentes será cálida (entre 3000°K y 3200°K) para destacar la carpintería que será restaurada y lustrada con terminación madera.
- **Iluminación de pilastras:** se iluminarán con artefactos del mismo tipo que en el caso anterior, a fin de destacar la esbeltez vertical de estos elementos. En este caso, los artefactos se dispondrán directamente sobre las paredes, debajo de las molduras. En este último caso si fuera necesario es deberá disponer de faldones de apantallamiento para evitar deslumbramiento provocado por las fuentes de luz.
- **Iluminación del coronamiento.** Para este sector se propone un baño de luz en los tramos entre las pilastras, que produzca contraste con estas a fin de destacar el ritmo de estos elementos. También en este caso también se emplearán luminarias lineales de distribución luminosa asimétrica de 30 W. Se proponen dos alternativas (figuras 1, 2 y 3) para el montaje de luminarias: a) disposición horizontal sobre la bandeja del coronamiento y b) instalación vertical junto a las pilastras. La diferencia entre ambas opciones es que en el caso (a) las luminarias estarán dirigidas en forma ascendente y por lo tanto resultarán más críticas las exigencias en cuanto a la protección contra ingreso de agua y sólidos (suciedad) y la necesidad de un mantenimiento más frecuente. Con la alternativa (b) en cambio, las luminarias se dispondrán verticalmente y, si fuera necesario se deberá disponer de faldones para optimizar su mantenimiento.
- **Escenas de cromáticas:** estas se prevén para el acceso principal al edificio (figuras 4 y 5). La idea es destacar este sector con una iluminación mediante fuentes LED-RGB, programables y con secuenciación automática. Las luminarias son también de formato lineal. Estos artefactos se dispondrán en las pilastras laterales.

Para el comando y control de la iluminación de las fachadas se proponen dos escenas. La primera es para utilización diaria, y consiste en encender sólo la iluminación de las aberturas. La otra, contempla agregar la iluminación de las pilastras y el coronamiento; y se reservará para ocasiones especiales (efemérides patrias, por ejemplo). En cuanto a las escenas cromáticas, se sugiere que su empleo se haga también durante las fechas en que se celebran la lucha contra del cáncer de mamás, diabetes infantil, etc.



Fig. 2. Alternativa 1 para el coronamiento: iluminación con luminarias posición horizontal



Fig. 3. Alternativa 2 iluminación coronamiento luminarias en posición vertical

IV. 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 mayor de 1000 lm
- Índice de respuesta al color mínimo mayor de 90
- Temperatura de color correlacionada Tcc ~3.000 K
- Potencia máxima 30 W
- Protección mecánica (IP \geq 65 e IK = 10)
- Acabado exterior



Fig 4. Iluminación cromática de puerta principal y de planta alta



Fig 5. Iluminación cromática de puerta principal y de planta alta

V. 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 tamaño reducido, combinadas con ubicaciones en las cuales quedaban ocultas o enmascaradas por los detalles arquitectónicos del propio edificio.

VI. PRESERVACIÓN DE LA FACHADA

La preservación del edificio se logra con la intervención mínima posible sobre la arquitectura del edificio. Fueron utilizadas, en la mayoría de los casos, sujeciones mediante abrazaderas de canalizaciones aéreas perfilando salientes e interiores

VII. CONCLUSIONES

Se describe la obra de iluminación de la fachada del edificio MUNT y EDUNT de la UNT, la cual presentó características particulares por la arquitectura del edificio y por el hecho de constituir un patrimonio histórico para la provincia de Tucumán.

El proyecto, desde la etapa el diseño conceptual, requirió de la intervención de la Comisión de Patrimonio de la UNT, la cual evaluó y aprobó los efectos luminosos y escenas de luz generadas. Las luminarias propuestas fueron de tecnología LED, donde el reducido impacto visual durante el día, el bajo consumo energético y la duración esperada justifican los costos de inversión. La potencia instalada solo en luminarias es de 1,8 Kw. Esta obra no se ejecutó todavía.

VIII. REFERENCIAS

- [1] <http://bicentenario.csnat.unt.edu.ar/p/poder-legislativo-y-judicial/legislatura>
- [2] Iluminación del Palacio de Justicia de la ciudad de San Miguel de Tucumán. Manzano E, ODonell B, Raitelli M., Del Negro L, De Nobrega M. Luminotecnia nro 140 2017

IX. BIOGRAFÍAS



Beatriz O'Donell Dra. en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (MAVILE), Magíster en Luminotecnia y Licenciada en Física, títulos obtenidos en la UNT. Profesora Asociada en el Departamento de Luminotecnia (DLYV) de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología UNT para carreras de grado y postgrado en áreas de Factores Humanos de la Iluminación y Diseño de Iluminación de interiores. Vice Directora del DLYV



Mario Raitelli Mgter. en Luminotecnia por la UNT. Profesor del Área de diseño de iluminación del DLYV en asignaturas de grado y MAVILE. Dicta el curso Iluminación de museos de la maestría en museología de la UNT y el módulo Luminotecnia en la especialización en Higiene y seguridad de la UTN-FR Tucumán. Participa en proyectos de investigación de su especialidad. Actualmente es director del DLYV.



Natalia Valladares Esp. Dis. de Ilum. Aux.Doc.Grad. en el área de gestión y diseño del DLYV de la FACET-UNT.
Miembro de la Comisión Académica de la Esp. MAVILE 2022.



Eduardo Manzano Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña, España, Magister en Ingeniería e Ingeniero Eléctrico por la UNT. Profesor Titular en el Departamento de Luminotecnia Luz y Visión de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología UNT para carreras de grado y postgrado en áreas de Diseño de Iluminación. Posee publicaciones en congresos, revistas y libros de la especialidad. Dirige tesis de Maestría y Doctorado. Dirige proyectos de investigación y participa en proyectos de diseños de iluminación de edificios y vías de tránsito.

Luz que te mueve: el papel de la iluminación en la generación de emociones

Orquidea Yareni VARA LEÓN¹

¹Maestría en Arquitectura. Campo de Conocimiento en Diseño Arquitectónico – UNAM Ciudad de México, México – orquidea.vara@gmail.com

Resumen: El objetivo de este trabajo es determinar la razón por la cual la iluminación puede ayudar a la generación de emociones en el habitante. Para realizar esto, se recurrió a una revisión teórica de varios autores tales como Sztulwark, Rose, Chaves, Lozoya y Crilly entre otros. Se tomó un enfoque interdisciplinario donde se trasladaron, construyeron y entrelazaron diferentes conceptos para hacerlos útiles al campo del diseño de iluminación arquitectónica. La comprensión de estos conceptos servirá como herramienta para entender la relación entre la iluminación y las emociones.

Conceptos tales como contexto, artefacto, uso y función cobrarán un papel importante. Se tocarán temas como la comunicación y la importancia del lenguaje, así como la interpretación del habitante. El objetivo final será encontrar la relación entre el trabajo del diseñador de iluminación arquitectónica, y las emociones del habitante final, ambos inscritos en un contexto, que puede ser o no el mismo y con intenciones que se correspondan o difieran. La luz se tratará como material y la iluminación como un artefacto con el que el habitante tiene contacto directo. Se verá que la relación entre iluminación y emociones no tiene un perfil acción-reacción directo.

Abstract: The main objective of this work is to determine why lighting can help triggering emotions in the inhabitants. For this, a theoretical revision of several authors, such as Sztulwark, Rose, Chaves, Lozoya and Crilly among others was needed. This was seen through an interdisciplinary approach where several concepts were translated, built and linked to make them useful for the field of architectural lighting design. The understanding of these concepts will help as a tool to understand the relation between lighting and emotions.

Concepts such as context, artifact, use and function will take an important role. Subjects such as communication and the importance of language, as well as the inhabitant's interpretation of the space and its lighting will be touched. The final goal will be to find a relation between the work of the architectural lighting designer and the emotions of the inhabitant, both living in a context that can be, or not, the same, and both with intentions that may or may not vary. Light will be treated as a material and lighting as an artifact with which the inhabitant has a direct contact. The relation of lighting and emotions will be seen differently than that of a direct action-reaction.

Palabras clave: luz, iluminación, emociones

I. INTRODUCCIÓN

Hay afirmaciones que consideramos como verdades incuestionables. Hay afirmaciones que incluso cuentan con historias, con anécdotas que las respaldan. Hay afirmaciones que no importa quién las escuche se puede relacionar. “La luz afecta las emociones de una persona” es una de estas afirmaciones. Supongamos por un momento que esto es verdad. ¿Alguna vez te has preguntado cómo o por qué?

II. ILUMINACIÓN Y EMOCIONES

Con respecto al vínculo existente entre luz y emociones, debemos responder dos preguntas: ¿Qué es la iluminación? Y ¿Qué son las emociones? Mientras que este vínculo se da por sentado en el habla coloquial y en la labor diaria, para poder entenderlo debemos saber qué es aquello que está conectando. En primer lugar, definiremos la luz para posteriormente definir las emociones. En seguida trataremos de identificar el nexo que existe entre ellos y, de ser posible, cómo crearlo conscientemente.

A. Luz, diseño de iluminación e iluminación

Con respecto a los términos luz, iluminación y diseño de iluminación podemos decir que en ocasiones los utilizamos de forma indiferenciada, tanto de forma directa como en metáforas. Así, por ejemplo, es muy común utilizar la palabra luz para referirnos a la luz natural, la energía eléctrica, una lámpara, una luminaria, la iluminación o el diseño de iluminación. Sin embargo, la luz se puede determinar como la “radiación que es considerada desde el punto de vista de su habilidad para excitar el sistema visual” (CIE, 2020) o la “radiación dentro del rango espectral de radiación visible.” (CIE, 2020) Esto quiere decir que la luz es una radiación que el ser humano puede ver. A fin de utilizarla como material de construcción, debemos desnudarla de todo significado. Lewkowicz (2015) nos dice que es en el diseño, por medio de la experimentación de la luz, que se crea materia y es a través de su manipulación que se convierte en material. Al hacerlo inaugura la dimensión arquitectónica. (Lewkowicz, 2015, pág. 154). Al tratar a la luz como material y no como objeto de estudio, se vuelve material, con propiedades específicas (Lewkowicz, 2015, pág. 155) y sin significación implantada.

Por otro lado, el diseño de iluminación es la selección y combinación de diferentes elementos con una intención que involucra la creación de un mundo posible, a fin de garantizar la máxima satisfacción de las necesidades tanto físicas como psicológicas del habitante para que éste sea capaz, a su vez de dotarlo de sentido. Es en este proceso donde la luz, con sus diferentes características y proviniendo de diferentes fuentes, se toma como elemento de diseño. Ahora bien, si diseñar es un proceso donde intervienen diferentes elementos en busca de un producto con el cual el habitante pueda interactuar, tenemos que la iluminación es ese producto.

B. Emociones

A lo largo de la historia, el término emoción ha contado con varios significados dependiendo de las diferentes formas de ver el mundo. Así mismo, la forma en que vemos el mundo va cambiando la forma en que las personas imaginan, experimentan y se entienden a sí mismos. (Dixon, 2012, pág. 338) Según Dixon, la palabra “emoción” existió en la psicología moderna desde 1884 como una palabra teórica. (2012, pág. 338) Vistas desde la psicología, “las principales teorías de la emoción consideran a ésta un sentimiento bien fisiológico, bien cognitivo o bien como un producto de la interacción de factores físicos y mentales.” (Papalia, 1988, pág. 353) Sin embargo, podemos decir que “las emociones son interrelaciones de la naturaleza subjetiva cultural cuyo registro, control e instrumentalización difícilmente puede reducirse a patrones matemático-estadísticos o a una aproximación psicobiológica.” (Lozoya, 2021, pág. 2) Esto significa que su definición va más allá de una reacción determinada a un estímulo. En muchas ocasiones, estas reacciones son aprendidas desde la infancia dependiendo del contexto en el que se esté inmerso.

Las emociones cambian entre culturas y entre lenguajes. Es así que los valores que se les dan y cómo se les llama van cambiando. No se puede asegurar que una emoción sea la misma en un lenguaje diferente o valorada de la misma forma en otra cultura. Los historiadores concuerdan que mientras hay algunas emociones básicas que existen en toda la gente, cómo son expresadas y lo que significan varían dramáticamente a través de las culturas y los siglos. (Matt & Stearns, 2014, pág. 9) Podemos ver que las formas de expresar las emociones y el valor que se les da en una cultura determinada, que es aquello que podemos ver y comparar, no es universal. Es así como no podemos determinar emociones básicas universales con reacciones medibles y comparables entre culturas y a través del tiempo.

Con respecto al origen de las emociones, hay tres aspectos fundamentales que influyen en ellas y que se estudian por medio del grupo afectivo: la influencia de la cultura, la relación asociativa de los cuerpos en una estructura social y los factores psíquicos universales subyacentes. (Lozoya, 2018, pág. 035) Esto significa que las emociones, su valor y la forma en que se expresan tienen influencias de la cultura en la que el habitante se encuentra, las interacciones con otros habitantes, y con los objetos y lo arquitectónico dependiendo de la sociedad en la que se encuentra, y el estado anímico en el que se encuentre. Las emociones pueden ser respuestas aprendidas desde niños, aunque no enseñadas, a ciertas situaciones. Son parte de una experiencia corporeizada y un proceso mental. El proceso mental debe ocurrir antes de que veamos las muestras físicas de la emoción, si llegan a existir.

Existen varias herramientas que nos permiten clasificar a los habitantes y estudiar las emociones. Rosenwein, en 2006, define las comunidades emocionales como “grupos en los cuales las personas se identifican o se adhieren a las mismas normas de expresión emocional, en base a las cuales las emociones se valoran o se devalúan de forma semejante o parecida.” (Lozoya, 2021, pág. 7) Estas comunidades emocionales nos sirven para estudiar las emociones ya que contextualizan el estudio y lo delimitan a un grupo de personas con un mismo lenguaje y valores en un tiempo determinado. Ya que pueden coexistir dos comunidades emocionales en el mismo espacio o tiempo, su lenguaje, valores y contexto son importantes para diferenciarlas.

La circulación cultural y la circulación social de las emociones son dos cosas distintas. Mientras que la primera trata sobre las interrelaciones y la forma en que significan las emociones de forma colectiva, (Lozoya, 2021, págs. 8-

9) la segunda nos habla sobre la capacidad de las emociones para cambiar nuestra percepción sobre los objetos y el entorno. (Lozoya, 2021, pág. 2) Esto quiere decir que la primera habla sobre las emociones a nivel cultural en un grupo social determinado, mientras que la segunda modifica nuestra percepción. Finalmente, la producción afectiva de las emociones nos dice que “las emociones no residen en los sujetos o en los objetos, sino que son el efecto de la interrelación entre las cosas.” (Lozoya, 2021, pág. 2), por lo que, sin estas interrelaciones entre los diferentes actores no existirían emociones.

C. Percepción

Como ya dijimos, las emociones pueden afectar la percepción; pero ¿qué es la percepción? Según Morris, la percepción “consiste en descifrar patrones significativos en la maraña de la información” (Morris, 2009, pág. 129). Según Papalia y Wendkos, es el significado que le damos en nuestro cerebro a las sensaciones que vienen de nuestros sentidos (Papalia, 1988, pág. 99) y Niosi lo resume como la forma en que interpretamos el mundo a nuestro alrededor para que tenga sentido. (Niosi, 2020) La percepción depende un estímulo recibido por el cuerpo humano y analizado por el cerebro, de ahí que hablemos de una percepción corporeizada. Es en el cerebro donde se compara con filtros tales como memoria, expectativas, estereotipos, experiencias, esquemas, valores y cultura entre otros, los cuales afectan la percepción del mundo.

La percepción visual depende directamente de las señales lumínicas que reciben los ojos. “La luz es, quizás, el elemento que más incide en nuestra percepción de la arquitectura.” (Roth, 1999, pág. 77) Dado que el 87% de la información viene de la vista se cree que es uno de nuestros sentidos más importantes. (Kelly, 1952, pág. 26 y Signify, 2016, 3m29s). No obstante, la vista perdería todo sentido sin el tacto. La percepción háptica y la percepción visual no se excluyen ni se contraponen, sino que se complementan para poder tener una imagen mental de nuestro alrededor lo más completa posible.

D. Contexto

Los filtros contra los cuales se comparan los estímulos recibidos forman parte del contexto. “el contexto es el espacio de significaciones que condiciona la significación de un punto”. (Lewkowicz & Sztulwark, 2003, pág. 75) Esto significa que el contexto está formado de todo aquello que le da sentido a una situación en particular. El contexto depende de un observador y su mirada particular, así como de las interrelaciones que crea entre los elementos existentes. Si el observador cambia, las interrelaciones que crea este nuevo observador serán también diferentes, ya que dependen de la forma en que el observador ve la vida gracias a sus experiencias previas, ideas, expectativas y relatos. Este observador puede ser el habitante o el diseñador.

Sztulwark describe al contexto como una red compleja “compuesta de múltiples relatos superpuestos y que solamente son perceptibles si podemos atravesar la mirada prefigurada.” (2015a, pág. 89) Pensar en el contexto es pensar en un cuadro con diferentes capas que sólo cuando todas ellas están juntas, adquiere sentido. Cuando hablamos de contexto, no sólo hablamos de contexto físico. Esta red de conexiones tampoco se da solamente por la cercanía de un evento. El contexto no es sólo el lugar físico, es el lugar “cultural, social e histórico” (Turrillo, 2006, pág. 21) en el que se desenvuelve una acción. Estos elementos culturales, sociales e históricos ayudan a crear la red de sentido de la situación. Al modificar alguna de estas conexiones la situación carecería de sentido o adquiriría uno diferente.

E. La iluminación como artefacto

El término artefacto se refiere a objetos, edificios, ciudades, sistemas o servicios: cualquier cosa producida por el ser humano para satisfacer una necesidad, meta, propósito o actividad. (Vardouli, 2015, pág. 137) Los artefactos forman parte de la cultura material de una sociedad, y los habitantes se relacionan directamente con ellos. La iluminación, al ser producto del diseño de iluminación y aquello con lo que el habitante tiene una relación directa, puede ser llamada artefacto.

La utilidad de un artefacto se cumple cuando éste funciona para lo que se le diseñó. (Buchanan, 2001, pág. 15) Sin embargo, la función de un artefacto es diferente a su uso. Según Crilly, “la función es lo que un artefacto hace y el uso es lo que la gente hace con el artefacto.” (Vardouli, 2015, pág. 138) La función habla de lo que el artefacto fue diseñado para hacer y depende solamente del artefacto y el diseñador, mientras que el uso depende directamente de cómo percibe el habitante al artefacto.

Se busca que uso y función sean lo más cercanos posibles sin requerir de instrucciones más allá de del mismo artefacto. Si el significado no está contenido en el producto y los consumidores pueden interpretar productos sin acceso al diseñador, entonces las intenciones del diseñador no tienen autoridad sobre la interpretación del habitante. (Crilly, 2008, pág. 436) Esta aproximación le brinda al habitante la libertad para interpretar el artefacto, y le quita al diseñador el control sobre el uso que se le da. Es la interpretación, más allá de la función, la que determina el uso de un producto. (Crilly, 2008, pág. 439) Y el diseñador no puede determinar la interpretación del habitante,

ya que cada artefacto se puede interpretar en diferentes formas, por diferentes habitantes, en diferentes contextos. (Crilly, 2008, pág. 443)

Para qué función y uso sean lo más cercanos posibles, el diseñador debe utilizar los códigos lumínicos propios de la comunidad para la cual se está diseñando; sin embargo, siempre existe la posibilidad que la interacción no se logre por causas relativas al habitante. El diseñador sólo puede esperar que el artefacto entregue el mensaje correcto, o que el habitante lo lea de la forma que a él le hubiera gustado. Sin embargo, "el canal no puede simplemente entregar la función fáctica al transmitir el mensaje, sino que también tiene que introducir un estado cognitivo adecuado para que el receptor pueda capturar la esencia del mensaje." (Pucillo, Becattini, & Cascini, 2016, pág. 13) Si el habitante no se encuentra en un estado adecuado, imposible de controlar por el diseñador, es posible que no pueda tener la interacción buscada por el diseñador con el artefacto. El diseñador debe tener en mente la experiencia que plantea es sólo una propuesta que puede cumplirse o no.

III. CONCLUSIONES

En conclusión, podemos decir que hay más probabilidades de provocar una emoción cuando el diseñador entiende el contexto del habitante y su lenguaje lumínico, y diseña en base a estos. Al diseñar, una de las cosas por preguntarse es ¿qué es una emoción en el contexto del habitante? En caso de buscar provocar una emoción en particular, deberá preguntarse ¿cómo se le ve en ese contexto? ¿cuánto se le valora? ¿existen algunas características físicas que provoquen esa emoción? ¿Cuáles son?

Al analizar el contexto del habitante, es importante poner atención a la comunidad emocional a la cual pertenece, así como a sus gustos y experiencias colectivas. Debemos tener en cuenta que la iluminación es parte de la arquitectura y no hay forma en que esté separada de esta. Al diseñar la iluminación de un lugar, lo importante no es la luz en sí, sino las interacciones que desencadena, que llevan a los habitantes a generar emociones gracias a los códigos de un contexto en particular.

IV. RECONOCIMIENTOS

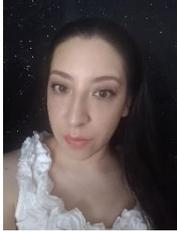
Este trabajo no se hubiera podido lograr sin el apoyo de mi familia y la guía de mis tutoras: Mtra. Alejandro Cacho Cárdenas y Mtra. Isabel Brioulo Mariansky. Sus enfoques fueron complementarios y me llevaron al enfoque que se utilizó en este trabajo. También agradezco el apoyo PAEP para poder atender de forma presencial a este evento.

V. REFERENCIAS

- [1] Buchanan, R. (2001). Design Research and the New Learning. *Design Issues*, 3-23.
- [2] CIE. (12 de 2020). 17-21-012. Obtenido de Commission Internationale de l'Eclairage.
- [3] CIE. (12 de 2020). 17-21-013. Obtenido de Commission Internationale de l'Eclairage: <https://cie.co.at/eilvterm/17-21-012>
- [4] Crilly, N. (2008). Design as communication: exploring the validity and utility of relating intention to interpretation. *Design Studies*, 425-547. doi:doi:10.1016/j.destud.2008.05.002
- [5] Dixon, T. (Octubre de 2012). "Emotion": The History of a Keyword in Crisis. *Emotion Review*, 4(4), 338-344. doi:DOI: 10.1177/1754073912445814
- [6] Lewkowicz, I. (2015). Sobre el ejercicio de la luz. En P. Sztulwark, *Componerse con el mundo: modos del pensamiento proyectual* (págs. 153-156). Buenos Aires: Diseño.
- [7] Lewkowicz, I., & Sztulwark, P. (2003). Parte II. Contexto y partido, o (re)pensar el proyecto. En P. S. Igancio Lewkowicz, *Arquitectura plus de sentido* (págs. 75-96). Argentina: Editorial Altamira.
- [8] Lozoya, J. (marzo-julio de 2018). Giro afectivo: una aproximación al dilema espacial de las emociones. *Bitácora*(19), 034-039. doi: 10.22201/fa.14058901p.2018.39.67825
- [9] Lozoya, J. (2021). La producción cultural de las emociones: un desafío conceptual para las tácticas. En M. Z. Toledano, *El diseño desde la mirada social: un diálogo con las ciencias sociales*. Ciudad Juárez: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez-Conacyt.
- [10] Matt, S. J., & Stearns, P. N. (2014). Introduction. En S. J. Matt, & P. N. Stearns, *Doing emotions history* (págs. 1-13). Urbana: University Illinois Press.
- [11] Morris, C. G. (2009). *Psicología*. México: Pearson education.
- [12] Niosi, A. (2020). *The Perceptual process*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2020, de Kpu.pressbooks.pub: <https://kpu.pressbooks.pub/introconsumerbehaviour/chapter/the-perceptual-process/#:~:text=Perception%20is%20the%20process%20of,interpreted%20based%20on%20previous%20experiences>.
- [13] Papalia, D. O. (1988). *Psicología*. México: McGrawHill.
- [14] Pucillo, F., Becattini, N., & Cascini, G. (Primavera de 2016). A UX Model for the Communication of Experience Affordances. *Design Issues*, 32(2), 3-18.
- [15] Roth, L. M. (1999). *Entender la arquitectura sus elementos, historia y significado*. Barcelona: Gustavo Gili.
- [16] Sztulwark, P. (2015a). Componerse con la ciudad. En P. Sztulwark, *Componerse con el mundo. Modos del pensamiento proyectual*. (págs. 69-112). Buenos Aires: Sociedad Central de Arquitectos-Diseño.

- [17] Turrillo, G. (2006). El contexto como invención. En G. Turrillo, *Seminarios Contexto, compilación de las Cátedras Integradas Mateola, Sztulwark, Turrillo* (págs. 17-30). Buenos Aires: Ed. Nobuko.
- [18] Vardouli, T. (Noviembre de 2015). Making use: Attitudes to human-artifact engagements. *Design Studies*, 41, 137-161. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2015.08.002>

VI. BIOGRAFÍA



De la ciudad de México, estudió arquitectura en la UNAM, México, antes de hacer una maestría en Diseño de Iluminación Arquitectónica en KTH, Suecia. Trabajó en despachos de iluminación independizándose en 2012. En 2017 decide incursionar en el ámbito académico. En 2020 entra a la Maestría en Arquitectura en la UNAM.

Aproximaciones conceptuales a las etapas del diseño de iluminación

Sophya ACOSTA¹

¹ ADEA (socio activo), APDI (socio afiliado), IALD (socio afiliado)

Resumen: El presente trabajo tiene como fin presentar diversos conceptos relativos al desarrollo proyectual del diseño de iluminación desde una perspectiva creativa que pone énfasis en el desarrollo de conceptos por sobre la creación desde las resoluciones técnicas. Esta perspectiva invita a crear en conjunto con el equipo creativo de manera holística, entendiendo que todas las partes involucradas son fundamentales a la hora de concretar un proyecto.

Abstract: The creation of lighting design in performing arts implies the construction of a universe with its own operating laws and a particular aesthetic. Being the task so delicate and specific, it is only possible to achieve through methodical creative construction. The use of a method allows to be aware of the instances necessary to arrive at an expected scenic result.

However, the existence of a method does not imply its compulsory use; eventually, if the project requires it, some of the steps or stages of the process could be ignored or replaced. Even if this happened, we would still govern the process since we could make these types of decisions in a fully conscious way. As a lighting designer, the ordering of the creative stimuli that are part of the construction and design process has led me over time to systematize and define four concepts that I would like to introduce and define through this work, which are: individual visual universe, collective visual universe, core concept and lighting concept. These concepts serve as a framework and guide to guide the lighting design of any project, understanding the work with light as a fundamental part of the spectacular ecosystem that must be in balance in its relationship with the other elements of the work.

Getting back on track to that balance of the elements that make up the staging led me to discover the existence of lighting codes or keys that are also influenced by certain fashions or trends of the time, the use of certain technologies, the lights that we use to design, and to the production context. The individual visual universe and the collective visual universe, are widely influenced by these trends of the time. On the other hand, the core concept is an element deeply connected with a personal and professional search. A conscientious work on the lighting concept will allow the adaptability of its materialization without losing its essence.

Although I came across the construction of these concepts during my professional practice as a stage lighting designer, their use could be extended to the framework of any design area in which light is the primary material of creation, such as architectural lighting design, light artworks, cinematography, or lighting design for public spaces.

Palabras claves: Diseño conceptual, Desarrollo de proyectos, Iluminación artística

I. INTRODUCCIÓN

La creación del diseño de iluminación para un espectáculo escénico implica la creación de un universo con leyes de funcionamiento propias y una estética particular. Siendo tan delicada y específica la tarea, que la única forma posible de conseguirla es a través del empleo de un método. La utilización de un método permite ser consciente de las instancias necesarias para arribar a un resultado escénico esperado. Sin embargo, la existencia de un método no implica una obligación en su uso, eventualmente si el proyecto así lo requiriera, alguno de los pasos o estadios del proceso podrían ser ignorados o reemplazados. Sin embargo, aunque esto sucediera, seguiríamos gobernando el proceso ya que podríamos tomar este tipo de decisiones de forma plenamente consciente.

Como diseñadora de iluminación, el ordenamiento de los estímulos creativos que forman parte del proceso de construcción y diseño me han llevado, con el tiempo, a sistematizar y definir cuatro conceptos que me gustaría introducir y definir a través de este trabajo. Estos son: *universo visual propio*, *universo visual colectivo*, *concepto rector* y *concepto lumínico*.

Si bien estas conceptualizaciones arribaron dentro del marco de mi praxis como diseñadora de iluminación de espectáculos, su uso podría extenderse al marco de cualquier área de diseño en la que la luz sea la materia primigenia de creación tales como el diseño de iluminación de arquitectura, las obras lumínicas o de *light art*, la dirección de fotografía en cine o el diseño de iluminación de espacios públicos.

II. DESARROLLO

Quisiera primero presentar al universo visual propio como aquel conjunto de imágenes, sensaciones visuales y memorias que utilizo como 'biblioteca' de referencias, como marco visual y como estructura de soporte, para crear y componer una obra. En contacto con nuevas fuentes, mi universo visual propio tenderá a generar puntos de relación entre lo novedoso y lo conocido permitiéndome aprehender los estímulos visuales con los que tenga contacto. Esta creación acumulativa genera cambios en este banco de imágenes llevándome a establecer nuevos conceptos visuales de forma transicional, permitiéndome mutar de un conjunto de características visuales a otro, siempre manteniendo un eje transversal que se encuentra conectado con mi búsqueda interna. Ese eje transversal, me permite abordar diferentes formatos y sin embargo, mantener ciertos aspectos fundantes de la visualidad de la obra como lo son la utilización del color, la búsqueda de determinados efectos, el manejo de la sombra o el trabajo de la temporalidad de la luz sobre los espacios y los cuerpos.

El universo visual propio es a la vez la puerta de entrada y el espacio de construcción de mi concepto lumínico y del concepto visual. En mi experiencia, es un espacio negro que me envuelve y en el que comienzan a aparecer diferentes elementos a medida que voy relacionándome con el material primigenio de la obra. Se empiezan a prender luces, aparecen texturas, se crea el mundo de la obra, aparecen sus normas y reglas. A cada proyecto le pertenece un planeta en este universo. Este planeta tiene su propia ley de gravedad, sus propios axiomas. En este mundo, que le pertenece al proyecto, como diseñadora mi tarea es adentrarme en él y poder "leer" cuales son estas reglas. El universo visual propio me brinda herramientas para que esa lectura sea lo más vasta posible, además de ser el eje a partir del cual, como creadora, puedo desarrollar mi poética de la luz. El concepto lumínico se encuentra absolutamente ligado a este universo, depende de él y se nutre de él.

El concepto lumínico es aquella intuición que me abre la puerta de cada mundo y me dice "esta obra va por acá", es la brújula que me va a permitir navegar por la obra y que me guiará en el recorrido del montaje y la grabación del *cueing*³. El concepto lumínico responde a un concepto rector, el que aunaría los enfoques de trabajo y mediante el cual todas las áreas creativas del espectáculo conectan con el material de origen.

³ Con el término *cueing*, hago referencia a cada uno de los estados lumínicos del diseño. Podría también llamarse "escena" pero desde una concepción dentro de la industria del espectáculo, una escena podría contener uno o más cues de luces.

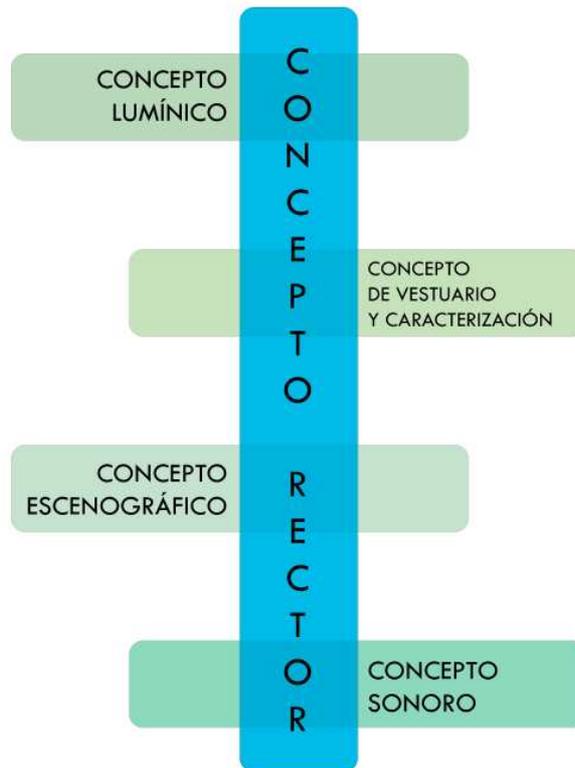


Fig.1: El concepto rector

Me gustaría además presentar al universo visual colectivo como el conjunto de referencias visuales que crearé en conjunto con el equipo del proyecto a el fin de poder construir un lenguaje común. Se nutrirá de los universos individuales y además de la resultante del intercambio entre el equipo. Es una tercera opción. Su fin es poder establecer decisiones visuales conjuntas y enriquecer el universo de la obra.

Dado por sentado que mi universo visual propio es un elemento inherente a mi persona, hablaré sobre mi relación con el concepto rector y el concepto lumínico.

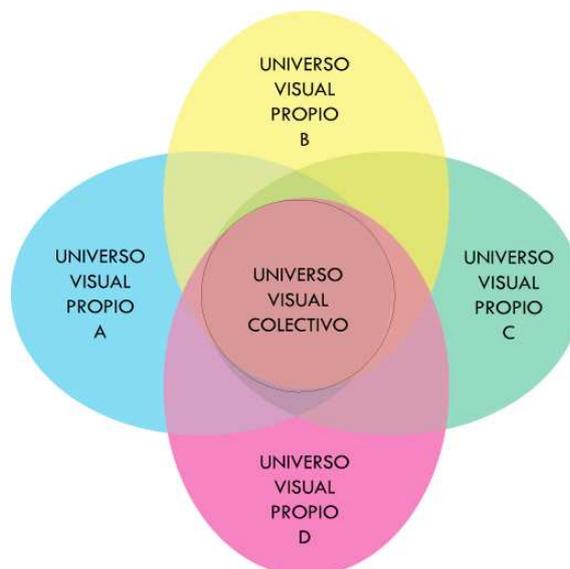


Fig.2: El Universo Visual Propio y su relación con el Universo Visual Colectivo.

En proyectos escénicos, existe cierta tendencia a privilegiar algún elemento de la puesta en escena por sobre los otros, lo que genera cierto desbalance que el público puede percibir. Volver mi atención sobre ese balance de los elementos que componen la puesta en escena me llevó a descubrir otros dos elementos que me gustaría introducir: la *Luz Endógena* y la *Luz Exógena*. Estas dos nociones se desprenden del concepto lumínico con el que trabajé en el proyecto. Anteriormente expliqué como la incorporación de la luz a la escena debía ser tan sutil que se sintiese natural y orgánica, reflexionando sobre esta situación y sobre la concepción de la obra como un mundo con sus propias reglas físicas, arribé a la *Luz Endógena*. Podría definir esta luz como aquella que pertenece conceptualmente a la obra. Forma parte del mundo físico, emocional y espiritual de la obra de forma natural. No genera rupturas, se siente sincera e integrada porque responde a las leyes que este universo plantea. Se puede establecer a través del concepto lumínico y concuerda con el Concepto Rector de la puesta pudiendo establecer un código visual identificable (ej: Se establece que la luz del amanecer en nuestra obra es verde, por ende, cada vez que representemos un amanecer, este será verde). La luz endógena se presenta en las primeras escenas y establece la clave visual que continuará a lo largo de toda la obra.

En contraposición a este concepto, podemos decir que se encuentra la *Luz Exógena*, aquella luz que no pertenece al universo visual ni al universo conceptual de la obra. Su presencia en la escena suele generar una ruptura visual que no tiene correlato con lo que ha sucedido anteriormente en la escena ni con lo que sucederá a continuación. Su aparición puede sentirse forzada y distractora. Plantea una disrupción que puede atentar contra la unidad visual del trabajo de diseño.

La elección de incorporar Luces Exógenas a un diseño lumínico es pura y exclusivamente del diseñador y si se realiza de forma consciente puede ser incorporada dentro de la obra. Sin embargo, si se integra al concepto lumínico y al concepto rector, deja de ser exógena. Un claro ejemplo de la coexistencia de diferentes elementos que parecieran ser extraños pero que conceptualmente se corresponden es la utilización de collages lumínicos, en los que aparentemente no existe cohesión visual pero sin embargo, si uno conscientemente realiza procedimientos de collage, conceptualmente responden a una dinámica pautada.

La existencia de códigos o claves lumínicas también se ven influenciados por determinadas modas o tendencias de época, a la utilización de determinadas tecnologías, a las luminarias que utilizamos para diseñar, y al contexto de producción. Es por eso que a mi parecer, un trabajo a conciencia sobre el concepto lumínico permitirá la adaptabilidad de su materialización sin perder su esencia.

III. CONCLUSIONES

Como he descrito en el presente escrito, a partir de la experiencia particular obtenida durante diversos procesos de creación del diseño de iluminación para puestas en escena, he podido arribar a conceptos que podrían ser aplicables a diversos proyectos que tengan como origen o como elemento constitutivo la luz. El análisis y la reflexión sobre el proceso propio, permite arribar a un conocimiento profundo de las instancias transitadas y los momentos hitos de nuestro desarrollo del proyecto. Esta reflexión nos permite desprendernos de la resolución técnica durante las primeras instancias proyectuales y diseñar en base a un desarrollo conceptual consistente que nos induzca a encontrar diversas formas de materialización.

IV. RECONOCIMIENTOS

Este trabajo surge a partir de las investigaciones para mi tesina de grado de la Licenciatura en Diseño de Iluminación de Espectáculos de la Universidad Nacional de las Artes. Sin la guía y el ojo atento de Jorge Ferro, este trabajo no se podría haber realizado. Quisiera agradecer a mis colegas Luciana Suppicich, Lía Bianchi, Claudia Salcedo y Paul Pregliasco por los infinitos y enriquecedores intercambios que siempre me ayudan a crecer. A Carolina y Josefina Santucho y a Perla Sueiras por sus correcciones y consejos de escritura.

V. BIOGRAFÍAS



Sophya Acosta es Licenciada en Diseño de Iluminación de Espectáculos de la UNA. Ha realizado formaciones en el Institut del Teatre (BCN). Como iluminadora ha trabajado en proyectos en Argentina y en Europa. Sus instalaciones han sido expuestas en eventos como La Noche de Los Museos (Bs As), la Nit dels Museus (BCN), y en museos y galerías de Argentina y España.

La poética del diseño de iluminación

Mario RAITELLI¹

¹ Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión - FACET – UNT Tucumán, Argentina - mraitelli@herrera.unt.edu.ar

Resumen: Se explican los fundamentos de la poética aplicada al diseño de iluminación arquitectónica. Mediante una analogía con las cualidades expresivas de la poesía literaria, se identifican las estrategias de diseño de iluminación que permiten abordar las cuestiones que tienen que ver con la respuesta emocional que una ambientación visual produce en los usuarios de un espacio.

Abstract: The fundamentals of poetics applied to architectural lighting design are explained. Through an analogy with the expressive qualities of literary poetry, lighting design strategies for tackling issues related with the visual ambiance and the emotional response produced in the users of a space are identified.

Palabras claves: Diseño de iluminación, ambientación visual, respuesta emocional.

I. INTRODUCCIÓN

La poesía y el diseño de iluminación son campos aparentemente muy distintos. Sin embargo, están conectados por una serie de rasgos comunes. En primer lugar, por ser ambas actividades creativas que buscan satisfacer una necesidad humana (emotiva en el caso del poema y utilitaria con el diseño de la iluminación). También por el modo en que se manifiesta la creatividad: ya que tanto el poeta antes de escribir un poema, como el diseñador previo a bocetear cómo un espacio será modelado por la luz, desarrollan en sus mentes imágenes que luego plasmarán en el papel y/o el medió utilizado para comunicar la idea creativa. Por último, por el carácter eminentemente subjetivo tanto de la poesía como del diseño que hace que los productos de ambas actividades se presten a múltiples interpretaciones.

