

LUZ 2025

MEMORIAS

XVII Jornadas Argentinas
de Luminotécnica

Ciudad de Mendoza, Argentina

10,11 y 12 de septiembre 2025

ILUMINANDO DESDE EL SUR



NUESTROS SPONSORS



STELLA

Ideas con luz propia



NUESTROS RESPALDOS



Memorias Luz 2025: memorias de las XVII Jornadas Argentinas de Luminotecnia /
Marta Micaela Gómez ... [et al.];
Compilación de Jorge Gonella ; Roberto Rodríguez. - la ed. compendiada. -
Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Asociación Argentina de Luminotecnia - AADL, 2026.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-631-90632-1-9

1. Iluminación. 2. Diseño. 3. Arquitectura . I. Gómez, Marta Micaela II. Gonella,
Jorge, comp. III. Rodríguez, Roberto, comp.
CDD 720

ISBN 978-631-90632-1-9



Bajo el lema “Iluminando desde el sur” el Centro Científico Tecnológico CONICET Mendozarecibe en nuestra provincia a las decimoséptimas Jornadas Argentinas de Luminotecnia. Durante cuatro días, especialistas, gestores, investigadores, docentes, estudiantes y representantes de empresas de distintas regiones para participar de actividades centradas en la investigación, la docencia, el diseño, el arte y la tecnología aplicadas a la luz. El encuentro fue organizado por el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE-CONICET) junto a la Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL). Esta edición superó los 120 inscriptos.

Las jornadas se organizaron en cuatro ejes: Luz, ciudad y ambiente (iluminación vial, contaminación lumínica, eficiencia energética). Luz, arte y arquitectura (diseño arquitectónico, arte lumínico y patrimonio). Luz, industria y academia (tecnología, luminarias, formación profesional). Luz y calidad de vida (visión, color e iluminación centrada en el ser humano). En total se presentaron 37 manuscritos originales, evaluados por el Comité Académico de las Jornadas.

LUZ 2025 incluyó cursos de formación, conferencias magistrales, ponencias científicas, charlas técnicas y talleres. El evento contó con la participación de figuras destacadas en la temática como directora del INAHE y el CONICET Mendoza, Andrea Pattini; la arquitecta Eliana Bórmida del estudio Bórmida & Yanzon; Igor Valdebenito del Ministerio de Medioambiente de Chile; Eduardo Manzano de la Universidad Nacional de Tucumán; Andrés Piatti, investigador del CONICET en el Instituto Interdisciplinario de Ciencias Básicas (ICB, CONICET-UNCUYO); el videojockey, Tim McClane; el iluminador Guillermo Núñez (XOMEN Studio); y la especialista en iluminación teatral, Eli Sirlin, quien estuvo a cargo de la conferencia magistral de cierre.

Como es habitual en las Jornadas, en esta edición también hubo un pre-congreso donde se realizaron cursos introductorios sobre conceptos básicos de luminotecnia y sobre iluminación vial. Las siguientes sesiones incluyeron presentaciones de trabajos de investigación sobre temáticas como la eficiencia energética en alumbrado público, la contaminación lumínica, el impacto de la luz en la percepción artística y urbana, y el uso de nuevas tecnologías en entornos naturales y de ciudad.

El evento concluyó con una visita a obras emblemáticas de la ciudad y con actividades de cierre en la Universidad de Mendoza.

Las Jornadas Argentinas de Luminotecnia constituyen un ámbito de referencia para la comunidad científica y profesional dedicada al estudio y aplicación de la luz, consolidando redes de colaboración entre centros de investigación, universidades, organismos públicos y empresas del sector.

Luz 2025 fue auspiciado por: CONICET, Stella iluminación, Akai Energy Led, Leuk iluminación, IEP, Sierra iluminación, World Leds Go, Aspen Lumière, Viñas Las Perdices, BAEL, Italavia, Gencoelec neored, El emporio eléctrico. Además, contó con el aval de: Ciudad de Mendoza, CONICET Mendoza, Colegio de Arquitectos de Mendoza, Universidad de

Palermo, Semana internacional de diseño, Universidad de Mendoza, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Facultad de Artes y Diseño (Ciudad de las Artes), Universidad Provincial de Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ingeniería (UNCUYO).

Dra. Andrea Pattini.

PALABRAS DEL PRESIDENTE DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA DE LUMINOTECNIA

Es un honor dejar testimonio en estas memorias de jornadas Luz en Mendoza 2025, un espacio que reafirma la relevancia de la luminotecnia en el desarrollo cultural, científico y tecnológico de nuestro país.

Como presidente de la Asociación Argentina de Luminotecnia, celebro la participación de colegas, investigadores y profesionales que, con su conocimiento y pasión, iluminan el camino hacia un futuro más sostenible y humano.

Este congreso no solo nos permitió compartir avances y experiencias, sino también fortalecer lazos que garantizan que la luz siga siendo símbolo de progreso y encuentro.

Que estas páginas reflejen el compromiso de nuestra comunidad con la excelencia y la innovación, y que sirvan de inspiración para las generaciones que vendrán.

Ing. Flavio Fernandez

COMITÉ ORGANIZADOR

Responsables

Ing. Flavio Fernandez (AADL)

Dra. Andrea Pattini (INAHE CONICET)

Coordinadores

Mag. Arq Jorge Gonella (AADL)

Dr. Roberto Rodriguez (INAHE CONICET)

Equipo de Trabajo

Ing. Jeremías Aliquo

Mag. Ing. Fernando Decó

Dra Maureen De Gastines

Dis. Bárbara del Fabro

Dis. Sophia Heredia

Dr. Eduardo Manzano

Dr. Juan Manuel Monteoliva

Arq. Valeria Paviglianiti

Dr. Mario Raitelli

Dra Verónica Ruiz

Ing. Ruben Sanchez

Mag. Dis. Natalia Valladares

Dra Ayelen Villalba

Dra Julieta Yamin

Arq. Carlos Zoppi

Diseño y Diagramación

DG Julia Antoniocci Gioaccini

Colaboradores

Lic. DIT Ludmila Cuñarro,

Dra Stella Maris Donato

Lic. Darío Jaime

Esp. Arq. Miguel Martí

Evaluadores de trabajos

El comité académico del congreso está integrado por las siguientes personas:

Ing. Hugo Allegue

Mag. Ing. Fernando Deco

Dra. Maureen De Gastines

Mag. Arq Jorge Gonella

Dr. Luis Issolio

Ing. Pablo Ixtaina

Ing. Miguel Maduri

Dr. Eduardo Manzano

Dra. Marili Mattivi
Dr. Juan Manuel Monteoliva
Dra. Beatriz O Donell
Dra. Andrea Pattini
Arq. Valeria Paviglianiti
Dr. Oscar Preciado
Mag. Ing. Mario Raitelli
Dr. Roberto Rodríguez
Dra. Verónica Ruiz
Dra. Ayelén Villalba
Dr. Fabio Vincitorio
Dra. Julieta Yamín
Arq. Carlos Zoppi

Jurado Concurso Posters

DG Federico Rivero

CONFERENCIAS MAGISTRALES

Iluminación Natural, Diseño y Arquitectura

Dra. Eliana Bórmida

Dra Andrea Pattini



Iluminación Urbana y Contaminación Lumínica

Mag. Igor Valdebenito

Dr. Eduardo Manzano

Dr. Andres Piatti



Iluminación Escenica. Creatividad y Tecnología

Dis. VJ Tim Mclane

Guillermo Nuñez (XOMEN Studio)



Luz y su interacción con otros lenguajes

Arq. Eli Sirlin



EXPOSITORES INVITADOS

Experiencias Lumínicas: La luz pública en la Ciudad de Mendoza

Arq. Verónica Fader | Arq. Paola Meretta
(Municipalidad de Mendoza)



Seguridad eléctrica de alumbrado público. Incidentes y accidentes

Ing. Raul Gonzalez (AEA - Argentina)



CHARLAS AUSPICIANTES

Akai Energy
Aspen Lumiere
LEUK
Sierra Iluminación
World Leds Go

WORKSHOPS

Iluminación en espacios deportivos: criterios técnicos y normativos para un diseño eficiente

Ing. Jeremías Aliquó.



Espacios inteligentes

Ing. Ramiro Moreno Rey



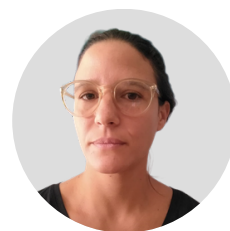
CURSOS JORNADA PRE-CONGRESO

Conceptos básicos de luminotecnia

Mag. D.I. Natalia Valladares

Dr. Ing. Oscar Preciado

D.I. Sophia Heredia



Introducción a la iluminación vial

Dr. Ing. Eduardo Manzano



ÍNDICE POR TEMAS

1 | LUZ CIUDAD Y AMBIENTE

Otro punto de vista en el Diseño Acosta, Valeria; Chavarria, Pablo	2
Actualización del sistema de alumbrado público en el Boulevard Bernabé Aráoz, Municipio de Yerba Buena en Tucumán Costilla, Miguel A.; Preciado Olvera, Oscar U.; Heredia, Sophia; Valladares, Natalia	11
SIGAP: Sistema Integral para la Gestión del Alumbrado Público en la Ciudad de Paraná Fernández, Ignacio; Del Campo, Alejandro; Rocha, Delfina; Hasenauer, Juan	15
Transformación energética del alumbrado público: implementación del plan 100% LED en Paraná Hasenauer, Juan; Bolzan, Kevin; Hirschfeld, Julián; Romero, Rosario	20
Proyecto de aplicación de luminarias alimentadas por energía solar en la obra del arroyo Las Viejas en la ciudad de Paraná Hasenauer, Juan; Rocha Delfina; Vincitorio, Fabio	24
Ensayos de calidad de luminarias LED de iluminación vial Manzano, E.R	30
Hacia una herramienta argentina de predicción de luz natural para proyectistas Monteoliva, Juan Manuel; Villalba, Ayelén; Donato, Stella Maris; Schumacher, Emanuel Ricardo; Jaime, Dario Ricardo; Paviglianiti Labiano, Valeria Dana; Chade Juan Ignacio; Pattini, Andrea Elvira	39
Iluminación en parques y plazas del Gran San Miguel de Tucumán: tecnologías empleadas y potenciales impactos sobre murciélagos urbanos Silva, Barbara; González Noschese, Camila S.; Sandoval Salinas, M. Leonor	44
Evaluación de la Contaminación Lumínica como herramienta técnica para análisis de Proyectos de Iluminación Sustentable Sosa, Carla	49

2 | LUZ, ARTE Y ARQUITECTURA

Iluminación y percepción visual en museos: relaciones entre espacio y atención del visitante Bazán, Natalia; Ajmat, Raul; Issolio, Luis	57
Evaluación dinámica de iluminación natural en tipologías residenciales de departamentos estándar para el cañón urbano central de Rosario Chiarito, Gabriel; Alvarez, Jérica; Allori, Lucia; Arana, Soledad; Chiarito, Daniela; Gomez Carmana, Wanda; Gonzalez, Guadalupe; Muriel, Aimé; Turdó, Eugenia	65

La Luz como Herramienta de Valoración Patrimonial: Propuestas para un Ícono Tucumano Diego, Rosa Angela; Abril, Juan Esteban; Fuentes, Pablo Manuel; Lescano, Edgardo Daniel	71
La arquitectura está colonizada por la luz, ¿quién la descolonizará? Raitelli, Mario	76
Análisis de obras de arquitectura e iluminación mediante imágenes Raitelli, Mario	81
El impacto de las nuevas tecnologías en la iluminación arquitectónica contemporánea. Leds y nuevas estrategias de diseño lumínico Zoppi, Carlos Augusto; Cortadi, Mariano Alfredo; Aguirre Lara, Cecilia Gisela	86
3 LUZ, INDUSTRIA Y ACADEMIA	
Sobre la caracterización del sistema actual de iluminación de aulas de la Universidad de Mendoza Aliquó, Jeremías	92
Análisis del comportamiento térmico dinámico de un LED COB mediante Holografía Interferométrica Digital Benitez Wagner, Antonella; Rocha, Delfina; Hasenauer, Juan; Vincitorio, Fabio	95
Colector espectral de luz Colonna, Carlos Lionel; Ixtaina, Pablo; Petrozzino, Agostina	102
Desarrollo de una Cámara Hiperespectral y su correspondiente interfaz para el Análisis Espectral de Entornos Naturales Fanchini, Jose; Sandoval-Salinas, María L.; Barrionuevo, Pablo	106
Historia y desarrollo del alumbrado urbano en San Miguel de Tucumán Fortuna, Maria Paula; Heredia, Sophia; Preciado Olvera, Oscar Ulises	111
Hacia un diseño alternativo de paneles acrílicos para la dispersión de la luz solar en altas latitudes Jara Cerda, Paola; Szybinska Matusiak, Barbara	117
Impacto de la iluminación LED y la Temperatura de Color en la percepción de Obras de Arte Riquelme Sandoval, Denis; Martin, Andres	122
Evaluación de los PPFD en una luminaria LED RGB smart - Rocha, Delfina; Hasenauer, Juan; Vincitorio, Fabio	127
PACs: suite de programas open source para análisis dinámico de indicadores de luz natural en Radiance Schmacher, Emanuel; Monteoliva, Juan Manuel	134
Enseñar a diseñar desde la inmaterialidad y expresividad de la luz en los espacios. Experiencias didácticas en carreras de diseño de interiores Zoppi, Carlos Augusto	139

4 | LUZ Y CALIDAD DE VIDA

Láminas de control solar combinadas con cortinas textiles. Análisis de confort visual De Gastines, Maureen; Yamin, Julieta; Villalba, Ayelén; Pattini, Andrea	145
La enseñanza del diseño lumínico a partir de la arquitectura de los sentidos Gomez, Marta Micaela	150
Rutina de calibración para la cuantificación del color a través de cámaras fotográficas calibradas Gutiérrez, Marcelo Agustín; Barrionuevo, Pablo Alejandro; Sandoval Salinas, María Leonor	154
Uso del LED en agricultura sustentable. Experiencias en el LAL Ixtaina, Pablo; Pucheta, Agustín; Colonna, Carlos; Bufo, Nicolás; Libano, Celina; Fernández, Facundo; Martínez Alcántara, Virginia; Balatti, Pedro	159
Análisis de recomendaciones internacionales de iluminación integradora: resultados de un estudio de campo Paviglianiti, Valeria D.; Rodríguez, Roberto G.; Schumacher, Emanuel R.; Ruiz, Verónica J.; Pattini, Andrea E.	163
Proyectar Luz, habitar sentidos: reflexiones entre el diseño y la realidad de obra Prosdocimo, Silvia Susana; Saguir, Ana Beatriz	169
Calibración de actígrafos para la medición de Iluminancia Melanópica Equivalente Rodriguez, Roberto G.	173
Evaluación de Métodos para la Medición de Cambios Relativos en el Diámetro Pupilar Saide Chaya, Paula; Martín, Andrés; Barraza, José F.	177
Iluminación en avicultura: un compromiso entre economía y bienestar animal Schierloh, Rodrigo; Vincitorio, Fabio	182
Guía de Iluminación Natural para selección de Cortinas Roller Villalba, Ayelen; Yamin, Julieta; Marti, Miguel; Pattini, Andrea	188

ÍNDICE POR AUTOR

Otro punto de vista en el Diseño Acosta, Valeria; Chavarria, Pablo	2
Sobre la caracterización del sistema actual de iluminación de aulas de la Universidad de Mendoza Aliquó, Jeremías	92
Iluminación y percepción visual en museos: relaciones entre espacio y atención del visitante Bazán, Natalia; Ajmat, Raul; Issolio, Luis	57
Análisis del comportamiento térmico dinámico de un LED COB mediante Holografía Interferométrica Digital Benitez Wagner, Antonella; Rocha, Delfina; Hasenauer, Juan; Vincitorio, Fabio	95
Evaluación dinámica de iluminación natural en tipologías residenciales de departamentos estándar para el cañón urbano central de Rosario Chiarito, Gabriel; Alvarez, Jésica; Allori, Lucia; Arana, Soledad; Chiarito, Daniela; Gomez Carmana, Wanda; Gonzalez, Guadalupe; Muriel, Aimé; Turdó, Eugenia	65
Colector espectral de luz Colonna, Carlos Lionel; Ixtaina, Pablo; Petrozzino, Agostina	102
Actualización del sistema de alumbrado público en el Boulevard Bernabé Aráoz, Municipio de Yerba Buena en Tucumán Costilla, Miguel A.; Preciado Olvera, Oscar U.; Heredia, Sophia; Valladares, Natalia	11
Láminas de control solar combinadas con cortinas textiles. Análisis de confort visual De Gastines, Maureen; Yamin, Julieta; Villalba, Ayelén; Pattini, Andrea	145
La Luz como Herramienta de Valoración Patrimonial: Propuestas para un Ícono Tucumano Diego, Rosa Angela; Abril, Juan Esteban; Fuentes, Pablo Manuel; Lescano, Edgardo Daniel	71
Desarrollo de una Cámara Hiperespectral y su correspondiente interfaz para el Análisis Espectral de Entornos Naturales Fanchini, Jose; Sandoval-Salinas, María L.; Barrionuevo, Pablo	106
SIGAP: Sistema Integral para la Gestión del Alumbrado Público en la Ciudad de Paraná Fernández, Ignacio; Del Campo, Alejandro; Rocha, Delfina; Hasenauer, Juan	15
Historia y desarrollo del alumbrado urbano en San Miguel de Tucumán Fortuna, Maria Paula; Heredia, Sophia; Preciado Olvera, Oscar Ulises	111

La enseñanza del diseño lumínico a partir de la arquitectura de los sentidos Gomez, Marta Micaela	150
Rutina de calibración para la cuantificación del color a través de cámaras fotográficas calibradas Gutiérrez, Marcelo Agustín; Barrionuevo, Pablo Alejandro; Sandoval Salinas, María Leonor	154
Proyecto de aplicación de luminarias alimentadas por energía solar en la obra del arroyo Las Viejas en la ciudad de Paraná Hasenauer, Juan; Rocha Delfina; Vincitorio, Fabio	24
Transformación energética del alumbrado público: implementación del plan 100% LED en Paraná Hasenauer, Juan; Bolzan, Kevin; Hirschfeld, Julián; Romero, Rosario	20
Uso del LED en agricultura sustentable. Experiencias en el LAL Ixtaina, Pablo; Pucheta, Agustín; Colonna, Carlos; Bufo, Nicolás; Líbano, Celina; Fernández, Facundo; Martínez Alcántara, Virginia; Balatti, Pedro	159
Hacia un diseño alternativo de paneles acrílicos para la dispersión de la luz solar en altas latitudes Jara Cerda, Paola; Szybinska Matusiak, Barbara	117
Ensayos de calidad de luminarias LED de iluminación vial Manzano, E.R	30
Hacia una herramienta argentina de predicción de luz natural para proyectistas Monteoliva, Juan Manuel; Villalba, Ayelén; Donato, Stella Maris; Schumacher, Emanuel Ricardo; Jaime, Dario Ricardo; Paviglianiti Labiano, Valeria Dana; Chade Juan Ignacio; Pattini, Andrea Elvira	39
Análisis de recomendaciones internacionales de iluminación integradora: resultados de un estudio de campo Paviglianiti, Valeria D.; Rodríguez, Roberto G.; Schumacher, Emanuel R.; Ruiz, Verónica J.; Pattini, Andrea E.	163
Proyectar Luz, habitar sentidos: reflexiones entre el diseño y la realidad de obra Prosdocimo, Silvia Susana; Saguir, Ana Beatriz	169
La arquitectura está colonizada por la luz, ¿quién la descolonizará? Raitelli, Mario	76
Análisis de obras de arquitectura e iluminación mediante imágenes Raitelli, Mario	81
Impacto de la iluminación LED y la Temperatura de Color en la percepción de Obras de Arte Riquelme Sandoval, Denis; Martin, Andres	122
Evaluación de los PPFd en una luminaria LED RGB smart - Rocha, Delfina; Hasenauer, Juan; Vincitorio, Fabio	127