El enfoque poético aplicado al diseño de iluminación se puede entender, por analogía con la literatura, como el empleo de recursos de diseño con la intención de provocar emociones, sensaciones, inducir actitudes, comportamientos, etc. a través de un mensaje que se transmite, en este caso, por medio de la luz. Para que esta estrategia sea efectiva es importante que el recurso poético implique una ganancia semántica sin modificar el concepto de diseño; por ejemplo, contribuyendo a destacar la funcionalidad, la estética o el simbolismo del espacio. Por ejemplo, en la Fig.1 se muestra un pasillo interior iluminado con dos configuraciones de luminarias diferentes: a la izquierda, se han dispuesto en forma lineal (es decir, de la manera convencional de iluminar este tipo de espacios) y a la derecha, formando un arreglo que señala la dirección de circulación. Las condiciones de iluminación son similares en ambos casos. Lo que confiere el carácter poético a la segunda propuesta es el hecho de enfatizar la función que la luz debe cumplir en áreas de circulación.



Fig. 1: Distribución lineal de luminarias en planta (izquierda) y con un arreglo que señala la dirección de circulación (derecha). En ambos casos las condiciones de iluminación son similares.

Con el objetivo de explicar los fundamentos de la aplicación del punto de vista poético en el diseño de iluminación, en este trabajo se intenta trazar una analogía entre las cualidades expresivas de la poesía literaria y las estrategias de diseño; ya que ambas se pueden considerar como catalizadores de sensaciones y emociones.

II. ANALOGIA ENTRE POESIA Y DISEÑO DE ILUMINACIÓN

El primer lugar hay que entender qué es poesía. Por lo general, este concepto se asocia sólo al género literario. Sin embargo, según su etimología (proviene del término griego “poiesis”) significa acción, creación, composición, etc. Por lo tanto, la poética está presente en todo lo que tiene que ver con un acto creativo y, por ello, se puede aplicar también al diseño de iluminación arquitectónica.

Se puede establecer una analogía entre el proceso de escribir un poema y el diseño de iluminación, pues así como el primero -a través del lenguaje escrito u oral- genera imágenes mentales en el lector que lo involucran emocionalmente, una configuración de luz de un espacio produce un efecto similar en los usuarios, ya que influye de manera decisiva en la forma en que éste será percibido.

Para plantear una analogía poesía-diseño de iluminación se identifican las características de la poesía literaria que evocan emociones y sensaciones en los lectores, y se intenta identificar cuáles serían sus contrapartes, en términos de estrategias de diseño.

III. CUALIDADES EXPRESIVAS DE LA POESIA Y DE LA LUZ

Se puede decir que las principales cualidades de la poesía que poseen riqueza expresiva como para generar distintos tipos de sensaciones son la emotividad, la deseabilidad, la atemporalidad, la empatía y la flexibilidad.

A. Emotividad

Es universalmente aceptado que la poesía es una manera muy efectiva para expresar emociones. Además, produce una serie de beneficios cognitivos, como estimulación mental, el desarrollo de la imaginación y la creatividad, el incremento de la habilidad para el razonamiento, etc. Una propuesta de diseño de iluminación que haga referencia a la naturaleza puede tener un efecto análogo en los usuarios de un espacio (Fig. 2) pues los seres humanos sienten una atracción inata por la naturaleza.



Fig. 2: Toda propuesta de iluminación que recree un espacio natural produce sensaciones de agrado y bienestar. Imagen: gentileza de Light Yard (<https://thelightyard.com/>)

Es importante tener en cuenta que esta estrategia no implica simplemente disponer plantas en el espacio, sino también realizar un cuidadoso estudio de la iluminación natural, de las vistas hacia el exterior y el acondicionamiento ambiental y ventilación del local.

B. Deseabilidad

Cuando un poema hace referencia a lo que es agradable o valioso puede despertar deseos y anhelos en los seres humanos. La contraparte de esta cualidad en el diseño de iluminación sería su capacidad para satisfacer las demandas fisiológicas y psicológicas de los usuarios. Esto implica considerar no sólo las necesidades funcionales y de rendimiento visual sino también, tener en cuenta cómo la iluminación podría contribuir a una mayor estimación sensorial que propicie la satisfacción, el placer y el deleite de los usuarios. Este aspecto del diseño es particularmente importante en locales donde se realizan tareas rutinarias y aburridas. La idea es que la iluminación contribuya a contrarrestar esta situación, mediante una ambientación visual que aumente la satisfacción, reduzca el nivel de fatiga, y promueva estados de ánimo positivos (Fig. 3).



Fig. 3: Este espacio multiuso ofrece una atmósfera visual agradable y, además, contempla distintas necesidades: funcionalidad, comunicación, privacidad, trabajo en equipo, etc. Todo ello contribuye a aumentar el nivel de estimulación emocional de los usuarios. Imagen: gentileza de PMideas (<https://pmideas.es/>)

C. Atemporalidad

En este caso, lo que genera emociones es la posibilidad de transmitir un estado de existencia eterna. Esta cualidad era propia de la poesía antigua, pero en la actualidad sigue vigente.

Con el diseño de iluminación se puede crear la sensación de atemporalidad si se establece una conexión entre el espacio y su entorno histórico. Esta cualidad es especialmente importante en proyectos que involucran edificios de valor patrimonial. Una estrategia que puede resultar interesante para este objetivo, es la combinación sutil de tecnologías modernas y tradicionales. En la Fig. 4 se muestra una simulación realizada para el proyecto de iluminación -actualmente en desarrollo- del museo de arte moderno de la Universidad Nacional de Tucumán (MUNT), que será emplazado en un edificio que fue declarado monumento histórico. La imagen muestra la propuesta para el patio principal situado en la planta baja del inmueble. La idea es generar un espacio expositivo interactivo que recree una costumbre que se remonta a la época del renacimiento, cuando las obras de arte se exhibían en las plazas públicas y, de noche, eran iluminadas con antorchas por los ciudadanos. La propuesta para el MUNT es proveer a los visitantes del museo con luminarias LEDs que simulen antorchas, de manera que -en una especie de juego interactivo- puedan iluminar las obras de arte de distintas maneras. Para crear una atmósfera propicia para esta actividad, se prevé que el espacio tenga una baja iluminación sólo con la luz de las galerías circundantes de las plantas alta y baja).



Fig. 4: Propuesta de iluminación para el patio principal del MUNT. busca generar una atmósfera visual propicia para crear un espacio expositivo interactivo.

D. Empatía

Un poema genera empatía en los lectores cuando transmite valores dignos y honorables; y esto es válido también para instalaciones de iluminación. Por ejemplo, en la Fig. 5 se muestra la nueva iluminación del patio principal del edificio del rectorado de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) recientemente inaugurado. Se trata de un sistema de luces LEDs RGB que fue programado para proveer -además de la iluminación funcional- cinco escenas que conmemoran -mediante colores característicos- fechas patrias y los días del medio ambiente, del cáncer de mamas, y de la diabetes infantil, respectivamente.



Fig. 5: Escenas de iluminación conmemorativas en el patio principal del edificio del rectorado de la UNT.

También es posible generar reacciones empáticas cuando los usuarios perciben beneficios tangibles, como la sustentabilidad y eficiencia energética, reducidos costos de operación y mantenimiento, etc. En este sentido, el empleo de la luz natural, por ejemplo, es una estrategia que no sólo permite cumplir estos objetivos, sino que también tiene un alto impacto en el bienestar y satisfacción de los usuarios de cualquier espacio (Fig. 6).



Fig. 5: La iluminación natural siempre genera empatía en los usuarios por los múltiples beneficios que aporta a cualquier espacio.

E. Flexibilidad

Es la cualidad de la poesía de satisfacer diferentes necesidades humanas independientemente de edad, raza, ideología, etc. En un diseño de iluminación la flexibilidad está determinada por su capacidad para adaptarse a los diferentes usos o actividades que se desarrollan en el espacio. Este aspecto es más importante en locales multifunción, como auditorios, áreas comerciales, museos, etc.

Lo que otorga el carácter flexible a un sistema de iluminación es, por supuesto, la posibilidad de controlar el funcionamiento de las fuentes luz (intensidad, dirección, características cromáticas, etc.). Pero también otros aspectos relacionados con el diseño del espacio pueden contribuir a satisfacer las necesidades visuales y emocionales de los usuarios. Por ejemplo, con la tecnología de vidrios inteligentes es posible cambiar la transmitancia de ventanas y mamparas, de manera manual o automática (Fig. 6). Con ello se puede no sólo regular el ingreso de luz natural, sino también, contemplar las demandas de privacidad, control solar, térmico, etc.



Fig. 6: Los vidrios inteligentes. permiten controlar fácilmente la transmitancia. Imagen: gentileza de Smart Glass Country (<https://www.smartglasscountry.com/>)

La flexibilidad en la iluminación contribuye a generar sensación de confort y satisfacción en los usuarios, pues permite modificar la ambientación visual de un espacio e influir sobre su estética. Sin embargo hay que tener en cuenta que, si bien la posibilidad de regular las condiciones de un ambiente (iluminación, temperatura, ruido, etc.) es -en general- bien apreciada, si los controles son muy sofisticados pueden no llegar a cumplir con las expectativas que la tecnología ofrece.

IV. CONCLUSIONES

- La poética aplicada al diseño de iluminación arquitectónica constituye una alternativa que contribuye a abordar cuestiones que no siempre son sencillas de resolver, como los aspectos subjetivos de un proyecto.
- El enfoque poético también suple -en parte- la falta de un marco conceptual, así como de publicaciones y recomendaciones que podrían ayudar a resolver el tratamiento de los factores humanos dentro de un diseño de iluminación.
- El planteo de una analogía entre las cualidades expresivas de la poesía literaria y las estrategias de diseño de iluminación es válido, pues ambas actividades comparten el objetivo de generar emociones y sensaciones en los lectores y usuarios, respectivamente, que contribuyen a su bienestar y satisfacción.

V. REFERENCIAS

- [1] Dugar A.M. (2015). The principles for designing lighted environments with poetic richness: Proceedings of the IES Annual Conference 2015.
- [2] Lam W. (1977). Perception and Lighting as formgivers for Architecture. New York: McGraw Hill.
- [3] Plummer H, Nakamura T. (1987). Poetics of Light. Tokyo: A&U Publishing, 1987.
- [4] Boyce P.R. (2003). Human Factors in Lighting. 2^o Edition, New York: Taylor and Francis.
- [5] Flynn J.E. (1988)- Lighting design decisions as interventions in human visual space. Editor Nasar J.L. Environmental Aesthetics: Theories, Research and Application. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

VI. BIOGRAFÍAS



Mario Raitelli

Magíster en Luminotecnia por la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Profesor del Área de diseño de iluminación del Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (DLLyV) de la UNT, en asignaturas de grado y posgrado. Dicta el curso Iluminación de museos de la maestría en museología de la UNT y el módulo Luminotecnia en la especialización en Higiene y Seguridad de la UTN-FR Tucumán. Participa en proyectos de investigación de su especialidad. Actualmente es director del DLLyV.

La luz y el Patrimonio Histórico Arquitectónico Mercado de los Carruajes

Carola CROSTELLI¹

¹Estudio Crostelli - CABA-Argentina – carola@crostelli.com

Resumen: el presente trabajo tiene como finalidad establecer la relación entre el diseño de iluminación y los edificios con valor patrimonial. Se utilizará como caso de estudio el Mercado de los Carruajes, construido en 1899 por el Arq. Emilio Agrelo para albergar las caballerizas y los carruajes de la Presidencia, hoy transformado en un mercado emblemático en la Ciudad de Buenos Aires, ubicado en la Av. Leandro N. Alem y el pasaje Tres Sargentos.

Un edificio de valor patrimonial es aquél catalogado como una pieza singular, que recibe un nivel de protección según sus características edilicias, su condición de hito urbano, su importancia histórica, entre otros. Según indica la UNESCO, "... se considerará "patrimonio cultural": - los monumentos: obras arquitectónicas, [...], que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia". [1] Por ello el Mercado del Carruajes requiere su conservación como bien histórico cultural, una refuncionalización que le permita un nuevo ciclo de vida, la integración al paisaje urbano y la restauración de los componentes.

El diseño de iluminación es parte fundamental de la intervención arquitectónica y debe detectar los puntos claves que valorizan esa obra, para poder acompañar y realzar a través de la luz, esa historia que le da significado a los espacios, a sus materiales y elementos compositivos, logrando en el espectador emociones que lo vinculen con aquel pasado y este presente.

Abstract: The purpose of this work is to establish the relationship between lighting design and buildings with heritage value. The Mercado de los Carruajes will be used as a case study, built in 1899 by the architect Emilio Agrelo to house the stables and carriages of the Presidency, today transformed into an emblematic market in the City of Buenos Aires, located on Av. Leandro N. Alem and the Tres Sargentos passage.

A building of heritage value is one cataloged as a singular piece, which receives a level of protection according to its building characteristics, its status as an urban landmark, its historical importance, among others. According to UNESCO, "... the following shall be considered "cultural heritage": - monuments: architectural works, [...], that have an exceptional universal value from the point of view of history, art or science". [1] For this reason, the Mercado del Carruajes requires its conservation as a historical cultural asset, a refutionalization that allows it a new life cycle, integration into the urban landscape and the restoration of its components.

Lighting design is a fundamental part of architectural intervention and must detect the key points that value that work, in order to accompany and enhance through light, that story that gives meaning to spaces, their materials and compositional elements. achieving in the spectator emotions that link him with that past and this present.

Palabras claves: conceptos lumínicos, patrimonio histórico, revalorización.

I. INTRODUCCIÓN

Para comenzar cualquier diseño de iluminación de una obra existente, es fundamental acudir al sitio, conectarse con el espacio interior y el exterior y entender qué funciones se desarrollarán y a qué público se dirige.

Analizar sus perspectivas, sus visuales, sus edificios y espacios contiguos, la materialidad, su orientación y aventanamientos, sus lucarnas. Cómo se ve de día y cómo de noche. Analizar los contrastes lumínicos en el entorno en que se encuentra, constituyen un punto de partida.

Cuando la obra se trata de un edificio patrimonial, es mayor aún el análisis necesario del "escenario" sobre el cuál se deberá proponer. Es fundamental recopilar toda la información posible histórica, fotográfica, planos, detalles; cada dato que permita conocer profundamente la obra a restaurar e iluminar, ya que cada decisión,

impactará de una manera que puede o no resultar la correcta, y que irá acompañando situaciones, dialogando con la arquitectura y los objetos que se presenten en ella. Todo a la par del desarrollo del proyecto como un todo interdisciplinario.

El análisis detallado anteriormente nos ayudará a entender el concepto del edificio, qué o cuáles aspectos le dan esa unicidad que le aporta un valor adicional, que vincula etapas en una línea de tiempo imaginaria y sobre eso establecer los conceptos lumínicos sobre los que se trabajará.



Fig. 1: El edificio antes de la restauración.

II. DESARROLLO

El proyecto de iluminación se realizó en tres etapas, una primera de diseño conceptual, la cual se consideró como la de mayor importancia, una segunda etapa de proyecto licitatorio y por último la ejecución del proyecto.

Sobre la base de afianzar las virtudes y características que definen al edificio como patrimonio histórico, en este caso de estudio, durante la primera etapa, se consolida la idea rectora lumínica, a partir de la cual se desarrollan otros conceptos de iluminación que se complementan y conforman el desarrollo integral.

La idea lumínica rectora:

La iluminación del ladrillo, presente tanto en la recova como en sus fachadas y en su estructura muraria que organiza los distintos sectores del Mercado, es el corazón del proyecto y se posiciona como la intervención que recorre todos los espacios, complementándose con sistemas modernos tales como el muro de vidrio transiluminado donde rematan las visuales, y con el diseño particular de sistemas lumínicos en sectores que el uso y el equipamiento requieren en cada caso.

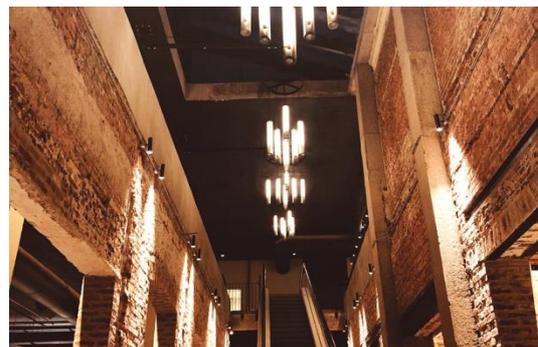
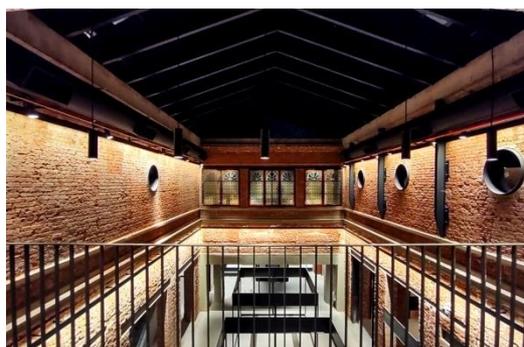


Fig. 2: Idea rectora de iluminación aplicada a dos espacios diferenciados.

Los conceptos lumínicos complementarios:

- ✓ Reafirmar la composición de sus fachadas marcando sus límites.
- ✓ Iluminación de la recova sobre la Av. Alem, en la cual se destacan sus arcadas y otorgan seguridad a la zona.
- ✓ Adicionar una grilla de iluminación que atraviesa los espacios, utilizando las mismas bandejas que resuelven otras instalaciones. Se plantea como un sistema flexible que brinda la iluminación funcional de los distintos sectores.
- ✓ Destacar los vitrales, tomando en cuenta las distintas visuales y tanto la luz natural como la artificial.
- ✓ Generar particularidades lumínicas utilizando luminarias de diseños especiales, asociadas con el uso de los distintos espacios, otorgando distintas jerarquías y escalas y armonizando con los equipamientos y las transiciones entre los distintos usos.

Desarrollo de la Idea de partido principal

Se realzan sus muros de ladrillo con luces rasantes, evidenciando su textura. Las fuentes de luz utilizadas, todas de led, se eligieron en 2700K de temperatura color, para realzar la coloratura rojiza del material y otorgar una inapelable sensación de calidez.

Se realizaron pruebas in situ con luminarias desarrolladas especialmente, las cuales se fueron corrigiendo con el objetivo de lograr un barrido intenso sobre los muros pero que a su vez no deslumbrara y pudiese colocarse en distintas alturas y posiciones, acompañando el perímetro principal y mas visible del edificio. Siempre poniendo un especial cuidado en el impacto visual ya que al ser patrimonio histórico todas estas propuestas debieron hacerse exteriores.

Esta iluminación posee un sistema de control con escenas definidas, en las cuales se modifica la intensidad lumínica según el horario y el aporte de luz diurna, ya que el espacio principal está coronado por una gran lucarna.

Este concepto lumínico, si bien cose los distintos niveles y espacios, va sufriendo modificaciones cuando la arquitectura y el uso cobran un rol diferente, de este modo en el sector de la escalera mecánica, la luz rasante de sus planos contenedores, cobra vida por luminarias de haces puntuales que enfatizan los pilares.

Sistemas lumínicos complementarios y diseños de luminarias especiales

Habiendo una idea principal, y dada la complejidad del proyecto, hay situaciones y particularidades que resolver que se detallan a continuación.

Con tal finalidad, y retomando la idea de traer el pasado al presente, para cada sector de uso diferenciado se realizó una iluminación particular, con un diseño especial de luminarias que tuvieran gestos estéticos como asemejarse a la rueda de un carruaje, o utilizar materiales industriales de un modo mas rústico, manteniendo siempre la calidez y las características lumínicas necesarias para la buena reproducción cromática de la comida, el énfasis en la arquitectura y promoviendo distintas escalas según hubiera mesas, barras, o espacios de tránsito.

El sistema flexible que se plantea en las bandejas, resuelve tanto los espacios en simple altura como los de mayor envergadura, incluso se utilizaron en la triple altura central aplicadas en ese caso a los muros de ladrillo. En resumen, se utilizó una misma familia de luminarias, con la misma estética minimalista y funcional, pero modificando su flujo lumínico, su distribución y jugando con las distintas aperturas y accesorios.

Esto generó que el impacto visual sea el mínimo imprescindible para no restar protagonismo a las luminarias especiales ya mencionadas.



Fig. 3: Luminarias diseñadas especialmente para el nuevo núcleo circulatorio del Mercado de los Carruajes.

Iluminación de una fachada de valor patrimonial

Es habitual que, hasta ser intervenidos, los edificios patrimoniales muestran sus fachadas durante el día, pero carecen de iluminación artificial que los destaquen y dejen lucir su arte durante la noche, desapareciendo por completo.

Iluminarlas es entonces una tarea imprescindible, no sólo por la belleza que suelen presentar desde la arquitectura, sino que se convierten en un hito urbano, un aporte a la economía generando un foco de atención y un gran impacto en el turismo, transformando zonas oscuras en iluminadas dando mayor seguridad y conformando el paisaje urbano nocturno.

Especial cuidado merece la estética y posición de las luminarias, por diversos motivos. Uno de ellos que en estos edificios no es posible llegar con alimentación en cualquier punto y esto requerirá de un estudio técnico minucioso, para lograr el efecto buscado desde posiciones estratégicas, con la distribución lumínica apropiada. Otro de los motivos es el impacto visual de los artefactos durante el día, y las ubicaciones posibles, ya que hay elementos que no pueden ser modificados.

Así mismo, si la obra posee elementos como luminarias existentes, deberá evaluarse si las mismas poseen un valor particular, en ese caso deberán restaurarse y acondicionar la instalación eléctrica como así reemplazar la tecnología de la fuente de luz por alguna de larga vida útil y rendimiento, sin descuidar la tonalidad de la luz y el flujo lumínico requerido. Este fue el caso de los faroles originales aplicados en las fachadas de planta baja, que iluminan el interior de la recova, los cuales fueron completamente restaurados y que junto con la iluminación del vano de las recovas, completa la iluminación de la circulación peatonal.

Para darle visibilidad al edificio, situado en la esquina conformada por la Av. Leandro N. Alem y el pasaje Tres Sargentos, pleno microcentro porteño, se iluminan sus fachadas, ambas de gran valor histórico y arquitectónico, aplicando la idea lumínica rectora. Para el desarrollo de ésta, se posicionaron las luminarias en la cornisa que divide ambas plantas, logrando un baño rasante sobre los muros y generando una iluminación continua del friso superior.

Técnicamente se realizaron cálculos lumínicos previos y pruebas de iluminación de verificación, donde se ratificó el uso de lentes de distribución elíptica, logrando disminuir la polución lumínica y abarcando con los puntos de luz necesarios la totalidad de la fachada.

Para poder completar las vistas del edificio, se da presencia a las mansardas con luces en sus artistas que delimitan su morfología, recortándose sobre el oscuro cielo nocturno y utilizando una temperatura de color más fría que incrementa el contraste de la pizarra negra vs el ladrillo. También se destaca la cúpula central y su frontis, símbolo de la simetría neoclásica.

Pocos espacios urbanos son tan característicos como las recovas de la Av. Alem. Una vez más, bajo la idea rectora, se define iluminar su intrados, de ladrillo, diseñando una luminaria especial con una combinación de lentes que

generaba el efecto buscado, uniendo los haces lumínicos en toda la curvatura del arco y resaltando las bases y el ritmo que general las columnas.



Fig. 3: Fachada y recovas iluminadas.

Por último, se consideró importante poder crear un contrapunto que todo edificio patrimonial presenta entre el pasado y el presente, en este caso se proyectó un plano de vidrio transiluminado, en un tono de luz fría contrastando con el clima cálido general, que emerge como una pantalla moderna donde se despliega un vinilo con una temática selvática y en donde se apoyan las nuevas estructuras como escaleras y ascensores.



Fig. 4: Contrapunto: muro donde apoyan nuevas estructuras, de vidrio transiluminado con luz fría.

III. CONCLUSIONES

Podemos concluir entonces que, un diseño de iluminación basado en las virtudes que presentan este tipo de obras, refuerza el valor histórico de los edificios patrimoniales, devolviéndoles presencia, belleza y fortaleza, logrando el vínculo entre el pasado y el presente a través de los climas y tratamiento de los espacios.

Para esto se requiere un trabajo en conjunto de un equipo interdisciplinario, formado por arquitectos, ingenieros, restauradores, diseñadores de iluminación y especialistas en cada una de las áreas pertinentes, que permita la implementación de últimas tecnologías, fusionándolas e integrándolas en el proyecto de modo de traer el pasado al presente, siempre distinguiendo sus partes compositivas originales de las nuevas intervenciones.

IV. RECONOCIMIENTOS

El proyecto arquitectónico estuvo a cargo del Estudio McCormack Asociados junto a la Arq. M. Chiarelli, a quienes agradezco por convocarme para la realización de este gran proyecto.

Dirección de Obra: Arq. Santiago Scarabino.

Restauración: Magadán y Asociados.

V. REFERENCIAS

[1] Según: Artículo 1 de la Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural. De la UNESCO.

VI. BIOGRAFÍA



Carola Crostelli, arquitecta egresada de la UBA y especialista en medio ambiente visual e iluminación eficiente (UNT). Docente en la materia Diseño de Iluminación desde 1998. Socia activa de la AADL y del CPAU. Se dedica al diseño de iluminación de arquitectura desde hace más de 20 años, tanto interior como exterior y de diversas tipologías edilicias. Entre sus obras se destacan el Mercado de los Carruajes, hoteles de reconocidas cadenas como "Palladio" by Sofitel, el Hipódromo de Palermo de Bs. As, edificio VP en Montevideo, proyecto licitatorio del CCK (en Estudio Diz), entre otros.

Museo de la Luz – Tucumán - Argentina

J. OBANDO^{1,2,4}; A. SORUCO^{1,2}; N. ALCALDE^{1,2}; A. De Paul CAMACHO^{1,2}; A. DÉCIMA^{1,2};
M. ELORRIAGA^{1,2}; M. LUQUE^{1,2}; L. PÉREZ^{1,2}; O. PRECIADO^{1,2}; R. SÁNCHEZ^{1,2};
M. TRIPOLONE^{1,2}, I. CORMENZANA MÉNDEZ^{1,2}, N. VALLADARES^{1,2}, L. CALDELARI^{1,2},
I. CONTINO^{1,2} en nombre de UNT OPTICA-SPIE Student Chapter

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

⁴ nanoobando@gmail.com

Resumen: El presente trabajo describe las actividades realizadas en la muestra denominada "Museo de la Luz - Tucumán" durante los años 2018 y 2019, cuyo objetivo fue mostrar la importancia de la luz y como ella influye en la vida de las personas. En el marco de las actividades a desarrollarse por el Día Internacional de la Luz proclamado por la UNESCO, el 16 de mayo, en 2018 el capítulo estudiantil OPTICA-SPIE de la Universidad Nacional de Tucumán, tomó como iniciativa diseñar y montar una muestra sobre iluminación y visión en las instalaciones del Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión de la UNT.

Este museo, resultado de años de trabajo, consistió en una muestra interactiva en donde los visitantes pudieron experimentar y conocer el por qué se producen diferentes fenómenos que están vinculados directamente con la luz, la percepción visual y el color.

La muestra estuvo organizada en 3 ejes temáticos: "**Juegos mentales**" conformado por ilusiones visuales, "**Fábrica de luz**" donde se pueden observar lámparas de distintas tecnologías, sus propiedades espectrales, colorimétricas y eléctricas y, por último, "**Universo del Color**" con juegos de mezcla de luces y filtros.

Además, se desarrollaron diferentes actividades satélites: concurso de diseño de iluminación, concurso de fotografía, talleres destinados a escuelas secundarias y técnicas, y visitas guiadas a laboratorios de fotometría y colorimetría del DLLyV-ILAV.

Palabras claves: Museo, Luz, Percepción visual.

Abstract: This paper describes the activities carried out in the exhibition called "Museo de la Luz - Tucumán" during 2018 and 2019, whose objective was to show the importance of light and how it influences people's lives. As part of the activities to be developed for the International Day of Light proclaimed by UNESCO on May 16, in 2018 the student chapter OPTICA-SPIE of the Universidad Nacional de Tucumán, took the initiative to design and mount an exhibition on lighting and vision in the facilities of the Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión de la UNT.

This museum, the result of years of work, consisted of an interactive exhibition where visitors could experience and learn why different phenomena that are directly related to light, visual perception and color occur.

The exhibition was organized in 3 thematic axes: "**Mind games**" made up of visual illusions, "**Light Factory**" where visitors could observe lamps of different technologies, their spectral, colorimetric and electrical properties and, finally, "**Universe of Color**" with games of mixing lights and filters.

In addition, different satellite activities were developed: lighting design contest, photography contest, workshops for high and technical schools, and guided visits to photometry and colorimetry laboratories of the DLLyV-ILAV.

Keywords: Museum, Light, Visual perception.

I. INTRODUCCIÓN

El Museo de la Luz se concibió con la idea de que las personas de todas las edades puedan "*aprender jugando*" sobre temas relacionados con la luz y como ella influye en la vida cotidiana.

II. MUSEO DE LA LUZ



Fig. 1: Museo de la luz (2019)

La muestra del MDL se dividió en tres ejes temáticos:

1- Juegos mentales

Diversos juegos se montaron para que los visitantes puedan experimentar una variedad de fenómenos, a partir de la observación e interacción, en donde se los incentivó a preguntarse por qué ocurren estos fenómenos. Cada uno de los juegos contaba con una breve descripción y explicación del fenómeno involucrado.

A continuación, se describen sintéticamente algunos de los juegos que conforman este eje temático:

Silla gigante o silla de Beuchet: está diseñada para jugar con la percepción visual y engañar al cerebro. En realidad, las partes de las sillas están separadas, en un lugar se encuentra el asiento de la silla y en otro lugar las patas (Fig 2). Si la vemos desde un lugar determinado asumimos que es una silla normal, es decir un solo objeto (Fig 3). El cerebro une las piezas y el resultado es que el cerebro es engañado mediante la percepción que se tiene de esta silla. Es lo que se conoce como “percepción forzada”.



Fig. 2: Ubicación de los 3 elementos que conforman este juego: asiento, patas y punto de vista del observador (Visor)



Fig. 3: Vista desde el Visor

Espejo infinito: se observa una percepción errónea de la profundidad, mediante el efecto de reflexión (Figura 4). Juego conformado por un semi espejo con una tira led y un espejo plano de fondo.



Fig. 4: Ilusión visual de profundidad

Habitación infinita: cuarto de planta hexagonal cuyas paredes están conformadas por espejos (Figuras 5). Estas dan la sensación de un espacio infinito por el efecto de reflexión.



Fig. 5: Vista interior de la habitación

Habitación de Ames:



Fig. 6: Habitación de Ames

Está construida de tal manera que vista de frente aparenta ser una habitación ordinaria de forma cúbica. Sin embargo, esto no es verdad, ya que en realidad la habitación es trapezoidal: las paredes están inclinadas al igual que el suelo y el techo. Como resultado se produce una ilusión perceptual, una persona de pie en una esquina aparenta ser un gigante, mientras que una persona de pie en la otra esquina parece ser un enano.

2- Fábrica de luz

Este sector del MDL está dedicado a la exposición de la evolución de las lámparas de distintas tecnologías: Incandescencia, Fluorescencia, Descarga de Gases, Electroluminiscencia (Figura 7). A sus propiedades espectrales, colorimétricas y eléctricas, conceptos de temperatura de color, temperatura de color correlacionada, índice de reproducción cromática, eficiencia energética, vida útil, ventajas y desventajas de cada fuente de luz (Figura 8).



Fig. 7: Lámparas de diferentes tecnologías

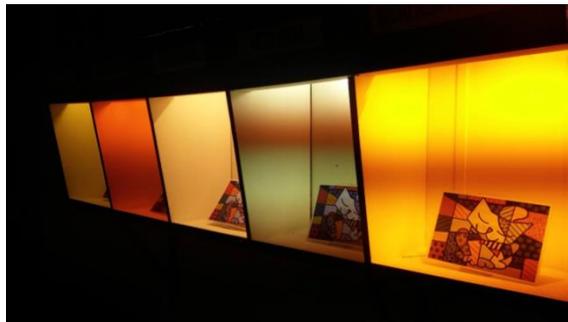


Fig. 8: Boxes iluminados con distintas fuentes de luz. Donde se pudo explicar entre otras cosas, temperatura de color correlacionada, índice de reproducción cromática y el efecto de flicker (parpadeo de la luz)

3- Universos de colores

Mezcla aditiva de colores o mezcla de luces: en esta sala iluminada con luces RGB, los visitantes pueden aprender acerca de los colores primarios y secundarios de la luz (Figura 9).



Fig. 9: Jugando con las sombras de colores.

Aplausos de colores: mediante este juego se explica que la percepción del color depende de tres componentes principales: la fuente de iluminación, el objeto iluminado y el observador (Figura 10).

El color percibido puede cambiar alterando alguno de estos tres componentes principales; en este experimento, las luces son audio rítmicas, al emitir algún sonido cerca del sensor, la electrónica hace que la iluminación LED cambie de color; es decir, estamos cambiando las características espectrales de la fuente de iluminación (espectro de la fuente); esta composición espectral incide sobre el objeto (el cuadro con los animales de colores), y nos devuelve un espectro distinto, el cual estimula nuestro sistema visual produciendo así un cambio de colores dinámicos con cada respuesta sonora que reciba el micrófono.



Fig. 10: Alumnos de escuelas secundarias aplaudiendo.

Además de la muestra, se desarrollaron actividades satélite destinadas a los estudiantes y al público en general:

Concurso de Diseño de Iluminación

Dirigido a los alumnos de la carrera de Diseñador de Iluminación del DLLyV-FACET-UNT. El concurso buscaba propuestas de intervención lumínica de carácter efímeras (transitorias), de las fachadas del edificio del DLLyV.

Muestra de Diseño de Iluminación

Consistió en la exposición de trabajos de alumnos de la carrera de Diseñador de Iluminación en formato póster.

Concurso de Fotografía

La temática fue: “La importancia de la luz en nuestras vidas”. El objetivo del concurso era lograr transmitir la importancia que desempeña la luz y cómo ella influye en la vida diaria.

Talleres de óptica

Los talleres de óptica fueron dictados especialmente a los alumnos de escuelas secundarias, con varios juegos/experimentos entre los cuales se encontraban: suma de colores, lentes cóncavas y convexas o divergentes y

convergentes, filtros polarizadores, aplicación tensión superficial, estudio de esfuerzo materiales, redes de difracción.

Visitas guiadas a laboratorios

Se realizó un recorrido por los diversos laboratorios con los que cuenta el DLLyV: Laboratorio de fotogoniómetro, Laboratorio de colorimetría y Taller.

III. CONCLUSIÓN

Durante los dos años que se realizó la muestra, aproximadamente 2000 personas visitaron el museo, con edades comprendidas entre los 3 y los 74 años. En 2018 siendo en su mayoría alumnos de escuelas secundarias de San Miguel de Tucumán. EL año 2019 fue diferente ya que tuvimos visitas inesperadas: escuelas del interior de la provincia, jardines de infantes y escuelas especiales (alumnos con autismo, síndrome de down, entre otras). En este último caso, los chicos se mostraron sorprendidos y emocionados por los juegos, sobre todo los que usan luces de colores, ya que estimularon sus sentidos. Para nosotros este hecho nos llena de orgullo ya que nos demostró que podemos hacer cosas interesantes y que podemos dejar un granito de arena en esto que es la inclusión de todas las personas. Aún si no lo habíamos planeado de entrada, lo cual lo hace aún más importante.

El gran interés y participación demostrado por la comunidad que visitó la muestra nos alienta a seguir con esta clase de actividades de difusión de la ciencia.

La iluminación y las buenas prácticas de diseño en los espacios comerciales

Laura ARROYO ROCHA¹ - Fernando MAZETTI²

¹Associate IALD (International Association of Lighting Designers. Londres, Reino Unido (laura@arroyorocha.com)

²Universidad de Palermo- "Diseño y más". Buenos Aires. Argentina (fernandomazzetti01@gmail.com)

Resumen: El diseño de iluminación en los espacios comerciales, además de permitir una presentación estética y clara de los productos en venta, influye directamente en la experiencia de marca de un potencial consumidor y en su decisión de compra.

El presente trabajo propone un abordaje integral de las buenas prácticas de diseño de iluminación en retail. Considerar el diseño arquitectónico de la fachada, los escaparates y el espacio interior como una unidad conceptual que defina la identidad y valores de la marca. En ese sentido, se explorará cómo utilizar la luz estratégicamente para influir de forma positiva en la percepción y experiencia sensorial y espacial del cliente tomando en cuenta la idea comercial, el perfil del consumidor, la imagen, el estilo, la escala y el entorno para ofrecer soluciones técnicas, estéticas y funcionales.

Palabras claves: diseño, retail, iluminación.

Abstract: Retail lighting design, besides allowing aesthetics and clarity in the presentation of products for sale, directly influences the brand experience of a potential consumer and their buying decision.

This paper proposes an integral approach to good practices in retail lighting design. Taking into consideration the architectural design of the façade, the shop windows and the interior space as a conceptual unit that defines the brand identity and brand values. In this sense, the paper will explore how to use light strategically to influence positively in the perception, sensorial and spatial experience of the consumer, also considering the commercial goal, the consumer profile, the image, style, scale and environment to offer functional, aesthetic and technical solutions.

Palabras claves: design, retail, lighting.

I. INTRODUCCIÓN

Seguramente, nunca hemos compartido un café en un bar con un lux. Tampoco comprado zapatos acompañados de un lumen. Ni la candelabra ha sido testigo de la lectura de un buen libro. Sin embargo, siempre están presentes para definir aspectos técnicos de la luz. Son conceptos clave para proyectar un diseño lumínico que responda a las necesidades y gustos de las personas. Los intangibles de la luz, lo que "no se ve": la intensidad, dirección, temperatura de color, índice de reproducción son herramientas de diseño.

La gente, el usuario común, vive la luz de manera distinta. Lo sensorial por encima de los razonamientos técnicos o intelectualizaciones. La luz que percibe a través de sus ojos despierta emociones y sensaciones físicas y psicológicas. La respuesta es inmediata, inconsciente y subliminal. La luz permite crear una atmósfera determinada, un clima relajado o dinámico. Las personas interactúan con el espacio y reaccionan de manera positiva o negativa de acuerdo a sus expectativas e intereses.

II. EL RECORRIDO DEL CONSUMIDOR Y LA ILUMINACIÓN

El recorrido del consumidor se define como el proceso por el que atraviesa el consumidor, a lo largo de todas las etapas y puntos de contacto con una organización que comprende la experiencia de consumo [1]. En este caso estamos hablando concretamente del recorrido que hace un consumidor desde que se encuentra en el entorno urbano hasta que entra en contacto y accede a un local comercial.

La unidad conceptual de un proyecto comercial incluye cuatro elementos: fachada, vidriera, espacio interior visible por los clientes, y las áreas de servicio ocultas como depósito, baños, oficinas, etc. Especialmente los tres primeros se deben manejar de manera integral a fin de dotar al local una identificación por parte de los clientes, una diferenciación de la competencia y un apoyo en el recorrido del consumidor según se haya definido en la estrategia de marketing de la marca. Hoy, más que nunca, el diseño de un espacio comercial aborda variadas disciplinas asociadas en un objetivo común: interiorismo, iluminación, diseño gráfico, web, comunicación en redes sociales, e indumentaria de empleados.

A continuación haremos una exploración al detalle de las tres unidades conceptuales que forman parte del recorrido del consumidor..

A. La Fachada

La fachada forma parte de la primera impresión de un potencial consumidor con el local comercial. En ese sentido hay que considerar varios elementos:

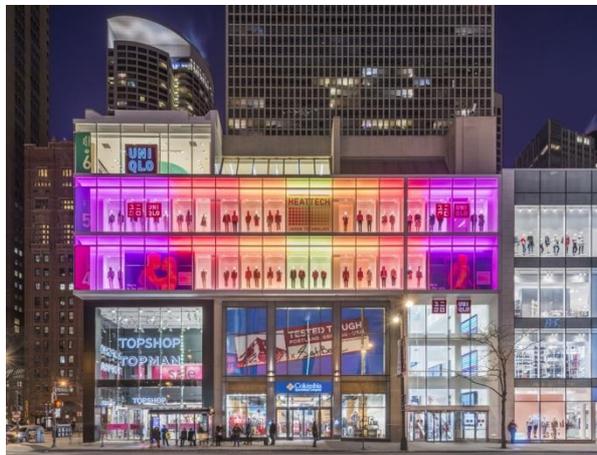
- Marquesina
- Acceso
- Escala
- Estilo
- Material
- Color
- Visión diurna y nocturna
- Diferenciación
- Punto de referencia urbana
- Integridad con los interiores



Tom Ford, (2014) Miami

A grandes rasgos, el objetivo de la luz en la fachada es establecer una presencia urbana y carácter acorde a la marca. Con la luz es posible destacar los aspectos relevantes de la fachada, poniendo en valor detalles decorativos o arquitectónicos existentes; también resaltar materiales brillantes o mates, texturas lisas o rugosas y de diferentes acabados.

Una característica concreta de la luz que puede sumar interés y diferenciación a la fachada es el color. Se puede considerar el color representativo de la marca o una serie de colores que provoquen una emoción positiva en el perfil de consumidor ideal, utilizándose ya sea en el día a día o en temporadas estratégicas. En cuanto a tecnología, precisamente uno de los recursos que ofrece la tecnología LED – a diferencia de las tecnologías anteriores – es el color. El RGB (Red, Green, Blue) posibilita la aplicación de colores fijos, monocromáticos o dinámicos. Dicho esto, el cambio de color debe ser utilizado con mucha precaución ya que, en ocasiones, la iluminación dinámica confunde, a tal punto, que no se entiende el mensaje que se quiere transmitir o a qué rubro pertenece el negocio.



NWS Architects, Uniqlo Chicago

Por otra parte, la miniaturización de las luminarias LED crea las condiciones ideales para que la luz se integre al diseño arquitectónico. El artefacto apenas es visible y la atención se lleva hacia la fachada. Por ejemplo, luminarias embutidas lineales destacan, de manera muy evidente y en otras más sutilmente, detalles de la forma o material de la fachada..

B. La Vidriera

Una vez que el consumidor se dirige hacia el establecimiento comercial la atención pasa de la fachada hacia la vidriera o escaparate.

Estudios de mercado asociados a la neurociencia han demostrado que el 80% de las decisiones de compra ocurren de forma inconsciente y movidos por impulsos emocionales. [2] Sabemos que la iluminación tiene un enorme poder de influir en el estado anímico de una persona. Estos estudios son información valiosa para empresas de marketing comercial y visual merchandising en el momento de planificar las campañas publicitarias e imagen de marca.

La vidriera implica:

- Cantidad en el local
- Ubicación
- Tamaño y estructura
- Estilo
- Decoración
- Nivel de precio, cantidad, ubicación y calidad de los productos



Gucci, (2018) Nueva York

El diseñador Fernando Mazzetti, uno de los autores del presente trabajo, ha desarrollado dos conceptos de escaparatismo relacionados a las personas y su relación visual con la vidriera:

1. “Los 10 segundos” [3]: este concepto remite al tiempo máximo ideal de permanencia de un potencial consumidor observando una vidriera. En esos “10 segundos” la información visual debe especificar exactamente qué tipo de producto o servicio ofrece el local, el nivel de precio y de calidad. Superado ese tiempo, el observador comenzará un proceso de intelectualización y evaluación de la imagen que suele crear dudas o confusión. Y en el mejor de los casos una confirmación de la información.
2. “Dos pasos atrás” [4]: esto refiere a los “dos pasos atrás” que un peatón realiza al pasar frente a un escaparate y de manera fugaz mira, sin atención especial, pero suficiente para detener su marcha y regresar sobre sus pasos.

En ambos casos, el diseño de iluminación juega un rol fundamental ya que con la luz se puede seducir al consumidor objetivo mostrando los productos y otros elementos del escaparate de una forma clara, dirigiendo su mirada, sembrando curiosidad y – en caso de que cumpla con el perfil de consumidor ideal – invitando al peatón a entrar al establecimiento.

El conocido modelo de marketing AIDA [5] acrónimo de: “atención, interés, decisión y acción”, se relaciona con las fases que atraviesa un cliente de manera inconsciente ante el estímulo de un mensaje publicitario. Mazzetti [6] ha adaptado este concepto al modelo comercial agregando a AIDA una letra S al final. “AIDAS” habla de crear “Sensaciones”. Despertar una emocionalidad ante el producto exhibido en la vidriera, en clara competencia con un entorno en donde los estímulos visuales son constantes, como el paisaje urbano y las redes sociales que nos ponen en contacto inmediato con un mundo de intenso consumo de productos. En ese sentido no resulta extraño ver a personas mirando productos en la vidriera y consultar en su celular información adicional. La conexión emocional del potencial cliente con el producto es uno de los propósitos en el diseño de escaparates y la emoción se puede decir que es uno de los principales objetos de trabajo del diseño de iluminación de espacios comerciales.

La estructura de la vidriera: abierta, semiabierta o cerrada y la integración con el diseño de iluminación son claves para acentuar la intención comercial del negocio. La instalación de rieles en techos, paredes laterales o piso permite ubicar luminarias, tipo spots, en distintas posiciones. También direccionar y controlar ángulos de apertura y la intensidad de la luz.

La incorporación de tecnologías 3D y Realidad Aumentada es incipiente. Cada vez más las empresas adoptan esas estrategias de comunicación digitales para conectar con los potenciales clientes. Lejos está la idea del observador pasivo sino interactuando con el espacio de exhibición.

Un aspecto interesante tanto técnico como de diseño a aplicar son los tres principios de diseño de iluminación arquitectónica de Richard Kelly [7]: el “resplandor focal”, la cuál se refiere a una luz de acento con el propósito de enfatizar zonas y objetos; la “luminiscencia ambiental”, referente a una luz más general; y el “juego de brillantes”, esas aplicaciones de luz cuyo objetivo primordial es crear interés y provocar una emoción.



En el contexto de las vidrieras esto se traduciría en incluir las siguientes capas de luz: luz directa para destacar un producto de forma puntual; luz difusa como luz homogénea y pareja en el espacio expositivo; y luces cenitales, desde arriba hacia abajo, nadirales, desde abajo hacia arriba, y diagonales y laterales para otorgar cambios y ángulos de incidencia variados hacia los productos, creando un atractivo visual y ayudando a la guía visual en el espacio. La experiencia de compra se complementa y se potencia cuando el posible consumidor ingresa al local.

C. El Espacio Interior

Una vez que el potencial consumidor ha decidido ingresar a la tienda el primer objetivo es ofrecer la mejor experiencia de llegada. El ojo es atraído naturalmente por las zonas más iluminadas en el espacio, con lo que los contrastes de luz, utilizados estratégicamente en una composición que responde a un concepto y a una narrativa, guían la mirada y la atención del consumidor a lo largo de su recorrido. Para favorecer una experiencia de llegada positiva se propone iluminar o integrar luz en los elementos interiores que representen la identidad de la marca – especialmente si son inmediatamente visibles – y también asegurar que los rostros de los empleados que se encuentren cerca del acceso sean iluminados adecuadamente sin sombras o contrastes muy marcados.

Lo siguiente es invitar a la permanencia en el local a través de un ambiente amigable. Los estímulos visuales se complementan con los auditivos y olfativos. Música adecuada al ambiente y aromas despiertan emociones subliminales en las personas. La ubicación del mobiliario determina las circulaciones. En ese sentido es interesante diseñar sistemas de iluminación que se adapten a distintas configuraciones para también adaptar la experiencia del consumidor a las distintas temporadas según la estrategia de marketing.



Dior, Nueva York 2021

En cuanto a la exhibición de productos, su configuración horizontal o vertical implica el uso de un sistema lumínico que permita cambios de dirección e intensidad del flujo luminoso. Considerar zonas de exhibición, circulación, empaque y caja y que la iluminación esté en función de esas actividades. Los niveles de reflexión en

solados y revestimientos deben ser estudiados a fin de no crear deslumbramientos indirectos que ocasionen molestias a clientes y empleados. La posición de las luminarias para no crear deslumbramientos directos o sombras indeseadas.

Las mayores iluminancias crean interés y acercamiento y, por el contrario, las bajas pasan desapercibidas. Crear un ambiente amigable para empleados y clientes hace a la experiencia de compra y al confort visual. La temperatura de color seleccionada define la sensación visual y junto con las otras cualidades de la luz, la atmósfera del espacio. Hasta hace unos años se usaban esquemas determinados en relación a lo visual. Asociar bajas niveles de iluminación, tonalidades cálidas y fuertes contrastes de la luz directa creaba la sensación de productos exclusivos, mas caros y de mejor calidad.

Por el contrario altos niveles de iluminación, tonalidades frías y luz difusa inducía a generar locales de productos masivos, de menor calidad y precio. Eso está cambiando pues marcas internacionales han adoptado otras propuestas lumínicas.



Adidas. 2022

El Índice de Reproducción Cromática determina la fidelidad con que se verán los colores en comparación con la perfecta reproducción cromática del sol. Estos aspectos son imprescindibles de especificar en diseño comercial.



Louis Vuitton, Nueva York 2021

A través de la integración de diseño arquitectónico, interiorismo y diseño de iluminación se puede ofrecer una experiencia sensorial memorable para el consumidor objetivo de manera que éste, además de ser influenciado a la compra, tenga una razón de peso para hablar positivamente de la marca y volver al local.

III. BUENAS PRÁCTICAS DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN DE ESPACIOS COMERCIALES

A continuación presentaremos las buenas prácticas de diseño de iluminación de espacios comerciales siguiendo una secuencia lógica para la planeación de tal tipología de proyecto. En concreto, nos hemos basado en el procedimiento para realizar el diseño de un proyecto propuesto por el Instituto Americano de Arquitectos (AIA) según sus Cinco Fases de Arquitectura [8] y conforme al Plan de Trabajo del Real Instituto de Arquitectos Británicos (RIBA) [9] hasta las etapas de Desarrollo de Diseño y Coordinación Espacial, respectivamente.

IV. ANÁLISIS INICIAL Y OBJETIVOS DE DISEÑO

La etapa ideal para comenzar a trabajar sobre el diseño de iluminación de un espacio comercial es cuando el anteproyecto arquitectónico está listo y ya existe un concepto preliminar de diseño interior. Dicho esto, antes de comenzar a proponer un diseño de iluminación es imprescindible definir los objetivos globales del diseño analizando en profundidad dos grandes aspectos. El primero es el espacio físico: las cualidades de la arquitectura y del espacio interior así como las características de la iluminación natural de la cuál gozará el local. El segundo es la marca y sus cualidades intangibles: su identidad, sus valores, el perfil de su consumidor objetivo y el recorrido físico y emocional que éste último debe realizar según se haya definido en la estrategia de marketing y venta.

También hay otros aspectos más técnicos y prácticos a tomar en consideración para iniciar el proyecto, como las normativas y el presupuesto. No obstante, para efectos de este paper, nos enfocaremos en los dos primeros ya que son los que están directamente relacionados con las buenas prácticas de diseño habitualmente aplicables a cualquier proyecto comercial.

En cuanto al espacio físico, es importante comprender la propuesta de arquitectura y del interiorismo, los cuáles en sí ya han considerado todo lo referente a la identidad de marca y al perfil de consumidor objetivo para su concepción. La unidad conceptual de la fachada, las vidrieras y el espacio interior mencionados anteriormente corresponden a esta etapa. En este caso es sumamente importante comprender la materialidad, paleta de colores, texturas, geometría del espacio, escala, proporción, la conexión entre distintas zonas interiores, el mobiliario, la señalética y todos los elementos visuales ya que, junto con las fuentes de luz, determinarán el resultado de la experiencia visual. Este estudio nos ayudará a definir las pautas sobre cuáles elementos habrá que iluminar y la clasificación de los sistemas de iluminación más convenientes de utilizar.

Las características de la iluminación natural, si bien forman parte de la propuesta arquitectónica, son esenciales de identificar en sí mismas ya que es necesario saber cómo la luz natural afectará el espacio a lo largo de las horas en que el local está en operación. Por un lado, este estudio indicará si es necesario o no compensar parcial o totalmente la iluminación natural con iluminación artificial. Por otro lado, también informará sobre los requerimientos visuales para que el local comercial se perciba claramente “abierto” en horas de operación, ya que es muy común encontrar establecimientos cuyas fallas de iluminación hacen pensar lo contrario.



KITH, PARIS 2021

El análisis de la marca y del consumidor principalmente nos indicará las emociones que debemos transmitir a través de la iluminación y cuál debe de ser la narrativa de dichas emociones para llevar al consumidor de la atención hacia el interés, seguido por el deseo y finalmente por la acción. Este aspecto es esencial, pues los objetivos que se planteen a partir de las emociones a generar funcionarán como una brújula que guiará las decisiones de diseño a lo largo del proceso, incluyendo cambios de diseño por temas de presupuesto, logística del proyecto, etc.

En definitiva, el análisis inicial es una herramienta poderosa para el diseñador de iluminación que le permitirá establecer los objetivos y parámetros de diseño a partir de los cuáles se comenzarán a tomar decisiones concretas, siempre con un fundamento sólido. Toda decisión de diseño y todo punto de luz tendrá un porqué.

V. CONCEPTO DE ILUMINACIÓN

En esta etapa es cuando se comienzan a concretar esos objetivos y parámetros de diseño en una propuesta conceptual.

Las intenciones de iluminación son claras y justificadas: en qué consistirá la estrategia general de iluminación; qué se va a iluminar en las unidades conceptuales de la fachada, vidrieras y espacio interior; qué cualidades va a tener la composición de luz de manera que responda tanto a las necesidades particulares (de un sector de exhibición al interior, por ejemplo) como a la integridad global del recorrido del consumidor y del proyecto.

Para crear estas intenciones de iluminación se sugiere aplicar los tres principios de diseño de iluminación de Richard Kelly, anteriormente mencionados.

Al aplicar los principios de Richard Kelly es necesario establecer una jerarquía visual en el espacio, generalmente siendo las vidrieras y los productos en los exhibidores principales los que encabezan dicha jerarquía, al igual que los elementos del interiorismo y del mobiliario más importantes. La jerarquía define los contrastes, entonces es en este punto donde comenzamos a definir principalmente las intensidades altas, medias y bajas, pero también el color y la dirección de la luz en cada zona.

Finalmente, para completar el concepto de iluminación es necesario definir el tipo de luminarias y sus ubicaciones aproximadas. Es decir, ahora que sabemos qué superficies y objetos queremos iluminar definiremos desde dónde se iluminarán y con qué tipo de instrumento. En este punto no es necesario definir marcas y modelos de equipamiento de iluminación, pero sí su sistema de montaje y sus características generales de desempeño.

VI. DISEÑO DE ILUMINACIÓN

Una vez que el diseño conceptual es sólido y ha sido aprobado, es momento de transformarlo en un diseño de iluminación específico donde se da respuesta a todas las cuestiones técnicas que permitirán materializarlo, sobretodo las posiciones, detalles de montaje y las características técnicas de los instrumentos de iluminación. En esta etapa es también donde se asegura que exista una eficiencia energética auténtica y un buen uso de la tecnología.

Todas las cualidades que se han definido en la etapa de concepto deben traducirse a valores numéricos, incluyendo: la intensidad en lúmenes, conforme a cálculos lumínicos; el color en Kelvin o RGB; el haz o distribución de luz en grados; entre otros. En cuanto a los aspectos más técnicos relacionados al color, se recomienda utilizar fuentes de luz con un índice de reproducción cromático igual o mayor a 90, jamás menor a 80. Idealmente también con un valor R alto en el caso de los LEDs.

Habitualmente cuando se habla de eficiencia energética se habla de lámparas y luminarias donde la eficacia luminosa es la clave: el máximo aprovechamiento de cada vatio para generar luz conforme a las normativas aplicables. Esto es muy importante como emplear la cantidad de lámparas y luminarias necesarias en un espacio en los lugares apropiados para asegurar que los vatios consumidos están justificados. En otras palabras, no es suficiente utilizar fuentes de luz eficientes y con un flujo luminoso adecuado, también es necesario que el sistema de iluminación completo esté planeado de manera que no sobren (ni falten) fuentes de luz, basándose en un cálculo preciso para lograr los niveles de iluminación según los estándares aplicables.

Hay tecnología que está en tendencia, como los sofisticados controles de iluminación que permiten desde ajustar la temperatura de color e intensidad de la iluminación de un espacio hasta seleccionar una de las distintas escenas de iluminación previamente programadas con el toque de un botón. Sin embargo, una buena práctica es emplear la tecnología recordando que ésta es un medio y no un fin. La calidad y éxito de una propuesta de iluminación se determina por su diseño y el uso consciente e ingenioso de la tecnología, no por la tecnología en sí.

Finalmente, están los detalles de iluminación necesarios a definir en toda integración de luz en la arquitectura o mobiliario. Es aquí donde debe haber una excelente comunicación entre el equipo de diseño (arquitecto, interiorista,

diseñador de iluminación y cualquier otro profesional involucrado en esta etapa). En el caso de detalles de luz indirecta, se debe asegurar que la luz se refleja adecuadamente, sin haber obstrucciones en su paso que generen sombras indeseadas. Se sugiere hacer maquetas a escala real utilizando muestras de luminarias reales con el fin de anticipar el resultado final y comunicarlo al resto del equipo de diseño.

VII. CONCLUSIONES

Los espacios comerciales hace tiempo dejaron de ser lugares donde sencillamente se presentan y comercian productos. Especialmente tras la pandemia, se trata de lugares con un carácter específico conforme a sus valores y a los de su consumidor ideal, donde éste último busca una experiencia física y única que no puede conseguir a través de internet ni en otra parte. En el caso de estos consumidores el objetivo, la venta del producto, es el inevitable final feliz de dicha experiencia.

En definitiva, con los criterios de diseño de iluminación presentados en este trabajo se puede guiar al consumidor desde el espacio público hacia el interior del local. Una vez dentro, ayudarlo a visualizar utilizando el producto o servicio. Hacer de esa secuencia un momento memorable..

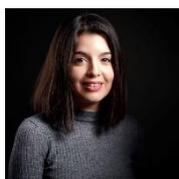
VIII. REFERENCIAS

- [1] HAMILTON, R. PRICE, L.L. (2019) Consumer journeys: developing consumer-based strategy. *Journal of the Academy of Marketing Science*. 47, 187-191. [Nota: la cita original dentro de este trabajo de Hamilton es de Lemon y Verhoef: Lemon, K. N., & Verhoef, P. C. (2016). Understanding customer experience throughout the customer journey. *Journal of Marketing*, 80(6), 69–96.]
- [2] TORELLÓ, E. (2016). *Revista Lightecture*, ed. 21 Barcelona, España.
- [3] MAZZETTI, F. (2015). www.fernandomazzetti.com.ar
- [4] MAZZETTI, F. (2015). www.fernandomazzetti.com.ar
- [5] St. ELMO LEWIS, E. (1898).
- [6] MAZZETTI, F. (2015). www.fernandomazzetti.com.ar
- [7] KELLY, R. NEUMANN, D. ADDINGTON, D.M. *La Estructura de la Luz: Richard Kelly y la Iluminación de la Arquitectura Moderna*. (2011). Prensa de la Universidad de Yale.
- [8] The American Institute of Architects AIA. (2022). www.aia.org
- [9] RIBA Plan of Work Overview. (2020). Royal Institute of British Architects.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- ZIMMERMAN, Michele. (2022). Retail Reset. *Illuminating Engineering Society*. <https://www.ies.org/lda-magazine/featured-content/retail-reset/>
- MAZZETTI, F. (2021) *Diseño de iluminación y la interacción con el ser humano*. Universidad de Palermo, AADL.
- AADL (2018) *Memorias Asociación argentina de Luminotecnia LUXAMÉRICA 2018*, ISBN, en trámite.
- KELLY, R. *La Luz como una parte integral de la Arquitectura*. (1952). *College Art Journal*.
- QUARTIER, K. VAN CLEEMPOEL, K. NUYTS, E. (2009). *Retail Design: Exploring lighting for creating experiences that influence consumers' mood and behaviour in retail spaces*. PHL University College.
- MAHÉ, Benoit (2013) *Retail coaching*, Profit Editorial, ISBN 978-84-15735-78-6
- LEONARD COVARRUBIAS, Douglas. (2018), *Manual Práctico de Iluminación*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Inscripción 293.366, ISBN 978-956-14-2271-1
- MAZZETTI, F. (2018), ed.143 *Diseño de locales comerciales*, editores.srl, Buenos Aires

X. BIOGRAFÍAS



Laura Arroyo Rocha es Diseñadora de Iluminación y Arquitecta, además tiene una maestría en Diseño de Escenografía por la Universidad de las Artes de Londres. Cuenta con más de una década de experiencia desarrollando proyectos de diseño de iluminación en Latinoamérica, Europa, Estados Unidos y Reino Unido a la par de capacitar a nuevos diseñadores de iluminación. Su trabajo ha recibido premios internacionales por parte de la Asociación Internacional de Diseñadores de Iluminación (IALD), la Illuminating Engineering Society (IES) en Estados Unidos, Build Better Awards en Reino Unido, y en distintas ediciones de la Bienal Internacional de Diseño de Iluminación en Iberoamérica.

En 2020, fundó su propia compañía cuya labor consiste en capacitar y asesorar a profesionales de la arquitectura, diseño y construcción con el fin de que aprendan a crear atmósferas y transmitir sensaciones en sus proyectos a través de la iluminación.



Fernando Mazzetti es diseñador de interiores, iluminación y diseñador de vidrieras.
Profesor universitario. Fundador y director de “Diseño y más” Instituto de enseñanza de interiorismo.

Conferencista internacional. Ha impartido mas de de un centenar de charlas, capacitaciones y conferencias magistrales en Iberoamérica.

Autor de noventa articulos tecnicos, papers, entrevistas y crónicas para revistas especializados de iluminación y diseño en cuatro paises.

Mentor y tutor en programas internacionales de iluminación. Expo Lighting America (México 2020)

Diplomado “Iberoillum”(2020.2021,2022) y “Silhouette Awards” Londres, (2022)

Es miembro de AADL Asociación argentina de Luminotecnia. Comité organizador de “Luxamérica 2018” Córdoba, Argentina

Es miembro del comité académico y organizador del Diplomado Iberoamericano de Iluminación “Iberoillum” (2022)

Promotor y divulgador de contenido de diseño interior e iluminación.

Estrategias de sustentabilidad en la iluminación de edificios industriales.

Situación de la iluminación en el ámbito industrial de las pequeñas y medianas industrias (Pymes) de Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) y conurbano bonaerense. Posibilidad de aporte de luz natural. Relevamiento y recomendaciones.

Rosa Angela DIEGO¹

¹ Departamento de Energía – Facultad de Ingeniería UBA - Buenos Aires, Argentina
Investigación perteneciente a la Tesis de Maestría en Tecnologías Urbanas Sostenibles - FIUBA.
<http://bibliotecadigital.fi.uba.ar/items/show/18263>

Resumen: Los edificios industriales que alojan Pymes de CABA y su conurbano presentan una complejidad de espacios y procesos que hace necesaria pero no suficiente una metodología genérica de diseño de iluminación. La adopción casi excluyente de iluminación artificial ha dejado de lado el aprovechamiento de las ventajas que la iluminación natural puede ofrecer. Además, la normativa, vigente desde 1972 casi sin modificaciones, exige un umbral exiguo de cumplimiento que apenas contempla la dimensión económica y deja escaso margen a la dimensión ambiental y humana – teniendo en cuenta que un operario pasa la tercera parte de su vida en el trabajo.

Esta investigación realiza su desarrollo metodológico en dos partes, cada una siguiendo un objetivo: por un lado, realiza un relevamiento actual de la iluminación en Pymes y por otro lado efectúa ensayos de iluminación natural en maquetas analógicas para determinar el aporte de luz natural que puede tener una nave industrial según su configuración de cubierta.

Abstract: The industrial buildings that house SMEs of CABA and its suburbs, present a significant complexity of spaces and processes, which makes it necessary but not sufficient to adopt a generic methodology for the design of lighting. The almost exclusive adoption of artificial lighting has neglected the use of the advantages that natural lighting can offer. Moreover, the regulations, in force since 1972 almost without modifications, require a meager threshold of compliance that barely considers the economic dimension and leaves little room for the environmental and human dimension - taking into account that a worker spends a third of his life in the job.

This research carries out its methodological development in two parts, each one following an objective: on the one hand, it carries out a current survey of lighting in SMEs and, on the other hand, it carries out tests of natural lighting in analogical models to determine the contribution of natural light that an industrial building can have according to its roof configuration.

I. INTRODUCCIÓN

Todas las actividades industriales precisan, en mayor o menor medida, de iluminación en sus puestos de trabajo y es innegable la importancia de un buen alumbrado en las tareas, pero raramente esto es tenido en cuenta en las Pymes de CABA y su conurbano, en donde las soluciones que imperan son generalizaciones, sin atender a las distintas circunstancias que cada proceso, espacio, persona, demanda.

En los últimos años ha crecido el interés por la sustentabilidad, abarcando tanto la preocupación por el cambio climático y las emisiones asociadas, como el afán por reducir costos económicos y aumentar el bienestar del ser humano. Sin embargo, todo esto todavía no se ve reflejado en la realidad de la iluminación industrial.

¿De qué manera se pueden mejorar las condiciones de iluminación en las industrias Pymes de CABA y conurbano?

Justificación

La falta de un diagnóstico de la realidad hace subestimar el problema y emplear soluciones deficientes. En general los estándares evalúan la cantidad, pero no la calidad de la luz. El desconocimiento de las posibilidades que puede brindar la luz natural hace excluirla de los diseños lumínicos. Y por tanto el proyecto depende de la experiencia

del diseñador y sobre todo del presupuesto disponible. El desarrollo de esta investigación colaborará con los proyectistas en el diseño de la iluminación de una industria Pyme.

Planteamiento del problema

La iluminación de una industria Pyme generalmente se encara al final del proyecto, por profesionales que no siempre son especialistas y utilizando soluciones repetidas de otras industrias, que apenas cumplen con la Normativa - que data de 1972 casi sin modificaciones [1]. El tema es complejo porque el edificio industrial puede albergar rubros muy distintos en procesos y productos, en espacios de grandes luces libres que pueden crecer y con paredes sin ventanas, lo que impide aprovechar la luz natural. Pero el tema se complejiza aún más porque debiera contemplarse la dimensión humana, es decir la calidad de vida del operario, cuestión subjetiva de establecer y con límites imprecisos.

El buen diagnóstico de la situación actual de la iluminación en Pymes y el estudio de la posibilidad de incorporar luz natural en las naves industriales son análisis que contienen la llave para aumentar el bienestar humano, la eficiencia energética [2] y la calidad ambiental [3], tres pilares de la sustentabilidad.

Objetivos

A - realizar un relevamiento actual de la iluminación en Pymes para analizar, diagnosticar y proponer recomendaciones de mejora.

B - efectuar ensayos de iluminación natural en maquetas analógicas para determinar el aporte de luz natural posible de incorporar en una nave industrial según su configuración de cubierta.

Hipótesis:

La iluminación industrial de Pymes apenas cumple con la normativa, y no contempla cuestiones ambientales ni el bienestar del ser humano. La incorporación de luz natural cenital puede redundar tanto en beneficios económicos como ambientales y sociales.

II. METODOLOGÍA

Para el Objetivo A se relevaron 5 industrias Pymes “ligeras” ubicadas en CABA y Conurbano, con procesos y productos representativos de la industria en general: Alimenticia, Cuero, Metalmecánica, Plástica y Textil. El muestreo fue exploratorio o no probabilístico, selección condicionada a la disponibilidad de los empresarios de abrir sus industrias y a la cantidad de datos posibles de procesar.

Se relevaron la ubicación, estado y funcionamiento de todas las luminarias y lámparas. Se midió la iluminancia en cada puesto de trabajo, la media por zona con varios puestos, y la uniformidad para comparar con lo establecido en la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo [4]. En el relevamiento se agregaron encuestas a los trabajadores para evaluar su percepción.

Para el Objetivo B se ensayaron 3 maquetas que corresponden a una fábrica tipo. Dos de estos modelos representan una estructura y cerramientos de hormigón premoldeado pretensado con dos configuraciones de techo distintas, uno con paneles TT y lucarnas aisladas y el otro con lucernarios corridos entre canalones. El tercer modelo representa una estructura reticulada con cubierta tipo shed.

Los protocolos de medición utilizados son los indicados por la AADL [5] [6]

Los ensayos se realizaron en el Centro de Investigación de Hábitat y Energía de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Buenos Aires. En el Cielo Artificial se ensayó para establecer el FLN (aporte de la componente indirecta de luz natural) registrando con luxómetro y promediando iluminancias. En el Heliodón se evaluó la incidencia de la componente directa de luz natural en horario de trabajo y ciertas orientaciones y estaciones. También se midieron iluminancias.

III. RESULTADOS SIGNIFICATIVOS

Objetivo A: En cada una de las industrias se registró la iluminancia en puestos, la iluminancia media en zonas y la uniformidad, factores para comparar con la Normativa – TABLA I (ejemplo Alimenticia)

TABLA I. Ejemplo registro y procesamiento de datos

GALLETITAS									
Zona	Puesto	Uso del lugar	Caract. ventanas	Observaciones	Iluminación medida en puesto (Lux)	Ilum. Media zona (lux)	Ilum. Media (lux) Dec.351/79	Uniformidad (lux) valor mínimo medido	Uniformidad mínima Dec.351/79
1	1	lavado/pesado	vidrio traslúcido a la calle		375	154.56	100	53	77.28
	2	depósito materia prima	vidrio traslúcido a la calle		170		100		
	3	depósito materia prima	vidrio traslúcido a la calle		203		100		
2	1	depósito materia prima	vidrio traslúcido a la calle	lámparas apagadas,	90	106.37	100	10	53.18
	2	depósito materia prima	-	-	34		100		
	3	depósito materia prima	-	lámparas apagadas,	48		100		
	4	depósito materia prima	-	lámparas apagadas,	59		100		
	5	depósito materia prima	-	lámparas apagadas,	47		100		
	6	depósito materia prima	vidrio traslúcido a aire y luz	lámparas apagadas,	110		100		
3	1	depósito producto terminado	vidrio traslúcido a la calle	lámparas apagadas,	35	164.75	100	97	82.37
		depósito producto terminado	vidrio traslúcido a aire y luz	lámparas apagadas,					
		depósito producto terminado	ladrillos de vidrio a medianera	lámparas apagadas,					
4	1	amasado	-		37	269.88	200	54	134.94
	2	cinta enfriadora	lucernario		950	269.88	200		
	3	envasado	-		450	269.88	300		
5	1	despacho	-		61	99	100 a 300	20	49.5
		despacho	vidrio traslúcido a la calle						

Tomando como ejemplo la industria alimenticia analizada en general los valores medidos en las zonas superan a los establecidos por la Norma, pero cuando se analizan los puestos, en varios de ellos (cuyas zonas habían verificado) se registraron valores inferiores a los mínimos. Por ejemplo, en la zona 2 Depósito de materia prima, la zona verificó, mientras que en ella cinco de los seis puestos no, observándose además, lámparas quemadas o apagadas. En la zona 4 Producción, un puesto verifica por mucho, estando justo bajo un lucernario, lo que da un aporte de luz natural importante. Por último, la uniformidad prácticamente no se cumple.

Sintetizando lo relevado en la totalidad de las zonas de las cinco industrias, el resultado es que no se cumple la Normativa en casi el 60%. De los 100 puestos relevados en total, el 70% no cumple. Estos resultados sugieren que las mediciones anuales o no contemplan la medición del puesto o, al realizarse sobre un puesto tipo, puede ese puesto cumplir pero los restantes no. Por último, el 54% de las zonas no cumplen con la uniformidad – Fig.1.

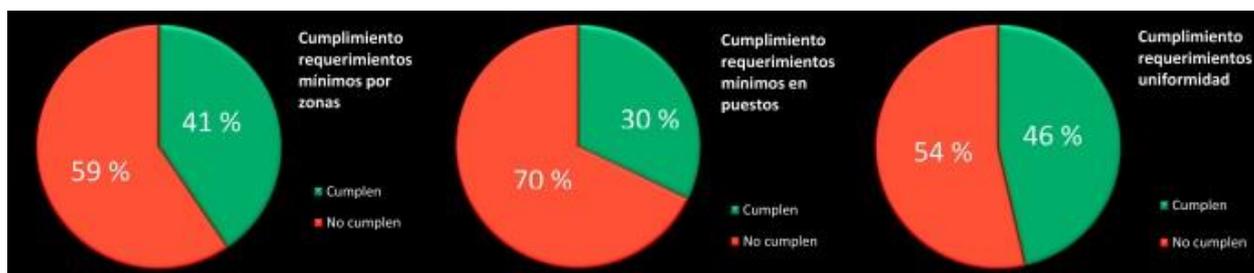


Fig. 1: Porcentajes de cumplimiento del total relevado.

En el caso de las encuestas a operarios, ejemplificando sobre la industria textil, los niveles de iluminación se perciben como regulares o escasos, tanto en iluminación general como en puestos, y la mayoría preferiría aumentar esos niveles. En general los que requieren mayor nivel de iluminación son los que no tienen control sobre el encendido/apagado de las luces.

Analizando la totalidad de las encuestas, la iluminación general es percibida como generando espacios poco luminosos en un 52% de los casos. La iluminación en puestos también arroja un 52% para “regular”. Y en un 60% se prefiere elevar el nivel de iluminación –Fig. 2. La iluminación se percibe en un nivel de aceptable a bajo y por tanto el requerimiento es de elevar dichos niveles.

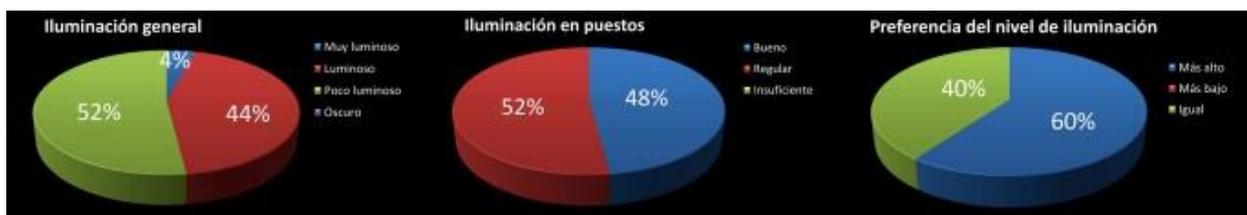


Fig. 2: Síntesis de opiniones de encuestas.

Un análisis interesante resulta al comparar las variables objetivas –mediciones- con las subjetivas - encuestas – Fig. 3. La iluminación medida en las zonas da un resultado muy cercano a la percepción de los operarios. Sin embargo, la medición en puestos no verifica, mientras que en las encuestas se percibe la iluminación como regular; o sea la medición con luxómetro parece dar bastante peor que la percepción de los operarios. No obstante, las preferencias en cuanto a mejorar la iluminación (60% prefiere elevar los niveles), se acerca a la deficiencia detectada por las mediciones con luxómetro.

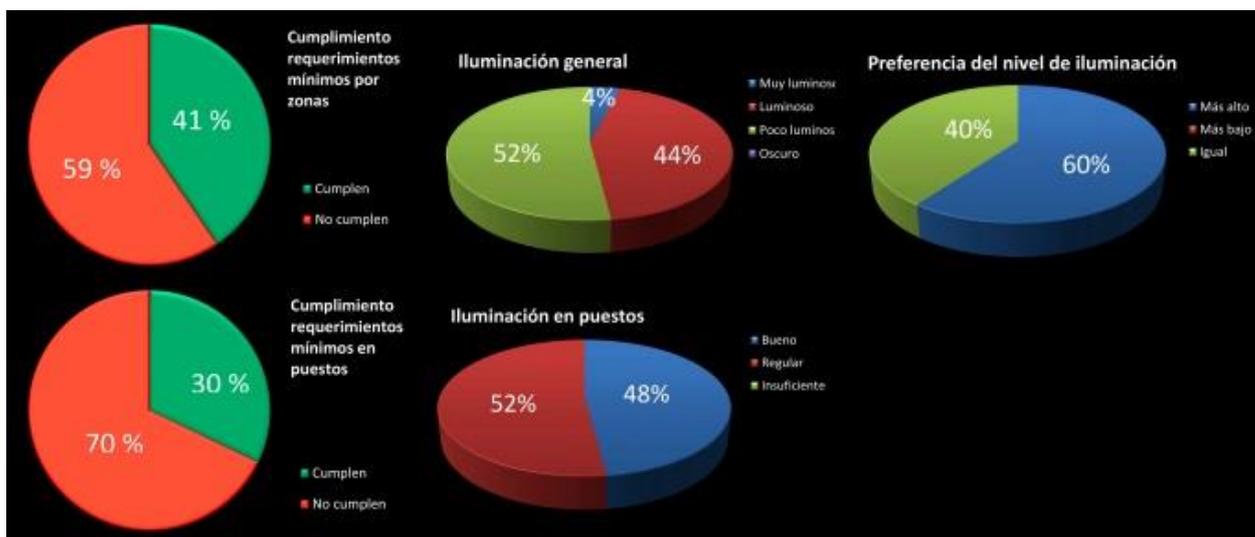


Fig. 3: Comparativa entre mediciones (izquierda) y percepciones (centro y derecha).

Objetivo B: En el Cielo artificial se realizó un análisis cuantitativo, comparando el potencial de ingreso de luz natural en los tres techos y encontrando los mayores registros de iluminancias interiores en el techo con lucernarios corridos, luego el shed y por último el techo con lucarnas– Fig. 4.

		PUNTOS DE MEDICIÓN							UNIFORMIDAD		
LUX	Lucarnas	26.3	26.72	29.44	30.02	30.7	31.2	35.5	46	Prom Total	32
		24.4	28.1	29.51	29.62	29.95	30.18	36.52	51.5	50% Prom	16
		26.35	26.9	31.95	30.37	29.65	29.32	34.3	49.8	Min vs 50% Prom	24,4>16
	Lucernarios	346.5	314.3	329.1	292.4	340	332.8	333.2	302.6	Prom Total	325
		293	347.2	337.4	372	366.8	360.3	360.5	347.8	50% Prom	163
		235.7	301.9	313.6	334.4	323.9	312.1	309	293.7	Min vs 50% Prom	235,7>163
	Shed	36.8	61.2	83.2	83.2	80.5	96	104.7	123.8	Prom Total	86
		43.9	69.1	86.4	95.3	96.2	96.1	106.3	155.9	50% Prom	43
		41.3	58.4	74.5	85.1	83.1	90.3	98.1	115	Min vs 50% Prom	36,8<43



Fig. 4: Registros numéricos y fotográficos en maquetas.

Si comparamos el resultado de aplicar la ecuación simplificada de Millet y Bedrick [7] que relaciona las superficies de abertura y techo - con respecto a las mediciones – TABLA II y III, en los casos de lucarnas y de lucernarios corridos en que la luz ingresa perpendicular al plano de trabajo se llega a valores similares. En el caso del shed, las aberturas se encuentran en vertical y por tanto habrá una pequeña diferencia. Se tomará un 2% de FLN como mínimo suficiente y un 12 % de relación de superficies como máximo, para evitar sobrecalentamiento.

TABLAS II y III: Comparativa entre resultados de ensayos (izquierda) y aplicación de ecuación (derecha)

	Promedio Ei	Promedio Ee	FLN	Superficie Abertura (m2)	Superficie Techo (m2)	Ecuación simplificada	FLN
			$FLN = (E_i/E_e) \cdot 100$				
Lucarnas	32	1928	2	12,8	250	$FLN = 0,5(S_a/S_t)$	2,5
Lucernarios	325	1895	17	75	250	$FLN = 0,5(S_a/S_t)$	15
Shed	86	1916	4	100	250	$FLN = 0,2(S_a/S_t)$	8

También se hizo un análisis cualitativo para determinar la calidad de iluminación por su uniformidad analizando la variación de la iluminación a lo largo y ancho de la nave, resultando la mejor solución los lucernarios en el primer caso, con una variación máxima del 18% y las lucarnas en el segundo caso, sin variación.

– Fig.5 y TABLAS IV y V

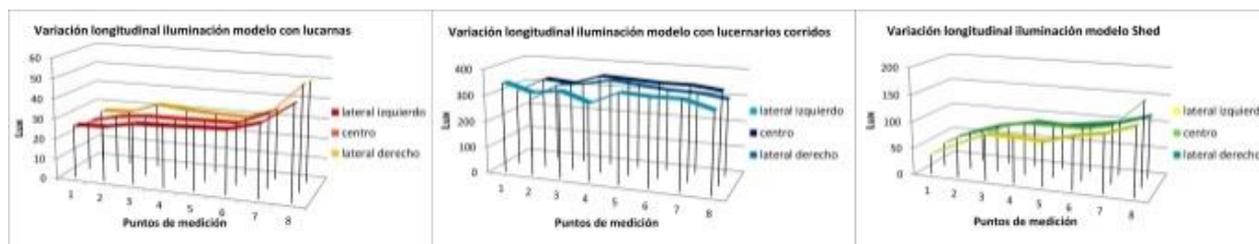


Fig. 5: Variación de la iluminancia natural en las tres cubiertas.