Calibración de actígrafos para la medición de Iluminancia Melanópica Equivalente Rodríguez, Roberto G.	173
Evaluación de Métodos para la Medición de Cambios Relativos en el Diámetro Pupilar Saide Chaya, Paula; Martín, Andrés; Barraza, José F.	177
Iluminación en avicultura: un compromiso entre economía y bienestar animal Schierloh, Rodrigo; Vincitorio, Fabio	182
PACs: suite de programas open source para análisis dinámico de indicadores de luz natural en Radiance Schmacher, Emanuel; Monteoliva, Juan Manuel	134
Iluminación en parques y plazas del Gran San Miguel de Tucumán: tecnologías empleadas y potenciales impactos sobre murciélagos urbanos Silva, Barbara; González Noschese, Camila S.; Sandoval Salinas, M. Leonor	44
Evaluación de la Contaminación Lumínica como herramienta técnica para análisis de Proyectos de Iluminación Sustentable Sosa, Carla	49
Guía de Iluminación Natural para selección de Cortinas Roller Villalba, Ayelen; Yamin, Julieta; Marti, Miguel; Pattini, Andrea	188
Enseñar a diseñar desde la inmaterialidad y expresividad de la luz en los espacios. Experiencias didácticas en carreras de diseño de interiores Zoppi, Carlos Augusto	139
El impacto de las nuevas tecnologías en la iluminación arquitectónica contemporánea. Leds y nuevas estrategias de diseño lumínico Zoppi, Carlos Augusto; Cortadi, Mariano Alfredo; Aguirre Lara, Cecilia Gisela	86

TEMA 1

LUZ, CIUDAD Y AMBIENTE



Otro punto de vista en el Diseño

Arq. Valeria Acosta

valeria.acosta@imm.gub.uy

Ing. Pablo Chavarría

pablo.chavarría@imm.gub.uy

Intendencia de Montevideo-Departamento de Desarrollo Urbano – Unidad Técnica de Alumbrado Público Montevideo-Uruguay

Resumen: El trabajo utiliza el “Modelo de Identidad para las Organizaciones” del Ingeniero Leonardo Schvarstein para representar, analizar y comprender la dinámica del Parque Prado, Rosaleda y Jardín Botánico de Montevideo. A partir de este estudio se aplica la metodología de diseño para las organizaciones [1] del mismo autor adaptada como una herramienta para resolver contradicciones a través de la elaboración del proyecto e implementación del acondicionamiento lumínico del parque. Los espacios públicos de Montevideo con sus objetivos de conservación, bienestar, equidad, inclusión, accesibilidad y educación ambiental se estudian en los tres dominios del modelo, los propósitos, relaciones y capacidades. Los propósitos son los fines que se persiguen; las relaciones abarcan interacciones y roles de la comunidad; las capacidades comprenden infraestructura y habilidades. A través del análisis de los usuarios y la metodología propuesta, el sistema de alumbrado logra resolver las tensiones identificadas vinculadas con la seguridad, el sentido de pertenencia y el respeto por la naturaleza. Este diseño impulsa la creación de nuevos propósitos, capacidades y relaciones generando así un proceso iterativo de mejora, que busca maximizar los beneficios para el parque y la comunidad.

Palabras claves: Diseño, Lumínico, Modelo

Abstract: This project employs Engineer Leonardo Schvarstein's “Identity Model for Organizations” to represent, analyze, and understand the dynamics of Prado Park, the Rose Garden, and the Botanical Garden in Montevideo. Based on this study, the author's own design methodology for organizations [1] is applied as a tool to resolve contradictions through the development and implementation of the park's lighting upgrade project. Montevideo's public spaces, with their objectives of conservation, well-being, equity, inclusion, accessibility, and

environmental education, are studied within the model's three domains: purposes, relationships, and capabilities. Purposes represent the ends being pursued; relationships encompass community interactions and roles; capabilities comprise infrastructure and skills. Through user analysis and the proposed methodology, the lighting system achieves a balance among the identified tensions related to safety, sense of belonging, and respect for nature. This design promotes the creation of new purposes, capabilities, and relationships, thus generating an iterative process of improvement that seeks to maximize benefits for the park and the community.

Palabras claves: Design, Lighting, Model

I. INTRODUCCIÓN

“La riqueza de nuestro diseño dependerá en gran medida de la riqueza de nuestras representaciones. Los modelos que empobrecen la realidad generan resultados también pobres, cuando no absolutamente inválidos” de Leonardo Schvarstein [1]

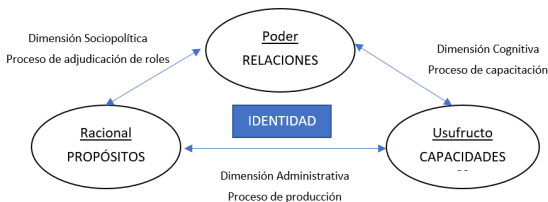
En la generación de modelos hay tensión entre complejidad y simplificación. Será el objeto del diseño quien determina hasta que nivel debemos llegar con la representación. Hay que recordar que ninguna representación puede tener la complejidad original, “el mapa no es el territorio”. El biólogo Dobzhansky nos dice: “Desgraciadamente la naturaleza no ha sido lo bastante gentil como para hacer las cosas tan simples como nosotros quisiéramos que fuesen. Debemos afrontar la complejidad. Para Edgar Morin, la idea de la complejidad es una aventura, nos dice que no podemos entrar en la complejidad si no entramos en la simplicidad [2]. Schvarstein indica que todo proceso de diseño está sometido a tensiones que hay que resolver en base a la resolución de contradicciones. Considera que la resolución dialéctica de estas tensiones dentro de

los parámetros identificados es el verdadero motor de avance de la organización. Propone un marco metodológico para abordar el diseño que incluye las siguientes etapas;

Etapa 1: Diagnóstico y Reconocimiento de Contradicciones

Definir el objeto de diseño, ¿Qué se busca mejorar o cambiar en la organización?

Análisis del contexto, examinar exhaustivamente el entorno interno y externo de la organización. Aplicar el “Modelo de Identidad de las Organizaciones” de Schvarstein, para identificar las variables clave que influyen en el problema. Tiene en cuenta tres dominios, el de los propósitos, el de las relaciones y el de las capacidades. Estos dominios se relacionan en tres dimensiones, la sociopolítica, la administrativa y la cognitiva. Los elementos que permanecen invariantes en el tiempo constituyen la identidad de la organización. Toda organización tiene planes, fines, proyectos, el rumbo de la organización, el qué es el dominio de los propósitos. Aparece un segundo dominio que es el de las relaciones, es el vínculo que tienen las personas en el marco del desempeño de sus roles. Los roles siempre tienen asociado un para qué y una noción de estatus que es la relación. El tercer dominio, es el de las capacidades para hacer un correcto y eficiente uso de los recursos. Entre la capacidad y el recurso media el conocimiento y entre el recurso y la capacidad la información. [3] En el esquema que sigue se puede apreciar el modelo de identidad.



Identificación de contradicciones, descubrir las tensiones fundamentales que están en juego.

Seleccionar metáforas, cada metáfora resaltará ciertas contradicciones.

Factores críticos, son los factores claves de éxito.

Alcance del diseño

Identificar y categorizar parámetros de diseño.

Etapa 2: Análisis y Desarrollo de Perspectivas

Niveles de recursividad, analizar cómo las contradicciones se manifiestan en diferentes niveles de la organización.

Consideraciones epistemológicas, reflexionar sobre cómo diferentes disciplinas podrían abordar el problema y qué supuestos subyacen a sus enfoques.

Identificar y explicitar los valores que guiarán el proceso de diseño.

Reconocer las relaciones de poder en juego y cómo influyen en las contradicciones y su posible resolución.

Etapa 3: Diseño de la Intervención y Resolución Dialéctica

Desarrollo de la síntesis, proponer una solución que no elimine una de las fuerzas opuestas, sino que las integre en una nueva síntesis.

Enfoque en la acción, traducir la síntesis en acciones concretas. ¿Qué cambios específicos se implementarán?

Diseño participativo, involucrar a los miembros de la organización en el proceso de diseño.

Establecer el "Encuadre", definir claramente los objetivos, roles, responsabilidades, plazos y recursos para la implementación.

Etapa 4: Implementación, Evaluación y Adaptación

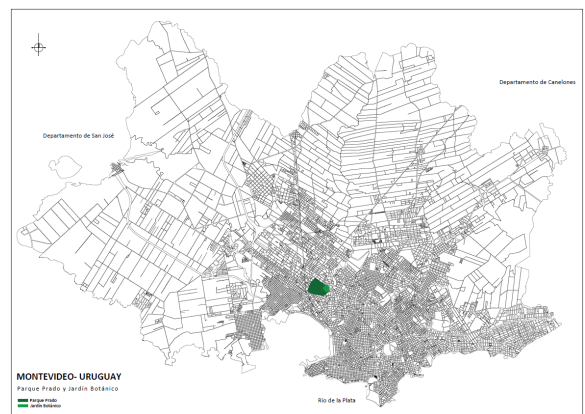
Implementación, poner en práctica la solución diseñada.

Monitoreo y evaluación, ¿La solución está resolviendo las contradicciones de manera efectiva?

Adaptación continua, ajustar la solución en función de los resultados de la evaluación y de los cambios en el entorno.

II. PARQUE PRADO, ROSEDAL Y JARDIN BOTANICO

A. Ubicación en Montevideo.



B. Características

El **Parque Prado** fue el primer parque público de la ciudad, nace de la incorporación sucesiva de los jardines de las casas quinta de la zona Oeste de Montevideo, una de las primeras fue la de José Buschental. En 1889 con la creación de la Dirección de Paseos Públicos de la municipalidad, se promovió una política de “embellecimiento” de los espacios verdes bajo el concepto “la cultura de un pueblo está en relación directa con el adelanto

de sus paseos y jardines". Para llevar adelante esta política se contrató a Loui-Ernest Racine (1861-1903) Ing. Horticultor de la escuela de Versailles. El estilo del parque es una mezcla ecléctica con influencias del paisajismo francés y elementos escultóricos y arquitectónicos de estilo neoclásico. Por otra parte, también se observa la influencia del paisajismo inglés, donde predominan las curvas en la caminería, la vegetación mantiene su aspecto natural y la inclusión de un buen número de elementos románticos: lagos, puentes y grutas. El Prado busca integrar la arquitectura con el entorno natural, creando espacios armoniosos y atractivos para los visitantes.

El Rosedal, ideado en 1912 por Carlos Racine, es el lugar que tuvo más brillo de todo el parque. Albergó en sus canteros y glorietas metálicas una de las colecciones de rosas más importantes del mundo. Inspirado en el jardín francés, de estructura geométrica, en torno a un punto central y rodeado de elementos arquitectónicos, fue el lugar más destacado dentro del parque. Albergó en su momento la variedad de rosas más grande del mundo. El Prado fue rodeado por la ciudad, pero el placer de recorrer sus caminos bordeados de vegetación, el sentir el sonido de la grava bajo nuestros pies y en otoño el de las hojas secas, el placer de su sombra en determinadas épocas del año, y el de los juegos de los niños, no ha cambiado.

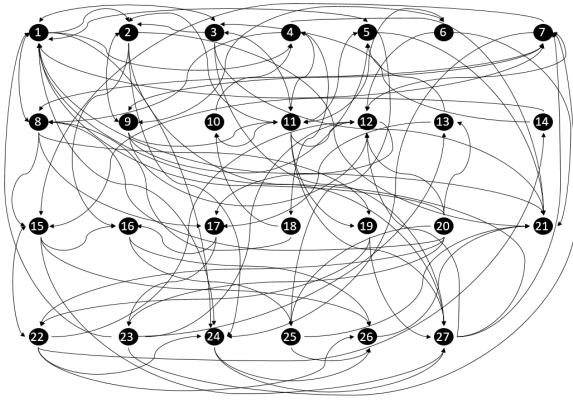
Jardín Botánico Es parte de los terrenos del Parque Prado, se creó en 1907 el "Jardín Botánico" cuyo realizador fue el paisajista francés Carlos Racine, siendo su obra complementada años más tarde por el Arq. Scasso, director de Paseos Públicos. Este sector cuenta con gran variedad de especies de árboles, arbustos, plantas acuáticas y de invernáculo, siendo lugar predilecto de paseo. Este es el único jardín botánico del país; funciona como centro de actividades científicas, de información y educación respecto de la ciencia botánica para el público en general. Permite conocer la flora de las diferentes zonas geográficas del planeta y cuenta con una extensa muestra de plantas: acuáticas, de lugares secos, así como de sombra.

III. APLICACIÓN DEL MÉTODO

El "Informe Preliminar" [4] sobre el Alumbrado Público del Prado busca comprender a fondo el vínculo entre los vecinos y el parque Prado, enfocándose especialmente en el Rosedal y el Jardín Botánico. Para lograrlo se indaga a través de un trabajo de campo con encuestas de carácter cualitativo y cuantitativo analizando las percepciones generales que los residentes tienen del barrio, buscando entender qué tanto se identifican con él y cómo valoran sus distintos aspectos. Para poder alcanzar los objetivos propuestos, se utilizará un enfoque metodológico

mixto: "Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (meta inferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio" [5] El estudio también explorará cómo los usuarios se comportan en el Rosedal y el Jardín Botánico, identificando sus hábitos, los usos que le dan a estos espacios y cómo generan los sentidos de pertenencia. Además, se caracterizan los usos principales de estos lugares, ya sean deportivos, recreativos o simplemente de paso, y con qué frecuencia los vecinos los utilizan. También, se identifican las oportunidades para mejorar estos espacios, así como las necesidades que emergen de los usuarios, ya sea en términos de servicios, infraestructura o seguridad. Se busca también evaluar cómo se percibe el mantenimiento actual y qué actividades colectivas se desean realizar en estos lugares. Finalmente, el estudio presenta las expectativas de los vecinos en cuanto a mejoras futuras, los principales desafíos a abordar y los actores institucionales que consideran responsables del cuidado y mantenimiento de estos espacios. Del estudio definimos 27 patrones de actividades, de relaciones y espaciales, ellos son; (1) Paisaje Verde, (2) Actividades para jóvenes, (3) Actividades Recreativas, (4) Deportes en ambientes cerrados, (5) Descubriendo la cultura del Prado, (6) El Campo y la Ciudad, (7) Barrio Patrimonial, (8) Márgenes del arroyo Miguelete, (9) La Rural del Prado, (10) Instituciones deportivas, (11) Estacionamientos en el Parque, (12) Hitos, (13) Revisando imágenes, (14) Juegos para niñas y niños, (15) Paseos en familia, con amigos o en pareja, (16) Lugares de descanso, (17) Puntos de referencia, (18) Deportes en el espacio verde, (19) Paseo perros, (20) Trabajos en el Parque, (21) Transporte público, (22) Sendas y Calles verdes, (23) Paradas de ómnibus, (24) Caminar solo por los senderos, (25) La primavera, (26) Descubrir la vegetación y la fauna y (27) Un día en el parque.

En el esquema que sigue se pueden ver las interdependencias y sus relaciones verificando visualmente la complejidad de la estructura.



Se aplica la metodología de diseño en organizaciones para espacio verde.

Etapa 1: Diagnóstico y Reconocimiento de Contradicciones

Objeto de Diseño. La intervención lumínica en el Rosedal y Jardín Botánico tiene como objetivo principal la puesta en valor del patrimonio vegetal, priorizando su riqueza botánica por encima de otros objetos o usos, con el fin de recuperar el carácter científico con el que fue concebido originalmente. Para el Parque Prado, mejorar la seguridad, promover el uso nocturno, respetar el valor patrimonial, minimizar el impacto ambiental, y responder a las necesidades de la comunidad.

Análisis del Contexto. El propósito del diseño se centra en la búsqueda de un equilibrio entre la conservación del paisaje, el fomento del bienestar de la comunidad a través de la conexión con la naturaleza, la promoción de la educación ambiental y la búsqueda de espacios de convivencia. Las relaciones actuales reflejan la importancia de la convivencia y la conexión entre los vecinos del barrio Prado y los que usufructúan el parque. Se observa interés en fortalecer el sentido de comunidad y crear espacios seguros y agradables para las personas. Se mencionan actividades como paseos, deporte, recreación, estudio y conexión con la naturaleza. Se evidencia una relación compleja entre los vecinos y las instituciones encargadas de la gestión y el mantenimiento del Parque, destacando la necesidad de mejorar la comunicación, la transparencia y la participación ciudadana en la toma de decisiones. El documento destaca la colaboración entre los vecinos y las organizaciones que trabajan en el barrio, como clubes deportivos, comisiones vecinales, organizaciones culturales, etc. Se busca fomentar la participación activa y el trabajo conjunto para abordar los problemas y desafíos de la zona. También el trabajo deja entrever ciertas tensiones y dificultades en la coordinación entre las diferentes dependencias del gobierno municipal y departamental, lo cual afecta la eficiencia en la prestación de servicios y la resolución de problemas. Parece que es más el interés del

sector privado que el público. Se observa una falta de diálogo y coordinación entre las instituciones públicas y algunas entidades de la sociedad civil, lo cual dificulta la implementación de proyectos y acciones que beneficien a la comunidad. Se mencionan tensiones entre diferentes grupos de usuarios de los parques (por ejemplo, quienes buscan tranquilidad y quienes escuchan música a alto volumen, quienes salen a caminar y quienes realizan deportes, quienes quieren disfrutar del paisaje nocturno y la contaminación lumínica de los clubes o el sector privado), lo cual exige una gestión cuidadosa para garantizar la convivencia y el respeto mutuo. Se busca también asegurar que los espacios públicos sean inclusivos para todas las edades, creando oportunidades de encuentro e interacción entre niños, jóvenes, adultos y personas mayores. Tiene una gran importancia la participación de las vecinas y vecinos y las organizaciones en la planificación y cuidado de estos espacios, apostando por una colaboración activa y coordinada. Todo esto se sustenta en el aprovechamiento inteligente de la infraestructura existente (juegos infantiles, bancos, mesas, lugres reunitivos, de contemplación, de interés cultural y/o patrimonial, etc.) y el desarrollo de las habilidades de quienes utilizan estos espacios, buscando un uso eficiente y sostenible de las capacidades disponibles.

Identificación de Contradicciones. De acuerdo con el documento, se pueden identificar las siguientes tensiones clave que surgen de la investigación:

1. Luz vs. Inseguridad-oscuridad. La inseguridad en algunas zonas del Prado y el deseo de crear un espacio atractivo y utilizado por una amplia variedad de personas, especialmente por la noche. La relación entre la iluminación y la percepción de seguridad es un tema recurrente en diálogo con las personas que utilizan el parque.