TABLAS IV y V: Uniformidad en función de la iluminancia natural.

	VARIACION LONGITUDINAL								PROMEDIO	50% PROM	MIN v 50%PR	VAR MÁX
	26	27	30	30	30	30	35	49				
Lucarnas	26	27	30	30	30	30	35	49	32	16	26 > 16	88%
Lucernarios	292	321	327	333	344	335	334	315	325	163	292 > 163	18%
Shed	41	63	81	88	87	94	103	132	86	43	41 < 43	322%

	VARIACIÓN TRANSVERSAL			PROMEDIO	50% PROM	MIN v 50%PR	Var. Máxima
	LT DER	CTRO	LT IZQ				
Lucarnas	32	32	32	32	16	32 > 16	0%
Lucernarios	324	348	303	325	163	303 > 163	15%
Shed	84	94	81	86	43	81 > 43	16%

Bajo el Heliodón, se analizaron y compararon para distintas orientaciones, estaciones y en horario de trabajo, el desempeño de las tres configuraciones de cubierta.

En el caso de lucarnas el mejor FLN pareciera darlo cuando la orientación es hacia el noroeste, en invierno. Sin embargo, la componente directa de la luz natural genera para todas las orientaciones y estaciones, reflexiones en los planos. De manera similar ocurre con los lucernarios corridos, con grandes probabilidades de deslumbramiento. Finalmente, el techo shed con las aberturas orientadas al sur, es el único caso en que no se presentan reflexiones ni en plano de trabajo ni en paredes, para ninguna estación ni horario -Fig. 6.



Fig. 6: Comparativa Heliodón para las tres configuraciones de cubierta

Como Síntesis de estos ensayos en el Cielo Artificial el mejor desempeño de FLN fue para la opción shed, y en el caso del Heliodón, el mejor desempeño se verifica en el shed con aberturas orientadas al sur. Fig. 7.

Promedio E_i	Promedio E_e	FLN
		$FLN = (E_i/E_e) \cdot 100$
32	1928	2
325	1895	17
86	1916	4



Fig.7: Síntesis mejor desempeño en ensayos.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los valores de iluminancias registrados en la industrias cumplen parcialmente con la Normativa por falta de control sobre los sistemas, mantenimiento y uso de tecnologías antiguas, ignorando asimismo la eficiencia energética.

- Los puestos de trabajo requieren iluminancias más altas que la iluminación general, aconsejándose para esta 300 lx para achicar la diferencia con la iluminación localizada, en pos de la uniformidad y evitar deslumbramientos.

- La iluminación natural cenital puede ser de gran aporte para lograr la iluminancia requerida, reduciendo el uso de iluminación artificial generando así un beneficio económico, ambiental (por disminución de emisiones asociadas) y humano (logrando buena calidad y uniformidad).

- Las preferencias de los usuarios se inclinan por aumentar los niveles de iluminación, aunque las necesidades son muy personales, variando por el tipo de tarea, edad y experiencia del trabajador.

Finalmente, el establecimiento de las necesidades surge de la disponibilidad de soluciones más que de la necesidad en sí. Por lo tanto con un buen diagnóstico y contemplando la inclusión de luz natural, podrán mejorarse las actuales condiciones de iluminación en Pymes, incidiendo en la salud y bienestar del usuario.

V. RECONOCIMIENTOS

Especial agradecimiento al Ing. Hugo Allegue y Mag. Arq. Gabriela Casabianca, directores de mi Tesis.

VI. REFERENCIAS

- [1] IRAM, Normas IRAM-AADL 20-02; 20-05; 20-06; 20-17.
- [2] (2002, Consulta: 7-11-18) Manual de iluminación eficiente. ELI Cap 13 Análisis Económico de la Iluminación Eficiente. [Online]. <http://www.edutecnte.utn.edu.ar/eli-iluminacion/eli.html#libro>.
- [3] L. Assaf, G. Dutt, and C. Tanides. (2002, Consulta:7-11-18) Manual de iluminación eficiente. ELI Cap 17 Impacto Ambiental de los Sistemas de Iluminación. [Online]. <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/eli.html#libro>.
- [4] LEY DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO 19.587, 1972.
- [5] Asociación Argentina de Luminotecnia, Iluminación. Luz, visión, comunicación. Buenos Aires, Argentina: AADL Asociación Argentina de Luminotecnia, 2001, vol. 2.

- [6] Asociación Argentina de Luminotecnia, Iluminación. Luz, visión, comunicación. Buenos Aires, Argentina: AADL Asociación Argentina de Luminotecnia, 2001, vol. 1.
- [7] G. Yáñez, Arquitectura solar e iluminación natural: conceptos, métodos y ejemplos, Munilla - Leria, Ed. Madrid, 2008.

VII. BIOGRAFÍA



Rosa Ángela Diego es Arquitecta y Magister por la UBA. Se desempeña como profesional independiente, docente e investigadora en UBA y UB.

Impacto de las nuevas tecnologías en la iluminación arquitectónica contemporánea. Los LEDs y las nuevas estrategias de diseño lumínico.

Carlos Zoppi^{1,2}, Mariano Cortadi¹, Cecilia Aguirre Lara¹, Ana Melacrino¹

¹Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Argentina ²carlos.zoppi@unc.edu.ar

Resumen En el mundo contemporáneo, la búsqueda de soluciones alternativas en iluminación, replanteó el uso de las tecnologías tradicionales, la integración de la luz natural y la consideración de los factores humanos en iluminación. En esta disrupción e innovación, los LEDs (Light Emitting Diode) surgen como una nueva tecnología que han posibilitado cambios sustanciales y de paradigmas en el campo del diseño de iluminación.

La iluminación arquitectónica se ha transformado en una herramienta fundamental para crear una imagen y atmósferas como factores distintivos de los espacios. Por ello se abre un campo profesional, de la mano de las nuevas tecnologías que amplía el campo dentro de la Luminotecnia y contribuye a que el diseño de iluminación se posicione como una actividad que aúna la creatividad, los conocimientos técnicos, formales y perceptuales para reforzar la imagen expresiva de la arquitectura contemporánea.

Los objetivos de este trabajo son:

-Reconocer la influencia de las nuevas tecnologías en las estrategias de diseño y soluciones tecnológicas en la iluminación arquitectónica contemporánea.

-Comprender la iluminación como parte del proceso de diseño, donde se interrelacionan aspectos perceptuales, estéticos, energéticos, económicos y de mantenimiento, más allá de las convencionales resoluciones técnicas.

Para ello, el trabajo se desarrolla a partir de la conceptualización de las variables que forman parte de la iluminación arquitectónica y la verificación a través del estudio bibliográfico en el contexto de pandemia, de proyectos internacionales y nacionales que utilizan tecnologías disruptivas e innovadoras en iluminación. Se toman casos de estudio de diferentes escalas, usos y roles de la iluminación. Realización de encuestas y entrevistas para indagar sobre la percepción y apreciación que tienen los usuarios y profesionales sobre la iluminación integrada a la arquitectura en relación a los proyectos convencionales/tradicionales.

Entre otros resultados, se identifican estrategias de diseño similares en relación a la tecnología LED, los materiales y la integración con la luz natural, arribando a conclusiones que permiten su transferencia a la enseñanza elaborando criterios de lectura, interpretación y aplicación de la iluminación arquitectónica en nuestro contexto.

Este proyecto de investigación aporta una mirada ampliada de la Luminotecnia y contribuye a la comprensión de la iluminación como parte del proceso de diseño; a una imagen más expresiva de los entornos construidos, creando atmósferas e ilusiones espaciales para facilitar la fruición y promover el bienestar humano en los espacios contemporáneos.

Palabras claves: Iluminación arquitectónica / LEDs / Diseño

Abstract: In the contemporary world, the search for alternative solutions in lighting has rethought the use of traditional technologies, the integration of natural light and the consideration of human factors in lighting. In this disruption and innovation, LEDs (Light Emitting Diode) emerge as a new technology that has enabled substantial changes and paradigms in the field of lighting design.

Architectural lighting has become a fundamental tool to create an image and atmospheres as distinctive factors of spaces. For this reason, a professional field is opened, hand in hand with new technologies that expands the field within Lighting Technology and contributes to positioning lighting design as an activity that combines creativity, technical, formal and perceptual knowledge to reinforce the expressive image of contemporary architecture.

The objectives of this work are:

-Recognize the influence of new technologies in design strategies and technological solutions in contemporary architectural lighting.

-Understand lighting as part of the design process, where perceptual, aesthetic, energy, economic and maintenance aspects are interrelated, beyond conventional technical resolutions.

For this, the work is developed from the conceptualization of the variables that are part of architectural lighting and verification through bibliographic study in the context of a pandemic, of international and national projects that use disruptive and innovative technologies in lighting. Case studies of different scales, uses and roles of lighting are taken. Carrying out surveys and interviews to investigate the perception and appreciation that users and professionals have of lighting integrated into architecture in relation to projects.

Among other results, similar design strategies are identified in relation to LED technology, materials and integration with natural light, reaching conclusions that allow its transfer to teaching, elaborating criteria for reading, interpreting and applying architectural lighting in our context.

This research project provides an expanded view of lighting technology and contributes to the understanding of lighting as part of the design process; to a more expressive image of built environments, creating atmospheres and spatial illusions to facilitate fruition and promote human well-being in contemporary spaces.

Palabras claves: Architectural lighting / LEDs / Design

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo contemporáneo, la creciente urbanización, la mayor demanda energética y el consecuente agotamiento de las fuentes de energía no renovables condujo, a partir de los '70, a la toma de conciencia ambiental y búsqueda de soluciones alternativas. En este contexto se impulsó la investigación y desarrollo (I+D) de nuevas tecnologías en iluminación, ya que las fuentes luminosas pueden reducir ese consumo de energía sin comprometer la calidad de la iluminación, a través de soluciones energéticamente eficientes.

Esto replanteó el uso de las tecnologías tradicionales en iluminación y su consecuente sustitución por nuevas tecnologías más eficientes y menos contaminantes, también llevó a considerar a la luz natural como fuente integrada en el diseño arquitectónico y considerar los factores humanos en iluminación (HCL-Human Centric Lighting). Además, se avanzó en parámetros cualitativos como las características espectrales entre otros, ya que la luz tiene el atributo de modificar la percepción de los espacios, las personas y los objetos. Este proceso se ha acelerado con tecnologías disruptivas, definidas como una innovación que ayuda a crear una nueva red de valor y que interrumpe en el mercado actual (en unos pocos años o décadas), desplazando una tecnología anterior.

En esta disrupción e innovación los LEDs (Light Emitting Diode) surgen como una nueva tecnología para la generación de luz, que está avanzando de forma exponencial y que promueve la sustitución de las fuentes luminosas en el corto plazo. Además, han llevado a replantear conceptos de diseño, cambiando los paradigmas en iluminación y aspectos expresivos y comunicacionales de la luz.

En este trabajo, nuestro equipo se propuso continuar sobre la línea de investigación iniciada en 2018-19 "Tecnologías disruptivas y nuevos paradigmas en iluminación y diseño - El impacto de los LEDs en los cambios de la información fotométrica, el diseño de luminarias y el color". En el mismo se hizo hincapié en los aspectos técnicos y una aproximación al impacto en el diseño de luminarias y espacios. A partir de esta indagación se visualizaron líneas de investigación sobre la iluminación arquitectónica en relación a las posibilidades de las nuevas tecnologías en el campo del diseño. Asimismo, esto permitiría incorporar nuevos enfoques y formación en competencias a los futuros arquitectos insertos en un mundo contemporáneo complejo, diverso y en permanente actualización, donde la iluminación arquitectónica cada vez adquiere mayor protagonismo.

Por ello, se indaga sobre los aspectos conceptuales, desarrollo y situación de la iluminación arquitectónica contemporánea, haciendo especial énfasis en los factores, variables, estrategias y recursos involucrados en este diseño en particular. A partir del análisis de obras internacionales y de Argentina, haciendo hincapié en la relación entre las nuevas tecnologías y el rol que cumplen en la definición de los espacios, como así también en las resoluciones tecnológicas particulares e innovadoras que ellas posibilitan.

Se toman casos de iluminación arquitectónica de espacios interiores, de escalas y usos diversos, como una manera de poder extraer conclusiones de las relaciones entre requerimientos lumínicos, condicionantes ambientales y arquitectónicas, recursos disponibles y estrategias de diseño adoptadas. Se establecen y/o detectan criterios de intervención y variables como una manera de sintetizar y aunar los aspectos tecnológicos vinculados al diseño lumínico.

Además, se pretenden capitalizar nuevas estrategias y aportes para la enseñanza de la Luminotecnia, enfocándose en la iluminación arquitectónica y su vinculación de temas tecnológicos en relación al diseño de iluminación.

II. DESARROLLO

A. Los LED como tecnología disruptiva.

Aunque los primeros experimentos con diodos que producían luz se hicieron a principios del siglo XX, fue recién en la década del 60 que Nick Holonyak (General Electric) la desarrolla con fines prácticos, solo utilizada en señalización, electrodomésticos e interruptores por la luz monocromática que producían y su baja potencia. Hubo que esperar a la transición con el nuevo siglo XXI para que su uso se difundiera masivamente ya que se lograron fuentes luminosas de mayor potencia, capaces de producir luz blanca para un uso generalizado como iluminación de espacios interiores y exteriores.

Actualmente, nos encontramos en una etapa particular según lo expresa Alfred Sá [1] “Vivimos un apasionante momento de transición definido por una potente emergencia tecnológica y con un corpus práctico aún no establecido”.

La innovación en las últimas décadas se produjo con la difusión de los LEDs. Estas fuentes luminosas que cambiaron el paradigma tecnológico por la forma de producir luz y la versatilidad de usos por cuestiones dimensionales, de color y de control de la luz, han posibilitado la generación de nuevas luminarias, espacios lumínicos dinámicos y la incorporación en múltiples componentes del espacio y equipamiento. (Fig. 1)



Figura 1 – Tecnología LED. Miniaturización, flexibilidad, color, control y diseño.

En relación al desarrollo y evolución de las tecnologías de iluminación resulta apropiado aclarar dos conceptos: Hay una innovación evolutiva y una disruptiva. Las innovaciones evolutivas hacen pequeños cambios y las disruptivas hacen grandes cambios y provocan mejoras. Normalmente las tecnologías disruptivas aparecen mucho tiempo antes de tener su mayor impacto sobre los sectores afectados. Es habitual que exista un fuerte desarrollo teórico en torno a ellas y su aplicación, esperando a que se den las condiciones físicas (costos, precisión de manufactura, procesos de producción) que posibiliten su explotación masiva, más allá de costosos prototipos. Esto es lo que ha ocurrido con la tecnología LED en el campo de la iluminación, especialmente en las aplicaciones para su uso en iluminación arquitectónica y alumbrado público. Tan es así, que hasta se habla de un cambio de paradigma en el campo del diseño de iluminación; esta tecnología ha producido innovación por su versatilidad, miniaturización, eficiencia energética, color, vida útil, entre otros aspectos.

La estrategia que se ha adoptado en el mercado mundial de iluminación se ha dividido en dos etapas: la primera, conocida como Retrofit, que consiste en el aprovechamiento de las instalaciones existentes y la sustitución de un producto de tecnología tradicional reemplazándolo por otro con tecnología LED tratando de adaptarse a los artefactos existentes; y la segunda, denominada Ledfit, que se basa en el diseño de productos específicos para la tecnología led y en consecuencia llevando a la investigación, exploración proyectual con nuevas estrategias de diseño y productos.

B. La iluminación arquitectónica

Gyorgy Kepes [2] plantea en que “*La experiencia espacial está íntimamente vinculada a la experiencia de la luz. Sin luz no hay visión y sin visión no puede haber espacio visible. El espacio, en un sentido visual es espacio luminoso*”.

Para contextualizar y tomar un marco teórico, se consideran los aportes conceptuales y proyectuales de James Turrell, Peter Zumthor, Steven Holl, Toyo Ito, Olafur Eliasson, Tanizaki y Pallasmaa entre otros, por la importancia otorgada a los sentidos, a la percepción y a la experiencia humana.

Según Juhani Pallasmaa [3] “*El sesgo ocular nunca ha sido tan manifiesto en el arte de la arquitectura como en los últimos treinta años, en los que ha predominado un tipo de arquitectura que apunta hacia una imagen visual*”.

llamativa y memorable. El lugar de una experiencia plástica y espacial con una base existencial, la arquitectura ha adoptado la estrategia psicológica de la publicidad y de la persuasión instantánea; los edificios se han convertido en productos-imagen separados de la profundidad y de la sinceridad existencial”.

En la arquitectura contemporánea de los últimos veinticinco años, Josep María Montaner [4] reconoce que *“una de las más grandes novedades y aportaciones (en la arquitectura) ha sido la paulatina importancia otorgada a los sentidos, a la percepción y a la experiencia humana”*. En este contexto, de un mundo globalizado y caracterizado por las particularidades de la cultura posmoderna, la iluminación arquitectónica se ha transformado en una herramienta fundamental para crear una imagen y atmósferas como factores distintivos de los espacios.

En la arquitectura actual nos encontramos con nuevas materialidades y espacialidades, como respuesta a una sociedad ávida de sensaciones y experiencias, como consecuencia de los cambios socio culturales, lo que ha llevado a la personalización de los espacios tomando como referencia la arquitectura fenomenológica.

Para los objetivos de este trabajo, que trata de integrar los aspectos tecnológicos-ambientales, y el impacto que esta tecnología ha tenido en el diseño, Adrián Muros [5] expresa que *“La tecnología LED ha supuesto una revolución en las posibilidades de creación proyectual, en las posibilidades de crear espacios desde el punto de vista de la utilización de la luz”*.

No obstante, es a finales del siglo XX cuando los arquitectos toman la luz artificial como un elemento integrado al proceso de diseño. Deja de ser un sistema funcional o un accesorio decorativo. Los edificios se convierten en fuentes de luz que, por un lado, cumplen con las necesidades básicas de la visión y, por otro, crean un efecto, una atmósfera.

La luz como materia intangible contribuye a la construcción, composición y definición de los espacios, facilitados actualmente por las nuevas tecnologías en constante desarrollo e innovación, al tiempo que sigue conservando su antigua función de disipar la oscuridad y dotar de misterio y expresividad a los espacios arquitectónicos. En este contexto, detener la mirada sobre el rol de las nuevas tecnologías en la iluminación arquitectónica contemporánea abre un amplio campo de exploración en el diseño. Según Alfred Sá [6] *“El LED ha pasado de ser solamente una nueva fuente luminosa con posibilidades, a ser una herramienta indispensable para iluminar de forma más creativa, eficiente y económica”*.

El uso de nuevas tecnologías como el LED, ha marcado un punto de inflexión para el desarrollo de proyectos en iluminación, integrándose a la arquitectura, con la luz natural; sumado a las posibilidades de control e interactividad abren un sinfín de posibilidades y conceptos de iluminación.

La doctora arquitecta Rosa Urbano [7] de la Universidad de Liverpool nos amplía esa mirada sobre el rol de la iluminación arquitectónica contemporánea: *“Por primera vez tenemos en nuestras manos la capacidad de manipular la luz con unos niveles de articulación y ajuste inéditos. Las formas paramétricas, los nuevos patrones geométricos complejos que definen ornamentos digitales, en conjunción con las propiedades de nuevos materiales y técnicas de fabricación digital, presentan oportunidades únicas para la integración de los nuevos sistemas miniaturizados y descentralizados de luz”*.

Es conocida la relevancia que la luz y el color han tenido a través del tiempo en la configuración de los espacios y su expresión. La luz revela el color y las formas, nos sitúa temporal y espacialmente, destaca cualidades de los materiales y estimula nuestros comportamientos. A su vez, estas variables tienen la capacidad de influir en el tono del ambiente, interviniendo en la experiencia perceptual y significativa de los espacios arquitectónicos y urbanos.

La luz, y específicamente el diseño lumínico, no solo posibilita el desarrollo de las tareas, sino que desde su rol expresivo puede definir y ordenar el espacio, orientar recorridos, condicionar comportamientos, producir sensaciones, motivar emociones, crear atmósferas y en definitiva *“crear espacios”*. (Figura 2)



Figura 2 – La luz como materia sutil de diseño lumínico.

En el mundo contemporáneo se comprueban importantes cambios en la materialidad de la arquitectura, donde luz y color, como componentes relevantes del diseño arquitectónico urbano, son generadores de nuevas expresiones que posibilitan las tecnologías actuales. Para la iluminación arquitectónica los arquitectos y Lighting Designers cuentan con mayores variables, herramientas y recursos para el desarrollo de diseños innovadores y audaces, conjuntamente con las posibilidades que facilitan los nuevos materiales y tecnologías de control. [8]

Resulta pertinente detenernos en los orígenes y desarrollo del diseño de la iluminación arquitectónica en particular. Más allá de las búsquedas y resultados meramente cuantitativos, se inició en los años 50 con pioneros como Richard Kelly y sus búsquedas de la expresividad de la luz a partir de la psicología de la percepción, aplicándola en obras significativas de algunos de los Maestros del Movimiento Moderno. En la década del 60, marcada por la contracultura, el énfasis en la expresividad y los aspectos sensoriales, se profundizó en la experimentación y búsquedas de nuevos usos de la luz como materia sutil de diseño. No obstante, es a finales del siglo XX cuando los arquitectos toman la luz artificial como un elemento integrado al proceso de diseño. Deja de ser un sistema funcional o un accesorio de maquillaje. Los edificios se convierten en fuentes de luz que, por un lado, cumplen con las necesidades básicas de la visión y, por otro, crean un efecto, una atmósfera, una condición. El uso de la luz en la arquitectura actualmente está evolucionando y teniendo un impacto cada vez más significativo en varias disciplinas creativas.

En las últimas décadas, como profesión especializada, se institucionalizó con la formación académica de Lighting Designers que amplía el campo de la actividad dentro de la Luminotecnia. Esta especialización logró integrar diversos aspectos técnicos, formales y psicológicos para que el diseño de iluminación contemporáneo se posicione como una actividad que aúna la creatividad, los conocimientos técnicos, formales y perceptuales y así contribuir en la imagen expresiva de la arquitectura contemporánea. Por lo tanto, se convierte en un campo de exploración, comunicación, desarrollo profesional y ampliación de los conocimientos en la formación de los futuros profesionales de la arquitectura.

Esto encuentra una vinculación directa con la formación académica y la creación de las primeras carreras específicas en el tema de la Iluminación Arquitectónica en otros contextos. Para Birgit Walter [9], Diseñadora de iluminación y Codirectora de Master Lighting Design-UPC “La profesión del Diseño de Iluminación al igual que la tecnología LED son relativamente nuevas en nuestra historia. Ambas nacieron aproximadamente en los años sesenta, consolidándose la profesión a través de la 1ª Asociación de Diseñadores de Iluminación (IALD) en EEUU”. “Un proyecto de iluminación arquitectónica considera la arquitectura, el espacio, en su caso la interacción con la luz natural, o también la interacción entre la luz natural y la artificial, la luz y la sombra, su contexto, el bienestar humano al igual que la viabilidad económica inicial y en el tiempo (su consumo energético y mantenimiento)”

C. Factores y variables del diseño en la iluminación arquitectónica

Para comprender la iluminación como parte del proceso de diseño, donde se interrelacionan aspectos perceptuales, estéticos, energéticos, económicos y de mantenimiento, más allá de las convencionales resoluciones técnicas, es que se parte de considerar uno de los factores fundamentales en la iluminación arquitectónica, como lo es el espacio, además de la luz desde los aspectos cuantitativos y cualitativos, y la fisiología y psicología de la percepción.

La iluminación arquitectónica implica considerar y comprender la estructura formal del espacio, como son los límites, proporciones, escalas, estructura geométrica, cualidades materiales y el color. Esto es porque la luz refuerza esas características morfológicas del espacio y contribuye a ordenarlo perceptualmente.



Figura 3 – Factores y variables de la luz en el diseño lumínico.

Desde lo metodológico, a partir de la conceptualización se tomaron casos de estudio para el análisis, partiendo la consideración de estas características formales de los espacios, contrastando ese “espacio físico” con la resultante del “espacio lumínico” por la interacción de esta materia sutil de diseño. Para comprender el rol de la iluminación funcional o expresiva y la imagen perceptual, se establecen las “variables de la luz” ya que hacen posible esas modificaciones perceptuales de los espacios. Se consideran como “variables de la luz” a: tipo de luz, formas y dimensiones de las fuentes lumínicas, posición en el espacio y dirección de incidencia, la naturaleza de las superficies, intensidad y contraste, brillo, parámetros asociados al color (K-IRC-RGB) y el dinamismo. (Figura 3)

Con estas consideraciones se analizaron los casos de estudio y comparativamente se reconocieron algunas características del diseño lumínico contemporáneo, y en algunos casos han permitido vislumbrar los cambios de paradigmas en la iluminación arquitectónica contemporánea. El análisis crítico se realiza a partir de una matriz de análisis, sobre las variables de luz, materia y espacio para verificar las posibilidades y desafíos de las nuevas tecnologías.

Se tomaron casos de iluminación arquitectónica de espacios interiores, de escalas y usos diversos, como una manera de poder extraer conclusiones de las relaciones entre requerimientos lumínicos, condicionantes ambientales y arquitectónicas, recursos disponibles y estrategias de diseño adoptadas. Se establecen y/o detectan criterios de intervención y variables como una manera de sintetizar y aunar los aspectos tecnológicos vinculados al diseño lumínico.

Como complemento, y para ampliar la mirada sobre estos análisis, es que se realizaron encuestas a usuarios y entrevistas a profesionales y especialistas para obtener información sobre la percepción y la apreciación que tienen ante los nuevos usos, y también los roles que posibilitan las nuevas tecnologías de iluminación.

D. La iluminación como parte del proceso de diseño integral

En la Carrera de Arquitectura (FAUD-UNC), como en la mayoría de las instituciones se sigue enseñando lo referido a la iluminación, desde la Luminotecnia centrada más en aspectos cuantitativos y de cálculo, cuando la tendencia actual es la consideración de la dimensión poética de la luz, y como la cuarta dimensión de la arquitectura por su carácter dinámico (tanto natural, como con las tecnologías actuales en iluminación). Así, la iluminación arquitectónica cobra protagonismo integrando diferentes factores y variables que conducen a soluciones más eficientes, creativas, innovadoras y económicas.

Para ello, se propone una metodología o proceso de diseño lumínico, como complemento a lo anteriormente citado respecto a los factores y variables del diseño lumínico. Esto es una serie de fases que parten desde la consideración integral del problema a resolver, centrándose en el concepto y estrategias de diseño, para concluir con la resolución y materialización del proyecto y su posterior verificación. (Figura 4)



Figura 4 – Proceso de diseño de iluminación arquitectónica.

III. CONCLUSIONES

Como síntesis de lo detectado en los análisis comparativos de los casos de estudio a partir de las variables de la luz, se pueden expresar:

-La integración de la luz natural y la consideración de los Factores Humanos en Iluminación, relativos al ciclo circadiano y las condiciones de confort y calidad de vida.

-Un factor relevante es la tecnología Ledfit que con la miniaturización y flexibilidad ha permitido la integración a las envolventes y elementos estructurales de los espacios, a partir de detalles y resoluciones tecnológicas, incluidos los nuevos materiales.

-Asociado al desarrollo de nuevas tecnologías en materiales, esta iluminación disruptiva permite ampliar el espectro de estrategias de diseño, pasando la luz a ser parte constitutiva de las envolventes y el equipamiento. La naturaleza de las envolventes ha pasado a ser un aspecto primordial en las estrategias y resolución de los nuevos espacios arquitectónicos, donde la luz cumple un rol expresivo fundamental.

-Respecto a la posición y dirección de incidencia en el espacio de la iluminación, esta ayuda a definir los límites como también a crear una imagen que identifica y diferencia, aspecto que los proyectos antiguos no demostraban. Ya que, esta posición de la iluminación en el espacio es la que orienta, crea puntos de referencia, diferencia zonas, y crea espacios.

-En la iluminación arquitectónica contemporánea, la intensidad y el contraste han pasado a ser otra de las estrategias detectadas para la generación de atmósferas y estímulos. Esto es, porque establece jerarquías de percepción, dirige la atención del observador, genera tensión, acentúa y enfatiza.

-La variable del color referida a la temperatura de color o tono de luz, se detectan estrategias asociadas a aspectos funcionales, como también a la consideración del ciclo circadiano o reloj biológico en la resolución de proyectos que consideran estos factores humanos en iluminación.

-El índice de reproducción cromática y el uso del color de luz, mediante los nuevos sistemas RGB y sus sistemas de control aportan estrategias comunes de iluminación arquitectónica. Ya que modificando las características espectrales de emisión de la fuente luminosa el resultado será diferente respecto al color percibido en el espacio, tanto en aspectos perceptuales como emocionales. No solo cambia la percepción del espacio, sino el componente temporal ya que el ritmo y movimiento, mediante sistemas de control digitalizados se ha transformado de una de las estrategias más difundidas en la iluminación arquitectónica contemporánea.

Con las últimas tecnologías y la innovación en la arquitectura contemporánea, en los diseños de iluminación se consideran los aspectos de eficiencia energética, los comunicacionales y perceptuales logrando experiencias interactivas, donde la luz moldea y nos guía a través de los espacios arquitectónicos y urbanos. Así, el rol de la luz trasciende lo meramente funcional transformando los entornos construidos dotándolos de expresividad, emociones e ilusiones espaciales y hasta conectados al “internet de las cosas”. Por todo lo expresado, es que se abre un campo profesional para los futuros arquitectos, en plena difusión, expansión y permanente actualización de la mano de las nuevas tecnologías.

Para concluir en relación a los objetivos de este trabajo, Esther Torello [10] como editora de la revista digital Lightecture (Barcelona), sintetiza dos conceptos relevantes y pertinentes: “Vivimos en una era en la que la imagen de la arquitectura es parte de su función. La luz juega un papel fundamental en su configuración. Además de ser funcional, define la superficie y contribuye a subrayar las características arquitectónicas del edificio”. “La colaboración entre arquitectos y Lighting Designers, una profesión que ha tenido su desarrollo en la segunda mitad del siglo XX, ha dado como resultado numerosos ejemplos de un innovador uso de la luz. Como editora de una publicación de iluminación arquitectónica he podido constatar cómo el desarrollo y evolución de la tecnología LED ha ido ampliando las posibilidades creativas de estos profesionales, permitiéndoles proyectar extraordinarias soluciones integradas, eficientes y de reducido mantenimiento”

IV. REFERENCIAS

- [1] Sá, A. et al. (2015) *Aplicaciones del led en diseño de iluminación*. España: Marcombo.
- [2] Kepes, G. (1969) *El lenguaje de la visión*. Buenos Aires: Infinito.
- [3] Pallasmaa, J. (2016) *Los ojos de la piel. La arquitectura y los sentidos* (2da. Ed. Ampliada). Barcelona: G. Gili.
- [4] Montaner, J. M. (2015) *La condición contemporánea de la arquitectura*. Barcelona: G. Gili.
- [5] Muros, A., Adell, J. & Sá, A. (2015) *Conversaciones sobre el LED*. En Sá Lago, A. *Aplicaciones del LED en diseño de iluminación*. (págs. 306-310). Barcelona: Marcombo.
- [6] Sá, A. (2015) Op.Cit.
- [7] Urbano, R. (2017) *De la bombilla a la bacteria*. *Arquitectura Viva* (197), págs. 71 a 74.
- [8] Suárez, D. & Zoppi, C. (2019) *The relevance of light and colour in current architecture. Possibilities and challenges*. En Caivano, J. (Ed.) *Book of Abstracts AIC 2019 "Color and landscape" Midterm Meeting of the International Color Association* (Pág. 37) Buenos Aires: GAC.
- [9] Walter, B. (2015) *Introducción a la iluminación con tecnología LED en espacios interiores*. En Sá, A. *Aplicaciones del LED en diseño de iluminación*. (Págs.179-181). Barcelona: Marcombo.
- [10] Torelló, E. (2015) *El espíritu creativo del LED*. En Sá, A. *Aplicaciones del LED en diseño de iluminación*, (Págs. 173-178). Barcelona: Marcombo.

V. BIOGRAFÍA



Arquitecto. Maestrando en Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano FAUD-UNC.
Profesor Titular cátedra INSTALACIONES III Carrera Arquitectura FAUD-UNCórdoba. Ha trabajado en el CIAL (Centro de Investigaciones en Acústica y Luminotecnia) dependiente de la misma facultad.
Profesor de DISEÑO LUMÍNICO 2 en la Tecnicatura Universitaria en Diseño de Interiores en la FAD (Fac. de Arte y Diseño) de la Universidad Provincial de Córdoba.
Director de equipo de investigación - Instituto del Color - SECyT UNC
Miembro activo de la AADL (Asociación Argentina de Luminotecnia) y del GAC (Grupo Argentino del Color).

LUZ 2022 XV Jornadas Argentinas de Luminotecnia

Ciencia y Tecnología de la luz al servicio del ser humano y del medio ambiente

- Visión y color
- Iluminación centrada en el ser humano. Iluminación integradora
- Fotobiología y fotoquímica. Radiación germicida en respuesta a COVID-19

LUZ Y CALIDAD DE VIDA



ASOCIACIÓN
ARGENTINA
DE LUMINOTECNIA

Evaluación microbiológica de la radiación UVC-LED y su aplicación a una máscara respiradora

Fabio VINCITORIO¹, Paula MARCUZZI²

^{1,2} GIF Grupo de Investigación en física Aplicada a la Ingeniería. UTN Facultad Regional Paraná. - ¹ fabiovincitorio@frp.utn.edu.ar

Resumen: La pandemia de SARS COV-2 ha generado una multiplicidad de problemas que han sido abordados de diferentes maneras. En la medida que se ha ido avanzando en el conocimiento de este virus, se han generado diferentes soluciones para mitigar los efectos de esta enfermedad.

Uno de los objetivos fundamentales fue el de contener o reducir la cantidad de contagios, particularmente entre el personal de salud afectado a la atención de pacientes.

La solución propuesta se basa en el uso de fuentes de luz ultravioleta del rango - C, con emisores del tipo UVC-LED de 0.5 W alojados convenientemente para generar un campo de irradiación sobre un circuito de circulación de aire.

Los ensayos realizados sobre cultivos de levaduras muestran resultados favorables con un nivel de inhibición superior al 93 % de la población sobre la superficie irradiada.

El objetivo final de esta investigación es lograr un diseño de una máscara respiradora basada en principios activos y que permita la producción masiva, buscando se convierta en una solución de bajo costo y accesible a todos los actores del sistema de salud público o privado.

Palabras claves: UVC, LED, Covid.

Abstract: A multiplicity of problems was generated by the SARS COV-2 pandemic to which different responses were generated. The more we know about the virus, different solutions have been generated to mitigate the effects of this disease. One of the fundamental objectives was to contain or reduce the number of infections, particularly among health personnel.

The solution proposed and described in this work is a low-cost respirator to be used in rooms with a high level of microbiological contamination. This device combines a standard manufacturing mask with a UV-C irradiation chamber and a positive polarization potential mounted thru air conduct.

The tests carried out on yeast cultures show favorable results with an inhibition level higher than 93% of the population on the irradiated surface.

The final objective of this product is to achieve a mass production design that allows a rapid transfer to the productive sector and its subsequent commercialization, seeking to make it a low-cost solution accessible to all actors in the public or private health system.

Palabras claves: UVC, LED, Covid

I. INTRODUCCIÓN

En el mes de diciembre de 2019, un brote de casos de una neumonía grave se inició en la ciudad de Wuhan, provincia de Hubei, en China. Desde entonces la humanidad ha debido adecuarse de diferentes maneras a las condiciones impuestas por la emergencia sanitaria a la que nos ha llevado la aparición del virus SARS-COV2.

Desde el punto de vista eco-epidemiológico el virus fue clasificado en dos grupos: coronavirus adquiridos en la comunidad (o coronavirus humanos, HCoV) y coronavirus zoonóticos del cual deriva el SARS-COV2.

Los coronavirus humanos circulan libremente en la población de todos los continentes, suelen causar enfermedades respiratorias leves. Se estima que producen entre el 10% y el 30% de los casos de resfriado común.

[1]

Según la evidencia actual, el virus COVID-19 (Coronavirus Disease) se transmite entre personas a través de gotitas respiratorias, luego de haber evolucionado de una variante zoonótica.

La transmisión por gotitas ocurre cuando una persona está en contacto cercano (dentro de 1 m) con alguien que tiene problemas respiratorios, asociados a la sintomatología de la enfermedad (por ejemplo, tos o estornudos). En estas condiciones el virus ingresa al organismo a través de boca, nariz y ojos al estar en contacto con estas gotas. Las mismas tienen un diámetro de entre 5 -10 μm por lo que su filtrado o bloqueo suele ser muy difícil incluso con barreras impuestas por lo barbijos de tela e incluso los usados normalmente en medicina. Por lo tanto, la transmisión del virus COVID-19 puede ocurrir por contacto directo con personas infectadas y el contacto indirecto con superficies en el entorno inmediato o con objetos utilizados por una persona infectada (por ejemplo, estetoscopio o termómetro).

La transmisión aérea es diferente de la transmisión por gotas, ya que se refiere a la presencia de microbios en núcleos, que generalmente se consideran menores de $<5 \mu\text{m}$ de diámetro y que resultan de la evaporación de gotas más grandes o existen dentro de partículas de polvo. Pueden permanecer en el aire durante largos períodos de tiempo y transmitido a otros a distancias superiores a 1 m.

En el contexto de COVID-19, la transmisión aérea puede ser posible en circunstancias y entornos específicos en los que procedimientos particulares derivan en la generación de aerosoles (tales como: intubación endotraqueal, broncoscopia, administración de tratamiento nebulizado, ventilación manual antes de la intubación, al girar al paciente a la posición decúbito prono, desconexión del paciente del ventilador, ventilación con presión positiva no invasiva, traqueotomía y reanimación cardiopulmonar) [2].

Es evidente que, si bien el virus es altamente contagioso y todos nos encontramos expuestos, el personal de salud afectado a la atención de pacientes se presenta como la población de mayor riesgo.

En la primera fase del desarrollo de la pandemia el desconocimiento respecto de las medidas de seguridad era la regla general y se podían encontrar serias diferencias en los protocolos establecidos para el resguardo de las personas que estuvieran frente al paciente según el país que observáramos. Por otra parte, los elementos de protección homologados se convirtieron en un recurso escaso y todos observamos cómo algunos países comenzaron a incautar vuelos con estos elementos cuando realizaban escalas para reabastecer combustible.

En este contexto comenzaron a realizarse reuniones científicas y tecnológicas buscando soluciones alternativas a las existentes y que garantizaran la provisión de elementos de seguridad.

Una de las soluciones propuestas fue la de dotar sistemas que filtraran el aire mediante la utilización de radiación ultravioleta. Con soluciones dirigidas a eliminar el virus en pacientes afectados incluyendo un módulo UV en el respirador, tecnología que fue migrando hacia el desarrollo de máscaras respiradoras con incorporación de radiación UVC.

En este trabajo se muestran los resultados de la evaluación microbiológica de una máscara respiradora diseñada para el personal de salud en contacto con pacientes severos. El diseño e implementación de este dispositivo se focalizó en conseguir un bajo costo de fabricación, priorizando insumos nacionales y facilidad de uso. Además, fue objetivo combinar al menos dos principios activos que fueran eficaces en la contención del virus.

Se prevé que la utilización masiva de este tipo de dispositivos en personas que se encuentren afectadas a la atención de pacientes hospitalizados alcance niveles de protección por encima de los estándares actuales.

A. *Propiedades germicidas de la radiación UV- C*

Dentro del espectro visible de radiación electromagnética encontramos que las longitudes de onda más cortas presentan diferentes interacciones con los organismos biológicos. Si avanzamos hacia radiaciones cuya longitud de onda se encuentra por debajo de los 390 nm entonces consideramos que nos encontramos en la banda espectral del ultravioleta. Esta banda se extiende desde esta longitud de onda hasta las longitudes de onda correspondiente a la de los Rayos X lejanos. Estas no son radiaciones consideradas ionizantes, sin embargo, los efectos sobre las células, bacterias y virus ha sido estudiado durante años. Dependiendo del rango de frecuencias estas radiaciones se las cataloga como de rango A, B o C. Siendo la radiación de rango A la más cercana al espectro visible y la que presenta mayor intensidad en la luz solar.

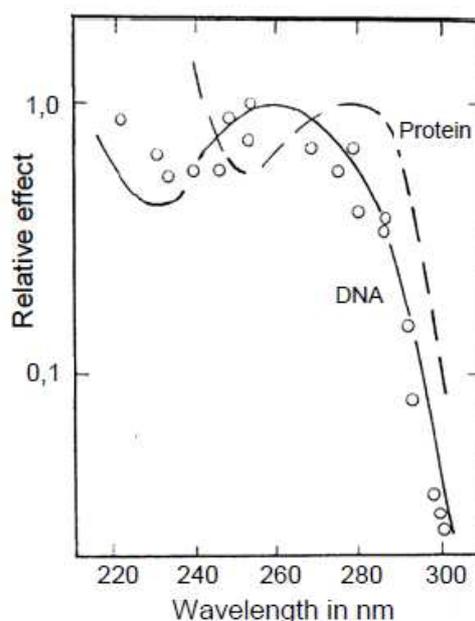


Fig. 1: Gráfica que indica el efecto de la irradiación UV de rango amplio sobre el ADN y las proteínas, Gentileza de CIE [6].

En lo referente a los efectos sobre el ser humano y los animales se conoce que las radiaciones del rango A y B suelen ser la de mayor peligrosidad para períodos prolongados de exposición. Esta radiación es la principal causa de envejecimiento cutáneo entre los seres humanos y uno de los condicionantes más fuertes en el desarrollo de cáncer de piel [3].

El rango C que va desde los 285 nm hasta los 180 nm suele presentar efectos adversos, incluso ante pequeñas dosis de irradiación, sobre la piel y efectos más severos en su incidencia sobre los ojos. Normalmente los efectos se limitan a quemaduras dado que a diferencia del rango A y B no penetran más allá de la epidermis. Sin embargo, los efectos sobre bacterias y hongos resultan destacables ya que tiene la capacidad de romper las cadenas de ADN y por lo tanto dañar severamente a estos microorganismos. Efectos similares son reportados sobre diferentes tipos de virus tales como el SARS, N1H1 y el SARS -COV2 [4].

B. La luz como herramienta de evaluación de la actividad microbiológica

La luz puede ser usada para la evaluación de la actividad microbiológica mediante el uso de patrones de speckle de tipo dinámico.

Los patrones de speckle se forman cuando los objetos son iluminados con una fuente de luz coherente y poseen información sobre la superficie del objeto a una escala inferior a la de la longitud de onda utilizada. La variación (o evolución) de un patrón en el tiempo, es decir, un patrón de speckle dinámico, permite un análisis más detallado del objeto en el dominio temporal. El grado de actividad es lo que llamamos la actividad speckle (AS o SA en sus siglas en inglés).

La AS es analizada a través de un método que mide la fracción promedio de píxeles cuya intensidad cambia en función del tiempo (de una imagen a otra) en más de una cierta cantidad, llamado ruido speckle. La ecuación básica para determinar la AS de una secuencia de imágenes, que es:

$$AS = \frac{1}{m \times n} \sum_{k=1}^{N-1} \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \Theta[|I_{k+1}(i, j) - I_k(i, j)| - r]$$

donde N es el número de imágenes a partir de las cuales se debe determinar AS, m y n son los tamaños (alto y ancho) de las imágenes, el factor de escala $(m \times n) - 1$ transforma la cantidad obtenida a la fracción de área deseada de píxeles que varían y $\Theta(x)$ es la función de Heaviside. Esta ecuación permite el cálculo de AS al tiempo t, $AS(t)$, a partir de una secuencia de imágenes que se extiende a través de un cierto período de tiempo. Por lo tanto, hay básicamente tres parámetros importantes que deben ser tomados en cuenta para el análisis, a saber: (i) el número de cuadros o imágenes, N (≥ 2), que se utilizan para calcular un único valor de AS, (ii) el período de tiempo comprendido entre los N cuadros, cuyo límite inferior está dado por la tasa de adquisición más alta posible de la cámara y (iii) el período de tiempo, t, entre los cálculos subsiguientes de AS. Por lo tanto, el cálculo de cada valor se lleva a cabo a través de una extensión temporal finita, entre el primer y el último cuadro, dada por $\Delta t = (N - 1)T$.

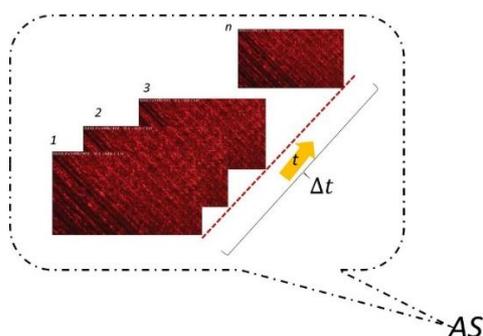


Fig. 2: Representación esquemática de los diferentes parámetros que intervienen en la adquisición y el cálculo de la evolución de la actividad speckle.

De esta forma es posible realizar un seguimiento de la actividad microbiológica siguiendo la evolución de cultivos realizados en capsulas destinadas a tal fin. Si se combina un sistema de speckle dinámico con fuentes UVC, entonces es posible ver las diferencias evolutivas introducidas por la radiación UVC.

II. Diseño, desarrollo e implementación

A. Mascara UVC-LED

La búsqueda de una solución al filtrado y contención del virus COVID-19 en forma de mascara respiratoria se sustentó sobre los conceptos antes mencionados. La generación de un campo electroestático en el dispositivo desarrollado se diseñó como la primera barrera de retención para disminuir la circulación de la carga viral hacia las vías respiratorias. Al circular el aire que aspiramos a través del dispositivo este debe atravesar un campo eléctrico que genera una fuerza de atracción sobre la carga eléctrica natural de los virus. Si consideramos el mínimo de carga asignado [5] la fuerza actuante puede ser calculada en forma simple a partir de la ley de Gauss y la ecuación de potencial eléctrico.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \int \vec{E} \cdot d\vec{l} = V \quad (1)$$

La carga mínima en la peor condición debe ser la de 300 electrones o $480 e^{-19} C$. Por otra parte los virus de mayor masa alcanzan los $2,5 e^{-19} Kg$ y la fuerza de atracción sobre estos rondaría $480e^{-15} N$ cuando el aire circula a través de una malla metálica de 1 mm de lado cargada con un potencial de 10 V, fuerza equivalente a 3918 veces el peso del virus.

Por otra parte, estudios precedentes muestran que la mayor parte de los virus, bacterias y hongos se ven afectados en su composición al quedar expuestos a niveles de radiación UV-C mayores a $100 J/m^2$ [6]. Si bien estos niveles de irradiación se correlacionan con el tiempo de exposición y la concentración de la población microbiológica que es objeto de la irradiación. Basado sobre los efectos físicos indicados precedentemente se propuso el diseño de una máscara que combinara dos efectos activos (captura por campo eléctrico e irradiación) y al menos un filtro pasivo de partículas.

Como método de irradiación se propuso la utilización de LED (Light Emitter Diodes) de longitud de onda 285 nm, longitud de onda en la que se registra uno de los picos de absorción de la luz por parte de las proteínas y dentro de la zona de mayor efecto sobre la cadena de ADN. Para lograr un mayor efecto combinado se definió que la zona de mayor potencial eléctrico debería ser la de ingreso de aire ubicado en un plano perpendicular al gradiente del vector de irradiación, tal como se muestra en la Fig.3.

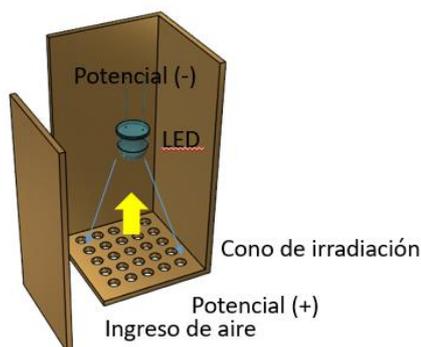


Fig. 3: Esquema en el que se muestra la disposición de los elementos para generar una cámara de irradiación.

Para alcanzar los límites de irradiación deseados se utilizó un LED de 0,5 W XBT3535 –UV con un nivel de irradiación de 40 mW evaluado en pulso de 20 ms o 800 μ J de energía. El potencial de captura se obtiene de una fuente de 10 V de corriente continua.

B. Diseño de un sistema de registro de micro-speckle dinámico

El sistema de registro basado en micro-speckle dinámico debía permitir ser replicado fácilmente por lo que en su diseño se usaron dispositivos integrados como lo son los microscopios digitales, los que pueden ser implementados con diferentes tecnologías. Desde simples microscopios usados en electrónica a sistemas complejos con cámaras de alta definición, existe un amplio espectro de posibilidades.

Los microscopios digitales usados en control de calidad para la industria electrónica, integran una pantalla de LCD, una cámara de baja resolución un sistema óptico de enfoque, una ranura de grabación Micro-SD, puerto USB y en algunos casos WI-FI.

Una particularidad de estos sistemas es que son totalmente configurables mediante un pequeño teclado discreto ubicado en el frente del dispositivo. Este teclado físico se encuentra construido con pulsadores discretos soldados sobre placa de circuito impreso. Entre las funciones que se encuentran disponibles está la de realizar captura de imágenes presionando esa tecla. Incluso, existe un modo de funcionamiento de ahorro de energía en el cual el sistema se duerme hasta que se presiona la tecla de captura.

Esta característica constructiva fue aprovechada para poder generar un control automático externo del sistema. Así, una placa centrada en un microcontrolador de 8 Bit fue implementada para el manejo del equipo, particularmente para poder capturar las imágenes en la secuencia y tiempos necesarios. Las imágenes son entonces guardadas en la tarjeta SD del microscopio o bien transmitidas mediante WI-FI si se encuentra esta opción disponible.



Fig. 4: Esquema en el que se muestra la disposición de los elementos para generar un sistema de de análisis microbiológico mediante speckle dinámico.

El equipo de speckle dinámico debía ser capaz de realizar en forma automática el registro de las imágenes, el manejo de una fuente de luz coherente. Todo esto se logró mediante el diseño de un controlador basado en el 12F683 de Microchip en una placa que fue diseñada para:

- 1) Capturar fotogramas mediante el cierre de un relé cuyos contactos se encuentren en paralelo con los sw del microscopio.
- 2) Capturar una muestra de aire para contaminar el medio de cultivo a ser analizado.
- 3) Controlar y estabilizar un láser de semiconductor.

III. IMPLEMENTACIÓN

A. Implementación de la máscara

Para el montaje de la máscara respiradora se optó por realizar una adaptación de la máscara HR2 de Tecno Biology. Mascara, de uso general la cual se encuentra construida en polímero anti alergénico flexible y posee un filtro con capacidad de retención de partículas hasta $2,3 \mu\text{m}$ de acuerdo con lo indicado por el fabricante. La adaptación se realizó agregando la cámara de irradiación de manera que esta se encastre en el filtro intercambiable. De esta manera los efectos negativos de la radiación UV-C quedarían limitados a la cámara sin entrar en contacto con la piel del usuario.



Fig. 5: Detalle de la máscara HR2 junto al esquema diseñado en 3D de la cámara de irradiación.

Diferentes modelos fueron implementados cuya diferencia radicaba en la cantidad de LED que fueron introducidos dentro de la cámara de irradiación (1 a 4 LED). Esto se realizó con el fin de evaluar la intensidad necesaria para lograr la eliminación de microorganismos en el aire que ingresando en la cámara llegaría al sistema respiratorio a través del filtro de partículas de la propia máscara.

Tal como se observa en la Figura 5 la pieza construida mediante impresión 3D y que sirve de alojamiento de la cámara se encastra sobre el filtro intercambiable de manera de permitir que este pueda ser reemplazado fácilmente. La alimentación del campo eléctrico y de los LED se logra mediante un cable que sale lateralmente y se une a las bandas elásticas de sujeción.

B. Implementación del sistema de análisis microbiológico por speckle dinámico

El sistema fue implementado en su totalidad mediante el uso de diseño asistido por computadora e impresión 3D.

Para ellos se diseñó un alojamiento que permita la alineación del láser con la muestra y al mismo tiempo el centrado de la cámara con la zona de captura iluminada por el láser. Para obtener una mejor distribución de la luz del láser este se utilizó sin lente de enfoque permitiendo que el perfil elíptico de este incida en la zona central de captura, consiguiendo así una iluminación uniforme de la superficie del medio de cultivo.

La impresión del soporte que actúa como cámara de captura posee una puerta por donde se introduce la cápsula de Petri que contiene el medio de cultivo.



Fig. 6: Prototipo del sistema automático de captura para speckle dinámico.

IV. RESULTADOS

A. Evaluación de los efectos de la UVC y su uso en la máscara respiratoria

En los ensayos y controles microbiológicos que se emplearon para evaluar el desempeño de la máscara, no se buscó detectar directamente la presencia de virus (agentes infecciosos de estructura subcelular). Como complemento se planteó la estimación de la carga microbiana a través de la investigación de especies, familias y grupos de otros microorganismos. Cabe destacar que en general los virus son más lábiles que, por ejemplo, las bacterias. Es decir que ofrecen menos resistencia frente a los efectos de la temperatura, irradiación o agentes de desinfección. Esto permite evaluar de forma indirecta el funcionamiento del prototipo: a menor carga microbiana residual, menor será la probabilidad de que el virus causante del SARS-COV2 pueda estar activo.

Dos grupos de test fueron implementados: de larga duración sobre cultivos de levaduras de alta concentración y test de contaminación microbiológica en condiciones reales de uso.

En los test de larga duración se utilizó un starter de levaduras, *Saccharomyces cerevisiae*. Esta especie se constituye como modelo biológico en investigación básica de distintas áreas, por sus características como organismo eucariota, facilidad de obtención y carácter inocuo para la salud y el medio ambiente. Se realizaron siembras en placas de Petri estériles usando como medio de cultivo Hongos y Levaduras del laboratorio Britania – medio nutritivo debido a la presencia de extracto de levadura y glucosa. Por lo tanto, selectivo por la presencia de cloranfenicol que inhibe el crecimiento bacteriano. Además, contiene agar como agente solidificante. La temperatura de incubación se fijó $25\text{ }^{\circ}\text{C} + 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la siembra se realizó a partir de una suspensión en fase líquida.

Previo al uso, las cápsulas de Petri fueron acondicionadas para permitir que puedan ser instaladas las cámaras de irradiación sin atravesar el vidrio superior (que generaría atenuación de la radiación UVC) y al mismo tiempo evitar la contaminación de las muestras con organismos aeróbicos. Nuevamente estas modificaciones fueron realizadas por medio de piezas diseñadas e impresas con tecnología 3D. Estas piezas, copiaban la forma y tamaño de la tapa de la capsula, pero a la vez permitían insertar fácilmente la capsula de irradiación. Los UV-C LED fueron alimentados desde una fuente estabilizada y regulable controlando la corriente en 20 mA.

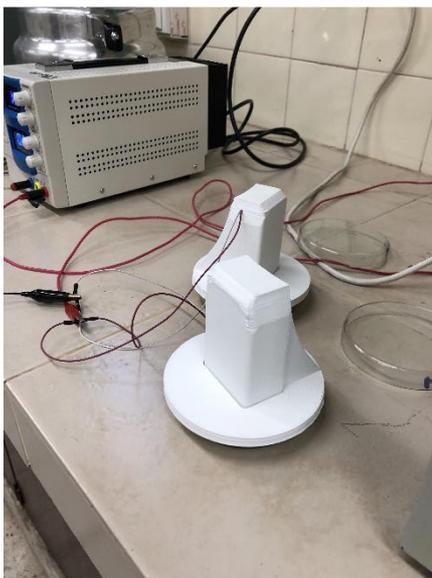


Fig. 7: Fotografía en la que se muestra los sistemas de evaluación montados durante el ensayo de larga duración, previos a ser introducidos en la estufa de cultivo.

Los resultados obtenidos de esta primera serie de ensayos mostraron que con dosis mínimas (1 LED, 500 mW) el tiempo mínimo de irradiación para lograr la inhibición de levaduras fue superior a los 20 minutos mientras que se logra una eliminación superior al 99 % de la población en períodos de 48 horas de irradiación continua. Los ensayos se realizaron sobre 3 muestras, repitiéndose en 3 oportunidades.

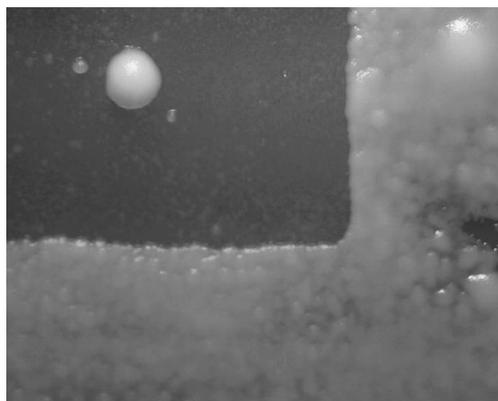


Fig. 8: Fotografía obtenida con microscopio digital. En esta imagen es posible observar claramente los efectos de la luz UV-C sobre las levaduras.

La segunda serie de pruebas se realizó usando prototipos similares de máscaras las que fueron ensayadas en condiciones reales. Se definió el uso de la máscara por un período de evaluación de 3 horas. Además, se establecieron cuatro condiciones de ensayo, N°1- máscara usada solamente con el filtro del fabricante. N°2- máscara con cámara de irradiación de un LED (500 mW), N°3- máscara con cámara de irradiación implementada con 4 LED (2 W) y N° 4- máscara en iguales condiciones que N° 1 pero con siembra directa en el medio de cultivo estéril y posterior irradiación durante 3 h con LED. Luego del uso por parte de la misma persona se empleó el medio PCA – laboratorio Britania – recomendado para el recuento de bacterias aerobias, el cual contiene agar como agente gelificante. Temperatura de incubación $32\text{ }^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C} - 48\text{ h}$. Se seleccionó el recuento de aerobios totales ya que en las vías orofaríngeas de los seres humanos existe una flora microbiana natural (presente desde el momento del nacimiento y conviviendo de manera simbiótica a lo largo de la vida). Frente a diferentes situaciones este sistema se puede desbalancear y favorecer al desarrollo de distintas enfermedades. Al usar la máscara con el filtro y durante la inhalación – exhalación no solo se contempla lo proveniente del ambiente externo (entiéndase con alta probabilidad de contaminación por el uso en ambientes de atención de pacientes cursando enfermedades respiratorias) sino también el efecto de la radiación sobre lo generado y retenido en el filtro por el usuario, a partir de considerar su propia microflora.

Para las siembras en las placas de Petri estériles se extrajeron los filtros de cada máscara (y ensayo) poniéndolos en contacto con la superficie del medio logrando de esta manera la contaminación para su posterior incubación en estufa a la temperatura indicada.

Los resultados muestran que comparando el cultivo N° 1 o de referencia con el cultivo N° 2 irradiado con la dosis menor, existe una reducción de los niveles de contaminación. Sin embargo, la irradiación no resulta suficiente como para asegurar una eliminación mayor al 90% de los microorganismos, ya que estos llegan a alojarse en el filtro y prosperan en el medio adecuado.

La muestra N° 3, con la máxima irradiación posible mejora el resultado que el cultivo N° 2 pero la cantidad de colonias sigue estando en valores elevados ya que como criterio microbiológico se debe poder contar las unidades formadoras de colonias (UFC) y en la placa existen zonas de crecimiento homogéneo. En la muestra N° 4 se evidencia el efecto germicida de la radiación al aplicarla de forma directa, esto pone de manifiesto la imposibilidad de penetración de la radiación UV-C hacia el interior del material del filtro de la máscara, como se observó en las muestras N°2 y N° 3.

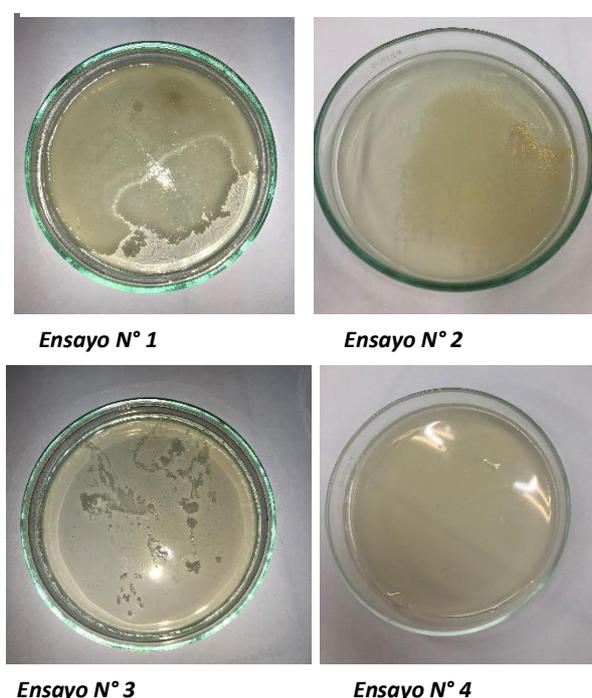


Fig. 8: (1) y (2) Crecimiento uniforme (a) en ambas placas. (3) Con 4 LED (b) se observa menor desarrollo, pero no se individualizan las unidades formadoras de colonias - UFC. (4) Efectividad del LED sobre desarrollo, no se observa ninguna UFC.

B. Resultados de la aplicación de un sistema de medición de la actividad microbiológica mediante speckle dinámico

El sistema de captura se programó para tomar una muestra por hora, con un período máximo de evaluación de 100 horas. Los ensayos realizados en estas condiciones consistieron en la evaluación de ambientes con alto nivel de contaminación microbiológica. Se realizaron dos ensayos: uno a temperatura ambiente y el segundo en estufa de cultivo a 32 °C + 1° C. En ambos se empleó el medio PCA – laboratorio Britania – recomendado para el recuento de bacterias aerobias, el cual contiene agar como agente gelificante.

Con el dispositivo en condiciones se procedió con el comienzo de ciclo, capturando el aire en cercanías y dirigiéndolo sobre el medio de cultivo. Este procedimiento se extiende por un período de 15 minutos al final del cual se realizó la captura de la primera secuencia de fotos para la obtención de la primera muestra.

Durante el proceso de evaluación de 66 horas el rango de temperaturas fue variable, pasando de 24°C a 8°C. Condiciones que no suelen ser las adecuadas para el desarrollo de microorganismos.

Los resultados obtenidos muestran que, a pesar de las condiciones térmicas variables, fue posible realizar una medición y observar la curva de crecimiento esperada. Sin embargo, la observación habitual del medio de cultivo, como primera forma de evaluación de los resultados de acuerdo con las técnicas microbiológicas no da certezas de lo ocurrido a diferencia del método de speckle.

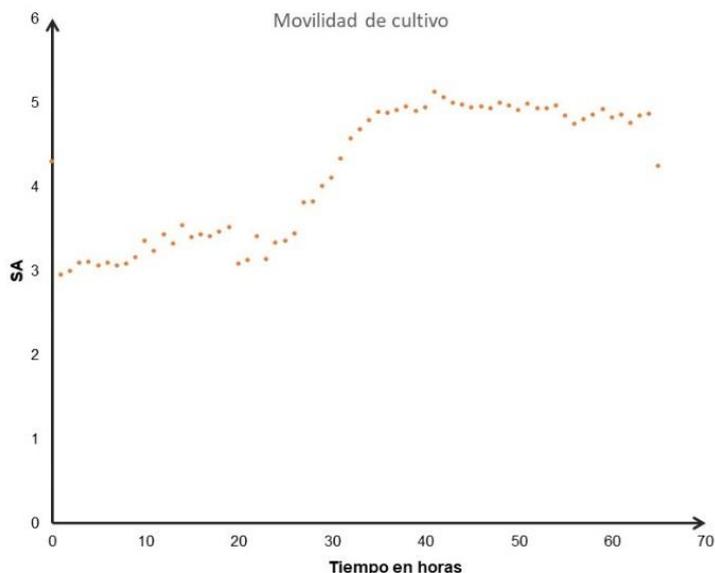


Fig. 9: Gráfico que muestra la evolución de la colonia de aerobios cultivada en un ambiente de alta contaminación. La curva resultante es la curva característica de desarrollo de poblaciones microbiológicas

El segundo ensayo se realizó siguiendo igual metodología, pero en este caso todo el sistema fue introducido en una estufa de cultivo. La temperatura de equilibrio fue seleccionada en 32°C. En este caso la captura de muestras se extendió por 94 horas.

Retirado el medio de cultivo se pudo observar que este fue sometido a un proceso de deshidratación debida a las condiciones impuestas por la estufa. Como consecuencia, no fue posible caracterizar el comportamiento del cultivo. Sin embargo, la gráfica resultante obtenida de la medición muestra el comportamiento del proceso de deshidratación, muy diferente al proceso de evolución de los cultivos.

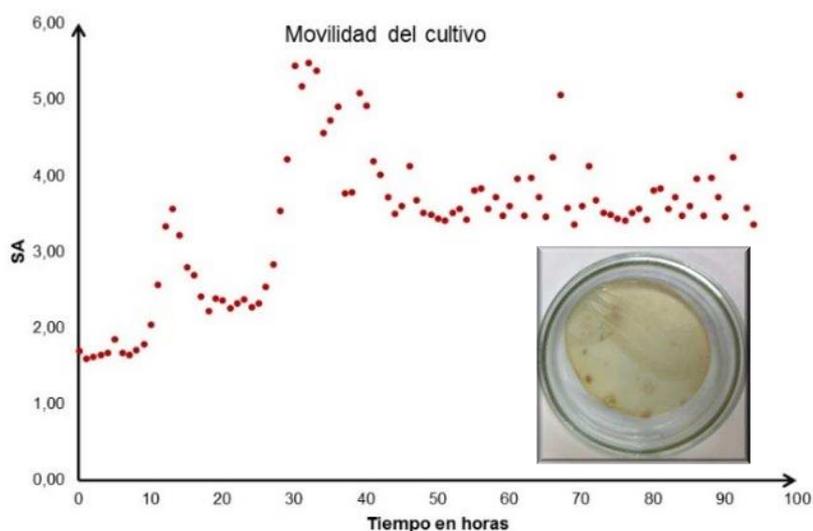


Fig. 10: Grafico que muestra el comportamiento del medio de cultivo debido a la deshidratación. Imagen del medio de cultivo deshidratado.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se han propuesto dos ideas innovadoras convertidas en soluciones tecnológicas a la problemática planteada por el virus SARS-COV2. Ambas ideas usan como principio base fuentes de luz. Por un lado una fuente de

luz coherente usada para el análisis de cultivos y por el otro una fuente de luz UVC para la eliminación de microorganismos en cultivos. Los resultados obtenidos muestran la utilidad y la posibilidad de transferencia tecnológica.

En el caso particular de la máscara se concluyó que la fuente de luz UVC cumple con la función para la cual fue pensada, sin embargo, la imposibilidad de colocar fuentes de irradiación del lado del rostro del usuario generaba la contaminación por la propia flora microbiana del usuario la que era transferida al medio de cultivo a través del filtro. En función de esto se están realizando ensayos en los que los filtros de tela serán reemplazados por filtros de nanotecnología que eliminarían estos agentes.

El sistema basado en micro spckle dinámico, desarrollado como una unidad portátil, demostró operatividad equivalente a la observada en condiciones de laboratorio.

Actualmente se están desarrollando pruebas de combinación de ambas tecnologías con el fin de conocer mayores detalles de la forma en la que la radiación UVC afecta el desarrollo de los microorganismos.

VI. REFERENCIAS

- [1] Francisco Javier Díaz-Castrillón, Ana Isabel Toro-Montoya. SARS-CoV-2/COVID-19: The virus, the disease and the pandemic. Medicina & Laboratorio. Volumen 24, Número 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36384/01232576.268>
- [2] World Health Organization Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations. Scientific brief 27 March 2020.
- [3] Salud Pública de México. Las radiaciones ultravioletas y el cáncer de piel. Environmental Health Perspectives. Volumen 120, número 8, agosto 2012, páginas A308-A313.
- [4] Martin Hebling, Katharina Hönes, Christian Lingenfelder, (2020) Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. GMS Hygiene and Infection Control, Vol. 15, ISSN 2196-5226.
- [5] M. Hernando- Pérez, A.X. Cartagena-Rivera, P.J.P. Carrillo. (2015). Nanoscale, DOI: 10.1039/C5NR04274G.
- [6] CIE 155:2003. Ultraviolet Air Desinfection. International Comision of Illumination.

VII. BIOGRAFÍAS



Fabio Miguel Vincitorio nació en la ciudad de Paraná, E.R. Argentina el 21 de enero de 1970. Se graduó de ingeniero en electrónica en el año 1998. Doctor en ingeniería por la Universidad Da Coruña 2014. Profesor Titular de la cátedra de Física y Director del Grupo de Investigación en Física Aplicada a la Ingeniería. Miembro fundador del grupo de electrónica de potencia en Iluminación, en la Facultad Regional Paraná de la Universidad Tecnológica Nacional.



Paula Adriana Marcuzzi nació en la ciudad de Paraná, E.R. Argentina el 13 de mayo de 1979. Se graduó de ingeniera en alimentos en 2006. Está realizando la Maestría en Gestión Ambiental en la Facultad de Ciencias Hídricas por la Universidad Nacional del Litoral. Prof. Adjunta de la cátedra Química General e integrante del Grupo de Investigación en Física Aplicada a la Ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná.

Luz, visión y factores humanos en guardias obstétrico-ginecológicas. Estudio de casos.

Valeria D. PAVIGLIANITI¹ - Verónica RUIZ²- Roberto G. RODRIGUEZ³ - Andrea E. PATTINI⁴

^{1,2,3,4} Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía - CONICET- Mendoza, Argentina.

Resumen: El manejo de emergencias obstétrico-ginecológicas está dirigido a preservar la vida y la salud reproductiva. Durante las urgencias, los médicos deben tomar decisiones donde la precisión, eficacia, y rapidez son cruciales. El objetivo de este trabajo es analizar el ambiente luminoso en consultorios de guardia obstétrico-ginecológicas a partir de pautas dadas por normas internacionales, y la legislación nacional y provincial.

El estudio se desarrolló en cuatro etapas: (i) selección de casos, (ii) relevamiento físico-fotométrico, (iii) verificación de pre-requisitos de iluminación según WELLv2 [1], (iv) verificación legal de acuerdo a la normativa nacional vigente. Las condiciones de pre-requisitos de iluminación WELLv2 y los niveles de iluminancia exigidos por el DR 351/79 no se cumplieron, el relevamiento presentó valores de iluminancia inferiores, obteniendo resultados para las tareas de examen y tratamiento entre 146-1043lx. Para tareas de lectoescritura y computación se registraron datos de iluminancias entre 127-510lx. Excepto un caso, los consultorios cumplieron con lo establecido por el código edificación.

El método utilizado mostró eficacia para el diagnóstico de las condiciones de iluminación en tareas visuales de guardias hospitalarias. Los resultados obtenidos son desalentadores, recomendándose aumentar los valores de iluminancia horizontal general y en puestos de trabajo.

Abstract: The management of obstetric and gynecological emergencies is aimed at preserving life and reproductive health. During emergencies, physicians must make decisions where accuracy, efficiency, and speed are crucial. The aim of this work is to analyse the lighting environment in obstetric-gynecological emergency clinics based on guidelines given by international standards, and national and provincial legislation.

The study was developed in four stages: (i) case selection, (ii) physical-photometric survey, (iii) verification of lighting prerequisites according to WELLv2 [1], (iv) legal verification according to current national regulations. The WELLv2 lighting prerequisites and the illuminance levels required by DR 351/79 were not met; the survey showed lower illuminance values, obtaining results for examination and treatment tasks between 146-1043lx. For reading, writing and computing tasks, illuminance values between 127-510lx were recorded. Except for one case, the offices complied with the building code.

The method used was effective in diagnosing lighting conditions in visual tasks in hospital wards. The results obtained are discouraging, and it is recommended to increase the values of general horizontal illuminance and illuminance at workstations.

Palabra clave: arquitectura hospitalaria, evaluación lumínica, marco normativo.

I. INTRODUCCIÓN

Los hospitales, por su carácter multidisciplinario y por la variedad de servicios y actividades que proveen, cuentan con zonas de máximo uso anual, como urgencias e internación, decreciendo a medida que la actividad se aparta de las estrictamente sanitarias. La atención de urgencias ginecológicas busca preservar la vida, la salud y la conservación de la función sexual, y la perpetuación de la fertilidad. El diagnóstico demanda niveles de iluminancia adecuados, un diseño que evite sombras, alta reproducción cromática y una temperatura de color específica. El diseño de la iluminación hospitalaria debe tener en cuenta tanto rendimiento como confort visuales, y la eficiencia energética. Los requisitos para iluminación de hospitales pueden dividirse en tres grupos: pacientes, personal, y acompañantes, los primeros necesitan un entorno de iluminación de calidad, los segundos que sea propicio para la tarea que

desempeñan, y los terceros estar en condiciones de bienestar [2]. Además el diseño arquitectónico de hospitales debe responder a los lineamientos de eficiencia y sustentabilidad ambiental. Actualmente uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad se relaciona con la degradación ambiental, el sobreuso de recursos limitados y el cambio climático [3]. La respuesta a esto desde la perspectiva del ambiente construido fue la aparición de edificios verdes (Green Buildings), dando respuesta de este modo al desarrollo de un entorno construido más sustentable. A partir de la aparición en Inglaterra del Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) durante la década del 1990 se desarrollaron varios métodos de Etiquetado Energético Ambiental de Edificios (EEAE), que por definición no incluyen aspectos ergonómicos. Recién, en 2014 se suma una nueva herramienta llamada WELL, creada con el objetivo de dar respuesta a los espacios desde una mirada más integral que tiene en cuenta el bienestar y la salud de los ocupantes.

Las investigaciones del factor ambiental luz natural en entorno hospitalario se han centrado en mejorar las condiciones de los pacientes. Sin embargo, los avances en torno al personal de salud son escasos. Por este motivo se requiere conocer la realidad de las guardias obstétrico-ginecológicas del Área Metropolitana de Mendoza (AMM) y verificar si cumplen con las normas nacionales e internacionales, para posteriormente analizar como impacta en los trabajadores de la salud que realizan tareas de diagnóstico en turnos de 12-24 hs en contextos de altas demandas visuales, temporales y cognitivas. En el presente trabajo presentamos la evaluación lumínica de salas de urgencias hospitalarias según (i) el estándar WELL v2, (ii) las pautas de iluminación del Código de Edificación de Mendoza, (iii) las leyes del ministerio de salud provincial y nacional, (iv) y las leyes de higiene y seguridad en el trabajo.

II. METODOLOGÍA

A. Selección de los casos de estudio.

Las guardias obstétrico-ginecológicas se seleccionaron a partir del análisis de la estructura del sistema de salud nacional-provincial, y de sus niveles de atención médica en hospitales AMM con internación especializada en maternidad perteneciente al segundo y tercer nivel de atención, categorías más frecuentes en el sistema de salud de Mendoza. El objetivo de esta selección fue obtener una muestra edilicia que represente los diferentes sectores y categorías, alcanzando una muestra de seis guardias.

B. Relevamiento físico y fotométrico de los casos de estudio seleccionados con el protocolo PC-SRT en el escenario de iluminación más frecuente.

En los casos de estudio seleccionados se aplicó el protocolo para la medición de iluminación en el ambiente laboral PC-SRT [4] a través del cual se realizó el relevamiento físico y fotométrico de los espacios. El análisis incluyó (i) datos generales, (ii) datos del equipamiento; (iii) datos del local, (iv) sistemas de iluminación, (v) puestos de trabajo, y (vi) condiciones lumínicas. Se recolectaron las medidas de iluminancia horizontal/vertical en puestos de trabajo con un luxómetro LMT Pocket-2. Se establecieron como puntos de medición los puestos de trabajo. El estudio se realizó de enero a marzo del 2022 entre las 10.00 y las 12.30 hs en condiciones lumínicas de uso habitual de cada espacio (posición de los elementos de control solar interior-exterior, el encendido-apagado de la iluminación artificial). Frecuentemente se prioriza la privacidad del paciente utilizando la cortina cerrada o baja y la luz artificial encendida. Algunas salas poseen vidrio translúcido o texturado.

C. Comprobación de los pre-requisitos de iluminación WELL Building Standard v2.

El sistema WELL Building Standard v2 solicita en el parámetro luz dos pre-requisitos obligatorios: el parámetro L01 "Exposición a la luz" y el parámetro L02 "Diseño de iluminación". Cada uno presenta diferentes opciones de evaluación y se optó por analizar el parámetro L01 a través de la opción 3 "Diseño de edificio"(L01-OP3), y el parámetro L02 a través de la opción 1 "Diseño de iluminación visual" (L02-OP1).

El parámetro L01-OP3 analiza la superficie de acristalamiento de la envolvente, que no debe ser inferior al 7% de la superficie de piso, la distancia entre aventamientos transparentes en planta no debe tener más de 20 m entre paredes opuestas. Además, no debe haber obstrucciones opacas de más de 1 m de altura dentro de una distancia horizontal de 6 m del acristalamiento transparente. Por su parte, el parámetro L02-OP1 solicita que todos los espacios interiores y exteriores cumplan con los umbrales de iluminancia especificados en alguna de las guías de referencia de iluminación mencionadas en la certificación. Se seleccionó la EN 12464-1&2: 2011.4 [5] como guía de referencia. Se compararon los niveles de iluminancia horizontal requeridos por la guía para las tareas que se realizan en el consultorio con los niveles medidos en los distintos puestos de trabajo en los casos de estudio.

D. Verificación legal de la normativa nacional vigente.

En esta etapa se analizaron los casos de estudio según el código de edificación de Mendoza y se verificaron los porcentajes de los distintos casos. Se estudiaron los requerimientos de las normas mínimas físico-funcionales del decreto reglamentario 3016/1992 de la ley 5532, Habilitación, categorización y acreditación de establecimientos prestadores de salud para la provincia de Mendoza. La misma especifica que los espacios deben ser iluminados naturalmente y deben cumplir con el código de edificación de Mendoza. Finalmente, se compararon los niveles de iluminancia horizontal/vertical en los puertos de trabajo por tipo de tarea según el Anexo IV del decreto reglamentario 351/79 [6].

III. RESULTADOS

A. Caracterización de los casos de estudio.

Los criterios empleados en la selección de los casos fueron: hospitales con internación especializados en maternidad de diferentes sectores de salud, público, privado y de obra social, que representan las tres categorías establecidas II, IIIA y IIIB; que difieren según las incumbencias de su servicio, las enfermedades previas de la madre y las complicaciones en el embarazo. Fue asignado un código de indentificación por caso de estudio para respetar el acuerdo de confidencialidad de datos realizado con las instituciones.

B. Relevamiento físico y fotométrico del espacio.

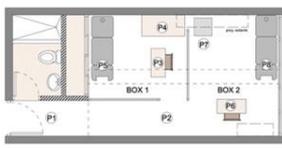
		Caso de estudio II-1 Categoría: II Sector: Publico Superficie: 11,38 m ² Altura: 2,35 m Orientacion: Norte-Sur Puntos de medicion: 4
		Caso de estudio III A-1 Categoría: III A Sector: Privado Superficie: 8,88 m ² Altura: 2,46 m Orientacion: Norte Puntos de medicion: 4
		Caso de estudio III A-2 Categoría: III A Sector: Publico Superficie: 20,25 m ² Altura: 2,9 m Orientacion: Este Puntos de medicion: 8
		Caso de estudio III B-1 Categoría: III B Sector: Privado Superficie: 11,35 m ² Altura: 2,65 m Orientacion: Oeste Puntos de medicion: 4
		Caso de estudio III B-2 Categoría: III B Sector: Privado Superficie: 16,80 m ² Altura: 2,95 m Orientacion: Este Puntos de medicion: 6
		Caso de estudio III B-3 Categoría: III B Sector: Obra Social Superficie: 20,26 m ² Altura: 2,56 m Orientacion: Oeste Puntos de medicion: 8

Fig. 1: Planta técnica y fotos de casos de estudio

La figura 1 resume las principales características morfológicas de los casos de estudio a través de la planta arquitectónica, una foto ojo de pez y la descripción de las dimensiones relevadas.

El 66,8% de los espacios de atención médica no posee elementos de control solar exterior y el 33,4% de control interior. El 50% de los ambientes relevados utiliza elementos de protección solar interior, el 33,4% posee vidrios

translúcidos y todos los usuarios trabajan con la iluminación artificial encendida durante el día. La iluminación artificial es de tipo general con artefactos distribuidos en el techo.