2. Valor Patrimonial vs. Modernización. Se valora el carácter histórico y patrimonial del Prado, pero también se expresa un deseo de diversificar las actividades y modernizar el espacio. Ejemplo, agregar más iluminación, comercios, mayor cantidad de eventos, wifi, etc.

3. Inclusión vs. Exclusión. Desde la perspectiva de la igualdad de género, los derechos a disfrutar el parque en cualquier hora del día, se puede diseñar una iluminación inclusiva donde se aseguren lugares reunitivos, sendas, senderos, estacionamientos, paradas de ómnibus, los bordes de los parques y haya una continuidad entre cada elemento que invite a todas las personas a disfrutar del parque.

4. Gobernanza y Coordinación Institucional vs. Fragmentación. Se critica la falta de coordinación entre diferentes instituciones que tienen responsabilidad sobre el parque (Municipio,

Intendencia, otros organismos), así como la falta de información disponible para los vecinos sobre las acciones que se llevan adelante.

5. Necesidades Recreativas vs. Necesidades de Preservación. Ciertas prácticas de mal uso de la luz pueden llevar a contaminar el parque. También el uso desmedido de la luz puede ayudar a instalar o desarrollarse emprendimientos en el parque que también sean contaminantes, aumento de residuos, olores, ruidos molestos, distorsión del paisaje, etc. Como ejemplo tenemos en algunas calles internas picadas, parlantes, venta de comestibles, deportes y entrenamientos en cualquier parte del parque, iluminación del arroyo, etc..

6. Calidad de los servicios vs. Poco presupuesto. Los participantes de los estudios demuestran descontento con ciertas partes del espacio público verde, de bordes donde pasa el arroyo, deterioro de monumentos, falta de cuidado en espacios patrimoniales, falta de mantenimiento en la flora o afectación por malas decisiones. El diseño lumínico pondrá en valor los hitos patrimoniales del parque como una forma de destacarlos y afirmar su presencia para su posterior cuidado.

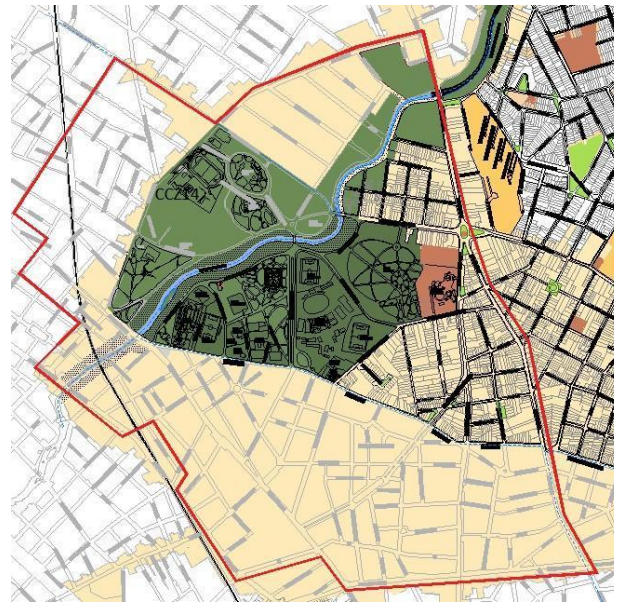
Factores críticos. Para determinar qué haría que el espacio verde iluminado sea exitoso, y contemplando las tensiones que se desprenden de la encuesta realizada a los usuarios en el documento, debemos prestar atención a las fortalezas y debilidades identificadas, así como a las opiniones expresadas sobre los distintos aspectos del parque. Los factores críticos corresponden a la mejora de la seguridad, a la promoción de un ambiente agradable, al manejo de los usos y horarios de cada grupo etario que visita el parque en correspondencia con las necesidades de iluminación de cada área.

Seleccionar Metáforas. Algunas metáforas o frases que se manejan a nivel de la comunidad, “*Es un pulmón de la ciudad*” énfasis en la tensión 5,

7. Conocimiento y disfrute vs. Masificación de uso afectando valor científico y tranquilidad, corresponde a la frase “*Descubrir el Jardín Botánico*”

8. Rural vs. Urbano. corresponde a la frase “*Es el parque donde se juntan el campo y la ciudad*”. Corresponde a la tensión 1. El campo en penumbras la ciudad luz.

Alcance del diseño. Se visualiza en el mapa



Identificar y categorizar parámetros de diseño.

Niveles de iluminación, Tipo de fuentes de luz, Color de la luz, Dirección de la luz, Seguridad, Eficiencia energética, Impacto ambiental, Tipo de luminarias, Tipo de postaciones, Ubicación de las luminarias, Sistemas de control, Integración paisajística, Accesibilidad, Costos, Información sobre el proyecto, Participación ciudadana y Señalización.

Etapa 2: Análisis y Desarrollo de Perspectivas

Niveles de Recursividad

La iluminación transforma la experiencia individual en los recorridos generando distintas atmósferas, invitando a la reflexión, resaltando la belleza del lugar, permitiendo disfrutar de paseos nocturnos seguros y estimulantes, o crear espacios íntimos para la contemplación. La luz podría evocar sensaciones de paz, tranquilidad, asombro y seguridad, permitiendo una conexión más profunda con la naturaleza y el entorno.

Una iluminación adecuada juega un papel crucial en la percepción del Prado, Rosedal y Jardín Botánico como espacios seguros e integradores. Al crear distintas atmósferas y crear ambientes que invitan a estar en ellos, se fomenta la confianza de los visitantes, animándolos a disfrutar del parque en horarios nocturnos y a participar en actividades comunitarias. Una iluminación bien pensada no solo previene actos delictivos, sino que también transmite una sensación de cuidado y respeto por el espacio público.

Un proyecto de iluminación inteligente en el Prado, Rosedal y Jardín Botánico puede contribuir significativamente a la imagen de Montevideo como una ciudad inteligente, cultural y sostenible.

Mediante el uso de tecnologías de bajo consumo energético, el control de la contaminación lumínica y el diseño de una iluminación que destaque el patrimonio natural y arquitectónico transmite un mensaje de compromiso con el medio ambiente y la puesta en valor de la identidad local. A nivel cultural, podría ayudar a darle la importancia necesaria al lugar y a los eventos que allí se realizan. Esto ayuda a construir una imagen de Montevideo como una ciudad que invierte en sus espacios públicos, promueve la cultura y se preocupa por el bienestar de sus ciudadanos y visitantes.

Consideraciones Epistemológicas

Horticultura. Es fundamental seleccionar fuentes de luz artificial con espectros adecuados para no alterar los procesos de crecimiento y floración de las plantas. Se deben priorizar luces que emitan en las longitudes de onda necesarias para la fotosíntesis, evitando aquellas que puedan inhibir o desregular los ritmos circadianos de las especies vegetales. La intensidad de la luz artificial debe ser controlada para evitar el estrés lumínico en las plantas, especialmente en aquellas especies sensibles a la luz nocturna. Es importante estudiar las necesidades específicas de cada tipo de planta para garantizar su correcto desarrollo.

Ecología. La luz artificial puede afectar el comportamiento de los animales nocturnos, alterando sus patrones de alimentación, reproducción y migración. Se deben priorizar fuentes de luz con baja emisión de luz azul, que es la que más atrae a los insectos y desorienta a las aves. Es crucial minimizar la contaminación lumínica, dirigiendo la luz únicamente hacia donde es necesaria y utilizando sistemas de control que permitan regular la intensidad y el horario de encendido, preservando la oscuridad natural en áreas sensibles y minimizando el impacto sobre la fauna local.

Ingeniería. Las tecnologías LED son las más eficientes y sostenibles en la actualidad, ya que ofrecen un alto rendimiento lumínico, una larga vida útil y un bajo consumo energético. Se deben utilizar sistemas de control inteligentes que permitan regular la intensidad de la luz en función de la hora del día, la presencia de personas y las condiciones climáticas, maximizando el ahorro energético y minimizando la contaminación lumínica. Es importante que sea el sistema más eficiente a nivel energético.

Sociología. Es fundamental involucrar a los diferentes grupos de visitantes en el diseño de la iluminación nocturna, con el fin de comprender sus necesidades, preferencias y expectativas. Se pueden realizar encuestas, talleres participativos y otras actividades para recopilar información valiosa que permita crear un espacio público que sea seguro, acogedor y atractivo para todos. Es

importante garantizar que la iluminación nocturna no genere exclusión o discriminación, prestando especial atención a las necesidades de personas con discapacidad visual, adultos mayores y otros grupos vulnerables.

Psicología. Es fundamental considerar el impacto emocional de la luz, utilizando diferentes colores, intensidades y texturas para evocar sensaciones de calma, alegría, asombro o misterio, creando una experiencia nocturna única y memorable

Valores

El derecho de uso y disfrute del espacio público, el diseño con perspectiva de género, la sostenibilidad del medio ambiente, las consideraciones y reglas que garanticen la convivencia para todas y todos.

Análisis de poder

Autoridades de la Intendencia de Montevideo, Departamento de Cultura, Departamento de Desarrollo Urbano, Municipios, Comisiones de Patrimonio, ecologistas y comunidad

Fase 3: Diseño de la Intervención y Resolución Dialéctica

Propuesta de Iluminación General

Parque. La propuesta contempló la renovación del sistema de iluminación general del parque mediante la sustitución de las farolas coloniales existentes por un nuevo modelo de luminaria a nivel peatonal. La luminaria seleccionada incorporó tecnología LED y presentó un diseño clásico con detalles modernos, lo que permitió una integración armónica con el trazado del parque. Esta elección mantuvo el carácter histórico del lugar, respetó su jerarquía espacial y se adaptó adecuadamente al entorno paisajístico. Las mediciones lumínicas realizadas por la UTAP en los senderos internos del parque evidenciaron un nivel de iluminación promedio de aproximadamente 9 lux. Con la instalación de las nuevas luminarias, se logrará un incremento en la calidad lumínica, alcanzando un nivel medio de 15 lux. Aunque se conservó una temperatura de color cálida, esta no fue tan baja como la ofrecida por las lámparas de sodio, lo que implicó un cambio perceptible para los usuarios habituales del parque.

Rosedal. Se diseñó un sistema de iluminación "inteligente" que se adapte a las necesidades cambiantes. Se utilizarán luces LED de baja intensidad y espectro controlado para minimizar la contaminación lumínica y el impacto en la fauna. La iluminación será selectiva en las zonas clave para destacar su belleza y facilitar la orientación. Se implementarán sensores de movimiento para encender las luces solo cuando sea necesario. Se ofrecen diferentes experiencias de iluminación según la temporada y los eventos especiales.

Jardín Botánico. La propuesta se basa en el concepto de "descubrir el jardín botánico". Este espacio, de alto valor paisajístico, promueve el desarrollo natural de las especies con mínima intervención humana. En línea con esta lógica, el diseño lumínico propone una intervención sutil y respetuosa, utilizando la menor cantidad posible de puntos de luz. La iluminación busca develar e insinuar, más que exponer, destacando únicamente los hitos vegetales definidos por el cliente.

Umbral de Acceso. Se proyecta un umbral de transición entre la vía pública y el jardín, pensado como un espacio de adaptación sensorial. Su propósito es preparar gradualmente la visión del visitante para adentrarse en un entorno más tenue y contemplativo

Senderos. Para promover un recorrido tranquilo y pausado, se propone instalar bolardos de iluminación ubicados a una distancia aproximada de 7 metros entre sí, ubicados al borde de los senderos. Estos actuarán como guía visual para los peatones, sin sobre iluminar el entorno

Iluminación de Hitos. Los hitos botánicos se iluminarán de acuerdo con su carácter: ya sea como especie individual o conjunto vegetal. Esta iluminación estará alineada con el concepto de contemplación, buscando revelar la esencia de cada especie. Se empleará un sistema de control de luminarias programado según horarios o eventos, para asegurar eficiencia energética y flexibilidad en el uso del espacio.

IV. RESULTADOS

En el informe, "Sondeo expost. Acondicionamiento lumínico y Sistema Inteligente del Prado"[6] se elabora a un año de implementado el proyecto, el cual presenta los siguientes resultados frente a las tensiones detectadas:

1. Luz vs. Inseguridad- Oscuridad.

	Iluminación		Seguridad	
	2023	2024	2023	2024
Muy satisfecho	2,3	12,6	5,1	25,8
Satisfecho	13,6	50,9	14,7	54,1
Ni satisfecho ni insatisfecho	17,4	8,2	28,7	15,7
Insatisfecho	46,2	5,7	43,4	3,8
Muy Insatisfecho	20,5	2,5	8,1	,6
No sé	0,0	20,1	0,0	0,0
Total	100,0	100	100,0	100

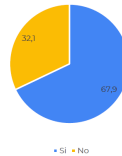
En el cuadro se aprecia en % el grado de satisfacción que antes de comenzar la obra (Muy satisfecho + Satisfecho) era igual a 13,9%, una vez culminada pasó a 73,5%. Lo mismo sucede con la sensación de seguridad pasa de ser 19,8% a 79,9%. El trabajo se realizó sobre un total de 159 personas asistentes al Rosedal (76 personas) y al Jardín Botánico (83 personas).

2. Valor Patrimonial vs. Modernización.

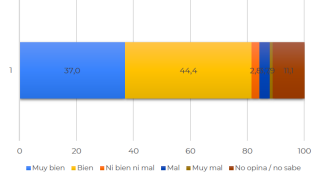
La valoración de la aplicación del Jardín Botánico para descubrir la vegetación de las distintas especies de acuerdo con su procedencia es muy alta.

3. Para el resto de las tensiones se evalúa la satisfacción por el alumbrado del parque.

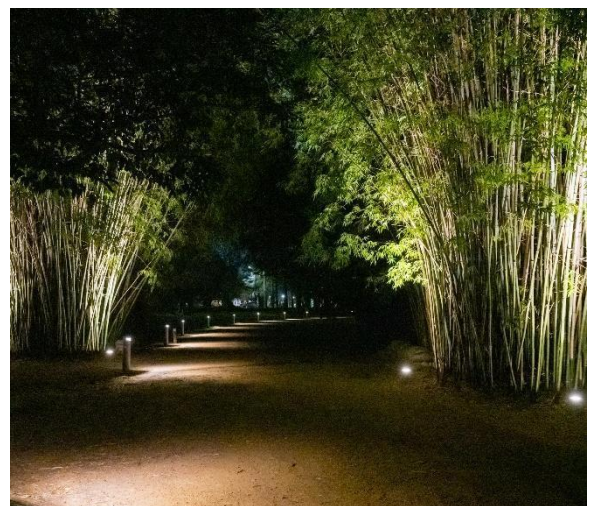
¿Notaste que se hicieron cambios en materia de iluminación en esa zona?



¿Cómo evaluás los cambios lumínicos realizados en la zona?



4. Imágenes de los proyectos





	Niveles (lx)	Umed	Umax
2023	9	0,34	0,10
2024	15	0,46	0,20

Se incrementaron los niveles en un 67% y se mejoraron las uniformidades media y extrema. En los lugares reunitivos se mantuvieron los niveles de iluminación y se mejoró la uniformidad media y extrema a valores de 0,57 y 0,25 respectivamente.

V. CONCLUSIONES

El método para diseñar el espacio público funciona si podemos contar con una investigación de carácter social del espacio público que permita modelar a través del Modelo de Identidad y se puedan identificar las variables de contexto que estén en juego.

Se puede apreciar que el diseño de acondicionamiento lumínico resuelve las tensiones vinculadas al alumbrado artificial en forma parcial, ajusta el punto entre dos polos tensionados, pero se aprecia que el abordaje debe ser integral.



VI. REFERENCIAS

- [1] Leonardo Schvarstein, (1998). del libro "Diseño de Organizaciones. Tensiones y Paradojas". Editor: Paidós Ibérica.
- [2] Edgar Morin (1994). "Introducción al pensamiento complejo". Editor: Gedisa.
- [3] Jorge Etkin y Leonardo Schvarstein (2000). "Identidad de las Organizaciones. Invarianza y Cambio" Editor: Paidós.
- [4] Nómade Comunidad Consultora (2023). "Informe Preliminar. Acondicionamiento Lumínico y Sistema Inteligente del Prado".
- [5] Hernández-Sampieri y Mendoza, (2008), "Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta" Artículo Académico.
- [6] Nómade Comunidad Consultora (2024). "Sondeo exPost. Acondicionamiento Lumínico y Sistema Inteligente del Prado".



5. Valores obtenidos en las Sendas del Prado



VII. BIOGRAFIAS



Arquitecta Valeria Acosta recibida en la Universidad de la República Facultad de Arquitectura. Actualmente se desempeña en la Unidad Técnica de Alumbrado Público de la Intendencia de Montevideo Uruguay como Arquitecta especializada en diseños de proyectos de iluminación urbana.



Ingeniero Electricista recibido en la Universidad de la República Facultad de Ingeniería. Actualmente se desempeña en la Unidad Técnica de Alumbrado Público de la Intendencia de Montevideo Uruguay como Gerente.



Actualización del sistema de alumbrado público en el Boulevard Bernabé Aráoz, Municipio de Yerba Buena en Tucumán

Miguel A. Costilla¹

1- Municipalidad de Yerba Buena, Tucumán, Argentina.

migueltuc@gmail.com

Oscar U. Preciado Olvera^{2,3}, Sophia Heredia^{2,3}, Natalia Valladares^{2,3}

2- Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán (DLLyV-FACET-UNT).

3- Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV-UNT-CONICET) Av. Independencia 1800, 4000 Tucumán, Argentina

Resumen: El Boulevard Bernabé Aráoz en la Municipalidad de Yerba Buena, ha experimentado una notable transformación con el reciente recambio de su sistema de alumbrado público. El municipio ha reemplazado las antiguas luminarias de sodio en alta presión por luminarias con tecnología LED que proporcionan un mayor nivel de iluminación y una tonalidad blanca, lo cual permite distinguir mejor los colores y detalles del entorno. Esta mejora beneficia a conductores y peatones, haciendo más seguros los desplazamientos nocturnos. Este nuevo sistema cuenta además con drivers regulables que adaptan la iluminación según las necesidades reales de cada momento. En este trabajo, se analizan los beneficios de esta renovación más allá de lo visible, poniendo énfasis en los ahorros energéticos, la eficiencia y la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero. Esta actualización tecnológica demuestra el potencial que tiene la modernización de los sistemas de iluminación para transformar positivamente el espacio público. Los resultados obtenidos abren la posibilidad de hacer análisis, comparaciones y extender esta experiencia a otros sectores de la ciudad.

Palabras claves: Alumbrado público, tecnología LED, eficiencia energética

Abstract: Bernabé Aráoz Boulevard in the Municipality of Yerba Buena has undergone a remarkable transformation with the recent replacement of its public lighting system. The municipality has replaced the old high-pressure sodium luminaires with LED technology luminaires that provide a higher level of illumination and a white hue, making it possible to better distinguish

colors and details of the environment. This improvement benefits drivers and pedestrians, making nighttime travel safer. This new system also has adjustable drivers that adapt the lighting according to the real needs of each moment. In this work, the benefits of this renovation are analyzed beyond the visible, emphasizing energy savings, efficiency and the reduction of greenhouse gas emissions. This technological replacement demonstrates the potential of modernization of lighting systems to positively transform public space. The results obtained open up the possibility of analysis, comparisons and the extension of this experience to other sectors of the city.