Excepto el caso III A-2 todos los demás utilizan elementos de control solar interior o han colocado una lámina de vinilo translúcido en la ventana para preservar la privacidad del paciente en la consulta.

Se destaca el uso de biombos/cortinas de diferentes materiales translúcidos y colores que dividen el espacio de entrevista de la camilla de revisión médica o entre unidades de trabajo.

TABLA I. Sistemas de iluminación natural y artificial.

Casos de estudio	Sistema de iluminación natural				Sistema de iluminación artificial		
	Cant. de ventanas	Tipo de vidrio	Elementos de control interior	Elementos de control exterior	Tipo de montaje	Cant. Artefactos (Nro. fuentes)	Tipo de artefacto
II-1	2	Transparente	Cortina	S/E	Aplicado	1 (2)	Plafón difusor estanco c/tubos led
III A-1	1	Texturado	Roller	S/E	Embutido	1(1)	Panel difusor led
III A-2	1	Transparente	S/E	Celosía	Aplicado	2 (2-3)	Listón p/ tubos led s/difusor
III B-1	2	Translúcido	Roller	S/E	Embutido	3 (1)	Panel difusor led
III B-2	1	Transparente	Roller	S/E	Embutido	2 (1)	Panel difusor c/ tubos led
III B-3	1	Translúcido	S/E	Alero	Embutido	2(3)	Plafón de embutir c/ louver lineal
					Embutido	3(1)	Plafón de embutir c/ lampara led

TABLA II. Niveles de iluminancia en puestos de trabajo.

Casos de estudio	T: Lectoescritura		T: Visualización de datos		T: Examen y tratamiento			
	Escritorio 1	Escritorio 2	Escritorio con PC		Camilla Ginecológica 1		Camilla Ginecológica 2	
	Eh (lx)	Eh (lx)	Eh (lx)	Ev (lx)	Eh (lx)	Ev (lx)	Eh (lx)	Ev (lx)
II-1	197				310	135		
III A-1					422	205		
III A-2	252	510	180	96	182	51	1043	394
III B-1			357	240	645	335		
III B-2			192	108	265	202		
III B-3	127		134,5	50	146	75	162	68

La TABLA I muestra las características del sistema de iluminación natural y artificial de los consultorios relevados. Dos establecimientos de seis cuentan con dos camillas de revisión ginecológica y solo el caso III A-1 no contiene un puesto de trabajo para las tareas de lectoescritura. Por su parte la TABLA II muestra los niveles de iluminancia horizontal/ vertical medidos en el escenario de uso frecuente en los diferentes puestos de trabajo de acuerdo a la dificultad de la tarea visual.

C. Resultados de los pre-requisitos WELL v2 de los parámetros de iluminación.

TABLA III. Pre-requisitos WELLv2. L01- Opcion 3.

Casos	Pre-requisito L01-OP3A		Pre requisito L01-OP3B	
	Sup. de ventanas (%)	Valor Well \geq 7%	Dist. de ventana a pared (m)	Valor Well \leq 20 m
II-1	20, 67%	Cumple	3,82	Cumple
III A-1	18,58%	Cumple	4,13	Cumple
III A-2	18, 47%	Cumple	5,31	Cumple
III B-1	35,14%	Cumple	4,0	Cumple
III B-2	12,87%	Cumple	6,0	Cumple
III B-3	6,42%	No Cumple	5,96	Cumple

La primer condición del primer pre-requisito WELL v2 indica que la superficie de acristalamiento de la envolvente debe ser superior al 7%, encontrándose el caso III B-3 por debajo (6,42%).

El pre requisito L01, opcion 3 "B" se cumple en todos los casos, la distancia entre la ventana y la pared opuesta no supera los 6 m en el caso de mayor profundidad. En cuanto a la presencia de obstrucciones opacas de más de 1 m de altura dentro de una distancia horizontal de 6 m de la ventana todos los consultorios cumplen con esta condición porque los biombos/cortinas presentes en cinco de los casos son de material translúcido (policarbonato, telas antibacterianas para cortinas hospitalarias, poliéster y algodón) (TABLA III).

El umbral de iluminancia media para la tarea de examen y tratamiento en instalaciones sanitarias de maternidad según EN12464-1 no debe ser menor a 1000 lx. La tarea de escribir, teclear, leer, procesar datos solicita un umbral de iluminancia no menor a 500 lx. El caso III A-2 solamente cumple con lo solicitado en el primer requerimiento en una de las dos camillas ginecológicas y en un puesto de trabajo donde se realiza la tarea de lectoescritura.

D. Análisis de los valores solicitados por el código urbano y de edificación de la ciudad de Mendoza y el decreto reglamentario Nº 351/79 de leyes de Higiene y Seguridad en el Trabajo.

La superficie mínima de las ventanas será igual, como mínimo al 12% de la superficie del piso de la habitación, según lo exigido por el código de Mendoza. Excepto el caso III B-3 que arrojó un valor de 6,42 % el resto cumple con el código.

La evaluación legal correspondiente al DR 351/79 para tareas severas, prolongadas y de poco contraste que se realizan en los puestos de diagnóstico y tratamiento requieren una iluminancia mínima entre 750-1500lx. Solamente el caso III A-2 cumple con estos niveles en uno de sus puestos de trabajo. Los trabajos generales de tarea de oficina requieren 500 lx de iluminancia mínima y los trabajos especiales solicitan 750 lx. Un puesto de trabajo de lectoescritura en el caso III A-2 cumple con los niveles requeridos.

IV. CONCLUSIONES

La metodología de trabajo demostró ser eficiente para conocer las condiciones de iluminación y permitir un diagnóstico en espacios hospitalarios. Los resultados obtenidos en los casos estudiados son desalentadores debido a que los niveles de iluminancia para tareas de examen y tratamiento están por debajo de la norma internacional y nacional siendo el menor valor relevado en el caso III B-3 de 146 lx y el mayor de 1043 lx en el caso III A-2. En el caso de los espacios de trabajo de escritorio los niveles de iluminancia horizontal no cumplen con las normas siendo el valor más bajo de 127 lx en el caso de estudio IIIB-3 y el valor más alto de 510 lx en el caso III A-2. Si bien a nivel local hay información respecto a requisitos taxativos para el diseño de iluminación, se recomienda elaborar una guía de iluminación de hospitales para satisfacer las necesidades visuales complejas en un contexto de atención médica.

V. REFERENCIAS

- [1] WELL. Sitio oficial disponible en <https://v2.wellcertified.com/v/en/concepts>
- [2] Alzubaidi, S., Roaf, S., Banfill, P. F. G., Talib, R. A., & Al-Ansari, A. (2013). Survey of hospitals lighting: Daylight and staff preferences. *International Journal of Energy Engineering*, 3(6), 287-293.
- [3] Stern, N. (2006). *Stern Review: The economics of climate change*.
- [4] Pattini, A., Rodríguez, R., Monteoliva, J. M., & Yamín Garretón, J. (2012). Iluminación en espacios de trabajo: propuestas al protocolo de medición del factor iluminación de la Superintendencia de Riesgos de Trabajo. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16.
- [5] UNE-EN 12464-1- Iluminación de los lugares de trabajo. Lugares de trabajo
- [4] Anexo IV – DN 351/79

VI. BIOGRAFÍAS

Valeria Paviglianiti, INAHE. CONICET- MENDOZA. Arquitecta. Becaria Doctoral.

Veronica Ruiz, INAHE. CONICET- MENDOZA. Arquitecta. Becaria Doctoral.

Roberto German Rodríguez, INAHE. CONICET- MENDOZA. Dr. en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente. Investigador Adjunto.

Andrea Elvira Pattini, INAHE. CONICET- MENDOZA. Dra. en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente. Investigador Principal.

Sesgos en la evaluación del espacio iluminado en términos de Luminosidad Espacial

Antonio SORUCO¹, Andrés MARTÍN²

¹ Instituto de Luz Ambiente y Visión (ILAV – UNT – CONICET) (sorucoantonio@gmail.com)

² Instituto de Luz Ambiente y Visión (ILAV – UNT – CONICET) UTN – Facultad Regional Tucumán (amartin@herrera.unt.edu.ar)

Resumen: Los avances tecnológicos cambiaron drásticamente la manera en la que utilizamos los espacios interiores, principalmente por la implementación de pantallas autoiluminadas. Esto generó un replanteo de la forma de diseñar y evaluar los sistemas de iluminación. Una idea sugerida, consiste en la caracterización del espacio iluminado como un todo; esto tiene aparejado, por un lado, la problemática de vincularla con mediciones físicas, y por otro, cómo cuantificar la percepción. Es aquí que planteamos un experimento para analizar posibles sesgos en la evaluación de un espacio iluminado, en términos de luminosidad espacial, utilizando diferentes escalas y condiciones de referencias.

Los resultados muestran que hay una relación lineal coherente entre la luminosidad espacial y el flujo luminoso; que las respuestas utilizando una escala de 7 puntos es más lineal comparada con las respuestas en una escala continua; que el rango de las escalas se aprovecha mejor cuando se utiliza algún tipo de anclaje de referencia; que cuando se utilizan como referencia las imágenes en un monitor las respuestas están sobrevaloradas en relación a cuando se utilizan escenas reales; que a pesar de estas diferencias, la tendencia general de las respuestas es muy similar.

Palabras claves: Diseño de iluminación, luminosidad espacial.

Abstract: Technological advances have drastically changed the way we use interior spaces, mainly due to the implementation of self-illuminated screens. This generated a rethinking of the way of designing and evaluating lighting systems. A suggested idea consists in the characterization of the illuminated space as a whole; this entails, on the one hand, the problem of linking it with physical measurements, and on the other, how to quantify visual perception. It is here that we propose an experiment to analyze possible biases in the evaluation of an illuminated space, in terms of spatial brightness, using different scales and reference conditions.

The results show that there is a consistent linear relationship between spatial luminosity and luminous flux; that responses using a 7-point scale are more linear compared to responses on a continuous scale; that the range of the scales is better exploited when some kind of reference anchor is used; that when images on a monitor are used as a reference, the answers are overestimated in relation to when real scenes are used; that despite these differences, the general trend of the answers is very similar.

Keywords: Illumination design, spatial brightness.

I. INTRODUCCIÓN

La evolución de la tecnología, cambió de manera radical la forma en la que se utilizan y se perciben los espacios iluminados, hábitos como el uso de pantallas auto luminosas en interiores, hace que sea importante no solo la luz en el plano de trabajo sino también la luz que hay en todo el ambiente. Esto trajo como consecuencia un replanteo en el diseño y evaluación de sistemas de iluminación. Cuttle [1,2] propone hacer esta evaluación en términos de luminosidad espacial, que es la luz presente en todo el espacio teniendo en cuenta la interacción de la luz con todas las superficies del espacio. Esto tuvo una gran aceptación [3], sin embargo existen desafíos que hasta el momento necesitan más resultados experimentales; por un lado están el desarrollo de nuevas métricas como el MRSE (Mean Room Surface Exitance), TAIR (Target Ambient Ratio) [3,4,5,6,7], los trabajos que analizan el desafío de implementar

estas métricas en ambientes reales [9,10], y por otro lado hay una gran necesidad de resultados experimentales que aporten mayor conocimiento en relación a percepción de luminosidad espacial; aquí es donde se enfoca nuestro trabajo, principalmente en el análisis de posibles sesgos que pueden existir como consecuencia de la metodología implementada en la experimentación psicofísica. Estos sesgos son ajenos al estímulo y a las métricas, y pueden tener una incidencia en el análisis de los resultados.

En este contexto, planteamos un experimento para analizar la existencia de posibles sesgos en la evaluación de un espacio iluminado en términos de luminosidad espacial, siguiendo recomendaciones propuestas por la CIE [11], utilizando diferentes escalas y distintas condiciones referencias.

II. METODOLOGÍA

El estímulo: Este experimento se llevó a cabo en la sala de simulaciones del ILAV, el cual simula ser una sala de estar Fig 1. Se configuraron 6 escenas, para la elección de los valores de los flujos luminosos se tomó como referencia la función de sensibilidad psicofísica y la disponibilidad de las fuentes en el mercado local, se eligieron lámparas LED con una temperatura de color correlacionada de 2700 K; los siguientes valores corresponden a los valores de flujo luminoso de las distintas escenas (450lm, 1650lm, 4400lm, 8100lm, 10800lm, 15000lm), el menor y el mayor de los valores corresponden al mínimo y máximo de referencia, estos fueron utilizados como anclajes de referencia y no fueron evaluados, por los observadores.



Fig 1. Laboratorio de simulación

Los observadores: Este experimento constó de 21 observadores entre 25 y 40 años de edad, los cuales tenían visión normal o con corrección y visión normal de color. Los observadores se separaron en 3 grupos de 7 observadores cada uno a los que se les pidió que evalúen el espacio en términos de luminosidad espacial con distintas condiciones, cada una de las 4 escenas fue evaluada en forma aleatoria, 5 veces cada una,

dando un total de 20 datos por observador. A continuación, se describen las condiciones experimentales de cada grupo.

Grupo 1 -Sin referencia-: los observadores evaluaron las escenas sin tener ninguna referencia de máximo ni mínimo.

Grupo 2 -referencia escena real-: las referencias de máximo y mínimo se mostraron, en el set experimental, al inicio del experimento y luego de 4 escenas evaluadas.

Grupo 3 - referencia el monitor- : para esto se calibró y se mostró en un monitor las escenas correspondientes al mínimo y máximo, aquí los observadores tenían todo el tiempo las imágenes en la pantalla. Fig. 2, 3. Las imágenes se tomaron utilizando una webcam Logitech C 920 y se mostraron en un monitor LG Flatron w19422S, siempre con las mismas condiciones de seteo.

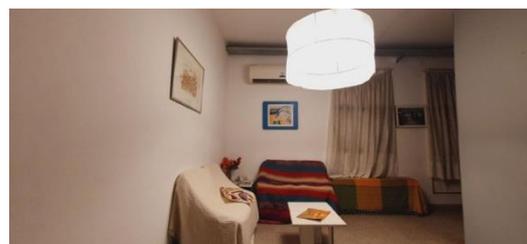


Fig 2. Imagen mínimo Referencia en monitor. / Imagen Máximo de Referencia en monitor.

Las escalas: En este experimento se utilizaron dos escalas, para todos los grupos de observadores, una continua desde mínimo a Máximo Fig 3 y una escala de Likert de 7 puntos Fig 4.



Fig. 3 Escala continua de luminosidad espacial



Fig. 4 Escala 7 puntos de luminosidad espacial

La Tarea: En todos los casos los observadores tenían la definición impresa de la luminosidad espacial propuesta por Fotios [12]: “La luminosidad espacial describe la sensación visual como consecuencia de la iluminación del ambiente, crea atmósferas y facilita tareas visuales fáciles como la circulación o la seguridad y la comunicación visual. La luminosidad espacial no está relacionada con el brillo de ningún objeto o superficie dentro del entorno, pero puede estar influenciada por el brillo de elementos individuales”; Es la luz devuelta por todas las superficies del espacio, no es la luz directa de la luminaria, ni de ningún objeto en el ambiente, es la luz presente en el espacio” ; se les pidió a los observadores evaluar las escenas iluminadas en término de luminosidad espacial utilizando las dos escalas propuestas, cada observador evaluó 4 veces cada una de las 5 escenas, dando un total de 20 evaluaciones por observador.

III. RESULTADOS

La Fig 5. muestra los promedios de las respuestas de los observadores para cada valor de flujo luminoso, utilizando la escala continua.

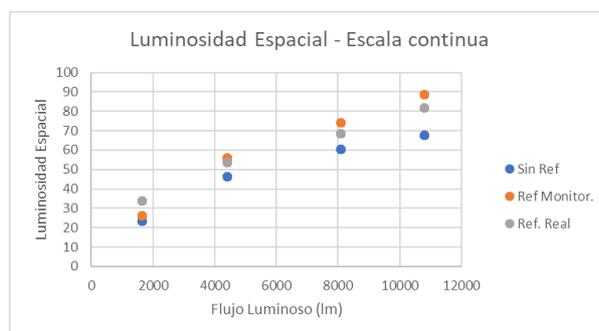


Fig 5. Luminosidad Espacial- Escala continua

Se puede ver que la percepción de luminosidad espacial incrementa de manera comprensiva con el aumento del flujo luminoso. Al utilizar algún tipo de referencia las respuestas tienen mayor amplitud en la escala perceptual de luminosidad espacial; Las evaluaciones utilizando como referencia el monitor están sobrevaloradas con respecto a cuándo se utilizan referencias reales, sin embargo, esta diferencia puede ser cuantificada y se podrían utilizar escenas en monitor utilizando un factor de corrección.

La Fig 6. Muestra las respuestas perceptuales de luminosidad espacial utilizando la escala de 7 puntos, donde 1 corresponde a “muy oscuro” y 7 a “muy claro”. Aquí también se puede ver como las respuestas aumentan con el incremento del flujo luminoso y como las evaluaciones están sobrevaloradas cuando se utilizan como referencia imágenes en el monitor.

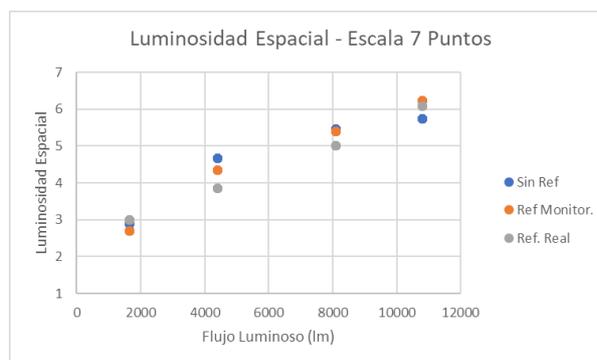


Fig 6. Luminosidad Espacial- Escala 7 Puntos

La figura 7 muestra los valores medios normalizados en función del flujo luminoso, se puede observar como las respuestas se ajustan mejor a una recta cuando existe algún tipo de referencia, cuando se utiliza como referencia el monitor se aprovecha mejor el rango, prácticamente no existe diferencia al utilizar una escala lineal o una escala de 7 puntos, la escala de 7 puntos es más lineal comparada con las respuestas en una escala continua, los anclajes de referencia ayudan a linealizar las respuestas perceptuales de los observadores

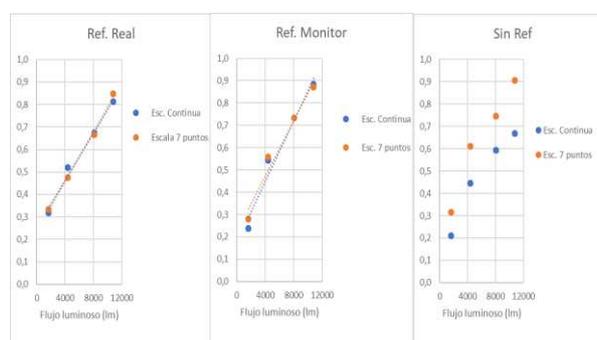


Fig 7. Luminosidad Espacial Distintas escalas y referencias.

IV. CONCLUSIONES

La luminosidad espacial aumenta de manera comprensiva con el incremento del flujo luminoso. La utilización de anclajes de referencia amplía el rango de las respuestas perceptuales y ayudan a linealizarlos. Las respuestas al utilizar imágenes en el monitor como anclajes de referencia están sobrevaloradas, con respecto a cuando se utilizan anclajes de referencias reales, al utilizar la escala de 7 puntos las respuestas son más lineales comparada con las respuestas utilizando una escala continua.

V. REFERENCIAS

- [1] C Cuttle MA, FCIBSE, FIESANZ, FIESNA, FSLL 16, McHardy Street, Havelock North 4130, New Zealand Received 5 December 2008; Revised 24 January 2009; Accepted 9 February 2009, Lighting Res. Technol. 2010; 42: 73–93 Towards the third stage of the lighting profession
- [2] C Cuttle MA FCIBSE FIESANZ FIESNA FSLL Havelock North, New Zealand Received 8 July 2012; Revised 20 August 2012; Accepted 3 November 2012 Lighting Res. Technol. 2013; 45: 22–39 . A new direction for general lighting practice
- [3] The Society of Light and Lighting Part of the Chartered Institution of Building Services Engineers Volume 3 , Issue 1 , Jan/Feb 2010 <https://www.cibse.org/getmedia/f39fa0e6-253f-4db2-88d9-e434da9651d6/2010-01-Jan-Feb.pdf.aspx>
- [4] Duff J and Kelly K. A new approach to interior lighting design: Early stage research in Ireland. Journal of Sustainable Engineering Design: 2014. Vol. 1: Iss. 4. pp. 13-19.
- [5] Duff J. Research Note: On the magnitude of error in a formula to calculate mean room surface exitance. Lighting Research and Technology. In Press.
- [6] Duff J, Antonutto G and Torres S. On the calculation of mean room surface exitance. Lighting Research and Technology. First published 1 July, 2015, doi:10.1177/1477153515593579.

- [7] Duff J, Cuttle C and Kelly K. Perceived adequacy of illumination, spatial brightness, horizontal illuminance and mean room surface exitance in a small office. *Lighting Research and Technology*. First published 2 September, 2015, doi:10.1177/1477153515599189
- [8] Duff J, Cuttle C and Kelly K. Spatial brightness, perceived adequacy of illumination, horizontal illuminance and mean room surface exitance in non uniform light scenes. *Lighting Research and Technology*.
- [9] Room lighting in the absence of a defined visual task and the impact of mean room surface exitance P Raynham MSc, CEng Institute for Environmental Design and Engineering, University College London, London, UK Received 28 August 2014; Revised 30 October 2014; Accepted 3 November 2014
- [10] . Calculation and measurement of mean room surface exitance: The accuracy evaluation Q Dai PhD a,b , Y Huang BEng a , L Hao PhD a,b and W Cai BArch a a College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai, China b Key Laboratory of Ecology and Energy-Saving Study of Dense Habitat, Tongji University, Ministry of Education, Shanghai, China Received 28 April 2018; Revised 14 June 2018; Accepted 19 June 2018 *Lighting Res. Technol.* 2018; 0: 1–13
- [11] A Fotios & KW Houser (2009) *Research Methods to Avoid Bias in Categorical Ratings of Brightness*, CIE 212:2014 ISBN 978-3-902842-51-0 LEUKOS, 5:3, 167-181, DOI: 10.1582/LEUKOS.2008.05.03.002
- [12] Steve Fotios PhD & Deniz Atli (2012) *Comparing Judgments of Visual Clarity and Spatial Brightness through an Analysis of Studies Using the Category Rating Procedure*, LEUKOS, 8:4, 261-281, DOI: 10.1582/LEUKOS.2012.08.04.002

VI. BIOGRAFÍAS



Esp. Dis Antonio Soruco: Egresado de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT, como Diseñador de Iluminación y Especialista en medio ambiente visual e iluminación eficiente, actualmente se encuentra desarrollando la Tesis “Modelo de Apariencia Visual del Espacio Iluminado”.



Dr. Andres Martin: Egresado de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNT como Licenciado en Filosofía, se especializó en Epistemología y Teoría del Conocimiento, lo que lo llevó a investigar en el modo que se adquiere y codifica la información sensorial. Con esta idea realizó su Doctorado en el Departamento de Luminotecnia de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT (2010) en el tema de la percepción del movimiento, captado y procesado por el sistema visual humano. A partir de sus estudios doctorales y luego de su ingreso a la carrera del Investigador en el CONICET (2012), se interesó en estudiar la percepción del color junto a la metodología psicofísica y estadística necesarias para su abordaje científico. Sus temas de investigación se focalizan actualmente en la percepción del color, el uso de los modelos mixtos para modelar los datos psicofísicos y las aplicaciones de los conocimientos luminotécnicos al crecimiento de plantas.



Análisis subjetivo del ambiente iluminado de los espacios educativos de la Facultad de Ingeniería UNaM

Maika Evelyn NESTOR¹ - María de los R. MATTIVI² - Marcos Aurelio MATTIVI³ - Daniel Hugo PREZ⁴

¹ Facultad de Ingeniería – UNaM – Oberá, Misiones, Argentina, maikaevelyn99@gmail.com,

² Departamento de Física – Facultad de Ingeniería – UnaM - Oberá, Misiones, Argentina, mrmattivi@gmail.com

³ Departamento de Licenciatura en Higiene y Seguridad en el Trabajo – Facultad de Ingeniería – UNaM - Oberá, Misiones, Argentina – mmattivi@yahoo.com.ar

⁴ Departamento de Licenciatura en Higiene y Seguridad en el Trabajo – Facultad de Ingeniería – UNaM - Oberá, Misiones, Argentina – danielhprez@gmail.com

Resumen: El experimento se realizó para analizar los espacios educativos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones luego que el sistema de iluminación de los mismos fue reconvertido a la nueva tecnología LED. Participaron de la experiencia 18 observadores y se analizaron cinco aulas completaron las evaluaciones subjetivas mediante un cuestionario de diferenciales semánticos en los que evaluó las características del ambiente iluminado. Los resultados obtenidos muestran que se identificaron aulas que la iluminación LED, presenta una valoración neutra a muy buena en las características evaluadas.

Abstract: The experiment was carried out to analyze the educational spaces of the Faculty of Engineering of the National University of Misiones after their lighting system was converted to the new LED technology. 18 observers participated in the experience and five classrooms were analyzed, completing the subjective evaluations through a questionnaire of semantic differentials in which the characteristics of the illuminated environment were evaluated. The results obtained show that classrooms were identified where LED lighting presents a neutral to very good assessment in the evaluated characteristics.

Palabras claves: Evaluación subjetiva – Iluminación interior - Aulassd

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la evolución de la vida, el hombre se ha adaptado a la luz natural, desarrollando sus actividades bajo un espectro de radiación luminosa continuo, ajustando y sincronizando su fisiología interna a este espectro de radiación. Con el desarrollo de fuentes luminosas artificiales y con una sociedad que se vuelve más urbana, las personas pasan más horas bajo la influencia de iluminación artificial. Los avances tecnológicos también se dan en los sistemas de iluminación, con el desarrollo de las luminarias utilizando nuevas tecnologías, en especial la tecnología de estado sólido (LED). Las luminarias y lámparas LED presenta muy buena eficiencia energética y larga vida útil, además de estar libres de mercurio, entre otros y son el reemplazo de la tecnología tradicional de los sistemas de iluminación. En los ámbitos educativos, en donde el consumo energético debido a la iluminación representa más del 50 %, el remplazo de la tecnología tradicional en sistemas de iluminación (lámparas fluorescentes) por los tubos LED son una manera rápida y relativamente económica de adecuarse a las nuevas tendencias. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la eficiencia energética implica optimizar el uso de energía sin sacrificar niveles de desarrollo, ni reducir estándares de calidad de vida. Esto implica que los sistemas de iluminación adecuados a las nuevas tecnologías deben seguir cumpliendo con los parámetros de diseño que rigen en la normativa vigente. En los ámbitos laborales, se debe cumplir con los requisitos de nivel de iluminancia y uniformidad requeridos por la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo N° 19.587 y su Decreto Reglamentario N° 351/79.[1]

En el Plan de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional de Misiones PDI UNaM 2018 – 2026 una de las líneas de acción es Desarrollar un Plan Integral de Gestión Ambiental dentro del Eje Estratégico: Desarrollo Sustentable, en donde uno de sus objetivos es El manejo integrado de energía. [2]

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones (FI UNaM) se propone un plan de reducción del consumo energético y entre las acciones realizadas se encuentra la adecuación de los sistemas de iluminación a la nueva tecnología. Esto se llevó a cabo adecuando los artefactos del sistema de iluminación, que utilizaban tubos fluorescente para el uso de con tubos led.

En este trabajo presentamos los resultados de la valoración subjetiva del ambiente iluminado de las aulas de la FI UNaM, luego de cambio del cambio a tecnología LED.

II. METODOLOGÍA

Para evaluar el espacio iluminado de las aulas de la FI UNaM se seleccionaron espacios educativos tipos de la FI UNaM según las características constructivas y sistemas de iluminación utilizados. Participaron de las evaluaciones subjetivas 15 observadores cuyas valoraciones se registraron en un cuestionario semántico. También se registraron los valores de iluminancia E (lx) sobre el plano de trabajo.

El desarrollo de cada factor de la investigación se describe a continuación.

A. Aspectos constructivos y sistema de iluminación de las aulas

a) Aulas seleccionadas

Se seleccionaron cinco espacios educativos (aulas) de la FI UNaM, las cuales son utilizadas para el desarrollo de clases tanto teóricas como prácticas. Dentro de las especificaciones consideradas para esta selección se considero dimensiones de los espacios, el tipo de artefactos de iluminación instalados y distribución del sistema de iluminación.

En la TABLA I se presentan los tamaños de las mismas y la mediciones fueron tomadas como se detalla en la Fig 1.

Tabla I. Dimensiones de las aulas analizadas.

Aula	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Altura (m)	Relación Largo/Ancho
B2	14	8	114,4	2,9	1,8
B4	11,8	8,2	96,8	2,9	1,4
B5	8,6	7,5	64,5	2,9	1,1
D1	11	8,1	89,1	3,2	1,4
D3	11,9	8,2	91,1	3,1	1,5



Fig 1: Esquema de las aulas FI-UNaM

b) Tipos de Artefactos y Sistemas de Iluminación

En las cinco aulas los sistemas de iluminación fueron reconvertido a tecnología LED. En esta reconversion se mantuvo el numero de luminarias, adecuando la conexión eléctrica de maner que cada artefacto contenga dos tubos LED. Las fuentes de luces utilizadas son tubos LED 16 IW T8.

En cuanto a la distribución de las luminarias se identificaron dos configuraciones generales.

Distribución Tipo I: las luminarias se encuentran suspendidas y la distribución es lineal y perpendicular al pizarron. Los artefactos cuentan con louver rectos. Este sistema de iluminación se encuentran en aulas B2,B4 y B5.

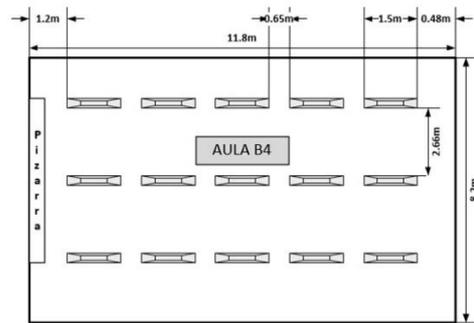


Fig 2: Distribución de las luminarias en las aulas B2, B4 y B5



Fig 3: Imagen del aula B4 de la FIUNaM

Distribución Tipo II: las luminarias están embutidas en el cielorraso y se distribuye uniformemente. Los artefactos cuentan con louvers doble parabolóicos. Este sistema de iluminación se encuentra en aulas D1 y D3.

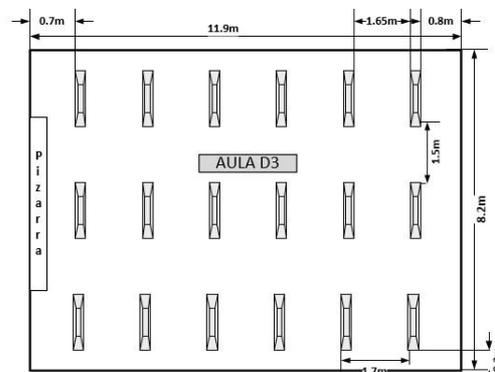


Fig 4: Distribución de las luminarias en las aulas D1 y D3



Fig 5: Imagen del aula D3 de la FIUNaM

Em: Iluminancia medida. Er: iluminancia requerida por normativa.

B. Análisis Subjetivo

Las evaluaciones subjetivas se realizaron con un grupo de 15 estudiantes y 3 profesores que evaluaron los cinco espacios educativos. Todos los observadores realizaron la evaluación en situ y al mismo tiempo. Las valoraciones se registraron a través de un cuestionario con diferenciales semánticos de 5 pasos. Para las evaluaciones subjetivas se utilizó el relizado por Castila Cabanes para la evaluación de la iluminación artificial en espacios docentes [xx]

El cuestionario tenía 4 secciones principales, con sub-secciones donde se presentaban adjetivos y sinónimos a calificar, con una escala calificativa de A a E, siendo: A=Totalmente en desacuerdo, B=En desacuerdo, C=Neutro, D=De acuerdo y E=Totalmente de acuerdo. Las cuestiones propuestas fueron:

- ¿Cuál es su opinión acerca del ambiente luminoso del aula?
 - Adecuado
 - Sorprendente
 - Claro/Nítido
 - Intenso
 - Animado/Colorido
 - Uniforme
 - Cálido
 - Me gusta

- ¿Cuál es su opinión acerca del ambiente luminoso del aula?
 - *En términos generales me parece Bien Iluminada*
 - *En términos generales me parece Adecuada para clases de Teoría*
 - *En términos generales me parece Adecuada para clases de Práctica*
 - *En términos generales me parece con la Cantidad de Luz correcta.*
 - ¿Cuál es su opinión acerca del ambiente luminoso del aula?

- ¿Cuál es tu opinión acerca de cómo está iluminada el aula?
 - El techo está bien iluminado
 - Las paredes están bien iluminadas
 - El suelo está bien iluminado
 - La zona de trabajo está bien iluminada
 - La pizarra está bien iluminada
 - Los objetos está bien iluminados
 - El rostro está bien iluminado
 - Los colores está bien iluminados
 - Las personas está bien iluminadas
 - Tengo sensación de confort visual.

- ¿En terminos generales, me parece la iluminacion del aula adecuada para..?
 - Leer
 - Escribir
 - Dibujar
 - Preguntar al profesor
 - Atender la pizarra
 - Ver el proyector
 - Repasar los apuntes
 - Dialogar
 - Trabajar con ordenador
 - Corregir.

Todos los cuestionarios se presentaron y respondieron en horarios nocturnos, para evaluar precisamente la percepción de los sujetos frente a la iluminación artificial existente.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del relevamiento fotometrico se pudo ver que solamente el aula D3 con 500 lx cumple con los niveles de iluminación solicitado por la normativa, en el resto de las aulas los valores de E varian en alrededor de un 60 porciento del valor requerido. En cuanto a la uniformidad de la iluminación, todas las aulas cumplen con lo solicitado por la normativa.

Una vez recolectadas las respuestas al formulario, del cual se obtuvieron 75 respuestas en total, siendo 5 aulas, y 15 respuestas cada una de ellas. Para analizarlos de manera objetiva, se realizaron ciertas consideraciones. En primer lugar, a los valores de respuesta, se le asignaron valores numéricos para así obtener valores promedio, los cuales fueron:

- A=Totalmente en desacuerdo→1
- B=En desacuerdo→2
- C=Neutro→3
- D=De acuerdo→4
- E=Totalmente de acuerdo→5

Seguidamente, se obtuvo una media aritmética para cada característica evaluada, considerando la frecuencia de respuesta que presentó cada uno de ellos por medio de la siguiente expresión.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i * x_i}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

Siendo:

- f_i =frecuencia de la clase considerada.
- x_i =valor medio de clase o en este caso valor asignado a la categoría de respuesta.

Una vez obtenido este valor medio de cada una de los factores de percepción analizados, se confeccionaron los graficos detallados en las siguientes figuras.

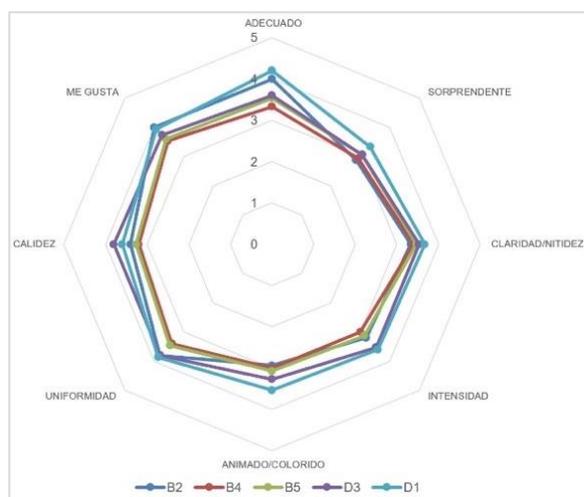


Fig 6: Valoración ambiente iluminado de las aulas de la FIUNaM

Se observa en la Fig 6 que el aula D1 fue la que tuvo mejor valoración en todos los atributos, y que hubo valoraciones en el rango de 1-2 (Totalmente en desacuerdo – en desacuerdo)

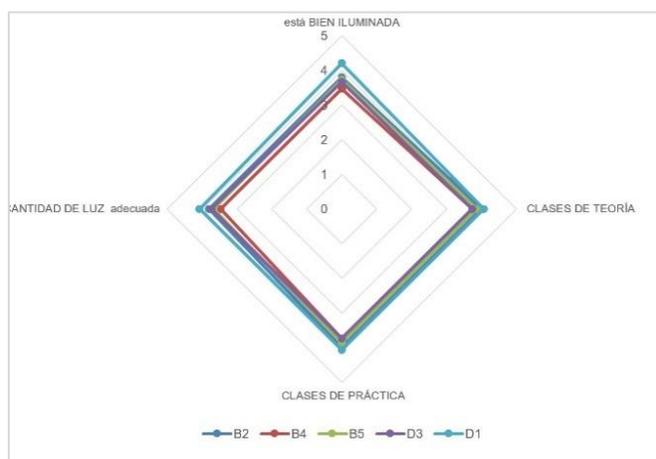


Fig 7: Valoración sobre ambiente iluminado sobre actividades de la FIUNaM

Se observa en la Fig 7 que el aula D1 fue la que tuvo mejor valoración en todos los atributos, a pesar de el nivel de iluminancia E es de 318 lx, por de debajo del valor del aula D3 de 500 lx.

Por otro lado los rangos de valoración para los atributos se dan en valores altos de la escala.

También se encontró que no hay diferencias sustanciales entre la iluminación para el dictado de clase teoricas o prácticas.

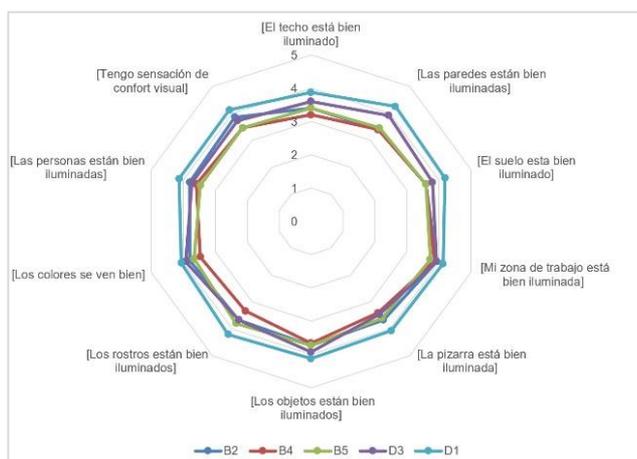


Fig 8: Valoración de los elementos en ambiente iluminado en las aulas de la FIUNaM

Se observa en la Fig 8 que el aula D1 y D3 fue la que tuvo mejor valoración en todos los atributos, y que hubo valoraciones en el rango de 1-2 (Totalmente en desacuerdo – en desacuerdo). Analizando en particular la iluminación del cielorraso, se ve que las aulas D1 y D3 son las que tienen la luminaria embutida lo que permite que el cielorraso este mas iluminado.

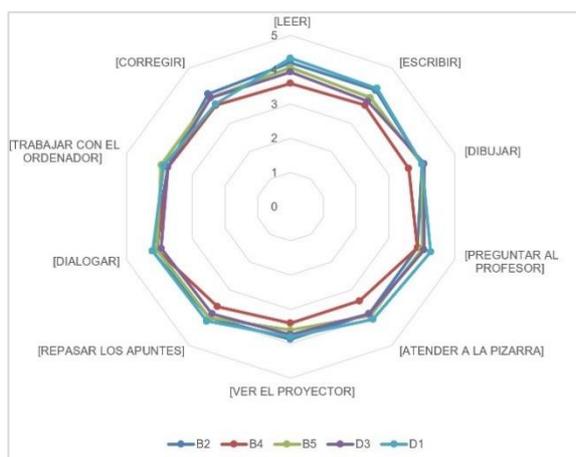


Fig 9: Valoración de las actividades en ambiente iluminado en las aulas de la FIUNaM

Se observa en la Fig 9 que el aula D4 fue la que tuvo menor valoración en todos los atributos.