Palabras claves: Street lighting, LED technology, energy efficiency

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de crisis ambiental y creciente demanda energética, la eficiencia en el uso de los recursos se ha convertido en una prioridad tanto a nivel global como local. La transición hacia un modelo de desarrollo más sostenible constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI. En este marco, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por las Naciones Unidas brindan una hoja de ruta para promover acciones concretas que garanticen el bienestar de las generaciones presentes sin comprometer los recursos del futuro [1].

Entre los múltiples sectores que contribuyen al consumo energético, la iluminación pública representa una fracción significativa,

especialmente en entornos urbanos en expansión. La modernización de estos sistemas constituye una estrategia clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, optimizar los recursos y mejorar la calidad del espacio público.

El avance tecnológico en fuentes de luz, como las luminarias LED, ha permitido a los gobiernos locales implementar políticas de eficiencia energética con resultados tangibles [2][3]. Estas luminarias no solo consumen menos energía que las tecnologías tradicionales, sino que también ofrecen mejoras en la calidad de la luz, la percepción del entorno y la seguridad urbana [4]. Además, la incorporación de sistemas regulables permite adaptar la iluminación según horarios y necesidades reales, potenciando el ahorro energético.

En este trabajo se analiza la actualización del sistema de alumbrado público en el Boulevard Bernabé Aráoz, ubicado en el Municipio de Yerba Buena, provincia de Tucumán. Esta intervención consistió en el recambio de luminarias de sodio de alta presión por tecnología LED, con drivers regulables. A través del estudio de esta experiencia concreta, se examinan los beneficios funcionales, energéticos y ambientales de la renovación, evaluando su impacto en la calidad del espacio urbano y su potencial de replicabilidad en otras zonas del municipio.

II. CLASIFICACIÓN DE LA VÍA DE TRÁNSITO Y LUMINARIAS

En este estudio se analizaron 48 luminarias instaladas en la calle Boulevard Bernabé de la ciudad de Yerba Buena.

Se hizo un relevamiento de la instalación existente considerando: 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). Sólo se consideró la iluminación funcional de la vía de circulación para esta investigación, por lo que la iluminación ambiental quedó fuera del alcance de este estudio.

A. Clasificación de la vía según norma IRAM AADL J2022-2

La norma IRAM J2022-2 establece clasificaciones de las vías de tránsito de acuerdo con criterios tales como la densidad del tráfico, la velocidad de los vehículos, la presencia de peatones, entre otros.

Para este estudio se clasificó la vía de tránsito Boulevard Bernabé de la ciudad de Yerba Buena como vía de tránsito tipo D, por ser una zona residencial y comercial. Además, se considera que en un futuro cercano, por las edificaciones cercanas, será un área más comercial.

B. Geometría de la calzada

La geometría de la calzada es una vía con dos direcciones de desplazamiento con un ancho de la calzada (w) de 8,9 m, y una platbanda o mediana de 4 m.

La disposición del sistema de iluminación es central bilateral. La distancia promedio entre postes (s) es de 38 m. Altura de montaje (h) 12 m, longitud de brazo de 3,1 m, saliente (o) 0,8 m e inclinación del brazo (δ) es de 10 grados.

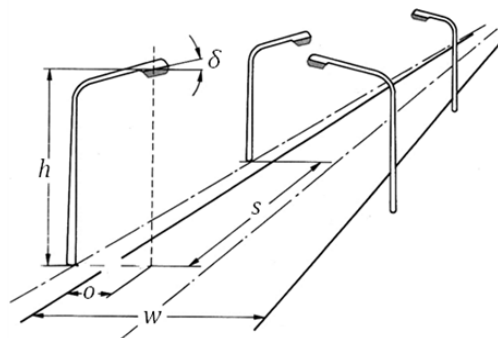


Fig. 1: Esquema de una vía de tránsito para su identificación geométrica

C. Luminarias evaluadas

Las luminarias comparadas del sistema de iluminación son de dos tipos distintos de tecnología, una luminaria de sodio de alta presión (SAP) y una de tecnología LED (TABLA I).

TABLA I: Luminarias de la instalación.

Luminaria	Tecnología	Potencia (W)	Equipo auxiliar
L1	SAP	250	No regulable
L2	LED	180	Regulable

III. MÉTODOS Y MATERIALES

Los relevamientos se hicieron en el año 2024, para esto se utilizó un luxómetro Minolta LS100. Se marcó una grilla de 9 puntos transversales y 10 longitudinales entre dos postes consecutivos. Los puntos de medición se determinaron según la grilla de la técnica de la iluminancia [5].

Las mediciones fotométricas de la instalación con luminarias de SAP se llevaron a cabo en marzo de 2024 y las mediciones de la instalación con luminarias de LED en septiembre de 2024 luego del recambio.

IV. RESULTADOS

A. Cumplimiento de la Norma

La clasificación de las vías de tránsito en la norma argentina IRAM-AADL J 2022-2 propone exigencias de parámetros luminotécnicos a cumplir en cada uno de estos tipos de vías.

En el relevamiento se midieron los siguientes parámetros: la iluminancia media (E_m), las uniformidades G1 (E_{min}/E_{med}), y G2 (E_{min}/E_{max}) .

TABLA II: Mediciones de parámetros luminotécnicos

	SAP	LED
E_{med} (lx)	12,1	32,5
E_{min} (lx)	1	21
E_{max} (lx)	34	45,1
G1 (E_{min}/E_{med})	0,08	0,65
G2 (E_{min}/E_{max})	0,03	0,46

Considerando que es una vía de tránsito D, los requerimientos de E_m , G1 y G2 son: 27(min)-34(max) lx, 0.33 y 0.16 respectivamente. Se aprecia que el valor de E_m de la instalación de tecnología de sodio de alta presión no cumple con los requerimientos establecidos por la norma argentina. Su valor es menor al 50% del especificado en la norma (ver TABLA II) Mientras que la instalación de tecnología LED cumple con los parámetros luminotécnicos recomendados.

B. Reducción del flujo

Los drivers regulables en luminarias de led ofrecen flexibilidad, regulación de la iluminación y reducción en el consumo de energía, permitiendo ajustar los niveles de iluminación según las necesidades del usuario.

El perfil de regulación de una fase del sistema de iluminación (ver Figura 2) muestra que en las primeras 4 horas las luminarias están encendidas para suministrar el 100% de su flujo luminoso. En las siguientes 2 horas las luminarias se regulan al 90% del flujo luminoso. Luego, las luminarias proporcionan un 80% de su flujo luminoso durante 3 horas más aproximadamente, y las siguientes 3 horas al 70% del flujo luminoso total. Y finalmente, suministra el 100% del flujo luminoso en las últimas 2 horas del encendido. Esta descripción de un ciclo de encendido diario varía de acuerdo a las estaciones del año, por la disponibilidad de luz diurna.



Fig. 2: Perfil de regulación del sistema de iluminación de una fase.

C. Consumo

Cuando evaluamos el consumo de las instalaciones en ambos relevamientos podemos ver un ahorro significativo del mismo.

El consumo en la instalación de SAP era de 62.634KWh/año. Si tenemos en cuenta el recambio de luminarias solamente, al pasar a tecnología LED el consumo se reduce a 40.997KWh/año significando un ahorro del 34,5% respecto del consumo con SAP (ver Fig. 3).

Si a esa situación sumamos el esquema de regulación de flujo que se diseñó para la instalación el consumo anual baja a 35.636KWh/año resultando un ahorro del 43% con respecto a la instalación de SAP. Esto se traduce en 14KgCO2 menos que se libera a la atmósfera por producción eléctrica.

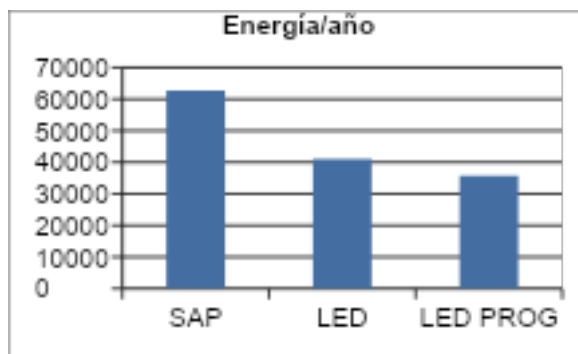


Fig. 3: Consumo de energía anual del sistema de iluminación con SAP, LED y LED con regulación.

V. CONCLUSIONES

La renovación del sistema de iluminación en el Boulevard Bernabé Aráoz, que reemplazó las luminarias de sodio por LED regulables, no solo mejoró la iluminación de la vía, sino que también incrementó la seguridad en los recorridos nocturnos para peatones y conductores. Las nuevas luminarias permiten percibir con mayor claridad la iluminación, los colores y los detalles del entorno.

Además, al consumir menos energía, estas luminarias generan un ahorro anual estimado de 26,998 kWh/año, lo que equivale a

aproximadamente 14 kg de CO₂ al año, contribuyendo así de manera tangible al cuidado del medio ambiente. La posibilidad de regular el flujo luminoso según las necesidades del momento optimiza aún más el consumo, demostrando que es posible combinar eficiencia, sostenibilidad y calidad de vida urbana.

Esta experiencia evidencia que la modernización del sistema de iluminación tiene un impacto directo en la calidad del espacio urbano y ofrece un modelo replicable en otras zonas de la ciudad de Yerba Buena.

VI. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Municipalidad de Yerba Buena de Tucumán y al Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión de la FACET-UNT, por los recursos brindados para la realización de las mediciones.

VII. REFERENCIAS

- [1] Objetivos de Desarrollo Sostenible. ONU. 2021.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [2] 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.
- [3] PLAE (Plan Alumbrado Eficiente – Ministerio de Energía y Minería), 2021. "Especificación Técnica para la adquisición de luminarias LED de Alumbrado Público". Buenos Aires, 2021.
- [4] Hurtado González, A.M. Influencia del alumbrado público sobre la seguridad y la conducta. Granada: Universidad de Granada, 2016. [<http://hdl.handle.net/10481/41093>]
- [5] Norma IRAM AADL J 2022-2 (2021). Alumbrado Público. Vías de tránsito. Clasificación y niveles de iluminación.

VIII. BIOGRAFÍAS



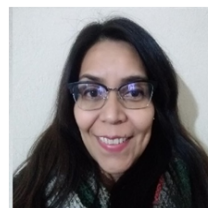
Miguel A. Costilla es Director de Alumbrado Público de la Municipalidad de Yerba Buena. Es diseñador de iluminación por la UNT; Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la UNT.



Oscar Ulises Preciado Olvera, 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. Actualmente es Investigador del CONICET y Profesor del DLLyV-FACET-UNT.



Sophía Heredia es estudiante del Doctorado en Ciencias y Tecnologías de la luz 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.



Natalia Valladares es diseñadora de iluminación por la UNT; Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la UNT; Magíster en Luminotecnia por la UNT; es estudiante del Doctorado en Ciencias y Tecnologías de la luz por la UNT. 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.



SIGAP Sistema Integral para la Gestión del Alumbrado Público en la Ciudad de Paraná

Ignacio Fernández, Alejandro Del Campo, Delfina Rocha, Hasenauer Juan.

Gobierno de la Municipalidad de Paraná, J.J. Urquiza y Corrientes. Paraná, Entre Ríos Argentina. juan.hasenauer@gmail.com

Resumen: La Dirección de Proyectos y Sistemas Lumínicos de la Municipalidad de Paraná desarrolló e implementó SIGAP (Sistema Integral de Gestión de Alumbrado Público) como herramienta estratégica para modernizar y centralizar la administración del sistema lumínico urbano, superando las limitaciones de herramientas CAD y planillas de cálculo.

El sistema complementa el entorno georreferenciado **QGIS**, integrando datos técnicos de cada punto de luz (tecnología, marca, altura, driver, tipo de columna) con información operativa como consumo energético, órdenes de mantenimiento, recambios, movimientos y facturación.

Entre sus principales funcionalidades se destacan: monitoreo de consumo y corrección del factor de potencia; georreferenciación de luminarias y tableros; seguimiento del recambio a LED con trazabilidad por ubicación y fecha; generación de reportes técnicos para la empresa distribuidora de energía eléctrica; e interoperabilidad total con QGIS, permitiendo que cada nuevo punto incorporado en el sistema cartográfico se integre automáticamente con historial técnico asociado.

La implementación de SIGAP constituye un salto de calidad en la gestión del alumbrado público, consolidando una base de datos unificada, dinámica y precisa que optimiza el planeamiento, el mantenimiento y la toma de decisiones, con impacto directo en eficiencia energética y transparencia operativa.

Palabras claves: SIGAP, Alumbrado Público, Gestión Energética, QGIS, Municipalidad de Paraná.

Abstract: The Projects and Lighting Systems Department of the Municipality of Paraná developed and implemented SIGAP (Integrated Public Lighting Management System) as a strategic tool to modernize and centralize the administration of the city's lighting infrastructure,

overcoming the limitations of CAD tools and spreadsheet-based management.

SIGAP complements the georeferenced QGIS environment by integrating technical data for each lighting point (technology, brand, height, driver, pole type) with operational information such as energy consumption, maintenance orders, replacements, asset movements, and billing records.

Key functionalities include: energy consumption monitoring and power factor correction; georeferencing of luminaires and control cabinets; LED retrofit tracking with location and date traceability; generation of technical reports for the electricity distribution company; and full interoperability with QGIS, ensuring that every new point added to the cartographic system is automatically linked to its technical history.

The implementation of SIGAP represents a qualitative leap in public lighting management, consolidating a unified, dynamic, and precise database that enhances planning, maintenance, and decision-making, with a direct impact on energy efficiency and operational transparency.

Palabras claves: Public Lighting, Energy Management, GIS, SIGAP, Municipality of Paraná.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente del alumbrado público es un desafío clave para los municipios, no solo por su importancia en la seguridad vial y la calidad del espacio urbano, sino también por el impacto económico y ambiental que implica su operación. En este contexto, la transformación hacia modelos de administración basados en datos precisos y herramientas tecnológicas integradas se ha convertido en un objetivo estratégico para mejorar la eficiencia energética, optimizar recursos y garantizar la trazabilidad de las intervenciones.

Históricamente, en la Municipalidad de Paraná la información del sistema lumínico urbano se gestionaba mediante planos elaborados en CAD y

planillas de cálculo, herramientas poco eficientes para la extracción rápida de estadísticas, el análisis georreferenciado y la generación de reportes técnicos. Estas limitaciones dificultaban la centralización de datos y la gestión integral del servicio.

Frente a esta necesidad, la Dirección Técnica de Alumbrado Público con recursos y personal propio desarrollo e implementó el Sistema Integral de Gestión de Alumbrado Público (SIGAP), diseñado para interoperar con el software de información geográfica QGIS. Esta plataforma unifica información técnica, operativa y energética del alumbrado, facilitando el monitoreo, la planificación y el mantenimiento, con el objetivo de reducir costos, optimizar consumos y avanzar en la transición hacia un alumbrado público 100% LED tal como se observa en la figura 1(a).



Fig. 1. (a) Sistema Integral De Gestión De Alumbrado Público.

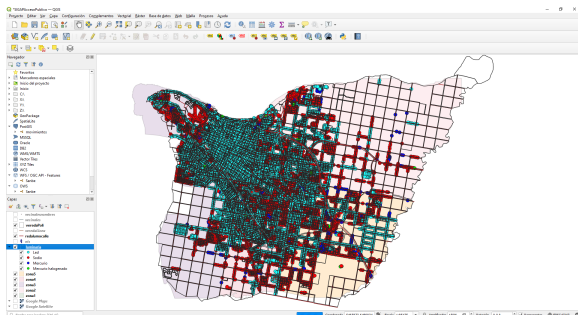


Fig. 1. (b) Base de datos de luminarias georreferenciadas de Alumbrado Público.

II. MARCO TEÓRICO

Ciudades inteligentes

La gestión del alumbrado público ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, pasando de sistemas analógicos de control y registro a plataformas digitales con integración de datos georreferenciados y análisis en tiempo real. Esta transición responde a la necesidad de optimizar recursos, mejorar la eficiencia energética y aumentar la calidad del servicio en el contexto de las ciudades inteligentes.

Sistemas de Información Geográfica: QGIS

Un SIG o Sistema de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) es un marco de trabajo constituye una herramienta fundamental

para la administración de infraestructuras urbanas que permite recopilar, gestionar, analizar y visualizar datos que tienen una referencia espacial. En esencia, un SIG vincula datos de una base de datos a una ubicación geográfica en un mapa, permitiendo realizar análisis complejos que no serían posibles con tablas o planillas de cálculo tradicionales. En el caso del alumbrado público, el uso de SIG facilita la georreferenciación de cada luminaria, tablero o elemento del sistema, permitiendo asociar a cada punto atributos técnicos (tipo de tecnología, potencia, altura de montaje, fabricante) y datos operativos (mantenimientos, reemplazos, consumos).

QGIS (anteriormente conocido como Quantum GIS) es el software SIG de **código abierto** (*open source*) más utilizado y reconocido a nivel mundial. Al ser libre y gratuito, elimina las barreras económicas de licencias costosas, lo que lo convierte en una herramienta estratégica y accesible para organismos públicos, municipios, investigadores y empresas [1].

Las principales características que hacen de QGIS una herramienta fundamental para la gestión de infraestructuras urbanas, como el alumbrado público, son:

- **Visualización y Mapeo:** Permite crear mapas detallados y personalizados, superponiendo distintas capas de información (por ejemplo, una capa con las calles, otra con la ubicación de las luminarias, y otra con los tableros de control) tal como se observa en la figura 1(b).
- **Gestión de Datos:** Facilita la creación y edición de datos geográficos. Los usuarios pueden añadir nuevos puntos (como una nueva luminaria), líneas (como el tendido eléctrico) o polígonos (como las áreas de cobertura de un tablero) y asociarles una tabla de atributos con toda su información técnica (potencia, modelo, fecha de instalación, etc.).
- **Análisis Espacial:** Ofrece un conjunto de herramientas muy potente para analizar patrones espaciales. Permite responder preguntas como: ¿Qué zonas tienen mayor concentración de fallas? ¿Cuál es la distancia promedio entre luminarias en un barrio determinado?
- **Interoperabilidad:** Una de sus mayores fortalezas es la capacidad de conectarse con una gran variedad de formatos de datos y bases de datos, como **PostgreSQL/PostGIS**. Esta característica es la que permite la integración directa con sistemas de gestión externos como SIGAP, asegurando que la información

fluya sin problemas entre el mapa y la plataforma administrativa.

Para el caso específico de la gestión del alumbrado público, QGIS funciona como el **entorno cartográfico** donde se materializa el inventario de activos. Al integrarlo con SIGAP, se combina la potencia del análisis espacial y la visualización de QGIS con la gestión administrativa, operativa y energética, logrando un control verdaderamente integral y georreferenciado del servicio.

III. MATERIALES Y MÉTODO

El desarrollo e implementación de SIGAP se estructuró en fases que abarcaron desde el diseño conceptual hasta la integración operativa, utilizando herramientas de software libre para garantizar la escalabilidad y sostenibilidad del sistema.

Arquitectura del Sistema

La plataforma SIGAP se construyó sobre una arquitectura de tres componentes principales:

1. **Base de Datos Centralizada:** Se utilizó un sistema de gestión de bases de datos relacionales **PostgreSQL** con su extensión espacial **PostGIS**. Esta elección permite almacenar de manera eficiente tanto los datos alfanuméricos (características técnicas, historial de mantenimiento, datos de consumo) como los datos geográficos (coordenadas de luminarias y tableros), asegurando la integridad y la consistencia de la información.
2. **Aplicación Web (Backend y Frontend):** Se desarrolló una aplicación web a medida que funciona como el núcleo del sistema. El **backend** gestiona la lógica de negocio, el procesamiento de datos y la comunicación con la base de datos. El **frontend** consiste en una interfaz de usuario intuitiva y accesible a través de un navegador web, diseñada para que el personal técnico y administrativo de la Municipalidad pueda realizar consultas, cargar datos y generar reportes sin necesidad de conocimientos avanzados en sistemas de información geográfica [2].
3. **Integración con QGIS:** La interoperabilidad con **QGIS** es uno de los pilares del sistema. Se estableció una conexión directa entre QGIS y la base de datos PostGIS. Esto permite que los equipos de campo, al añadir o modificar un punto de luz en el sistema cartográfico de QGIS, actualicen automáticamente la base de datos central. SIGAP lee esta información en tiempo real, vinculando

instantáneamente los datos geográficos con su correspondiente ficha técnica y operativa dentro de la aplicación web.

Proceso de Carga y Mapeo de Datos

El proceso de implementación comenzó con una fase de relevamiento exhaustivo para migrar la información existente en planos en formato CAD y planillas de cálculo al nuevo sistema. Se georreferenció cada punto (luminarias, columnas, tableros de comando) y se digitalizaron sus atributos técnicos. Simultáneamente, se establecieron los flujos de trabajo para la gestión de órdenes de mantenimiento, recambios y altas de nuevos puntos de luz, asegurando que cada intervención quedara registrada en el historial del activo correspondiente.

IV. RESULTADOS

La implementación de SIGAP ha generado resultados tangibles en la gestión del alumbrado público de Paraná, transformando los procesos operativos y la capacidad de análisis estratégico.

Centralización y Georreferenciación Total de Activos

Se ha consolidado una base de datos única que contiene el inventario completo del sistema de alumbrado. Cada luminaria, poste y tablero de comando está georreferenciado y cuenta con una ficha técnica detallada que incluye: tecnología (LED, sodio, etc.), potencia, marca y modelo del artefacto y del driver, tipo de columna, altura de montaje y estado operativo. Esto eliminó la dispersión de datos y las inconsistencias de los sistemas anteriores.

Trazabilidad Completa del Plan de Recambio a LED

SIGAP ofrece un seguimiento preciso y en tiempo real del avance del plan de reconversión a tecnología LED. El sistema permite generar mapas temáticos y reportes que muestran las zonas ya modernizadas, el número de luminarias reemplazadas por fecha o por barrio, y el inventario de equipos retirados. Esta funcionalidad es clave para planificar las futuras etapas de inversión y medir el impacto del programa.

Optimización del Mantenimiento y la Operatividad

La gestión de reclamos y órdenes de trabajo ha sido completamente digitalizada. Cuando se reporta una falla, el operador puede identificar de inmediato la luminaria exacta en el mapa, consultar su historial técnico y generar una orden de trabajo digital para el equipo de mantenimiento. Una vez resuelta la incidencia, se actualiza el estado del activo y se registran los

materiales utilizados, optimizando los tiempos de respuesta y los recursos asignados.

Generación de Reportes y Análisis Energético

El sistema automatiza la generación de reportes técnicos que antes requerían un laborioso trabajo manual. Entre ellos se destacan:

- **Informes para empresa distribuidora de energía:** Creación de los reportes de consumo y declaración de cargas, cumpliendo con los requisitos de la distribuidora eléctrica, tal como se observa en la figura 2.
- **Análisis de Consumo:** Monitoreo del consumo energético por tablero o por zona, permitiendo detectar desvíos y evaluar el ahorro real obtenido por el recambio a LED.
- **Corrección del Factor de Potencia:** Identificación de tableros con bajo factor de potencia para planificar las correcciones necesarias y evitar penalizaciones económicas.

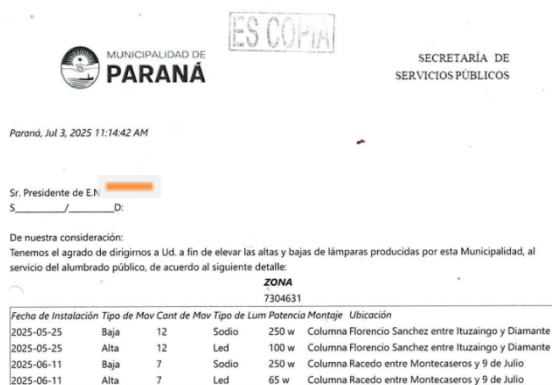


Fig. 2. Movimientos de luminarias generados por SIGAP.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La adopción de SIGAP representa un salto cualitativo fundamental en la administración del alumbrado público municipal. La transición desde herramientas estáticas y desarticuladas como CAD y planilla de cálculo hacia una plataforma dinámica e integrada ha demostrado ser un factor decisivo para la modernización de la gestión. El principal valor del sistema no reside únicamente en la digitalización del inventario, sino en su capacidad para convertir datos en información estratégica para la toma de decisiones.

Tener un control preciso sobre cada punto de luz, su historial y su consumo energético permite una planificación proactiva en lugar de reactiva. Por ejemplo, el análisis de la tasa de fallas por marca o modelo de luminaria puede fundamentar futuras compras, mientras que la visualización de las

zonas con mayor consumo orienta las prioridades del plan de recambio a LED.

Desde una perspectiva operativa, la interoperabilidad con QGIS ha cerrado la brecha entre el trabajo de campo y la gestión administrativa. Esta sinergia asegura que la base de datos se mantenga actualizada y fiable, convirtiéndose en un "gemelo digital" del sistema de alumbrado físico. Esto no solo mejora la eficiencia del mantenimiento, sino que también fortalece la transparencia, ya que cada intervención y cada costo asociado quedan registrados de forma auditable. En definitiva, SIGAP no es solo una herramienta de gestión, sino un pilar en la estrategia de la Municipalidad de Paraná para construir una ciudad más inteligente.

Como trabajos futuros, se plantean las siguientes líneas de desarrollo para expandir las capacidades del sistema:

- **Integración de telegestión:** Incorporar sistemas de telegestión que permitan la comunicación con luminarias punto a punto o por grupo, para regular la intensidad lumínica y detectar fallas en tiempo real.
- **Portal de atención ciudadana:** Desarrollar una interfaz pública donde los vecinos puedan reportar incidencias directamente sobre un mapa, generando automáticamente una orden de trabajo en SIGAP.
- **Mantenimiento predictivo:** Utilizar el historial de datos acumulado para desarrollar modelos que permitan predecir fallas en componentes y planificar su reemplazo antes de que ocurran, minimizando interrupciones en el servicio.

VI. CONCLUSIONES

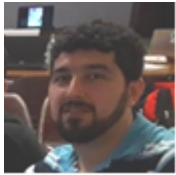
El Sistema Integral de Gestión de Alumbrado Público (SIGAP) ha superado con éxito su objetivo de modernizar y centralizar la administración del sistema lumínico de Paraná. La plataforma ha demostrado ser una herramienta eficaz para optimizar el planeamiento, el mantenimiento y la gestión energética, consolidando una base de datos unificada, precisa. Además, sirve como fundamento para decisiones estratégicas.

La implementación de SIGAP ha permitido mejorar la eficiencia operativa, y avanzar de manera ordenada en la transición hacia una tecnología 100% LED, con un impacto directo en la reducción de costos y la mejora de la calidad del servicio.

VII. REFERENCIAS

- [1] QGIS Development Team. (2024). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- [2] Mozilla Developer Network (MDN). (2024). Client-Server overview: Frontend and Backend development.

VII. BIOGRAFÍAS



Juan Hasenauer, Nació en la ciudad de Paraná Argentina el 2 de junio de 1991. Se graduó de ingeniero en electromecánica en el año 2019. Actualmente cursa la maestría en energías renovables de la UTN FRP. Se desempeña como director técnico en la Dirección de Alumbrado Público de la Municipalidad de Paraná.



Delfina Rocha, nació en Paraná, provincia de Entre Ríos, el 4 de mayo de 1995. Es estudiante avanzada de la carrera Ingeniería en Electromecánica de la facultad Regional Paraná de la UTN. Se desempeña como ayudante de segunda en la cátedra Matemáticas para Ingenieros e integra los grupos de investigación GIF y GiePi en la UTN FRP. Actualmente realiza una pasantía en la Dirección de Alumbrado Público de la Ciudad de Paraná.



Transformación energética del alumbrado público implementación del plan 100% LED en Paraná

Hasenauer Juan, Bolzan Kevin, Hirschfeld Julián, Romero Rosario.

Gobierno de la Municipalidad de Paraná, J.J. Urquiza y Corrientes. Paraná, Entre Ríos
Argentina. juan.hasenauer@gmail.com

Resumen: La Municipalidad de Paraná impulsa un plan integral para lograr un 100% de cobertura con tecnología LED en el alumbrado público urbano, en el marco de una estrategia de eficiencia energética y sostenibilidad.

El proyecto, desarrollado por la Dirección de Proyectos y Sistemas Lumínicos, inició con el relevamiento técnico de más de 35.000 puntos de luz, registrando tipología de luminarias, estado operativo, tipo de alimentación, tableros de comando y patrones de funcionamiento. Con base en este diagnóstico, se estructuró un plan de recambio en tres etapas, priorizando zonas de mayor consumo y concentración de luminarias de vapor de sodio.

Las acciones comprenden el reemplazo total por luminarias LED de alto rendimiento homologadas por el municipio, la georreferenciación de cada intervención en SIGAP y QGIS, y la comunicación mensual de actualizaciones de consumos a la distribuidora de energía, optimizando la gestión y reduciendo costos.

El Plan 100% LED permite reducir el consumo energético en más del 64%, disminuir gastos de mantenimiento, mejorar los niveles y uniformidad de iluminación, y fortalecer la administración técnica del sistema lumínico. Esta iniciativa posiciona a Paraná como referente regional en modernización tecnológica y compromiso con el desarrollo urbano sostenible.

Palabras claves: Alumbrado Público, LED, Eficiencia Energética, SIGAP, Municipio de Paraná.

Abstract: The Municipality of Paraná is implementing a comprehensive plan to achieve 100% coverage with LED technology in the urban public lighting system, as part of a broader strategy for energy efficiency and sustainability.

The project, developed by the Projects and Lighting Systems Department, began with a technical survey of over 35,000 lighting points, recording luminaire typology, operational status, power supply type, control cabinets, and operating patterns. Based on this diagnosis, a three-stage replacement plan was designed, prioritizing areas with higher energy consumption and a greater concentration of high-pressure sodium luminaires.

Actions include the complete replacement with high-performance LED luminaires approved by the municipality, georeferencing each intervention in SIGAP and QGIS, and monthly reporting of updated energy consumption data to the electricity distribution company, optimizing management and reducing costs.

The 100% LED Plan achieves energy consumption reductions of over 64%, lowers maintenance expenses, improves lighting levels and uniformity, and strengthens the technical administration of the lighting system. This initiative positions Paraná as a regional benchmark in technological modernization and commitment to sustainable urban development.

Palabras claves: Public Lighting, LED, Energy Efficiency, Sustainability, SIGAP, Municipality of Paraná.

I. INTRODUCCIÓN

La modernización del alumbrado público representa uno de los pilares fundamentales para el desarrollo de ciudades más seguras, eficientes y sostenibles. En este contexto, la Municipalidad de Paraná ha puesto en marcha el "Plan 100% LED", una iniciativa estratégica diseñada para transformar integralmente el sistema lumínico de la ciudad.



Fig. 1. Fotografía aérea de la ciudad de Paraná en la que se aprecia el recambio de luminarias.

El proyecto surge de la necesidad de superar un sistema basado en tecnologías obsoletas, como el vapor de sodio, caracterizado por su alto consumo energético, costos elevados de mantenimiento y una calidad lumínica deficiente. El objetivo principal es la renovación total del parque lumínico urbano, adoptando tecnología LED de alta eficiencia para reducir el consumo, disminuir la contaminación lumínica y, fundamentalmente, mejorar la seguridad vial y peatonal de todos los paranaenses.



Fig. 2. Fotografía de luminaria deteriorada.

II. METODOLOGIA

El plan se estructuró a partir de un enfoque metódico y basado en datos para maximizar el impacto y la eficiencia de los recursos.

Fase de Diagnóstico: Se realizó un relevamiento técnico exhaustivo de más de 35.000 puntos de luz en toda la ciudad. En esta etapa se registró la tipología de las luminarias existentes, su estado operativo, el tipo de alimentación eléctrica, la ubicación de los tableros de comando y los patrones de funcionamiento.

Planificación por Etapas: Con base en el diagnóstico, se diseñó un plan de recambio estructurado en tres etapas. La priorización se definió en función de las zonas con mayor consumo energético y mayor concentración de luminarias de vapor de sodio, buscando generar un impacto significativo desde el inicio.

Ejecución y Tecnología: Las acciones de campo comprenden el reemplazo total de los artefactos

antiguos por luminarias LED de alto rendimiento, previamente homologadas por el municipio para garantizar su calidad y durabilidad. Cada intervención es georreferenciada y registrada en el Sistema Integral de Gestión de Alumbrado Público (SIGAP) y en la plataforma QGIS, asegurando la trazabilidad completa y una base de datos actualizada para la gestión futura.

Gestión Administrativa: Mensualmente, se comunican las actualizaciones y modificaciones de tipo de luminaria y potencia a la empresa distribuidora de energía, lo que permite optimizar la facturación y reducir costos operativos de manera inmediata.

Evaluación y selección de las luminarias:

Desde las etapas iniciales del proyecto, la Municipalidad de Paraná estableció como requisito fundamental para la evaluación y homologación de nuevas luminarias en la Dirección Técnica de Alumbrado Público que los proveedores o fabricantes interesados en comercializar sus productos debían presentar:

- Documentación técnica completa del modelo propuesto.

- Dos unidades idénticas como muestras físicas.

- Ensayo fotométrico del modelo, realizado por laboratorios nacionales acreditados, tales como INTI, CIC o la Universidad Nacional de Tucumán.

A partir de la matriz IES obtenida en el ensayo fotométrico, se empleó el software DIALux para simular y verificar el comportamiento de cada modelo bajo distintas configuraciones viales, alturas de montaje y distancias entre puntos de luz [1,2].

Las muestras fueron sometidas a ensayos eléctricos y térmicos en el Laboratorio de Alumbrado Público municipal y en el laboratorio de la UTN, con el objetivo de verificar su correcto funcionamiento y estabilidad.

Finalmente, ambas unidades fueron instaladas en vía pública para realizar mediciones in situ de iluminancias. En un tramo de calle que mejor represente al sistema instalado en la misma, es decir en el cual domine una determinada geometría de instalación con constancia de vanos, se realiza medición del nivel de iluminancias sobre la calzada entre dos puntos sucesivos de luz, por método de los 9 puntos, recomendado por la AADL J2022-2-2010 [3]. Comparando los resultados con los obtenidos en el estudio luminotécnico y con los valores exigidos por la esta norma, a fin de validar su cumplimiento técnico antes de su implementación masiva.



Fig. 3. Ensayo de campo para la medición de iluminancia posterior a instalación.

III. RESULTADOS

La primera fase del Plan 100% LED, en la que se sustituyeron 6102 artefactos obsoletos de Sodio de alta presión y en algunos casos mercurio halogenado por luminarias LED de alta eficiencia, ha sido completada con éxito arrojando resultados concretos y altamente positivos.

Los equipos sustituidos correspondían en su mayoría a luminarias de sodio de alta presión, en la inspección previa al recambio se constató que gran parte de los artefactos presentaban tulipas envejecidas con alto nivel de opacidad (Fig. 4), lo que reducía significativamente la transmisión del flujo luminoso. En numerosos casos, las luminarias se encontraban sin tulipa o con el alojamiento del equipo auxiliar dañado, dejando expuestos los componentes internos a la intemperie.

Asimismo, se detectaron equipos con el equipo auxiliar colgando fuera del cuerpo de la luminaria, condición que no solo compromete el funcionamiento, sino que representa un riesgo eléctrico y de seguridad ante una eventual caída de los equipos tipo reactancia electromecánica. Los cables de alimentación mostraban signos de deterioro avanzado, con aislaciones cuarteadas o faltantes, favoreciendo la posibilidad de cortocircuitos o fallas en servicio teniendo en cuenta que esta tecnología de lámparas enciende con niveles de tensión por encima de los de red.

Estas deficiencias, sumadas a la baja eficiencia lumínica propia de la tecnología HPS, justificaron plenamente la necesidad de su reemplazo por luminarias LED de alto rendimiento, homologadas por la Municipalidad, que garantizan mayor vida útil, menor consumo para lograr mejores niveles de iluminación.

En aquellos casos en los que existieron combinaciones de tecnología LED - descarga sobre un mismo tramo vial, el reemplazo ser

realizó sobre la totalidad de las luminarias con el único fin de garantizar el cumplimiento del proyecto de iluminación.

La cobertura de esta etapa fue extensa, abarcando un gran número de vecinales distribuidas en cinco zonas estratégicas de la ciudad.

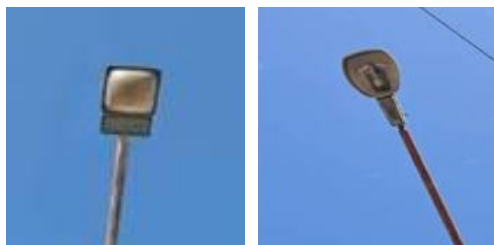


Fig. 4. Fotografía de luminarias deterioradas, tulipas de policarbonato opaca, ausencia de cobertura.

Eficiencia Energética: El resultado más destacado es la reducción del consumo energético en más del 64% en las áreas intervenidas. Esta cifra supera la meta inicial del 50% y representa un ahorro económico y un avance hacia un sistema más sustentable objetivo fundamental para el municipio.

Mejora en la Calidad del Servicio: Además del ahorro, se ha logrado una mejora notable en los niveles y la uniformidad de la iluminación en las calles y espacios públicos, lo que impacta directamente en la percepción de seguridad de los vecinos pero particularmente una mejor calidad de vida.

Fortalecimiento de la Gestión: La georreferenciación y el registro de cada nuevo punto en SIGAP han consolidado una base de datos precisa que fortalece la administración técnica del sistema y optimiza las futuras tareas de mantenimiento.

IV. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El "Plan 100% LED" trasciende un simple recambio tecnológico. Representa una modernización integral de la gestión del servicio de alumbrado público, migrando de un modelo reactivo a uno proactivo y basado en datos. La combinación de la tecnología LED con herramientas de gestión georreferenciada como SIGAP y QGIS ha demostrado ser una fórmula exitosa para maximizar la eficiencia y la transparencia.

El impacto del plan es multidimensional: genera ahorros económicos que pueden ser reinvertidos en otros servicios, contribuye a las metas de sostenibilidad ambiental al reducir la huella de carbono, y mejora la calidad de vida urbana. Esta iniciativa posiciona a Paraná a la vanguardia de la

modernización tecnológica en la región. Esta iniciativa se complementa con el proyecto de una planta solar fotovoltaica de una potencia instalada equivalente al del parque lumínico de la ciudad.