En base a los valores obtenidos de esta clasificación, se procedió como paso siguiente a identificar y contabilizar cuáles espacios presentaban la “mejor” y la “peor” puntuación en cada factor, es decir, se contabilizaron cuántas veces un aula se encontraba como mejor y peor puntuada en cada característica evaluada, obteniendo los siguientes resultados, recordando que se contemplaron 32 en los cuestionarios subjetivos.

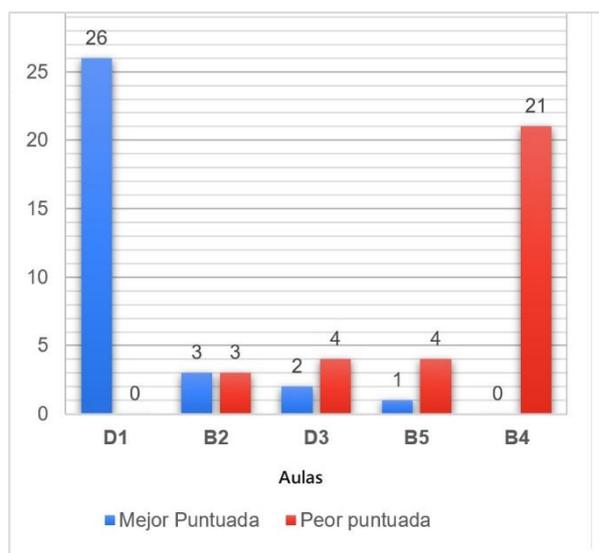


Fig 10: Valoración total de las aulas.

A partir de este se puede observar que en general el aula D1 presenta un considerable percepción positiva dentro de los factores evaluados para los encuestados, al contrario del aula B4 que se encuentra en mayor medida como la menos positiva.

IV. CONCLUSIONES

Con la realización de la experiencia se deduce como perciben los alumnos las aulas de la FI-UNaM y cuales son sus preferencias con respecto a la iluminación.

Se pudo identificar un aula donde fue valorada como la mejor y una como la peor.

Queda como línea de trabajo analizar la influencia de la morfología de las aulas en las evaluaciones de los observadores.

V. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Misiones, proyecto de investigación 16/I1156-PI Iluminación en espacios educativos. Estudio de Caso en la FI UNaM., por el apoyo en la realización de este trabajo.

VI. REFERENCIAS

- [1] Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo N° 19.587 - Decreto Reglamentario N° 351/79 <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/15000-19999/17612/norma.htm>. Visitado 02/05/2022
- [2] UNaM (2018) Plan de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional de Misiones PDI UNaM 2018 – 2026. https://www.unam.edu.ar/images/documentos/planificacion/pdi_unam_2018_2026.pdf García E. (2009).
- [3] Castilla Cabañes, N. (2015). Iluminación artificial en los espacios docentes. Tesis doctoral. Universidad Politecnica de Valencia.

VII. BIOGRAFÍAS



Maika Evelyn Nestor estudiante 5to. Año de la Carrera de Ingeniería Industrial. Adscripta Alumna de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones. Becaria del CIN en el Proyecto 16/I1156-PI. Coordinadora de Gestión de Eventos, Asociación Argentina de Estudiantes de Ingeniería Industrial y Carreras Afines 2022



María de los Rosarios Mattivi. Ingeniera Electromecánica. Dra. en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente. Profesora Titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones. Y desarrolla actividades de investigación en el área de percepción de la iluminación y eficiencia energética.



Marcos Aurelio Mattivi, Ingeniero Electricista y Especialista en Higiene y Seguridad. Docente Adjunto de carrera Licenciatura en Higiene y Seguridad em el Trabajo la Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Misiones. Auditor IRAM de SGC. Asesor en Higiene y Seguridad em el Trabajo a diferentes empresas. Asesor de Riesgos Grupo Sancor Seguros.



Daniel Hugo Prez. Ingeniero Mecánico y de Especialista en Higiene y Seguridad en el Trabajo otorgado por la Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Misiones. Se desempeña en la actualidad como asesor en Higiene y Seguridad en el Trabajo en diferentes empresas del medio. Es docente de la carrera Licenciatura en Higiene y Seguridad en el Trabajo – Facultad de Ingeniería U.Na.M.



Similitudes y diferencias en la percepción visual de personas de diferentes edades sobre la iluminación interior doméstica

Jesús OBANDO ^{1,2}, Andrés MARTÍN ^{1,2,3}, Graciela TONELLO ¹, Carlos KIRSCHBAUM ^{1,2}

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

Resumen: El objetivo de este trabajo es conocer las preferencias de las personas por diferentes tipos de iluminación interior doméstica.

Una sala de estar fue diseñada y montada a escala real para realizar evaluaciones subjetivas. Se evaluaron veinticuatro ambientes creados a partir de 8 tecnologías: Incandescente tradicional (2700 K), Incandescente Halógena (2700 K), Fluorescente Compacta cálida (2700 K) y fría (6500 K), LED cálida (3000 K) y fría (6500 K) e imitación LED cálida (3000 K) y fría (7500 K). Para cada tipo de lámpara se obtuvieron tres condiciones de iluminación denominadas: baja, media y alta.

La metodología empleada para obtener las respuestas de los observadores fue mediante un cuestionario de diferencias semánticas en los que se evaluaron tres dimensiones perceptuales de la iluminación: "Percepción de color", "Nivel de iluminación" y "Apariencia del espacio".

Los resultados corresponden a treinta jóvenes y treinta adultos mayores. Los análisis estadísticos mostraron que la apariencia visual del espacio se ve modificada bajo distintas condiciones de iluminación. Se encontró que factores como el nivel de iluminación, el color de la luz, la edad y el género tienen efecto en las valoraciones sobre la apreciación del espacio iluminado, para los dos grupos etarios.

Palabras claves: percepción visual, preferencia, iluminación interior, grupos etarios.

Abstract: The objective of this work is to find out people's preferences for different types of domestic interior lighting.

A living room was designed and set up at full scale for subjective evaluations. Twenty-four environments created from 8 technologies were evaluated: traditional incandescent (2700 K), incandescent halogen (2700 K), warm (2700 K) and cool (6500 K) compact fluorescent, warm (3000 K) and cool (6500 K) LED, and warm (3000 K) and cool (7500 K) imitation LED. For each type of lamp, three lighting conditions were obtained: low, medium and high.

The methodology used to obtain the responses of the observers was through a questionnaire of semantic differentials in which three perceptual dimensions of lighting were evaluated: "Perception of color", "Illumination level" and "Appearance of space".

The results correspond to thirty young people and thirty older adults. Statistical analyses showed that the visual appearance of space is modified under different lighting conditions. Factors such as illumination level, light color, age and gender were found to have an effect on the ratings of the appreciation of the illuminated space for both age groups.

Key words: visual perception, preference, interior lighting, age groups.

I. INTRODUCCIÓN

La luz impacta en la calidad de vida de las personas de diferentes maneras. Sus efectos pueden ser fisiológicos, psicológicos y biológicos. La luz no solo permite a las personas ver y realizar sus actividades diarias. Puede ser usada como un medio para crear atmósferas en espacios que pueden influir en el estado de ánimo, las emociones, el comportamiento, la impresión espacial y la preferencia [1, 2, 3, 4]. Además, puede impactar el reloj biológico

humano regulando múltiples funciones del cuerpo como los patrones de sueño, el rendimiento cognitivo, el estado de ánimo, el bienestar y la liberación y producción de hormonas [5, 6].

Actualmente, los avances científicos sobre los efectos de la luz en el ser humano y los desarrollos tecnológicos en fuentes de iluminación están cambiando el mundo del diseño de iluminación [7].

A partir de esta situación compleja descrita, sobre los efectos de la luz en las personas, surge el interés del presente trabajo de investigación. Cuyo objetivo es determinar las preferencias de los usuarios de diferentes grupos etarios ante las diversas alternativas tecnológicas en iluminación residencial interior.

II. METODOLOGÍA

Para poder determinar la preferencia de los observadores, se simuló una sala de estar a escala real. El sistema de iluminación diseñado permitió obtener diferentes condiciones de iluminación (TABLA I). Mientras que las valoraciones de los observadores se recogieron a través de un cuestionario de diferenciales semánticos. Más detalles sobre la metodología utilizada se pueden observar en [8]

TABLA I. Condiciones de iluminación

Tipo de lámpara	Condición de iluminación	Cantidad de lámparas		Eh (punto a 80 cm)	Flujo luminoso de luminaria (lm)	Temperatura de color (K)	TCC (K)	CRI
		Equivalentes a 60 W	Equivalentes a 75 W					
	Baja		-	236	964	2709	2700	99
	Media		-	357	1446			
	Alta		-	590	2410			
	Baja			242	1315	2765	2700	99
	Media	-		397	1892			
	Alta			630	3154			
	Baja		-	250	1112	2643	2700	81
	Media		-	369	1668			
	Alta		-	602	2780			
	Baja		-	235	1112	6277	6500	83
	Media		-	350	1668			
	Alta		-	580	2780			
	Baja	-		252	934	2950	3000	81
	Media		-	359	1426			
	Alta			610	2360			
	Baja	-		232	934	6130	6500	83
	Media		-	372	1426			
	Alta			600	2360			
	Baja		-	215	1562	2945	3000	79
	Media		-	357	1953			
	Alta		-	569	3124			
	Baja		-	234	1562	7589	7500	85
	Media		-	389	1953			
	Alta		-	614	3124			

Se muestra las lámparas estudiadas, la condición de iluminación con la cantidad de lámparas para obtener cada una de ellas. La iluminancia horizontal (Eh), el flujo luminoso, la temperatura de color medida, temperatura de color correlacionada (CCT) y el índice de reproducción cromático (CRI).

III. RESULTADOS

Los resultados corresponden a sesenta personas. Treinta jóvenes (18 mujeres y 12 varones); con edades comprendidas entre 18 y 32 años. Y treinta adultos mayores (16 mujeres y 14 varones); con edades comprendidas entre 53 y 74 años.

A continuación, se presentan algunos resultados a modo de ejemplo sobre los efectos de la edad (TABLA II), similitud de condiciones de iluminación y efecto del género para adultos (TABLA III) y efecto de la temperatura de color (TABLA IV).

IV. DISCUSIÓN

-Efectos de la edad

Los análisis estadísticos de los resultados mostraron que la condición de iluminación tiene un efecto significativo en las valoraciones de los dos grupos etarios. Por lo tanto, la percepción visual se ve afectada por el nivel de iluminación. El aumento de la valoración al aumentar el nivel de iluminación, era un resultado esperable, debido a que al aumentar la iluminación las personas tienden a percibir mejor los colores y el espacio. Niveles de iluminación altos generaron un ambiente más claro, agradable, colorido, amplio y estimulante para ambos grupos. Pero, los resultados referidos a los jóvenes sugieren que, a partir de la condición de iluminación media, los incrementos en la valoración subjetiva son menores. Mientras que, en el caso de los adultos mayores se aprecia una tendencia a seguir incrementando la valoración al aumentar el nivel de iluminación.

Los análisis también mostraron que la edad de la persona tiene efecto en las valoraciones. Los adultos mayores tienden a necesitar más luz que los jóvenes para una adecuada percepción del ambiente.

-Similitud de condiciones de iluminación y efecto del género

A partir de los análisis realizados se puede observar nuevamente que los jóvenes y adultos mayores perciben la iluminación de manera diferente. El test de Tukey permitió observar cómo percibieron las diferentes condiciones de iluminación ambos grupos etarios. Es interesante observar en la TABLA III que las respuestas en las que las condiciones de iluminación se percibieron todas diferentes se agrupan en las categorías "Percepción del color" y "Nivel de Iluminación" tanto para jóvenes como para adultos. Categorías que hacen referencia a tareas visuales de discriminación del color y cantidad de luz. Es importante destacar que para la categoría "Apariencia del espacio" los adultos tienden a tener mayor cantidad de respuestas que los jóvenes. Lo que indicaría que son mejores discriminando los ambientes creados.

Del análisis sobre diferencias significativas de género, se encontró mayor cantidad de diferencias significativas para adultos que para jóvenes. Para ambos grupos etarios, las mujeres tienden a tener valoraciones más altas que los hombres.

TABLA II. Lámparas con diferencias significativas en las valoraciones entre grupos etarios

CATEGORÍA	PREGUNTAS	Incandescente			LED Fría			Incandescence LED cálida			Incandescence LED fría		
		p	Coefficiente Modelo	%	p	Coefficiente Modelo	%	p	Coefficiente Modelo	%	p	Coefficiente Modelo	%
Percepción del color	1. Los colores de la pintura se ven: <i>Muy mal - Muy bien</i>	0,15	-	-	0,07	-	-	0,00	-0,59	-8	0,00	-0,51	-7
	2. Los colores de la pintura son: <i>Muy débiles - Muy intensos</i>	0,11	-	-	0,20	-	-	0,47	-	-	0,11	-	-
	3. Los colores del sofá son: <i>Muy débiles - Muy intensos</i>	0,60	-	-	0,41	-	-	0,02	-0,38	-5	0,03	-0,40	-6
Nivel de iluminación	4. En la superficie de la mesa es: <i>Muy bajo - Muy alto</i>	0,02	-0,34	-5	0,00	0,77	11	0,38	-	-	0,89	-	-
	5. En la pintura es: <i>Muy bajo - Muy alto</i>	0,03	-0,39	-6	0,21	-	-	0,18	-	-	0,01	-0,43	-6
Apariencia del espacio	6. <i>Muy oscuro - Muy claro</i>	0,00	-0,60	-9	0,04	0,32	5	0,06	-	-	0,00	-0,42	-6
	7. <i>Muy desagradable - Muy agradable</i>	0,12	-	-	0,04	-0,41	-6	0,00	-0,66	-9	0,00	-0,66	-9
	8. <i>Muy descolorido - Muy colorido</i>	0,00	-0,49	-7	0,13	-	-	0,00	-0,68	-10	0,00	-0,67	-10
	9. <i>Muy estrecho - Muy amplio</i>	0,02	-0,34	-5	0,00	0,61	9	0,15	-	-	0,01	-0,42	-6
	10. <i>Muy aburrido - Muy estimulante</i>	0,00	-1,13	-16	0,72	-	-	0,00	-0,54	-8	0,00	-1,04	-15
	11. <i>Muy Frío - Muy cálido</i>	0,56	-	-	0,04	-0,42	-6	0,17	-	-	0,48	-	-

En rojo se muestran los valores de $p < 0,05$ para las respuestas en las que se encontró diferencias significativas entre grupos etarios. Para esos casos, se muestra el coeficiente del modelo lineal ajustado, el cual representa la diferencia promedio de respuesta de los participantes jóvenes, en comparación de los adultos mayores, teniendo en cuenta todas las condiciones de iluminación.

TABLA III. Similitud de condiciones de iluminación y diferencias significativas de género (adultos mayores)

CATEGORÍA	PREGUNTAS	Incandescente			Incandescente Halógena			Florescente compacta cálida			Florescente compacta fría		
		p	Coef.	%	p	Coef.	%	p	Coef.	%	p	Coef.	%
ADULTOS MAYORES	1. Los colores de la pintura se ven: <i>Muy mal - Muy bien</i>	0,12	-	-	0,12	-	-	0,79	-	-	0,51	-	-
	2. Los colores de la pintura son: <i>Muy débiles - Muy intensos</i>	0,32	-	-	0,05	0,42	6	0,16	-	-	0,53	-	-
	3. Los colores del sofá son: <i>Muy débiles - Muy intensos</i>	0,04	0,47	6,71	0,28	-	-	0,91	-	-	0,34	-	-
Nivel de iluminación	4. En la superficie de la mesa es: <i>Muy bajo - Muy alto</i>	0,60	-	-	0,14	-	-	0,14	-	-	0,67	-	-
	5. En la pintura es: <i>Muy bajo - Muy alto</i>	0,01	0,80	11	0,09	-	-	0,84	-	-	0,54	-	-
Apariencia del espacio	6. <i>Muy oscuro - Muy claro</i>	0,15	-	-	0,74	-	-	0,17	-	-	0,66	-	-
	7. <i>Muy desagradable - Muy agradable</i>	0,21	-	-	0,47	-	-	0,69	-	-	0,36	-	-
	8. <i>Muy descolorido - Muy colorido</i>	0,00	0,51	7	0,92	-	-	0,92	-	-	0,40	-	-
	9. <i>Muy estrecho - Muy amplio</i>	0,03	0,42	6	0,00	0,87	12	0,01	-0,51	-7	0,04	-0,56	-8
	10. <i>Muy aburrido - Muy estimulante</i>	0,00	0,69	10	0,19	-	-	0,02	-0,56	-8	0,67	-	-
	11. <i>Muy Frío - Muy cálido</i>	0,79	-	-	0,19	-	-	0,38	-	-	0,89	-	-

PERCEPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE ILUMINACIÓN

Todas similares	Todas diferentes	Alta similar a Media	Media similar a Baja	Alta similar a Media y Media similar a Baja
-----------------	------------------	----------------------	----------------------	---

Se muestra la similitud entre condiciones de iluminación a partir del test de Tukey ($p < 0,05$), en diferentes colores. Además, se muestran los valores en rojo de $p < 0,05$ para las respuestas en las que se encontró diferencias significativas entre género. Para esos casos, se muestra el coeficiente del modelo lineal ajustado, el cual representan la diferencia promedio de respuesta de las participantes mujeres, en comparación de los hombres, teniendo en cuenta todas las condiciones de iluminación.

TABLA IV. Diferencia promedio de valoración entre lámparas cálidas y frías para jóvenes y adultos mayores

CATEGORÍA	PREGUNTAS	LEDc vs iLEDf			iLEDc vs iLEDf			FCc vs FCf		
		p	Coeficiente Modelo	%	p	Coeficiente Modelo	%	p	Coeficiente Modelo	%
Percepción del color	1. Los colores de la pintura se ven: <i>Muy mal - Muy bien</i>	0,00	-0,56	-8	0,71	-	-	0,43	-	-
	2. Los colores de la pintura son: <i>Muy débiles - Muy intensos</i>	0,00	-0,69	-10	0,40	-	-	0,53	-	-
	3. Los colores del sofá son: <i>Muy débiles - Muy intensos</i>	0,00	-0,54	-8	0,01	-0,32	-5	0,17	-	-
Nivel de iluminación	4. En la superficie de la mesa es: <i>Muy bajo - Muy alto</i>	0,20	-	-	0,60	-	-	0,07	-	-
	5. En la pintura es: <i>Muy bajo - Muy alto</i>	0,75	-	-	0,38	-	-	0,88	-	-
Apariencia del espacio	6. <i>Muy oscuro - Muy claro</i>	0,15	-	-	0,07	-	-	0,00	0,38	5
	7. <i>Muy desagradable - Muy agradable</i>	0,00	-0,77	-11	0,00	-0,54	-8	0,00	-0,55	-8
	8. <i>Muy descolorido - Muy colorido</i>	0,00	-0,75	-11	0,00	-0,39	-6	0,62	-	-
	9. <i>Muy estrecho - Muy amplio</i>	0,00	-0,51	-7	0,00	0,41	6	0,04	0,24	3
	10. <i>Muy aburrido - Muy estimulante</i>	0,00	-0,86	-12	0,10	-	-	0,01	-0,41	-6
	11. <i>Muy Frío - Muy cálido</i>	0,00	-1,74	-25	0,00	-1,73	-25	0,00	-1,72	-25

En rojo se muestran los valores de $p < 0,05$ para las respuestas en las que se encontró diferencias significativas entre lámparas cálidas y frías. Para esos casos, se muestra el coeficiente del modelo lineal ajustado, el cual representan la diferencia promedio de respuesta entre las lámparas cálidas y frías, teniendo en cuenta todas las condiciones de iluminación. Un valor negativo representa que los participantes valoran la LEDf con valoraciones más bajas que con la LEDc. Un valor positivo representa lo contrario.

-Efecto de la temperatura de color

Si bien se vieron ciertas diferencias en las valoraciones de los grupos etarios, cuando evaluaron la categoría "Percepción del Color", solo para el grupo de las lámparas LEDs resultaron todas significativas, con mayores valoraciones para las lámparas cálidas que frías, para apreciar los colores de la pintura y del sofá. Para los otros dos grupos comparativos de lámparas (iLEDc vs iLEDf y FCc vs FCf) no pareció influir el color de la luz en las evaluaciones. Para estos grupos parecería que el nivel de iluminación juega un papel fundamental pero no el color de la luz. Esto podría deberse a que las preguntas a esta categoría estaban relacionadas a tareas visuales específicas en las que lo importante es poder apreciar bien colores de objetos.

Respecto a la categoría "Nivel de Iluminación", ningún grupo presentó diferencias significativas. La temperatura de color parece no influir en la evaluación subjetiva de las personas. Esto era un resultado esperable ya que las preguntas están relacionadas a la tarea específica de identificar cantidad de luz.

Un resultado destacado es que las mayores diferencias significativas se dan cuando los observadores evalúan la categoría “Apariencia del espacio”. Esto muestra la importancia del ambiente creado por los diferentes tipos lámparas y la sensación que las mismas producen en las personas. Los resultados de estas repuestas demostraron que el color de la luz tiene un efecto directo en las valoraciones de jóvenes y adultos mayores.

En resumen, se puede afirmar que la temperatura de color es un factor que influye a la hora de evaluar la apariencia del espacio iluminado. Tanto jóvenes como adultos mayores prefieren lámparas de color de luz cálidas (2700 K o 3000 K) como las proporcionadas por las LEDc, iLEDc e FCc para crear un ambiente más claro, agradable, colorido, amplio, estimulante y cálido.

V. CONCLUSIONES

Los análisis de los resultados mostraron que la apariencia visual de los participantes se ve modificada bajo distintas condiciones de iluminación. Se encontró que factores como el nivel de iluminación, el color de la luz, la edad y el género tienen efecto en las valoraciones sobre la apreciación del espacio iluminado, para los dos grupos etarios estudiados. En cuanto a la cantidad de luz, altos niveles de iluminación son preferidos, tanto por jóvenes como por adultos mayores. Aunque los adultos mayores tienden a necesitar más luz que los jóvenes, para tener una similar percepción del espacio iluminado. Respecto al color de la luz, tanto jóvenes como adultos mayores prefieren lámparas con luz cálida para crear un ambiente más claro, agradable, colorido, amplio, estimulante y cálido. Además, el género influye en la percepción del espacio iluminado. Hombres y mujeres adultos perciben el ambiente de manera diferente. Las mujeres tienden a tener valoraciones más altas que los hombres.

VI. RECONOCIMIENTOS

Este trabajo es parte del proyecto PIUNT E-638 “Ambientes Sustentables: evaluación y valoración de ambientes interiores y exteriores para promover salud y bienestar”.

VII. REFERENCIAS

- [1] Flynn (1992). Lighting-design decisions as interventions in human visual space. *Environmental Aesthetics*, 156–170. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511571213.018>
- [2] Knez (1995). Effects of indoor lighting on mood and cognition. *Journal of Environmental Psychology*, 15(1), 39–51. [https://doi.org/10.1016/0272-4944\(95\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0272-4944(95)90013-6)
- [3] Veitch & McColl (2001). A critical examination of perceptual and cognitive effects attributed to full-spectrum fluorescent lighting. *Ergonomics*, 44(3), 255–279. <https://doi.org/10.1080/00140130121241>
- [4] Vogels. (2008). Atmosphere Metrics: a tool to quantify perceived atmosphere. *International Symposium Creating an Atmosphere*, January 2008.
- [5] Dancey et al. (2005). Melanopsin-expressing ganglion cells in primate retina signal colour and irradiance and project to the LGN. *Nature*, 433(7027), 749–754. <https://doi.org/10.1038/nature03387>
- [6] Do & Yau (2013). Adaptation to steady light by intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(18), 7470–7475. <https://doi.org/10.1073/pnas.1304039110>
- [7] Kelly, K.; Boyce, P.; Cuttle, K.; and Raynham, P. (2020). The ambient lighting manifesto. *Light Lines*, 13(5), 5–7.
- [8] Obando, Martín y Kirschbaum (2018). Comparación de preferencias de iluminación interior residencial entre jóvenes y adultos mayores. *XIV Congreso Panamericano de Iluminación – Luxamérica 2018*, 96-103.

VIII. BIOGRAFÍAS

Jesús Obando, Arquitecto (FAU-UNT). Especialista MAVILE (FACET-UNT), Tesista Doctoral DLYV-ILAV.

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

Graciela Tonello, Psicóloga (UNT). Investigadora Independiente CONICET. Profesora UNT.

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



Proyecto de iluminación, Unidad de Tuberculosis en Hospital Público de San Salvador de Jujuy

Carla Lorena SOSA¹

¹Hospital San Roque, San Salvador de Jujuy. Idcarlasosa@gmail.com

Resumen: Se propone un diseño de iluminación innovador en un área infectocontagiosa de un hospital público de la provincia de Jujuy, dentro del marco de la normativa vigente en Argentina

Abstract: An innovative lighting design is proposed in an infectious and contagious area of a public hospital in the province of Jujuy, within the framework of current regulations in Argentina.

Palabras claves: Iluminación hospitalaria, Tuberculosis, iluminación dinámica, desinfección mediante radiación UVC.

I. INTRODUCCIÓN

El hospital San Roque es un centro de salud público de tercer nivel, situado en la ciudad de San Salvador de Jujuy, Jujuy. Argentina. En el mismo surge la necesidad de realizar un reordenamiento de espacios, destinados a distintos servicios, por este motivo para la unidad de tuberculosis se destina un espacio dentro de las instalaciones del nosocomio para así reunir todas las áreas asistenciales en el mismo espacio físico. Por lo tanto, nace el proyecto propuesta de iluminación para la unidad de tuberculosis.

La tuberculosis es una enfermedad infectocontagiosa. La bacteria Bacilo Koch es la encargada de producir la enfermedad. La probabilidad de transmisión depende de la infectividad del paciente (mientras más bacilos se expelen, mayor riesgo), los factores ambientales que favorecen a la concentración de los bacilos son lugares cerrados, pequeños, ventilación inadecuada, exposición (a mayor cercanía y tiempo de contacto, mayor es el riesgo) y la susceptibilidad del huésped (estado nutricional y estado inmunológico).

Es importante señalar que es un proyecto a ejecutar. La distribución propuesta es:

- Sala de Espera para consultorios
- Consultorios (2)
- Admisión de Pacientes
- Sanitarios Personal y Pacientes dentro del área Semirrestringida (2)
- Oficinas administrativas (2)
- Vacunatorio para PPD
- Sala de internación

La arquitectura del espacio puede sufrir modificaciones, pero no modificaciones fundamentales en la propuesta de iluminación, que será reacondicionada a las modificaciones manteniendo los mismos conceptos luminotécnicos.

La unidad de tuberculosis se encarga de detección, seguimiento y tratamiento de la persona infectada, con sus respectivos contactos estrechos, hasta finalizar con el alta del paciente.

Los pacientes que ingresan a los consultorios, pueden identificarse como:

- Casos Sospechosos.
- Bacteriológicamente confirmados.
- Clínicamente diagnosticados.

Por este motivo se consideró la radiación UVC como complemento de desinfección de los puestos de trabajo en consultorios. Realizando los cálculos correspondientes a la dosis necesaria para eliminar la mayor cantidad de poblaciones de la bacteria Bacilo de Koch. Para las lámparas destinadas a la desinfección mediante radiación UVC se consideró encendidos controlados por asistentes virtuales (interruptores inteligentes).

Los pacientes críticos tienen un tiempo prolongado de internación y aislamiento, la iluminación natural es un factor importante en la orientación temporal de los pacientes, pero es una problemática para la edificación destinada a la unidad. La misma se encuentra entre construcciones de mayor altura donde el ingreso de luz natural es limitado. Para complementar la iluminación natural dinámica, se proponen para las habitaciones artefactos inteligentes para simular el dinamismo de la luz natural.

El diseño de iluminación de todos los espacios está desarrollado según normativa vigente. Norma IRAM AADL j 2006 y ley de seguridad e higiene laboral LEY N° 19587/72.

II. OBJETIVO PRINCIPAL

- Que el personal de salud pueda realizar sus tareas en condiciones óptimas de iluminación.
- Los ambientes laborales, mantengan la asepsia necesaria para el tipo de patología que se trata.
- La iluminación pensada en el paciente hospitalizado, mantiene el dinamismo de la iluminación natural.
- El buen uso de la energía, nos permitirá un ahorro económico significativo sin perder calidad en el diseño.

III. METODOLOGÍA

Para realizar el diseño de iluminación de cada espacio se llevó a cabo una serie de pasos que permitieron analizar el espacio a iluminar.

Se realizó:

- Entrevistas al personal de salud para así conocer, específicamente las tareas visuales que desarrollan en el servicio, con sus respectivos horarios laborales.
- Recolección de planos correspondiente al espacio a iluminar, información sobre las reflectancias que corresponden a los materiales que serán utilizados en la construcción.
- Evaluación de disponibilidad de artefactos de iluminación en el mercado local
- Simulaciones de los espacios a iluminar con los respectivos cálculos obtenidos por el Software Dialux.EVO. Tanto para los niveles de iluminancia en los puestos de trabajo y accesos, como para el cálculo de la irradiancia para conocer la dosis necesaria para desinfección mediante radiación UVC.

IV. CONCLUSIONES

En este proyecto de iluminación se consideró la totalidad de nuestro sistema visual, considerando los efectos visuales, tanto para el cumplimiento de las tareas específicas, como los efectos no visuales (ciclo circadiano).

V. RECONOCIMIENTOS

Dir. Médica Hospital San Roque Dra. Ana María Carabajal.

Dir. Administrativa Hospital San Roque CPN Mariela Dib.

Hospital San Roque Dr. Marco Murquite.

Hospital San Roque Dra. Ana Otero.

Hospital San Roque. Ing. Biomédica Verónica Menichetti.

VI. REFERENCIAS

- [1] Guías de diagnóstico, tratamiento y prevención de la tuberculosis Hospital Muñiz- Instituto Vaccarezza.
- [2] Guía práctica para el diagnóstico y tratamiento de las personas con TB en el primer nivel de atención. Ministerio de salud y desarrollo social. Argentina.
- [3] Elorriaga, Tonello (2019). Importancia de la luz natural en unidades de cuidado intensivos.
- [4] Pattini. Recomendaciones de niveles de iluminación en edificios no residenciales una comparación internacional.
- [5] IRAM AADL J 2006
- [6] Ley 19587/72 Higiene y seguridad.
- [7] Garrido. Factores de diseño de iluminación que intervienen en el estímulo circadiano en oficinas.

VII. BIOGRAFÍAS



Carla Sosa.

Diseñadora de iluminación.

LUZ 2022 XV Jornadas Argentinas de Luminotecnia

Ciencia y Tecnología de la luz al servicio del ser humano y del medio ambiente

- Avances tecnológicos en iluminación
- Diseño de luminarias
- Mediciones de la luz y la radiación
- Fotometría y colorimetría
- Educación en iluminación y formación profesional

LUZ, INDUSTRIA Y ACADEMIA



ASOCIACIÓN
ARGENTINA
DE LUMINOTECNIA

Iluminación y satisfacción de los usuarios de un Taller de Escuela Técnica

Sergio Daniel LAZARTE¹ - Romina Natalia VELA DÉCIMA²- Rodolfo Marcelo VENCHIARUTTI³

^{1, 2, 3} Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán San Miguel de Tucumán - Tucumán - Argentina

Resumen: El trabajo se presentó para aprobar la asignatura Psicología Ambiental de la carrera Diseño de Iluminación de la Universidad Nacional de Tucumán. El objetivo fue identificar el grado de satisfacción de los usuarios respecto al nivel de iluminación en los bancos de trabajo, en el Taller de Carpintería de una Escuela Técnica de Tucumán.

La metodología consistió en que los usuarios –la mayoría estudiantes adolescentes– respondan encuestas escritas mientras trabajaban con madera sobre los bancos, durante tres días en noviembre de 2021. El cuestionario consistió en preguntas cerradas sobre la percepción del nivel de iluminación en el plano de trabajo, preferencias, visibilidad de detalles de la madera, y la presencia de sombras y brillos molestos.

El estudio evaluó tres condiciones de iluminación: sólo luz natural, luz natural con baja iluminación artificial y luz natural con alta iluminación artificial. En cada caso se midió la iluminancia horizontal sobre el plano de trabajo, y estos valores fueron asociados con las respuestas subjetivas. Los resultados muestran registros de niveles de iluminación por debajo de la iluminancia mínima recomendada para un Taller de Carpintería. Esto se correlaciona con el análisis de las preferencias que indicó el deseo de más luz natural y mayor iluminación artificial para trabajar con la madera.

Palabras claves: satisfacción, iluminancia, carpintería

Abstract: This paper was presented in order to pass the subject Environmental Psychology of the Lighting Design career at Universidad Nacional de Tucumán. The objective was to identify users' satisfaction related to the level of lighting in the workbenches of the Woodshop of a Technical School in Tucumán.

Concerning the methodology, the users –mostly adolescent students– had to completed surveys working with wood on benches, during three days in November 2021. The questionnaire consisted of closed questions about the perception of the lighting level in the workplane, preferences, visibility of wood details, and the presence of disturbing shadows and brightness.

The study evaluated three lighting conditions: natural light only, natural light with low artificial lighting, and natural light with high artificial lighting. In each case, the horizontal illuminance on the workplane was measured, and these values were associated with the subjective responses. The results show records of lighting levels below the minimum recommended illuminance for a Woodshop. This correlates with the preference analysis that indicated a desire for more natural light and higher artificial illumination when working with wood.

Keywords: satisfaction, illuminance, woodshop

I. INTRODUCCIÓN

A. Problema

En un establecimiento educativo es fundamental tener una buena iluminación en los distintos espacios. En particular, una escuela secundaria técnica debe tener buenos niveles de iluminación en sus talleres.

Para este trabajo se eligió la Escuela Técnica N°2 Obispo Colombres, ubicada en Av. Sáenz Peña 350 de la ciudad de San Miguel de Tucumán. Consideramos un sector del Taller de Carpintería y sus bancos de trabajo para analizar la satisfacción de los usuarios al realizar tareas con herramientas manuales sobre las piezas de madera.

El sector seleccionado del Taller tiene 9 luminarias galponeras colgantes ubicadas a 5 m de altura respecto al piso, de las cuales estaban en funcionamiento 8 de esas luminarias y 1 quemada sin funcionar. Las características de las 8 lámparas se describen en la tabla I.

TABLA I: Características de las lámparas

Marca	MACROLED
Tipo	Bulbón
Tensión	200-240 V _{CA}
Potencia	40 W
Temperatura de color	Blanco frío 6500 K
Flujo luminoso	3600 lm
Índice de rendimiento cromático	≥80 Ra

En los talleres escolares “la iluminación deberá ser la adecuada para la tarea a realizar, de composición espectral tal que permita observar y reproducir los colores en la medida que sea necesario y teniendo en cuenta: el mínimo tamaño a percibir, la reflexión, el contraste, el movimiento y no provocar deslumbramiento” (Dirección de Infraestructura Escolar de la Provincia de Buenos Aires, 2008, p. 1).

Según la norma IRAM-AADL J 20-06 en una Carpintería se necesitan, como mínimo, 100 lux de iluminación general y 300 lux en la zona de bancos.

II. METODOLOGÍA

A. Participantes

Participaron estudiantes de la Escuela Técnica N°2 Obispo Colombres, con edades de 12 a 16 años, quienes usan los bancos del Taller de Carpintería, aunque pertenecen a distintos cursos. Además, nos incluimos en la muestra quienes fuimos a encuestar, consiguiendo 21 encuestas contestadas en total.

La edad de los estudiantes se muestra en la tabla II.

TABLA II. Rasgos de los participantes

Edad	Mujer	Varón	Total
10-19 años	1	18	19
20-29 años	0	0	0
30-39 años	0	1	1
40-49 años	0	1	1
			21



Fig. 1: Cada estudiante trabaja la madera con herramientas manuales. La fotografía se tomó dirigida hacia el Este

B. Procedimiento

Las encuestas se realizaron en tres días: martes 23, miércoles 24 y jueves 25 de noviembre de 2021 (en la estación de primavera). Se encuestó a los estudiantes presentes en el momento, mientras realizaban tareas con alguna pieza de madera sobre tres bancos octogonales y un banco rectangular. Cada encuesta fue respondida en 15 minutos.

Cada día se realizó la encuesta en tres situaciones de iluminación diferentes: con luz natural solamente, luz natural con poca iluminación artificial y luz natural con mucha iluminación artificial. En cada caso se midió los niveles de iluminancia [lux] sobre cada banco de trabajo, mientras los estudiantes realizaban sus tareas, para considerar también posibles sombras que se produzcan sobre los bancos. Para las mediciones de iluminancia empleamos el luxímetro digital UNI-T UT383S.

Los niveles de iluminación medidos sobre los bancos de trabajo, a 85 cm de altura respecto al piso, se detallan en la tabla IV.

El aporte de luz natural estuvo influido por los factores meteorológicos y estos datos se detallan en la tabla III.

TABLA III. Datos meteorológicos

Día	Hora	Tiempo	Temperatura	Nubosidad	Humedad
23/11	9:00	Ligeras precipitaciones	23°C	68%	76%
24/11	8:00	Soleado	26°C	20%	63%
25/11	8:45	Soleado	25°C	19%	50%

C. Material empleado

Las encuestas consistían en 28 preguntas sobre una escala de cinco opciones. Las preguntas estaban relacionadas con la percepción del nivel de iluminación en un sector del Taller de Carpintería, la preferencia sobre la iluminación general del Taller, la visualización de detalles de la madera, la presencia de sombras y brillos molestos, y el deseo de aumentar o disminuir la cantidad de luz al trabajar la pieza de madera.

III. RESULTADOS

La cantidad de encuestados se distribuyó de la siguiente manera: 8 el martes, 8 el miércoles y 5 el jueves.

En la tabla IV se muestran los niveles de iluminancia de cada día, teniendo en cuenta que el aporte de luz natural se midió estando apagadas todas las luminarias del techo, luz natural con poca iluminación artificial se midió con 5 luminarias encendidas y luz natural con mucha iluminación artificial se midió con 8 luminarias encendidas.

TABLA IV. Niveles de iluminancia sobre el plano de trabajo [lux]

Situación	Martes		Miércoles		Jueves	
Luz natural	35	50	48	68	100	120
Luz natural + poca luz artificial	50	95	93	111	126	159
Luz natural + mucha luz artificial	105	120	143	151	153	193

Por cada situación de iluminación diaria se consideran dos niveles de iluminancia: el valor mínimo y el valor máximo medidos en los bancos. No se incluyeron los valores intermedios.

Se puede notar que los valores de iluminancia del día jueves son los más altos en todos los casos. Esto se debe a que fue el día soleado con menos nubosidad y por ende con mayor aporte de luz natural al sector de Taller de Carpintería.

El martes fue el día con los valores más bajos de iluminancia, ya que al llover durante esa mañana, fue muy poco el aporte de luz natural sobre los bancos de trabajo.

Se presentan a continuación las preguntas de la encuesta y un comentario de sus respuestas:

¿Cómo percibes el nivel de iluminación del Taller?

El miércoles se percibió con más claridad la iluminación del Taller, probablemente porque la encuesta se realizó más temprano (a las 8:00 h) y el sol de las ventanas del Este al amanecer alumbró directo, aunque no fue el día con el mayor nivel de iluminancia.

¿Cómo percibes el nivel de iluminación del banco de trabajo?

El miércoles es el día que se percibieron con más claridad los bancos de trabajo. El resultado es similar tanto en los adolescentes como en los adultos.

¿Cuál es tu deseo de aumentar la cantidad de luz?

¿Cuál es tu deseo de disminuir la cantidad de luz?

El martes el deseo de aumentar la iluminación que predominó fue *mucho*, el miércoles y el jueves fue *poco*. Esto se podría deber a que el martes fue el día con los valores más bajos de iluminancia, al ser día lluvioso.

En cuanto al deseo de disminuir la cantidad de iluminación, prácticamente se repite para los tres días y es *nada*. Con esta respuesta se comprueba que menores valores de iluminación casi nadie los aceptaría. El resultado es similar tanto en los adolescentes como en los adultos.

¿Percibes sombras que molestan al trabajar con la madera?

¿Ves partes brillosas al trabajar con la madera?

En cuanto a las molestias percibidas al trabajar con la madera, los resultados muestran que en ambos casos, para sombras y brillos, el miércoles fue el día con una respuesta predominante de *poca* molestia. Quizás se deba a que es el día que más temprano se hizo la encuesta y la entrada de luz natural es más directa por las aberturas de la pared Este.

¿Qué iluminación prefieres en el Taller?