V. CONCLUSIONES

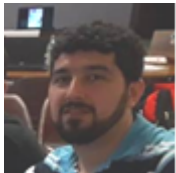
El "Plan 100% LED" de la Municipalidad de Paraná se consolida como un proyecto exitoso y de alto impacto. Los resultados de la primera etapa, con más de 6.000 luminarias reemplazadas y una reducción de consumo superior al 64%, demuestran la efectividad de la estrategia implementada.

Se concluye que la planificación detallada, la priorización de zonas críticas y el uso intensivo de tecnología para la gestión son factores clave para el éxito del programa. El plan no solo avanza firmemente hacia su objetivo de una cobertura LED total, sino que establece un nuevo estándar de eficiencia, sostenibilidad y calidad en la prestación de servicios públicos en la ciudad.

VI. REFERENCIAS

- [1] DIAL GmbH. (2024). DIALux evo – Professional lighting design software [Software]. Lüdenscheid, Germany: DIAL GmbH.
- [2] Asociación Argentina de Luminotecnia. Norma AADL J2022 – 4 Iluminación vial: requisitos y recomendaciones para diseño y evaluación de sistemas de alumbrado público. Pautas para el diseño y guía de cálculo. Buenos Aires, Argentina, AADL. 30/9/2023.
- [3] Asociación Argentina de Luminotecnia. Norma AADL J2022 – 2 -2010 Alumbrado público. Vías de tránsito. Parte 2 - clasificación y niveles de iluminación Buenos Aires, Argentina, AADL. 10/12/2010.

VII. BIOGRAFÍAS



Juan Hasenauer, Nació en la ciudad de Paraná Argentina el 2 de junio de 1991. Se graduó de ingeniero en electromecánica en el año 2019. Actualmente cursa la maestría en energías renovables de la UTN FRP. Se desempeña como director técnico en la Dirección de Alumbrado Público de la Municipalidad de Paraná.



Proyecto de aplicación de luminarias alimentadas por energía solar en la obra del arroyo las viejas en la ciudad de Paraná

Juan Hasenauer, Delfina Rocha, Fabio Vincitorio

GIF UTN Paraná. Universidad Tecnológica Nacional. Almafuerite 1033, Paraná Entre Ríos Argentina. Juan.hasenauer@gmail.com

Juan Hasenauer, Rocha Delfina

Dirección de Alumbrado Público de la Municipalidad de Paraná. Gral. Justo José de Urquiza y Corrientes, Paraná Entre Ríos Argentina. Juan.hasenauer@gmail.com

Resumen: La obra de sistematización, saneamiento e integración urbana del Arroyo Las Viejas en la ciudad de Paraná demanda soluciones de alumbrado público que integren criterios de sostenibilidad ambiental, eficiencia energética y confiabilidad operativa. Se evaluaron distintas alternativas de luminarias solares para su implementación en caminos laterales y zonas de intervención, comparando equipos autónomos de baja potencia con panel integrado y luminarias LED de alumbrado público alimentadas por paneles solares externos.

El análisis contempló eficiencia energética, autonomía en condiciones adversas, capacidad de carga y descarga, resistencia al vandalismo y facilidad de mantenimiento. Se realizaron ensayos fotométricos, eléctricos y térmicos en laboratorio, así como mediciones in situ de iluminancias para verificar el cumplimiento de la norma AADL J2022.

Los resultados mostraron limitaciones de autonomía y rendimiento en algunos modelos, especialmente bajo baja irradiancia solar. La opción más adecuada fue la luminaria autónoma Signify, que combina gestión energética inteligente, cumplimiento normativo y operación continua, incluso en escenarios críticos.

La implementación propuesta reducirá el consumo eléctrico municipal y mejorará la integración ecológica y urbana del corredor del Arroyo Las Viejas, consolidando un modelo replicable de alumbrado público solar eficiente y sostenible.

Palabras claves: Alumbrado Público, Energía Solar, Sustentabilidad, Arroyo Las Viejas..

Abstract: The urban drainage, sanitation, and integration project for the Arroyo Las Viejas in the city of Paraná requires public lighting solutions that incorporate environmental sustainability, energy efficiency, and operational reliability. Various solar lighting alternatives were evaluated for implementation along side paths and intervention areas, comparing low-power autonomous units with integrated panels to public street LED luminaires powered by external solar panels.

The analysis considered energy efficiency, autonomy under adverse weather conditions, charging and discharging capacity, vandalism resistance, and ease of maintenance. Photometric, electrical, and thermal tests were carried out in laboratories, along with on-site illuminance measurements to verify compliance with the AADL J2022 standard.

Results highlighted autonomy and performance limitations in some models, especially under low solar irradiance. The most suitable option was the Signify autonomous luminaire, which combines intelligent energy management, regulatory compliance, and continuous operation, even in critical scenarios.

The proposed implementation will reduce the municipality's electricity consumption and enhance the ecological and urban integration of the Arroyo Las Viejas corridor, consolidating a replicable model of efficient and sustainable solar-powered public lighting.

Palabras claves: Public Lighting, Solar Energy, Sustainability, Arroyo Las Viejas.

I. INTRODUCCIÓN

En el año 2012 se estimaba que el 3,5% de la energía eléctrica en Argentina se destinaba para Alumbrado Público [1]. A pesar de las nuevas tecnologías que prometen menor consumo, el campo lumínico ha ido incrementando debido al crecimiento de la población y puesta en valor de espacios públicos y hoy en día se estima que el porcentaje citado es de 4,5% [2]. Actualmente, el sistema de Alumbrado Público Argentino (AP) está compuesto por artefactos de diferentes tipos de tecnologías, entre las cuales de las más utilizadas se encuentran la de vapor de sodio de alta presión, mercurio halogenado y LED; con lo cual, desde el punto de vista de eficiencia energética, existe una fuerte tendencia a migrar por completo hacia esta última. Las luminarias que trabajan en base a esta tecnología están conformadas por una placa LED alimentada (en su mayoría) por un controlador o driver, el cual recibe una señal eléctrica senoidal de la red y la transforma a una señal continua de menor tensión [3].

En este trabajo se documenta la evaluación de luminarias autónomas de dos tecnologías diferentes. Por una parte luminarias con panel incorporado y por la otra las luminarias con panel fotovoltaico externo. Entre las del primer grupo se analizaron luminarias de diferentes potencias y fabricantes mientras que en el segundo grupo se evaluaron luminarias destinadas a alumbrado público urbano utilizando un kit de sistemas fotovoltaicos.

En el marco de la obra de sistematización, saneamiento e integración urbana del Arroyo Las Viejas en Paraná, Entre Ríos, se evaluó la factibilidad de implementar sistemas de alumbrado solar autónomo, considerando no solo su impacto ambiental, sino también su eficiencia, autonomía y capacidad de funcionamiento independiente de la red eléctrica, lo que aporta resiliencia frente a cortes de energía y eventos extremos.

Este estudio analiza distintas topologías y determina la configuración óptima para garantizar seguridad vial, accesibilidad y sostenibilidad, potenciando la integración ecológica y urbana del nuevo corredor.

II. MATERIALES Y MÉTODO

Luminaria comercial de baja potencia

Para llevar a cabo los ensayos, la empresa encargada de realizar la obra, presento una luminaria LED solar autónoma Litex LX1070 60W,

está diseñada para alumbrado exterior y cuenta con alimentación solar mediante un panel monocristalino de 28 W y batería de litio LiFePO₄ de 115,2 Wh. Dispone de encendido automático crepuscular y sensor de movimiento incorporado.



Fig. 1. luminaria LED solar autónoma Litex LX1070 60W.

Las especificaciones técnicas del fabricante indican una potencia nominal de 60 W y un flujo luminoso máximo de 10.200 lúmenes, con una temperatura de color de 6.000 K. El equipo ofrece una autonomía de 12 a 14 horas, con un tiempo de carga solar de 6 a 8 horas. Incluye un sensor de movimiento con un ángulo de detección de 140° × 70° y un alcance de hasta 12 metros, y cuenta con una clasificación de protección IP65.



	LUMINARIA PHILIPS BRP 110 LED 85/757 G2	LUMINARIA PHILIPS BRP715 LED90 CW
Potencia de panel	55W	90W
Tipo de lámpara	LED SMD con lente individual	LED SMD con lente individual
Temperatura de color	5700K	5700K
Flujo luminoso	8500lm	9000lm
Tensión de batería	5V	12V

Tabla 2. Características de luminarias autónomas de alumbrado público.

Kit solar para luminaria led de alumbrado público

De los resultados obtenidos a partir de las luminarias autónomas de alumbrado público, ensayos precedentes sobre la compatibilidad de inversores de DC/AC con luminarias de alumbrado tipo vial (led) y los resultados del desarrollo de prototipos se programó el desarrollo e implementación de una luminaria autónoma de tecnología combinada [3].

En esta se plantea la utilización de un banco de batería de alta capacidad conectado a través de un regulador de carga de tipo PWM a un panel solar de tipo monocristalino de 120W de potencia pico. Esto a su vez conectado a un inversor de 500W de salida senoidal pura para la alimentación de una luminaria inicialmente de 50W que luego se irá incrementando en potencia para la evaluación del sistema.

Está pensado como un sistema más robusto y económico a las luminarias autónomas de alumbrado público evaluadas, que si bien muestran excelentes prestaciones pueden estar sujetas a vandalismo e incluso a problemas por el anidado de aves sobre el panel solar.

Metodología

Luminaria comercial de baja potencia

Se implementaron dos tipos de ensayos. Por una parte ensayos de mediciones eléctricas incluyendo capturas de forma de onda entregada por el controlador a los led. Por la otra se realizaron ensayos de seguimiento en condiciones de funcionamiento ubicando las luminarias en la obra.



Fig. 3. Kit solar para luminarias de alumbrado público.

Luminarias autónomas de alumbrado público

Se aplicó una metodología similar, incorporando además mediciones del ciclo de carga en un montaje que facilitó el uso de instrumental con la luminaria parcialmente desmontada. En particular, se centró en la evaluación de la eficiencia de carga en función de la orientación hacia el sol. Para ello, se analizó el ángulo de inclinación,

tomando como referencia las 12hs del mediodía. Una segunda luminaria fue instalada sobre columna en condiciones reales con la orientación más adecuada y adosando un sistema de registro de iluminancia y temperatura. La temperatura fue registrada para controlar el comportamiento térmico del panel solar. Este ensayo se realizó en el mes de enero de 2024.

Kit solar para luminaria led de alumbrado público

Luego del montaje e implementación de los distintos componentes utilizados (batería, regulador, panel y luminaria led de 50W vial) se instaló en una columna recta de 7 metros libres. Se les realizó un seguimiento de funcionamiento.

III. RESULTADOS

Luminaria comercial de baja potencia

En los ensayos en condiciones reales de funcionamiento la luminaria funcionó correctamente hasta que se produjo discontinuidad de radiación solar por días nublados. Superado este período el panel más el regulador de carga no fueron capaces de reactivar el proceso de carga de los bancos de batería quedando inutilizadas.

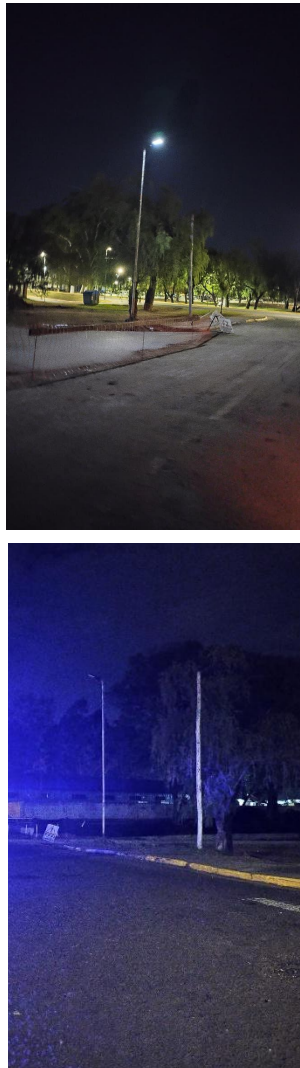


Fig. 5. Luminaria comercial de baja potencia montada.

Luminarias autónomas de alumbrado público

Se desarrolló e implementó un dispositivo que se integró en la luminaria (figura 9) el cual registró la iluminancia y la temperatura en función del tiempo durante un período de 45 horas en ciclo continuo con una tasa de muestreo de 1 mps. A continuación se pueden ver las gráficas de las mencionadas mediciones.

En la figura 6 se puede observar el registro del comportamiento de la luminaria a lo largo del día, en la cual se encuentra muy marcado el período de funcionamiento y el período matutino. En la Figura 7 se ilustra el comportamiento de la luminaria durante el horario nocturno, evidenciando cuatro niveles distintos de funcionamiento. El nivel de iluminancia más elevado se presenta cuando el dispositivo detecta movimiento. A medida que avanza la madrugada, este nivel disminuye progresivamente para optimizar el consumo de energía. Esta reducción responde a la configuración del artefacto,

considerando que durante la madrugada el tránsito es reducido o nulo y, por lo tanto, se requiere una iluminación mínima.

En la figura 8 se observa la variación en la temperatura del panel la cual va desde 20°C alcanzando los 60°C en verano.

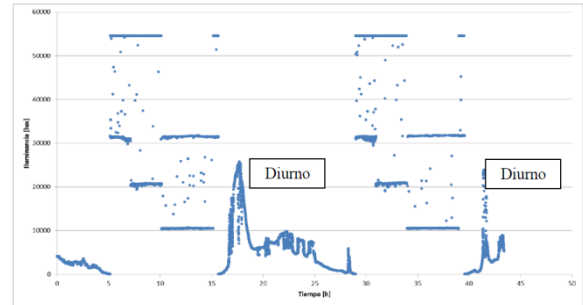


Fig. 6. Gráfico iluminancia-tiempo de la luminaria sobre la base de un período de muestreo de 45 horas, se intercalan dos tramos nocturnos con uno diurno.

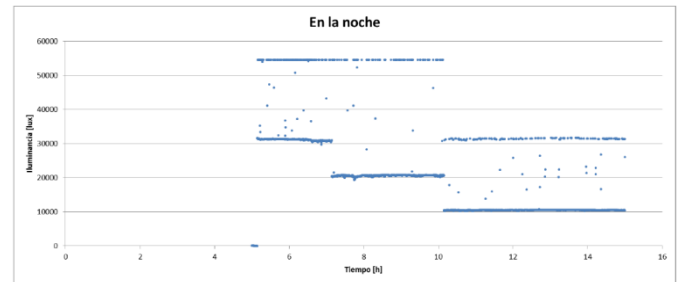


Fig. 7. Gráfico iluminancia-tiempo de la luminaria en funcionamiento nocturno en la que se observa los diferentes niveles de iluminación según el movimiento de personas y el período nocturno.

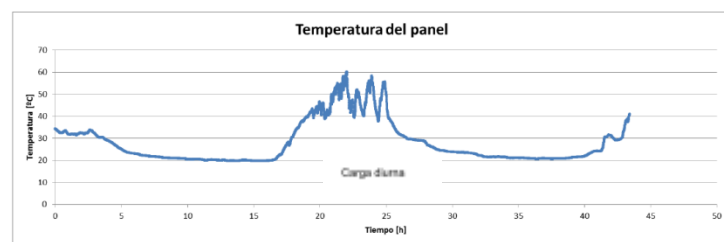


Fig. 8. Gráfico Temperatura-tiempo del panel de la luminaria durante un período de 45 horas.

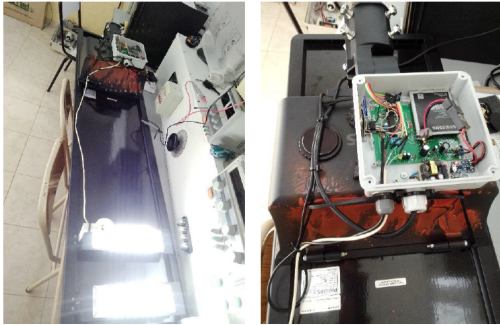


Fig. 9. Montaje del dispositivo registrador sobre la luminaria.



Fig. 10. Mediciones eléctricas, lumínicas y evaluación de la eficiencia de carga en función de la orientación al sol.

Kit solar para luminaria led de alumbrado público

Una vez ensamblado el sistema y conectado a una luminaria LED de alumbrado público de 50 W, instalada sobre una columna recta de 7 m de altura libre, se procedió a verificar su funcionamiento mediante el dispositivo diseñado para activar el inversor y la luminaria. Durante las pruebas, se evidenció que el encendido se producía con un bajo valor de tensión en el panel solar, consecuencia directa de la baja irradiancia en el momento de la medición.

Esta condición provocó un fenómeno de histéresis debido a la proximidad de otras luminarias LED conectadas a la red, cuyo flujo luminoso alcanzaba al panel solar. Como resultado, el sistema registraba falsos valores de irradiancia, generando ciclos de encendido y apagado prácticamente intermitente, comprometiendo la estabilidad operativa del conjunto.

IV. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La evaluación de los sistemas de iluminación solar autónoma arrojó resultados dispares en

cuanto a su rendimiento y viabilidad técnica, permitiendo establecer una clara diferenciación entre las soluciones analizadas.

Luminaria comercial de baja potencia

La muestra de luminaria autónoma integrada, proporcionada por la empresa oferente, fue sometida a mediciones eléctricas y de iluminancia. El análisis técnico de esta luminaria evidencia que, si bien puede alcanzar altos niveles de flujo luminoso en condiciones óptimas (100 %), su funcionamiento habitual se ve limitado por su configuración de fábrica. En modo constante, opera al 60 % de su flujo luminoso durante las primeras cinco horas, lo que representa una emisión efectiva inferior a lo requerido. Este valor resulta insuficiente para garantizar los niveles mínimos de iluminancia y uniformidad exigidos por la normativa nacional vigente (IRAM-AADL J2022 - 2 - 2010), especialmente en espacios de circulación vehicular [4]. En modo sensor, la iluminación plena solo se activa ante detección de movimiento, lo que impide asegurar una iluminación continua y confiable en áreas que requieren un nivel lumínico constante.

Kit solar para luminaria led de alumbrado público

El kit solar autónomo, por su parte, demostró un rendimiento lumínico adecuado. Esto se debe a que emplea una luminaria LED vial convencional, la cual ya se encuentra homologada y en uso por la Municipalidad de Paraná, asegurando el cumplimiento de los valores de iluminancia requeridos.

Sin embargo, el principal desafío de esta configuración radica en su autonomía energética. Las pruebas y el análisis de su diseño actual revelaron que el sistema es insuficiente para garantizar el funcionamiento ininterrumpido durante toda la noche, especialmente bajo condiciones desfavorables como los días nublados de invierno, cuando la carga del panel es mínima. Si bien la calidad lumínica es la correcta, su falta de fiabilidad operativa requiere futuras mejoras en el dimensionamiento del panel y del banco de baterías para ser una alternativa robusta.

Luminarias autónomas de alumbrado público

Finalmente, la luminaria proporcionada por la empresa Signify demostró ser la solución más completa y fiable. Los análisis confirman que el equipo cumple holgadamente con los valores de iluminancia estipulados por la normativa nacional.

Gracias a esta optimización, el sistema garantiza su funcionamiento continuo durante toda la noche, incluso en el escenario más crítico: periodos extendidos de baja irradiancia solar durante el invierno. En conclusión, la luminaria Signify es la única de las opciones evaluadas que satisface integralmente los requerimientos técnicos de iluminación y de fiabilidad operativa para el corredor vial.