TABLA V. Preferencias de iluminación en el Taller

Día	Iluminación natural	Iluminación natural + poca iluminación artificial	Iluminación natural + mucha iluminación artificial
martes	0%	0%	100%
miércoles	50%	25%	25%
jueves	20%	0%	80%

Según los resultados, el martes la preferencia fue por luz natural con mucha iluminación artificial, el miércoles por luz natural y el jueves por luz natural con mucha iluminación artificial.

IV. DISCUSIÓN

La Psicología Ambiental tiene como objetivo “contribuir con recomendaciones de tiempo de exposición, niveles y distribución espectral de fuentes de luz que resulten eficientes energéticamente y biológicamente activas” (Tonello, 2015).

En este trabajo, 21 usuarios de un Taller escolar de Carpintería respondieron una encuesta acerca de la percepción y preferencias de iluminación sobre su banco de trabajo.

Los resultados muestran que los encuestados prefirieron la combinación luz natural con mucha iluminación artificial. Lo cual es coherente con el registro fotométrico efectuado en el lugar, que muestra niveles de iluminación de 193 lux como máximo, muy por debajo de lo recomendado por normas (300 lux) sobre cada banco de trabajo.

En base a los resultados obtenidos de las mediciones objetivas (niveles de iluminancia) y subjetivas (percepción y preferencias), se necesita mejorar/aumentar los niveles de iluminación en el sector seleccionado del Taller de Carpintería para que los usuarios puedan tener una mayor satisfacción con la iluminación ambiental.

El estudio se llevó a cabo en tres días con distintas características meteorológicas y eso contribuyó para obtener un panorama de la influencia de los factores ambientales sobre la percepción de la iluminación: un día lluvioso y dos días soleados y, también, en tres horarios matutinos distintos.

Una limitación del estudio fue el bajo número de respondientes, al tratarse de muestras independientes (diferentes grupos cada día), y con sesgo de sexo (la mayoría varones).

V. CONCLUSIONES

El objetivo fue identificar el grado de satisfacción de los usuarios respecto al nivel de iluminación en los bancos de trabajo, en el Taller de Carpintería de la Escuela Técnica N°2 Obispos Colombres de Tucumán.

Luego de hacer mediciones del nivel de iluminancia sobre los bancos de trabajo para tres situaciones de iluminación, realizar las encuestas a los usuarios mientras trabajaban la madera y correlacionar los datos obtenidos, llegamos a la conclusión de que para este Taller de Carpintería fueron preferidos, en general, niveles de iluminación más altos que los registrados (el máximo de 193 lux) y percibidos, y se prefirió la combinación luz natural con mucha iluminación artificial.

VI. RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a la Dra. Psic. Graciela Lucía Tonello por su constante guía en la elaboración de este trabajo de Psicología Ambiental del 3° año de la carrera Diseño de Iluminación.

Agradecemos al Lic. Rubén Brandán, Jefe de Taller de la Escuela Técnica N°2 Obispo Colombres, por su predisposición y la apertura del Taller para hacer las encuestas y mediciones.

Agradecemos a la Cátedra de Idioma Inglés de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán por su asesoramiento en la traducción del resumen.

VII. REFERENCIAS

- [1] Dirección Provincial de Infraestructura Escolar (2008). Programa GIRE. Gestión integral del riesgo en las escuelas. *Prevención de accidentes en talleres escolares*. Provincia de Buenos Aires. Extraído de http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/organismos/gire/acciones/doc/prevencion_de_accidentes_en_talleres.pdf (Consultado el 4/12/2021).
- [2] Higiene y Seguridad del Trabajo. Ley 19.587, Decreto 351/79, Anexo IV, Capítulo 12: Iluminación y color. *Tabla 2: Intensidad mínima de iluminación*.
- [3] Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Asociación Argentina de Luminotecnia (1972). *Iluminación artificial de interiores. Niveles de iluminación*. Norma IRAM-AADL J 20-06. Buenos Aires.
- [4] The Weather Channel. El Canal del Tiempo <https://weather.com/es-AR> (Consultado el 4/12/2021).
- [5] Tonello, G. (2015). *Los efectos de la luz en el comportamiento humano*. Extraído de <https://www.conicet.gov.ar> (Consultado el 4/12/2021).
- [6] UNI-T. *Manual de especificaciones*. Luxímetro digital modelo UT383S.

Discriminación Cromática y Rendimiento del Color en Pintura con iluminación LED

Denis Riquelme SANDOVAL¹ - Andrés MARTÍN²

¹ Departamento de Electrotecnia e Informática – Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), Viña del Mar, Chile – denis.riquelme@usm.cl

² Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV), CONICET-UNT, Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Tucumán, Argentina – amartin@herrera.unt.edu.ar

Resumen: El interés de esta investigación es estudiar la influencia del color en la evaluación subjetiva de los usuarios en tareas de alta exigencias. Se aborda la problemática de las lámparas LED en cuanto a su comportamiento cromático, específicamente en la calidad del color.

Actualmente para el cálculo del color del LED se utiliza el diagrama de cromaticidad CIE 1931, sin embargo, durante las últimas décadas se ha planteado que el índice de rendimiento del color es un parámetro que no necesariamente tiene correlación con la percepción e interpretación del color visual en objetos iluminados con fuentes de luz LED, por lo que han surgidos nuevos métodos estandarizados para la evaluación del color de fuentes de luz.

En este trabajo la preferencia del color de la iluminación se investigó en base a cuatro casos de estudios psicofísicos, se seleccionaron diferentes conjuntos de fuentes de luz experimental, tres de temperatura de color constantes y una de diferente temperatura de color para iluminar un objeto experimental, donde se pidió a los observadores que calificaran su preferencia de color hacia los objetos iluminados que se encontraban dentro de una cabina de luz.

Abstract: The interest of this research, is to study the influence of the color in the subjective evaluation the users in high exigency tasks. The problematic on LED lamps with respect to chromatic behaviour, specifically in quality of color, is addressed.

Currently, is used the CIE 1931 chromaticity diagram for the calculation the color of LED, nevertheless, during the last decades, it has been suggested that index of performance of color is a parameter that does not necessarily have correlation with the perception and interpretation of visual colour in iluminated objects with LED light sources, so it has been emerged new standardized methods for evaluation of colour at sources light.

In this work, the preference of colour at illumination, was investigated based four cases at psychophysicals studies, it has been selected different sets of experimental light sources, three of constant colour Temperature and one of different colour temperature for to iluminated an experimental object, where observers were asked to rate their colour preferences towards iluminated objects, that were inside a light booth.

Palabras claves: LED, Evaluación, Rendimiento de Color.

I. INTRODUCCIÓN

Las luminarias o lámparas LED han ganado un campo significativo en el mercado de la iluminación. Son elegidas principalmente por su menor consumo energético, pero no se consideran otros aspectos importantes como la radiación espectral y la reproducción cromática, características críticas de las luminarias LED.

El parámetro más habitualmente empleado para evaluar la calidad de la reproducción cromática de una fuente de luz es el índice de rendimiento del color (CRI) definido por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) en su publicación CIE 13.3:1995 “Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources”, pero se ha demostrado que presenta claras limitaciones, especialmente para fuentes de luz LED, dado que se ha probado que valores muy diferentes del CRI, obtenidos en mediciones de laboratorio, no se relacionan directamente con la valoraciones subjetivas obtenidas por observadores. (CIE13.3:1995, CIE 224:2017, IES TM-30-15, Smet, Ryckaert, Pointer, Deconinck, Hanselaer, 2012, Smet, Schanda, Whitehead, Luo, 2013). Por lo anterior en este estudio se utilizará el método de la IES (Illuminating Engineering Society) TM-30-15 para evaluar la reproducción cromática de las fuentes de luz, donde consideraremos el Índice de Fidelidad (Rf) que es la interpretación precisa

del color similar al CRI y el Índice de la Gama (Rg) que es la información promedio de la saturación de una fuente luminosa.

Se plantea la siguiente hipótesis “Los valores del índice de rendimiento del color de fuente de luz LED, obtenidos en mediciones de laboratorio, no se relacionan directamente con las valoraciones subjetivas obtenidas de los observadores”. Para evaluar la calidad del rendimiento del color, en distintos tipos de LED, se diseñó un experimento de cabinas de luz con distintos tipos de fuentes de luz LED en su interior. El observador se posicionará frente a estas cabinas y contestará una encuesta relacionada con su percepción visual

II. MÉTODO

La metodología para el desarrollo de la investigación es de tipo física y experimental. Por un lado, la caracterización subjetiva y cuantificación de la apreciación de la iluminación y por otro una forma de cálculo que incluye aspectos físicos de la lámpara, utilizando el método de la IES TM 30-15 para evaluar la reproducción cromática de las fuentes de luz (Fig.1).

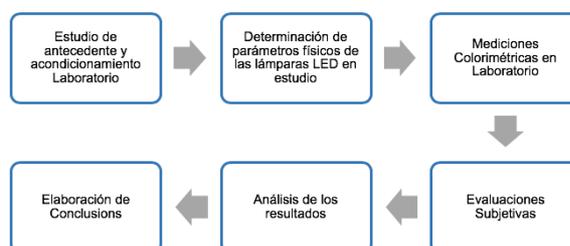


Fig.1: Metodología experimental.

A. Equipos y espacio de prueba

1. Equipos de iluminación

En el experimento se consideraron 4 tipos de fuentes de luz LED, en potencias similares.

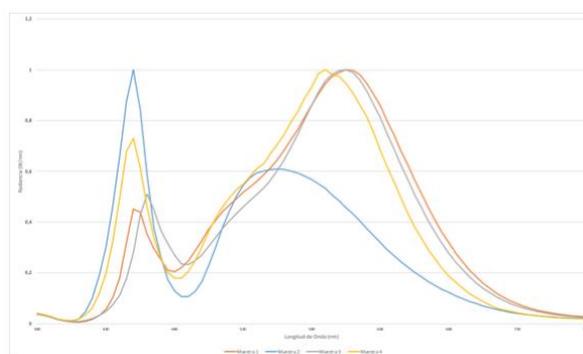


Figura 2 Espectro de las fuentes LED en estudio.

(Muestra 1: color naranja, Muestra 2: color azul, Muestra 3: color plomo y Muestra 4: color amarillo).

Tabla I: Tamaño y tipo de fuente

Muestra	Potencia Nominal (W)	Tcc (K)
1	5	3000
2	5	6000
3	7	3000
4	6	3000

2. Objetos de evaluación

Para la selección del o los objetos a evaluar por los observadores, se tuvieron las siguientes consideraciones: colorido, detalle y contorno. El objeto evaluado por los observadores es un conjunto de esferas de diferentes tonalidades (Fig. 2).



Fig.2: Pintura Santa catalina de Alejandria.

3. Lugar de medición

Las mediciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Luminotecnia, perteneciente al Departamento de Electrotecnia e Informática de la UTFSM, este espacio tiene una superficie de aproximadamente 35 m².

Se diseñó un experimento de tres cabinas de luz (altura 0,5 m, longitud 0,5 m y profundidad 0,5 m), con fuente LED y una fuente de espectro continuo (Fig. 3), el tipo de fuente de luz se detalla más adelante.

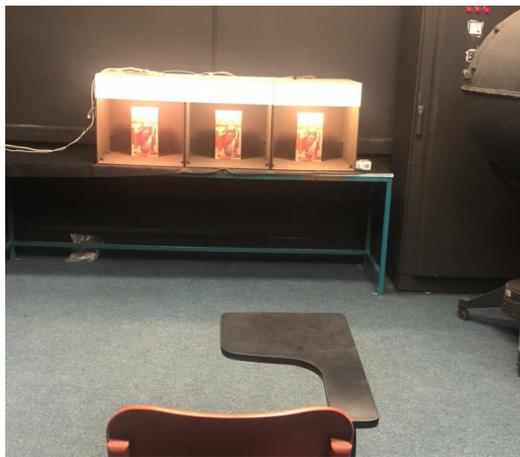


Fig.3: Lugar de mediciones Subjetivas.

4. Instrumentos

Los instrumentos utilizados para realizar las mediciones físicas de las fuentes LED son los siguientes:

- Esfera Integradora (2 metros de diámetro), marca Lisun Electronics.
- Espectroradiómetro, marca Lisun Electronics, modelo LMS-5000.
- Power Driver Tester, marca Lisun Electronics, modelo 2080.

- Fuente programable de voltaje alterno, marca ITECH.
- Luminanciómetro, marca LMT, modelo L1009.
- Luxómetro, marca HIOKI, modelo FT3425.

B. Condiciones de iluminación

Para cada una de las fuentes LED, se obtuvieron los valores Rf y Rg utilizando el método de la IES TM-30-15, con valores de Rf que varían de 68 a 85 y valores de Rg que varían de 92 a 95 (ver Tabla II). En la figura 4, se muestra el gráfico de vector de colores de cada fuente de luz en estudio. Como iluminante patrón se utilizó una ampollita incandescente.

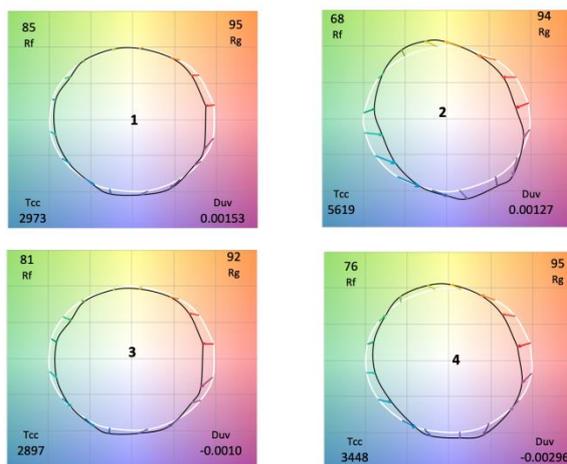


Fig.4: Gráfico Vectoriales de colores de cada fuente de luz en estudio (IES TM 30-15).

Una vez que los objetos a evaluar fueron incorporados en cada una de las cabinas de luces e iluminadas por cada fuente de luz, se obtuvieron los valores de luminancia e iluminancia de cada uno de ellos (ver Tabla 3 y 4).

Tabla II: Características colorimétricas de las 4 fuentes LED usadas en el experimento.

Muestra	LER	Tcc (K)	Duv	Ra	IES TM-30-15	
					Rf	Rg
1	322	2973	0,00153	84	85	95
2	319	5626	0,00127	72	68	94
3	324	2896	0,00110	81	81	92
4	338	3447	0,00296	77	76	95

Tabla III: Mediciones de iluminancia de las 4 fuentes LED usadas en el experimento.

Muestra	Iluminancia Horizontal (lux)	Iluminancia Vertical (lux)
1	1531	465
2	1568	472
3	2710	1038
4	1368	361

Tabla IV: Mediciones Luminancia a Pintura Santa catalina de Alejandria.

Superficie Medida	Luminancia (Cd/m ²)				
	Pintura Santa Catalina de Alejandria				
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Iuminante Patrón
1	42	38	95	35	43
2	31	30	73	30	29
3	53	44	84	41	52
4	108	97	198	93	106
5	119	149	248	112	131
6	38	31	44	67	48
7	42	48	69	47	45



Fig.5: Superficie medición de Luminancia.

C. Observadores

Las valorizaciones subjetivas de los observadores se recogieron a través de un cuestionario administrado a 30 observadores, 10 mujer y 20 hombres, con edades entre 18 a 69 años algunos con visión normal y otros con astigmatismo con sus respectivos lentes.

Las preguntas del cuestionario se detallan a continuación:

- i. Califique el colorido del cuadro según su percepción. (Esta pregunta apunta al Tono)
- ii. Califique qué cuadro es más agradable según su percepción. (Esta pregunta apunta al Brillo)
- iii. Califique en que cuadro se distinguen más los detalles según su percepción. (Esta pregunta apunta a la Saturación)

D. Diseño Experimental

Se consideraron dos escenas de iluminación, utilizando las tres cabinas de luz, en dos de ellas se instalaron en el centro de la cara superior una luminaria LED que se fue cambiando durante la escena en estudio y en la otra se instaló un iluminante patrón que se mantuvo constante durante las mediciones subjetivas. (ver Tabla 5)

Tabla V: Escenas de Iluminación.

Escenas	Cabina 1	Cabina 2	Cabina 3
1	Muestra 1	Iluminante patrón	Muestra 2
2	Muestra 3		Muestra 4

Cada observador se sentó frente a las cabinas de luz, a unos 2.50 metros, el punto de observación impidió que los observadores pudieran ver directamente la lámpara. La tarea del observador consistió en responder el cuestionario mientras observaba las tres cabinas iluminadas.

III. RESULTADOS

El análisis de los resultados se puede resumir en los siguientes puntos:

- i. Las respuestas perceptuales que se muestran en las figuras de los gráficos 6, 7 y 8, muestran una tendencia a escoger las pinturas que se encuentran en las cabinas iluminadas con fuentes LED al momento de responder el cuestionario. Si consideramos los parámetros de la Tabla 2, donde se muestran los valores obtenidos por el método IES TM-30-15, no existe una diferencia significativa del índice gama (Rg) que muestra la información sobre el promedio de saturación de las fuentes en estudio, en cambio si consideramos el índice de fidelidad (Rf) que es la interpretación precisa del color similar al CRI, podemos ver que existe una diferencia, pero que no es reflejada en la respuesta de los observadores.
- ii. Las respuestas perceptuales que se muestran en las figuras de los gráficos 9, 10 y 11, muestran una tendencia a escoger las pinturas que se encuentran en las cabinas iluminadas con las fuentes LED al momento de responder el cuestionario. Si consideramos los parámetros de la Tabla 2, donde se muestran los valores obtenidos por el método IES TM-30-15, no existe una diferencia del índice gama (Rg) y en el índice de fidelidad (Rf), pero es reflejada en la respuesta de los observadores.

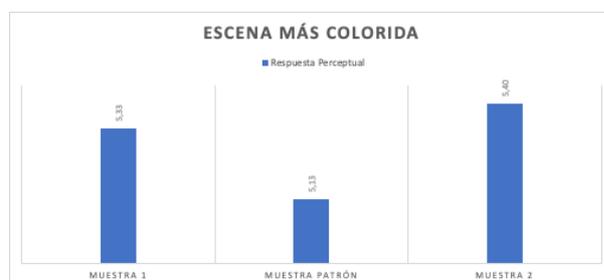


Figura 6. Respuesta perceptual de preferencia de cuadro más colorido.



Figura 7. Respuesta perceptual de preferencia de cuadro más agradable.



Figura 8. Respuesta perceptual del cuadro que se distingue los detalles.

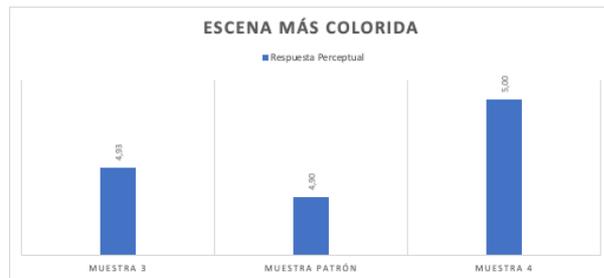


Figura 9. Respuesta perceptual de preferencia de cuadro más colorido.



Figura 10. Respuesta perceptual de preferencia de cuadro más agradable.



Figura 11. Respuesta perceptual del cuadro que se distingue los detalles.

IV. CONCLUSIONES

De los resultados expuestos en las figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11, parecen indicar cierta tendencia a preferir las escenas iluminadas con fuentes LED por encima de las iluminadas con fuentes incandescente.

Las mediciones que se presentan en este trabajo forman parte de una investigación que se encuentra en desarrollo, por lo que los resultados son preliminares.

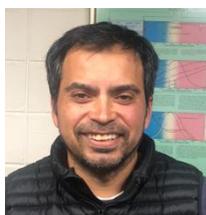
Es necesario poder mejorar la comprensión de la relación entre las medidas de reproducción del color calculadas a partir de datos espectrales y las respuestas de percepción humana.

Es necesario desarrollar una metodología de caracterización cromática de luminarias LED que permita establecer una relación entre la valorización entregada por los observadores y el índice del rendimiento del color de la fuente.

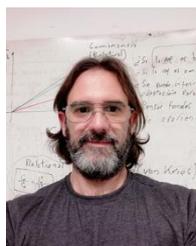
V. REFERENCIAS

- [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.
- [6] [ES TM-30-15, "Método de la IES para evaluar la Reproducción Cromática de las Fuentes de Luz". (2015).
- [7] [KAG Smet PhD, J Schanda PhD, L Whitehead PhD and RM Luo PhD, CRI2012: A proposal for updating the CIE colour rendering index. Received 29 October 2012; Revised 6 February 2013; Accepted 12 February 2013.
- [8] Kevin Smet, Wouter R. Ryckaert, Michael R. Pointer, Geert Deconinck, Peter Hanselaer1, Colour Appearance Rating of Familiar Real Objects, 19 February 2010.
- [9] [M Wei MSc, KW Houser PhD, A David PhD and MR Krames PhD, Perceptual responses to LED illumination with colour rendering indices of 85 and 97.
- [10] [R Dangol MSc, M Islam MSc, M Hyvärimn LiSc, P Busal DSc, M Piolakka DSc and L Halonen DSc. Subjective preferences and colour quality metrics of LED Light sources.
- [11] [MP Royer Phd, A. Wilkerson PhD, M Wei Phd, K Houser Phd and R Davis PhD, Human perceptions of colour rendition vary with average fidelity, average gamut, and gamut shape, 26 June 2016.
- [12] [MP Royer PhD, M Wei PhD, A Wilkerson PhD and S Safranek MS, Experimental validation of colour rendition specification criteria based on ANSI/IES TM-30-18, 07 May 2019.

VI. BIOGRAFÍAS



Denis 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.



Dr. Andrés Martín. Investigador del CONICET en el Instituto de Luz Ambiente y Visión (ILAV-UNT-CONICET) y como profesor de Ingeniería y Sociedad en la UNT. Áreas de interés en investigación: Percepción del color, el uso de los modelos mixtos para modelar los datos psicofísicos y las aplicaciones de los conocimientos luminotécnicos al crecimiento de plantas.

Patrones de luminancia y calibración de luminancímetros en el INTI

Alberto ZINZALLARI¹, Juan BABARO², Gustavo BOGGIO MARZET¹, Claudio BONANNO¹, Leonel JAZWINSKI¹, Adrián MANTELLINI¹, Eduardo SCATENA¹, Eduardo YASAN¹

^{1,2} Instituto Nacional de Tecnología Industrial – ²jbabaro@inti.gov.ar

Resumen: La luminancia es una magnitud fotométrica que se utiliza para evaluar características luminotécnicas de calzadas de autopistas y carteles publicitarios en vías públicas, entre otros, dado que están establecidos los rangos de luminancias necesarios y permitidos por normas.

En este trabajo presentamos información sobre los patrones de luminancia desarrollados en el Laboratorio de Radiometría y Fotometría del INTI. Los patrones deben ofrecer una superficie de emisión uniforme, con un espectro específico, y con una luminancia variable que permita alcanzar un rango que cubra los requerimientos de las normas mencionadas, de manera trazable a los patrones nacionales fotométricos y dimensionales.

También comentamos los servicios relacionados con la medición de luminancia ofrecidos por el INTI.

Abstract: Luminance is a photometric quantity that is used to evaluate the lighting characteristics of motorway roads and advertising signs on public roads, among others, given that the necessary luminance ranges are established and permitted by regulations.

In this paper we present information on the luminance patterns developed in the INTI Radiometry and Photometry Laboratory. The standards must offer a uniform emission surface, with a specific spectrum, and with a variable intensity that allows reaching a range of luminances that covers the requirements of the aforementioned standards, in a manner traceable to national photometric and dimensional standards.

We also discuss the services related to luminance measurement offered by INTI.

Palabras claves: luminancia – fotometría – trazabilidad

I. LUMINANCIA

La luminancia es la magnitud fotométrica [1,2] que se puede asociar con el brillo de una superficie emisora de luz. Consiste en el flujo luminoso por unidad de área emisora y por unidad de ángulo sólido de emisión. Considerando una dirección de emisión perpendicular a la superficie emisora, la luminancia L está dada por:

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA d\Omega} \quad (1)$$

donde dA es el diferencial de área emisora y $d\Omega$ es el diferencial de ángulo sólido de emisión (ver figura 1).

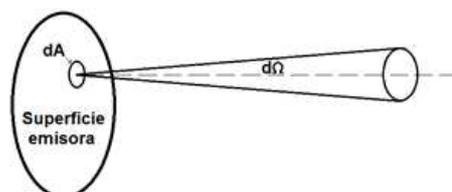


Fig.1: Esquema de una superficie emisora de luz, con el detalle de un diferencial de área y un diferencial de ángulo sólido en una dirección perpendicular.

La unidad de luminancia es la candela por metro cuadrado (cd/m^2).

En caso de ser la superficie emisora una superficie lambertiana, entonces la luminancia es la misma en todas las direcciones de emisión.

Los equipos que miden luminancia son los luminancímetros. Estos equipos cuentan con un sistema de lentes que les permite enfocar una porción de la superficie emisora y obtener una medición de la luminancia de manera independiente a la distancia de medición. Estos equipos requieren de calibraciones periódicas, que deben realizarse de manera trazable a patrones internacionales de radiometría y fotometría.

Un patrón de luminancia deben consistir en una superficie de emisión uniforme. Por convención su espectro debe coincidir con el de un iluminante CIE "A" (CIE: Comisión Internationale de l'Eclairage) [3]. También debe ofrecer un valor de luminancia variable que permita alcanzar el rango requerido.

II. ACTUAL PATRÓN DE LUMINANCIA

El INTI, como instituto nacional de metrología, debe poseer patrones de las distintas magnitudes de manera trazable a patrones reconocidos internacionalmente. De manera similar a otros institutos metrológicos, el patrón actual de luminancia consiste en una placa de sulfato de bario (BaSO_4) cuadrada de 60mm de lado (ver figura 2).

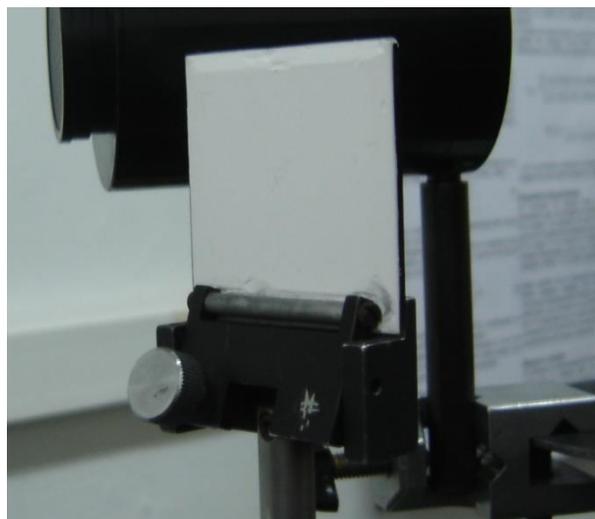


Fig.2: Placa de sulfato de bario que forma parte del patrón actual de luminancia del INTI.

Dicha placa se encuentra montada en un banco fotométrico (ver figura 3), en forma perpendicular al eje fotométrico, a una cierta distancia de una lámpara patrón de intensidad luminosa, calibrada de manera trazable a patrones del PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) de Alemania. Esta lámpara emite el espectro de un iluminante CIE "A" con una temperatura de distribución de 2856K. El sulfato de bario de la placa logra dos efectos: a) una reflectancia elevada y espectralmente uniforme en el rango visible, logrando una reflexión también con un espectro del iluminante CIE "A"; b) una reflexión similar a una superficie lambertiana.

De esta manera se obtiene una superficie cuya luminancia es:

$$L = \frac{I \rho}{\pi d^2} \quad (2)$$

donde I es la intensidad luminosa de la lámpara patrón, d la distancia entre la lámpara y la placa y ρ la reflectancia de la placa, calculada como:

$$\rho = \frac{\int_{380\text{nm}}^{720\text{nm}} \rho(\lambda) V(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{380\text{nm}}^{720\text{nm}} V(\lambda) S(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

donde $\rho(\lambda)$ es la reflectancia espectral de la placa, $V(\lambda)$ es la función de eficiencia luminosa espectral para visión fotópica de la CIE (1931) y $S(\lambda)$ la distribución de irradiancia espectral relativa de la emisión de la lámpara.

Se obtienen los distintos valores de luminancia modificando la distancia d entre la lámpara y la placa. Los luminómetros a calibrar se posicionan de manera tal de enfocar la placa desde cierto ángulo con respecto al eje fotométrico del banco, aprovechando que la superficie emite de manera lambertiana.



Fig.3: Placa montada en el banco fotométrico y enfrentada a la lámpara patrón de intensidad luminosa.

Este patrón es muy efectivo y permite obtener incertidumbres porcentuales relativas ($k=2$) del orden del 1% en luminómetros clase L. Sus principales defectos son: a) depender de la reflectancia espectral de una placa que con el tiempo se va deteriorando; b) obtener un rango de luminancias acotado (entre 50cd/m^2 y 300cd/m^2) debido a las dimensiones del banco fotométrico.

III. NUEVO PATRÓN DE LUMINANCIA

En nuestro laboratorio se está desarrollando un nuevo patrón de luminancia que consiste en una superficie emisora dada por el difusor de una esfera integradora comercial (ver figuras 4, 5 y 8), marca LMT, modelo LN 3, modificada y montada en un banco fotométrico. Se ilumina el interior de la esfera con una lámpara incandescente halógena de 20W-12V, alimentada con una fuente de CC marca FUG, modelo NTN4 200-200 (0-200 V, 0-20 A), de manera de obtener una superficie de radiación homogénea cuyo espectro se asemeja al de un iluminante CIE "A". Se obtienen distintos niveles de luminancia acercando o alejando dicha lámpara a la entrada trasera de la esfera.

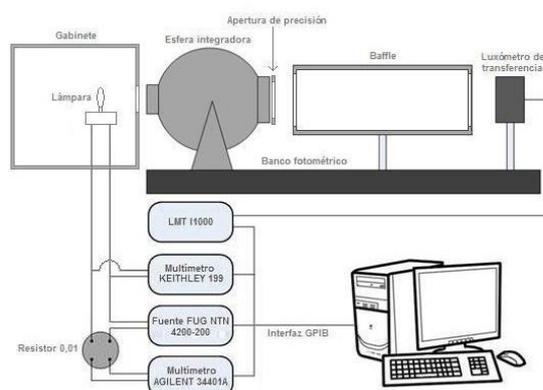


Fig.4: Esquema del arreglo montado para generar el nuevo patrón de luminancia.

La intensidad de corriente eléctrica en la lámpara se mide utilizando un multímetro de 6 ½ dígitos marca Agilent, modelo 34401A, que mide la tensión en una resistencia eléctrica patrón, y la tensión sobre sus bornes se mide con un multímetro de 5 ½ dígitos marca Keithley, modelo 199.

Obturando parcialmente el difusor de salida de la esfera se coloca una apertura de precisión circular fabricada en INTI y anodizada en negro mate. El área de esta apertura se midió de manera trazable a los patrones

dimensionales nacionales. A una cierta distancia se coloca un luxómetro de transferencia, calibrado de manera trazable al PTB.

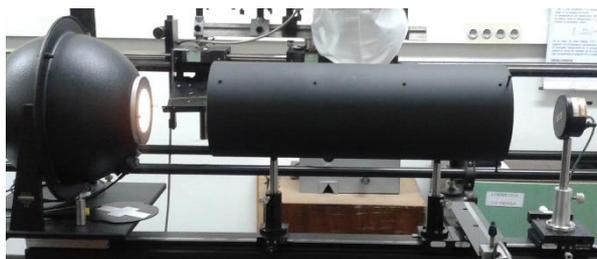


Fig.5: Difusor de salida de la esfera emitiendo y actuando como nuevo patrón de luminancia.

Considerando que: a) la luminancia de la superficie emisora es uniforme en toda su área, b) que emite de manera lambertiana, c) que el detector del luxómetro de transferencia se encuentra lo suficientemente lejos como para considerar iguales a todos los ángulos sólidos provenientes de la superficie emisora y subtendidos por el mencionado detector. Entonces se tienen las siguientes relaciones:

$$L = \frac{\Phi}{A_P \Omega_P} = \frac{\Phi d^2}{A_P A_D} = \frac{\Phi}{A_D \Omega_D} = \frac{E}{\Omega_D} \quad (4)$$

$$E = L \Omega_D = L \frac{A_P}{d^2} \quad (5)$$

donde Φ es el flujo luminoso incidente en el detector del luxómetro de transferencia, A_P es el área de la apertura de precisión del patrón de luminancia, A_D es el área del detector del luxómetro de transferencia, d es la distancia entre el patrón y el detector, Ω_P es el ángulo sólido subtendido por el detector, Ω_D es el ángulo sólido subtendido por la apertura de precisión y E es la iluminancia medida por el luxómetro de transferencia (ver figura 6).

De esta manera se puede determinar la luminancia del patrón a partir de la medición del luxómetro de transferencia, de la distancia medida en el banco fotométrico (calibrado también de manera dimensional) y del área de la apertura de precisión.

Con este nuevo patrón se amplía en rango de luminancias (entre 10cd/m^2 y 600cd/m^2) y se independiza del materiales que se deterioran y requieren calibraciones espectrofotométricas extras.

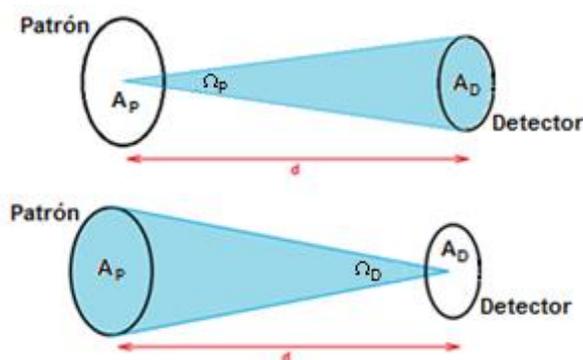


Fig.6: Esquema para determinar la relación entre la luminancia del patrón, el área de su superficie y la distancia al detector de transferencia.

Con respecto a las incertidumbres, se excluyen las relacionadas con la reflectancia de la placa pero se incorporan las relacionadas con el área de la apertura de precisión. Se obtienen finalmente incertidumbres porcentuales relativas ($k=2$) también del orden del 1%.

Evaluaciones realizadas

Se realizaron un evaluaciones que permitieron determinar la viabilidad de este nuevo patrón de luminancia.

Primero se evaluó la uniformidad espacial de la luminancia obtenida en la superficie del difusor de salida de la esfera integradora, utilizando diferentes luminancímetros de referencia (ver figuras 7 y 8), y se estableció que se consigue una no uniformidad menor al 0,2% en el área central utilizable del difusor.

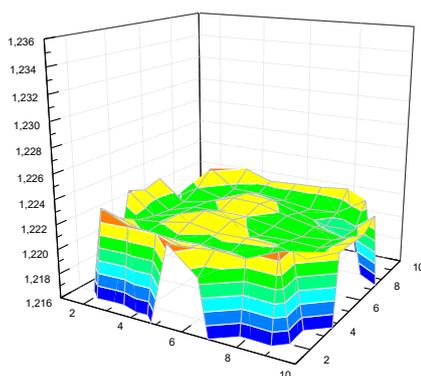


Fig.7: Resultados de la evaluación de la uniformidad en la luminancia de la superficie de emisión del patrón.

Luego se evaluó que el espectro emitido por la superficie se asemeje al de un iluminante CIE "A" para todos los niveles de luminancia obtenidos. Esto se realizó midiendo la irradiancia espectral relativa emitida con un espectroradiómetro de referencia de doble monocromador, marca Instrument Systems, modelo Spectro 320D, con un detector modelo EOP-140 y su fibra óptica modelo OFG425, para luego utilizar un algoritmo basado en la calibración de una lámpara patrón de irradiancia espectral trazable al PTB. Se determinó que el espectro tiene una temperatura de distribución entre 2860K y 2780K en el rango de luminancias logrado, con un espectro que tiene sus mayores diferencias con el iluminante CIE "A" en las regiones de menor sensibilidad espectral de los instrumentos fotométricos (ver figura 9).

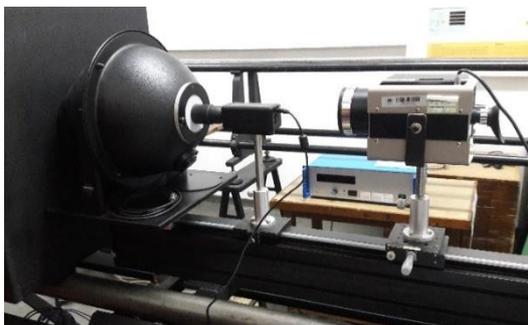


Fig.8: Evaluación de la uniformidad de la luminancia de la superficie emisora.

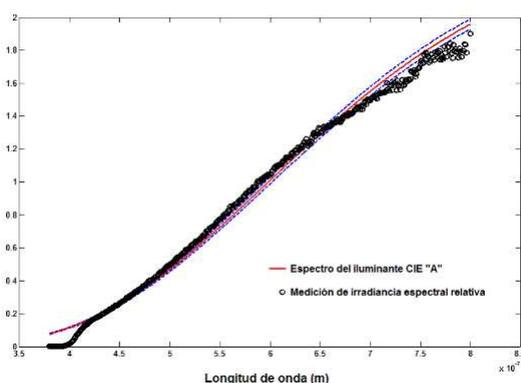


Fig.9: Ejemplo de espectro obtenido para una luminancia de 400cd/m² del patrón.

Determinación de la luminancia por un detector monitor

Para lograr calibraciones más rápidas se implementó el uso de un detector radiométrico monitor en el interior de la esfera (ver figura 9) que emite una señal en intensidad de corriente eléctrica, con el objetivo de asociar cada indicación de este detector con una determinada luminancia e independizarse de retirar el luminancímetro a calibrar y medir con el luxómetro de transferencia. Se evaluó la linealidad entre la indicación del detector monitor (intensidad de corriente eléctrica) y la iluminancia medida con el luxómetro de transferencia, obteniendo resultados muy favorables (ver figura 10).

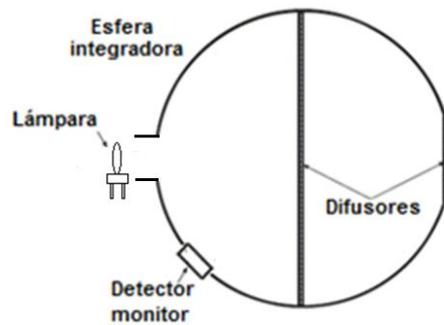


Fig.9: Esquema del interior de la esfera integradora del patrón de luminancia con el detalle del detector monitor.

Se desarrolló para este fin un programa de toma de datos automático que permite, a través de sólo la indicación del detector monitor, establecer el valor de luminancia.

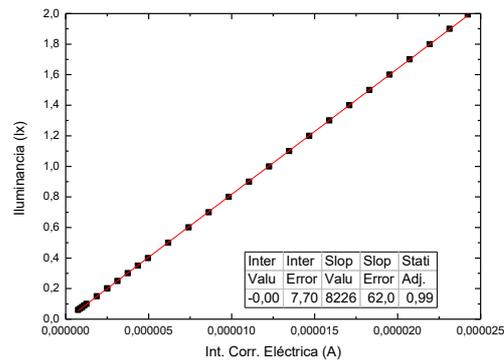


Fig.10: Resultados de la evaluación de la linealidad entre la indicación del detector monitor (intensidad de corriente eléctrica) y la iluminancia medida con el luxómetro de transferencia.

IV. SERVICIOS OFRECIDOS POR INTI

El Departamento de Luminotecnia del INTI ofrece varios servicios relacionados con la medición de luminancia. Por ejemplo:

- Calibración de luminancímetros y luminancímetros para pantallas/monitores.
- Mediciones in situ de luminancias en calzadas según normas, por ejemplo: IRAM AADL 2022.
- Mediciones de luminancias en carteles de señalización vial.
- Mediciones in situ de luminancia en carteles publicitarios en la vía pública para evaluar el impacto lumínico.
- Mediciones de reflectancia de patrones de pinturas para calzadas.
- Evaluación de retroreflectores de uso vehicular.



Fig.11: Medición de luminancias de calzada en autopista y de carteles publicitarios.

V. REFERENCIAS

- [1] Parr, Albert, Raju Datla, and James Gardner. Optical radiometry. Vol. 41. Academic Press, 2005.
- [2] Y. Ohno NIST Special Publication 250-37.
- [3] Norma CIE15:2004 "Colorimetry", 1st Edition.