V. CONCLUSIONES

La evolución de la tecnología LED, combinada con la integración de energías renovables, marca un hito significativo en la transición hacia sistemas de alumbrado público más eficientes y sostenibles.

Las luminarias autónomas, tanto con panel incorporado como con panel fotovoltaico externo, han mostrado un desempeño prometedor, aunque con variaciones en función de la tecnología y el diseño. Este estudio subraya la importancia de seguir investigando y optimizando estos sistemas, ya que el éxito en su implementación podría traducirse en una reducción significativa del consumo energético y una menor dependencia de fuentes de energía no renovables. Además de ser una alternativa viable para el problema concreto que represente el robo de los tendidos eléctricos para alumbrado público.

La tecnología LED y su combinación con energías renovables no solo proporcionan una respuesta efectiva a las demandas actuales de eficiencia y sostenibilidad, sino que también abren nuevas posibilidades para el futuro del alumbrado público. La adopción de estas innovaciones podría ser un factor clave en la reducción de la huella de carbono en las ciudades y en la creación de un entorno urbano más eco - amigable.

VI. REFERENCIAS

- [1] Cadierno, G. (26 de Agosto de 2021). EOL - Energía online. Obtenido de <https://www.energiaonline.com.ar/cuanto-represent-a-el-consumo-del-alumbrado-publico-ycuales-son-las-claves-para-reducirlo/>
- [2] Cogorno, E. D., Lanfranco, A. S., Hasenauer, J. M., Chort, A., Krenz, M., Frund, J. L., & Vincitorio, F. M. (2022). ANÁLISIS DE COMPATIBILIDAD DE INVERSORES PARA ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y. IDETEC 2022 (págs. 470-475). Villa María: edUTecNe.
- [3] Manzano, E., Assaf, L., & otros. (2012). Avances sobre eficiencia y sostenibilidad en la iluminación de recintos urbanos y edificios. ASADES (págs. 7-12). Argentina: ASADES. Wu, H. H., Lin, K. H., & Lin, S. T. (2012). A study on the heat dissipation of high power multi-chip COB LEDs. *Microelectronics Journal*, 43(4), 280-287.
- [4] Asociación Argentina de Luminotecnia. (2022). *Norma AADL J2022 – Iluminación vial: requisitos y

recomendaciones para diseño y evaluación de sistemas de alumbrado público*. Buenos Aires, Argentina: AADL.

VII. BIOGRAFÍAS



Juan Hasenauer, Nació en la ciudad de Paraná Argentina el 2 de junio de 1991. Se graduó de ingeniero en electromecánica en el año 2019. Actualmente cursa la maestría en energías renovables de la UTN FRP. Se desempeña como director técnico en la Dirección de Alumbrado Público de la Municipalidad de Paraná.



Delfina Rocha, nació en Paraná, provincia de Entre Ríos, el 4 de mayo de 1995. Es estudiante avanzada de la carrera Ingeniería en Electromecánica de la facultad Regional Paraná de la UTN. Se desempeña como ayudante de segunda en la cátedra Matemáticas para Ingenieros e integra los grupos de investigación GIF y GiePi en la UTN FRP. Actualmente realiza una pasantía en la Dirección de Alumbrado Público de la Ciudad de Paraná.



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. Director de la maestría en Energías Renovables que se dicta en la UTN FRP.



Ensayos de calidad de luminarias LED de iluminación vial Manzano E.R.

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

Resumen: Las luminarias LED para iluminación vial requieren de ensayos de laboratorio para asegurar la calidad de los productos dado que su funcionamiento es durante muchos años (15 a 20 años) a la intemperie bajo condiciones eléctricas, mecánicas, y ambientales exigentes. Numerosos ensayos tales como: fotométricos, de intensidades luminosas, flujo luminoso, emisión de flujo en el hemisferio superior, eficiencia luminosa, espectrales, colorimétricos de Temperatura de color (TCC) e Índice de respuesta al color (IRC), de armónicos eléctricos, ciclado de encendido, estrés térmico, decaimiento de flujo luminoso y mecánicos como IP, IK; son exigidos en pliegos de licitaciones y compras de municipios. Un análisis de estos ensayos y sus complejos requerimientos son descriptos en el presente trabajo para destacar la importancia y trascendencia de los mismos.

Palabras claves: Ensayos luminarias LED, Fotometría, Espectral, Armónicos, IP, IK

Abstract: LED luminaires for road lighting require laboratory testing to ensure product quality, as they are expected to operate for many years (15 to 20 years) under demanding electrical, mechanical, and environmental outdoors conditions. Numerous tests, such as photometric measurements, luminous intensity distribution, luminous flux, upward light output ratio, luminous efficacy, spectral and colorimetric tests including Correlated Colour Temperature (TCC) and Colour Rendering Index (CRI), electrical harmonics, switching cycles, thermal stress, luminous flux depreciation, and mechanical tests like IP and IK ratings, are required in municipal tender and purchasing specifications. An analysis of these tests and their complex requirements is presented in this paper to highlight their importance and relevance.

Keywords: LED Luminaire test, photometry, spectral, harmonics, IP, IK.

I. INTRODUCCION

Las luminarias LED destinadas a iluminación vial deben someterse a una serie de ensayos de laboratorio para garantizar su calidad, seguridad y

durabilidad, ya que estarán expuestas durante años a condiciones ambientales y eléctricas exigentes. Los principales ensayos son:

- Ensayos eléctricos
 - Consumo de potencia.
 - Factor de potencia.
 - Armónicos de corriente (THD).
 - Compatibilidad electromagnética (EMC).
 - Protección contra sobretensiones.
- Ensayos fotométricos
 - Distribución de intensidades luminosas.
 - Flujo luminoso total y hemisferico superior
 - Eficiencia luminosa (lm/W).
 - Distribución espectral
 - Temperatura de color (TCC) y rendimiento cromático (CRI).
- Ensayos térmicos
 - Temperatura de funcionamiento en distintos puntos (LED y driver).
- Ensayos de durabilidad y envejecimiento
 - Ensayos de encendido-apagado.
 - Depreciación del flujo luminoso y variación de la TCC e IRC con el tiempo
- Ensayos ambientales
 - Pruebas de stress térmico
 - Resistencia a la corrosión (niebla salina).
 - Pruebas de vibración si es necesario (uso en puentes o zonas de tráfico pesado).
- Ensayos mecánicos
 - Grado de protección contra polvo y agua (IP).
 - Resistencia a impactos (IK).

Estos ensayos son generalmente requeridos por normas nacionales e internacionales (IRAM-AADL, IEC, IESNA, CIE, etc.) en pliegos técnicos de licitaciones públicas solicitadas por municipios, gobiernos o concesionarias de alumbrado público.

El objetivo de este trabajo es el de brindar al personal técnico municipal la información necesaria sobre las luminarias LED para iluminación vial, con el fin de que puedan comparar distintas alternativas disponibles en el mercado y asegurar que se cumpla con un nivel mínimo de calidad.

II. ENSAYOS DE CALIDAD

La implementación de una metodología unificada para las condiciones ambientales y eléctricas de los ensayos es fundamental para garantizar la intercomparabilidad y la repetibilidad de los resultados entre laboratorios. En cuanto a las condiciones ambientales, la temperatura del laboratorio durante los ensayos debe mantenerse en $25^{\circ}\text{C} \pm 1.2^{\circ}\text{C}$, y, en algunos casos, se especifica que la humedad relativa que se recomienda esté entre el 10% y el 65% [1]. Las mediciones fotométricas, colorimétricas, espectrales, entre otras, deben realizarse bajo estas mismas condiciones para asegurar la consistencia de los resultados. Respecto a las condiciones eléctricas, la alimentación debe ser en corriente alterna (CA) de $220\text{V} \pm 0,2\%$, a una frecuencia de 50 Hz, con forma de onda sinusoidal pura y un contenido de armónicos de tensión (THD_v) inferior al 3% de la componente fundamental.

Todo el instrumental empleado debe estar calibrado y contar con la debida trazabilidad metrológica, a fin de garantizar la fiabilidad y validez de las mediciones obtenidas.

Cabe destacar que el laboratorio de ensayo debe contar con personal altamente calificado y capacitado tanto para realizar los ensayos técnicos como para la actualización permanente

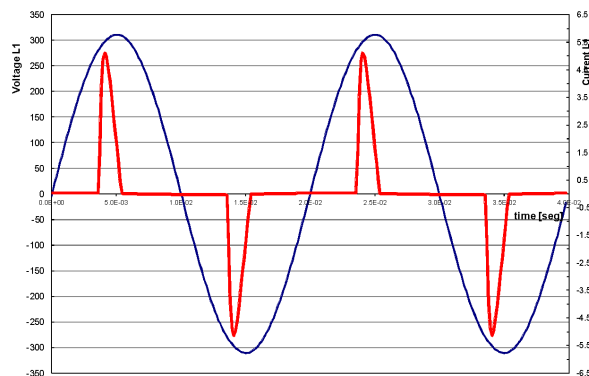
de la metodología de ensayo, mantenimiento de la trazabilidad y acreditación del mismo.

A. Mediciones eléctricas

Dado que la tecnología LED actual utiliza equipos auxiliares (drivers) que regulan la tensión de alimentación del módulo LED, las variaciones en la tensión de entrada —dentro de un margen determinado— no afectan el flujo luminoso, que se mantiene constante. Por esta razón, resulta adecuado establecer una tensión de alimentación

fija para medir parámetros eléctricos como corriente (A), potencia activa (P), factor de potencia (FP) y los porcentajes de armónicos de tensión y corriente, a fin de caracterizar la calidad del producto. Cabe destacar que estos parámetros se miden en la entrada de la luminaria.

1. Potencia activa: Es la potencia medida a la entrada de la luminaria corresponde al consumo total de la misma incluido el driver y módulos LED.
2. Factor de potencia: En un circuito de CA, el coseno de la diferencia de fase entre la tensión y la corriente se denomina FP, representado por el símbolo $\cos\Phi$. En términos de valor, el FP es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente (S), es decir, $\cos\Phi = P/S$. Un FP bajo supone una mayor carga para los equipos de suministro de energía y reduce la estabilidad de la red eléctrica. El factor de potencia de luminarias LED mide la eficiencia de la iluminación durante su uso. Por ejemplo, si un LED tiene un factor de potencia de 0,95, significa que tiene una eficiencia del 95%. Algunas Luminarias LED pueden alcanzar un $\text{FP}=0,98$, e incluso 0,99 al funcionar con CC [2]. Durante los ensayos FP debe ser superior a 0,95 [3].
3. Armónicos eléctricos: Para garantizar el correcto funcionamiento y el punto de operación de los LED, se requiere el uso de drivers o dispositivos electrónicos que



generen las formas de onda y los valores adecuados de tensión y corriente. Sin embargo, si estos dispositivos no cuentan con filtros apropiados, pueden introducir armónicos de corriente en las redes de distribución, comprometiendo la calidad de la energía eléctrica. (ver Fig. 1 y 2). Mediciones de acuerdo a normas internacionales

¹ ANSI/IES LM-79-19 Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products. Illuminating Engineering Society (IES) of North America

² <https://grnled.com/blog/everything-to-know-about-led-light-power-factor.html#what-is-the-power-factor-pf-of-a-led-lamp>. Consultada el 22/7/2025.

³ IRAM-AADL J 2022-1 Alumbrado público - Luminarias - Clasificación fotométrica.

IEC61000-3-2 (2018) [4][5] o su homóloga Argentina IRAM 2491-3-2 [6] garantizarían contenidos de armónicos admisibles, las que deberían realizarse simultáneamente con el ensayo fotométrico y bajo las mismas condiciones ambientales. El contenido de armónicos de corriente (THD-I) inferior al 15%, conforme a lo establecido por las normas IRAM AADL J 2020-4:2014 [7].

Fig. 1: Voltaje y corriente de una luminaria a LED con driver sin filtros y alto contenido de armónicos [8]

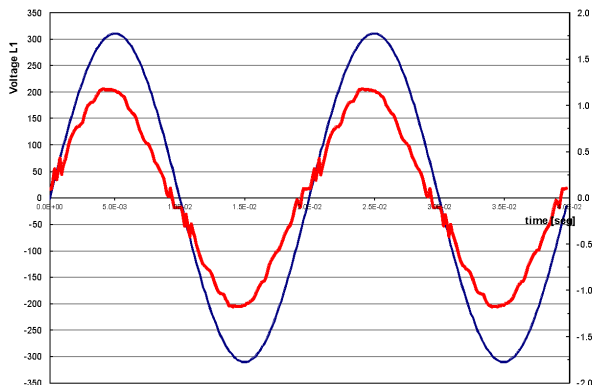


Fig. 2: Voltaje y corriente de una luminaria a LED con driver con filtros y bajo contenido de armónicos [8]

4. Compatibilidad Electromagnética (EMC): Garantiza que la luminaria LED no genere interferencias electromagnéticas que puedan afectar el funcionamiento de otros equipos, y que sea resistente a perturbaciones externas del entorno electromagnético. Este ensayo contempla dos aspectos esenciales:

- Emisión electromagnética: evalúa las perturbaciones conducidas y radiadas emitidas por la luminaria durante su funcionamiento. Evita la interferencia con el funcionamiento de otros equipos electrónicos.
- Inmunidad electromagnética: verifica que la luminaria mantenga su correcto funcionamiento ante la exposición a fenómenos como descargas electrostáticas, transitorios rápidos, sobretensiones, y campos electromagnéticos radiados.

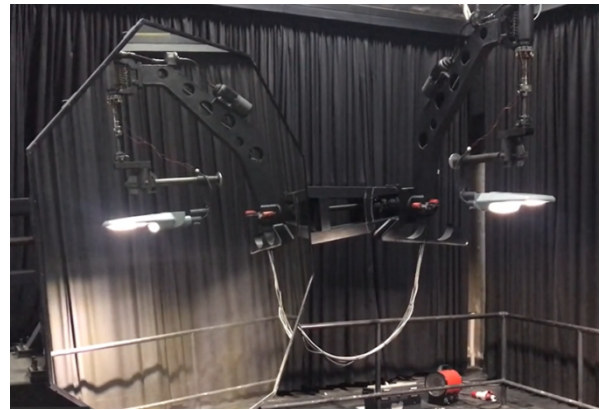
⁴ IEC 61000-3-2 (2018) Limits for harmonic current emissions.

⁵ IEC 61000-4-7 (2009) Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation.

⁶ IRAM 2491-3-2 Límites para las emisiones de corriente armónica equipos con corriente de entrada menor a 16 A.

⁷ IRAM AADL J 2020-4:2014 – Luminarias para vías públicas. Parte 4 – Luminarias LED. Características de diseño. Inciso 4.10

⁸ Manzano E., Raitelli M., Cabello A., Sanhueza P., Galleguillos P., Rodríguez Rübke L., Calixto Burini E. (2014). Requerimientos para luminarias de LED en iluminación urbana. XII Conferência Panamericana de Iluminação. Pag. 57-62. ISSN 978-85-86923-36-4 8. Editorial IEE, USP, Brasil. Diciembre 2014.



En Argentina, la norma IRAM AADL J 2020-4:2014 [7] exige que las luminarias LED cumplan con los requisitos de EMC conforme a lo establecido en las normas internacionales IEC 61000-4-x y EN 55015.

- Protección contra sobretensiones: Es fundamental ya que las luminarias LED son susceptibles a daños por picos de tensión, incluso por rayos o conmutaciones de la red. Para mitigar estos riesgos se utiliza un protector contra sobretensiones (SPD) el cual desvía el exceso de energía a tierra, protegiendo los componentes electrónicos sensibles de las luminarias. Por dicho motivo es importante asegurar conexiones a tierra adecuadas para una disipación eficiente de la energía de la sobretensión. Los SPD se ensaya bajo norma IEC 61643-11 y 12 [9].

B. Ensayos fotométricos

- Distribución de intensidades luminosas: Para realizar cálculos de parámetros luminotécnicos como Iluminancia (lx) o Luminancia (cd/m²) en un diseño, exigidos por norma IRAM AADL J2022-2 [10], se requiere contar con la distribución de intensidades luminosas en cd obtenida en un laboratorio cumpliendo los requisitos de normas [1][11] en planos y ángulos definidos. Para su obtención se emplea un fotogoniómetro (ver Fig. 3) que permite posicionar la luminaria en distintos planos verticales (ángulos C) y distintos ángulos de elevación (Y). Por ej. en Fig. 4 se representa en tres planos "C" verticales las curvas en candelas (cd) para distintos ángulos de elevación "Y". Se requiere además la fotometría en formato electrónico

⁹ IEC 61643-11. Low-voltage surge protective devices Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods

¹⁰ IRAM - AADL J 2022-2 Alumbrado público. Vías de tránsito. Parte 2 - Clasificación y niveles de iluminación.

¹¹ CIE 121 1996 Fotometría y goniometría de luminarias. Comisión Internacional de Iluminación. http://www.cie.co.at/index_ie.html. Consultada el 23/7/2025

estandarizado, por ej. tipo IES (ver Fig. 5) o EULUMDAT que permita su uso en programas de cálculo como DIALUX EVO o RELUX, entre otros.

Fig. 3: Fotogoniometro LMT GO DS 2000 a espejo automatico en el DLLyV-FACET-UNT.

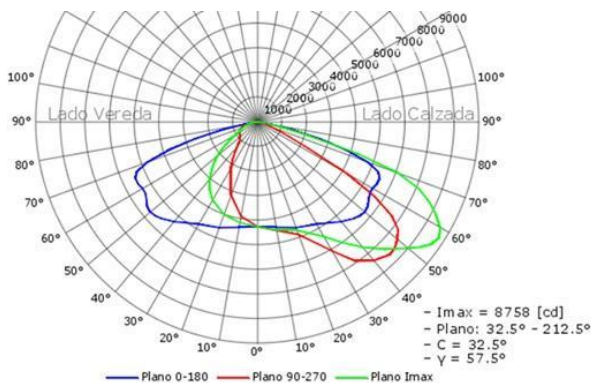


Fig. 4: Curvas de intensidad luminosa de una luminaria LED en fotometría absoluta (cd).

```
IESNA: LM-63-2002
[TEST] XXXXX
[TESTLAB] DLLyV-ILAV
[ISSUEDATE] 23-JUN-2025
[MANUFAC] XXXXX S.A.
[LUMINAIRE] XXXX L 150W EXT GP
[LAMP] 2 (DOS) PLACAS DE 24 LEDS C/U - TOTAL 48 LEDS-
[OTHER] Corriente [A]: 0.66 - Tension de linea [V]: 220.2
[OTHER] Factor de Potencia: 0.99
[OTHER] LED DRIVER ELECTRONICO INVENTRONICS EUM-150 S 105 DG
TILT=NONE
1 -1 1 36 73 1 2 0.23 0.11 0.0
1 1 144.9
0 10 20 30 35 40 45 47.5 50 52.5 55 57.5 60 62.5 65 67.5 70 72.5 75
77.5 80 82.5 85 87.5 90 92.5 95 97.5 100 102.5 105 120 135 150 165 180
0 2.5 5 7.5 10 12.5 15 17.5 20 22.5 25 27.5 30 32.5 35 37.5 40 42.5 45
47.5 50 52.5 55 57.5 60 62.5 65 67.5 70 72.5 75 77.5 80 82.5 85 87.5
90 92.5 95 97.5 100 102.5 105 107.5 110 112.5 115 117.5 120 122.5 125
127.5 130 132.5 135 137.5 140 142.5 145 147.5 150 152.5 155 157.5 160
162.5 165 167.5 170 172.5 175 177.5 180
4931.3 5436.0 5804.0 6196.0 6468.0 6587.0 5946.0 5492.0 4854.0 3934.0
2741.0 1319.0 457.3 273.6 209.7 165.8 130.1 93.3 63.8 40.9 20.7 8.7
3.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
4931.3 5421.0 5796.0 6194.0 6470.5 6589.5 5953.5 5499.0 4862.5 3942.5
2752.0 1333.0 463.3 275.9 211.2 167.6 127.5 90.9 62.7 40.1 20.2 8.8
3.0 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
4931.3 5390.0 5771.0 6179.0 6466.0 6596.0 5976.5 5526.5 4890.5 3969.0
2783.0 1369.5 479.1 280.2 212.8 170.4 128.8 91.9 63.2 39.9 20.1 8.9
3.1 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
4931.3 5354.5 5732.5 6147.5 6445.0 6593.0 6001.5 5553.5 4921.5 4006.5
2830.5 1425.0 507.2 286.3 213.4 171.4 130.6 94.0 64.9 41.3 20.7 9.1
```

Fig. 5 Fotometría parcial de luminaria LED en formato IES en código ASCHII.

2. Flujo luminoso total (lm): medido en lúmenes, indica la cantidad total de luz visible que emite la luminaria LED en todas las direcciones. Se obtiene a partir de la fotometría de la luminaria y permite en primera instancia determinar la efectividad de la luminaria para iluminar un espacio.

Dentro del Flujo total, un parametro de interés es el flujo hemisferico superior (FHS) es la proporción de luz emitida por una luminaria que se dirige hacia la parte superior del espacio, o sea, hacia el hemisferio por encima del plano horizontal. Causa resplandor luminoso del cielo y es de interes reducir para evitar la contaminación luminosa que afecta la visión nocturna de las estrellas y las observaciones astronómicas.

Diversas normas internacionales establecen límites para la emisión del FHS, entre ellas: la CIE 150 [12], EN 13201[13] y DS43 [14]. En Argentina: en la Provincia de San Juan la Ley N° 5771 (1987) y en Municipalidad de Malargüe (Mendoza) la Ordenanza N° 1298/2005. Los valores maximos de emisión permitidos estan entre 0% y el 1% considerando la luminaria sin inclinación del pescante. Se debe tener en cuenta que si se inclina el pescante de la luminaria estos valores aumentaran.

3. Eficiencia luminosa (lm/W): Es la relación entre el flujo luminoso total y la potencia electrica consumida por la luminaria. En Argentina, las normas para el alumbrado público vial establecen valores mínimos de eficiencia luminosa para luminarias LED, generalmente entre 100 y 140 lm/W, dependiendo de si cuentan o no con cubiertas protectoras [15].

4. Distribución espectral (SPD, por sus siglas en inglés) describe cómo se reparte la energía luminosa que emite una luminaria en las distintas longitudes de onda del espectro visible. En otras palabras, muestra la potencia relativa de emisión en cada color (longitud de onda) que compone el espectro de la fuente de luz (ver Fig. 6). La norma de referencia para su medición es la IES LM79 [1].

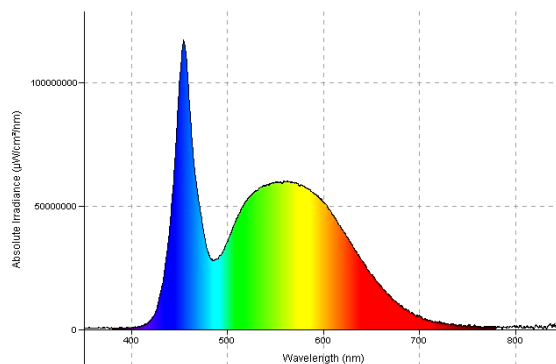


Fig. 6: Distribución espectral de una luminaria LED

La SPD es crucial pues determina la apariencia del color de la luz emitida y la calidad de la reproducción de los colores. Es

[12] CIE 150 (2017) Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations. Comisión Internacional de Iluminación.

[13] EN 13201-2:2016. Road lighting.

[14] DS-43 2023 Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica. Consultada 24/7/2025 <https://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2023/10/18/43679/01/2391423.pdf>

[15] PLAE Especificación Técnica para la adquisición de luminarias LED de Alumbrado Público. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/eett_vers_ion_final.pdf. Consultada el 25/7/2025

utilizada también para evaluar el impacto de la contaminación luminosa.

En la norma Chilena [14] para áreas de protección cercanas a observatorios astronómicos, la limitación máxima de radiancia espectral se indica en Fig.7. En otras zonas se permite hasta un 7% en el intervalo de 380nm a 499nm.

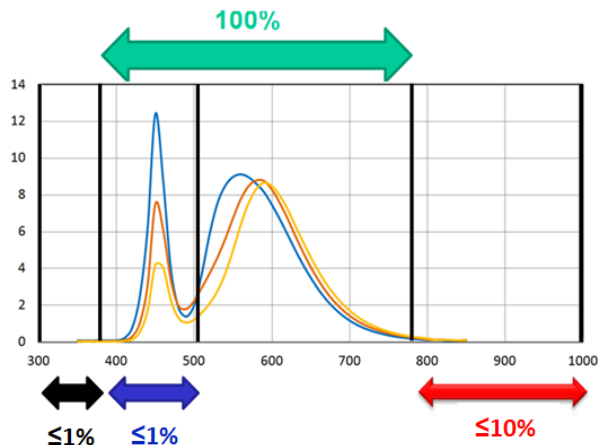


Fig. 7: SPD de luminarias LED de temperatura de color fríos, neutros y cálidos y las limitaciones de radiancia espectral en 4 intervalos [14].

5. Temperatura de color correlacionada (TCC) y rendimiento cromático (CRI): En iluminación vial, TCC e CRI, son parámetros que afectan tanto la eficiencia visual, como el confort, la seguridad y especialmente la contaminación lumínica.

La TCC expresa el color aparente de la luz, medido en kelvins (K). En la norma IES RP8 [16] recomienda, según el tipo de aplicación, valores entre 2700K y 4000K. La DS43 obliga a valores <3000. En Argentina la tendencia en ciudades como Rosario es adoptar TCC de 3000K a 4000K.

El CRI es una medida de cómo una fuente de luz reproduce los colores en comparación con una fuente de referencia (como la luz solar o incandescente), en una escala de 0 a 100. Las normas internacionales como la CIE 115 [17] recomiendan $CRI \geq 60$. En general otras normas [16] recomiendan $CRI \geq 70$. En la práctica, la mayoría de los LED viales modernos ofrecen CRI entre 70 y 80 de forma estándar. Para medir TCC y CRI se recomienda utilizar las normas IES LM-79 [1] o CIE S 025 [18] donde se ponderan los valores de TCC y CRI por el flujo emitido por la luminaria dado que TCC puede variar según el ángulo de emisión [19] (ver Fig.8).

¹⁶] IES RP-8-25. Recommended Practice for Lighting Roadway and Parking Facilities. USA

¹⁷] CIE 115:2010 Lighting of roads for motor and pedestrian traffic, 2nd Edition.

¹⁸] CIE S 025/E:2015 Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules.

¹⁹] Manzano E., Galleguillos P., De Nobrega M., Cabello A., Castillo R. (2018) Medición espectral y de

C. Ensayos térmicos

Los ensayos térmicos tienen como objetivo verificar el funcionamiento correcto del módulo LED, driver y disipador de la Luminaria dentro de un intervalo de temperatura específico sin que se degrade su desempeño. El procedimiento consiste en medir la temperatura en cuatro puntos específicos:

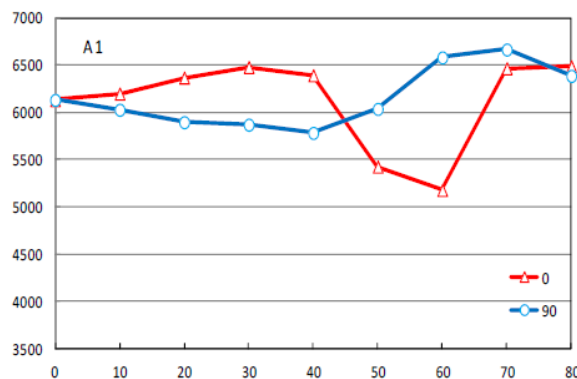


Fig. 8: TCC de luminaria LED vial en función del ángulo de elevación Y para dos planos verticales C (0° y 90°) [19].

- a) Temperatura de la juntura (T_j) del LED: Se estima con la temperatura del punto de soldadura (T_{sp}), la resistencia térmica (θ_{th} , °C/W) y la Potencia del LED (P, W) según ecuación (1).

$$T_j = T_{sp} + \theta_{th} \cdot P \quad (1)$$

El fabricante especifica el punto de medición sobre la Placa de Circuito Impreso (PCB) que es la base física donde se montan los LEDs, cerca del LED más cercano al centro térmico del conjunto mediante una termocupla, pegada firmemente con pasta térmica.

- b) Temperatura del driver (T_c): indicada normalmente en la superficie del encapsulado.
- c) Temperatura en el disipador térmico (T_{hp}): es la temperatura en el punto más caliente, llamado *hot spot*.
- d) Temperatura ambiente (T_a) cerca de la luminaria, usualmente a 5 cm del cuerpo. Las normas aplicables para este tipo de ensayo son: IEC 60598-1^[20], IES LM-82^[21],

características cromáticas de luminarias LED de alumbrado vial. Pág. 288-295. Memorias del XIV Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2018 ISBN 9789872033583 © 2018 Asociación Argentina de Luminotecnia.

²⁰] UNE-EN IEC 60598-1:2022 Luminaires - Part 1: General requirements and tests.

²¹] IES LM-82-2020 Characterization of Optical and Electrical Properties of Solid-State Lighting Products as a Function of Temperature.

IES TM-21^[22] e IES LM-80^[23] e IRAM AADL J 2020-4^[24].

D. Ensayos de durabilidad y envejecimiento

1. Estrés térmico: Esta prueba evalúa la resistencia y estabilidad térmica del conjunto LED -incluyendo el módulo LED, driver y la carcasa- cuando se lo somete a condiciones extremas de temperatura. Su objetivo es simular ciclos ambientales severos que podrían presentarse durante su vida útil en la vía pública. El procedimiento consiste en exponer la luminaria completa y apagada durante 1 hora a una temperatura de -10°C e inmediatamente después a una temperatura de 50°C durante 1 hora. El proceso se repite cinco veces consecutivas.

Finalizado el ensayo la luminaria deberá continuar funcionando correctamente^[25].

2. Ensayos de encendido-apagado: Esta prueba de durabilidad evalúa la resistencia del driver + LED a repetidos ciclos de encendido y apagado, simulando las condiciones de operación reales a lo largo de los años como el encendido nocturno diario. Para el ensayo se somete a la luminaria LED a 5.000 ciclados de encendido y apagado (ambos de 30seg.) a la tensión de 220V±0,2% THD_v≤3% y en un ambiente a 25°C±3°C con humedad relativa ≤ 65%. La posición de funcionamiento de la luminaria será la destinada a su uso como declare el fabricante. El ensayo se debe realizar con posterioridad al de Estrés térmico. Finalizado el ensayo la luminaria deberá continuar funcionando correctamente^[25]. Este protocolo corresponde a una versión más simplificada de lo exigido por IRAM AADL J 2020-4^[24].

3. Depreciación del flujo luminoso y variación de la TCC e IRC con el tiempo.

Con el uso y el transcurso del tiempo las luminarias LED se deprecian al igual que cualquier componente electro-mecánico y cambia su desempeño a largo plazo. A continuación se detallan los factores más influyentes:

- a) Depreciación del flujo luminoso: es la disminución gradual de la cantidad de luz emitida por una luminaria LED a lo largo

del tiempo. Se expresa como una fracción del flujo luminoso inicial, empleando designaciones como L70, L80, o L90, que indican el porcentaje del flujo original que se mantiene (ej. L70 = 70% del flujo inicial). Esta pérdida es causada principalmente por degradación de los materiales (fosforos, encapsulado, unión térmica, etc.) y por el estrés térmico. En luminarias bien diseñadas, la depreciación es lenta por ej, valores de L80 > 50.000 h son habituales en productos de buena calidad. La norma IES LM-80^[22] proporciona el método para medir la depreciación del flujo de los LED individuales. Esta basado en medir cada 1000h de uso (en condiciones de laboratorio) hasta las 6000h no debiendo decaer por debajo de un cierto % dependiendo de la vida media indicada por el fabricante. La norma IES TM-21^[23] permite extrapolar estos datos a largo plazo para estimar la vida útil del producto (ver Fig. 9). Una versión más resumida de evaluar la depreciación se indica en el PLAE^[15] donde la depreciación debe ser menor del 2% al 7% dependiendo de la vida media nominal declarada por el fabricante.

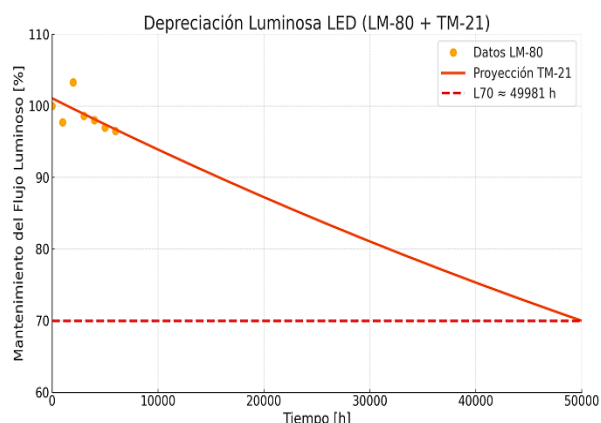


Fig.9: Depreciación luminosa medida (0h a 6000h) según LM80^[22] (puntos naranjas) con proyección según TM-21^[23] (línea roja) para luminaria LED vial resultando L70=50.000h (línea de trazo)^[26].

- b) Variación de TCC: El cambio de color de la luz emitida en los LED puede deberse a cambios físicos en la capa de fósforo que convierte la luz azul a luz blanca. Estas alteraciones pueden originarse por procesos de fabricación, desprendimientos, deslaminado o degradación del material en el tiempo. La estabilidad del color de la luz se evalúa mediante las coordenadas u',v' en el

²² IES LM-80 2015 Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources

²³ IES TM-21 2019 Projecting Long-Term Lumen Maintenance of LED Light Sources.

²⁴ IRAM AADL J 2020-4:2014 Alumbrado público. Luminarias con tecnología LED. Requisitos generales y métodos de ensayo.

²⁵ PLAE Plan de Alumbrado Eficiente. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica-en-sector-publico/pla-n-de-alumbrado-eficiente-plae>. Consultada el 29/7/2025

²⁶ OpenAI. (2025). ChatGPT (versión del 30 de julio) [Gráfica de datos]. <https://chat.openai.com/chat>

diagrama de cromaticidad CIE 1976 [27] (ver Fig. 10). Para garantizar una buena consistencia cromatica, el apartamiento máximo recomendado $\Delta u'v'$ (ecu. 2), debe ser menor a 0,007 [23] durante las primeras 6.000 horas de funcionamiento de una luminaria LED (ver Fig. 11).

$$\Delta u'v' = \sqrt{(u'_t - u'_0)^2 + (v'_t - v'_0)^2} \quad (2)$$

Donde:

u'_0, v'_0 son las coordenadas cromáticas al inicio del ensayo.

u'_t, v'_t son las coordenadas tras t horas de operación.

En una recomendacion Argentina PLAE [15] se indican intervalos limites de aceptación de permanencia de color de luz para luminarias LED en función de la vida media nominal indicada por el fabricante (ver TABLA I).

TABLA I: valores límites de cambio de TCC al cabo de las 6.000h

TCC nominal	Intervalo de tolerancia
2700K	2580 a 2870
3000K	2870 a 3220
3500K	3220 a 3710
4000K	3710 a 4260
4500K	4260 a 4746
5000K	4745 a 5311

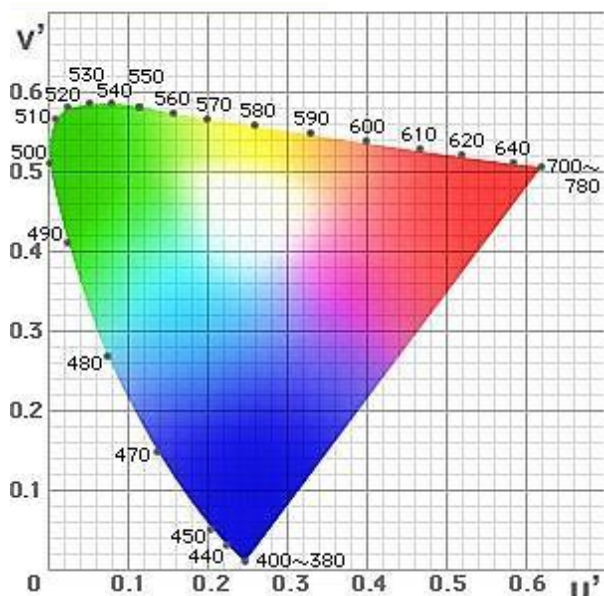


Fig. 10: Diagrama de cromaticidad (u', v') CIE 1976 (escala de cromaticidad uniforme) [27].

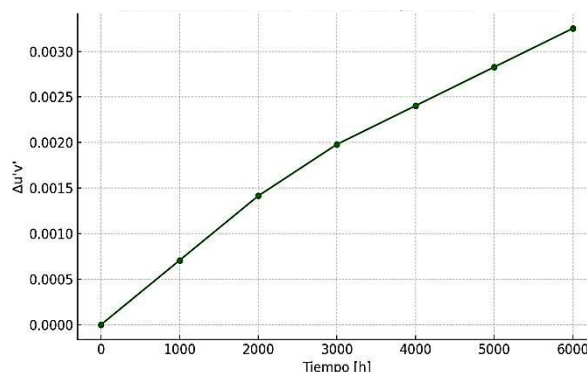


Fig. 11: $\Delta u'v'$ en función del tiempo de ensayo de una luminaria LED. [27].

c) Variación de IRC: no es un parámetro obligatorio de verificar y en iluminación vial no es significativo. Un $\Delta CRI \leq 3$ puntos se considera aceptable para iluminación vial o general. Un $\Delta CRI > 5$ puede ser considerado perceptible o inaceptable, especialmente en aplicaciones exigentes (arte, medicina, comercio). La medición de CRI puede efectuarse según IES LM79 [1].

E. Ensayos ambientales

Resistencia a la corrosión: o ensayo de niebla salina es un ensayo clave para asegurar que las Luminarias soporten ambientes exteriores agresivos (salinidad, humedad, contaminantes), como los presentes en zonas costeras, industriales o con alta humedad ambiental. El ensayo consiste en simular condiciones de corrosión acelerada mediante la exposición de la luminaria a una atmósfera de neblina salina (cloruro de sodio atomizado). La norma aplicable para este ensayo es la IRAM 121 [28].



F. Pruebas de vibración

Se utilizan para garantizar la resistencia mecánica de Luminarias montadas en columnas expuestas a vibraciones provocadas por viento, tráfico intenso etc. Estas pruebas permiten verificar que la luminaria no sufra fallas mecánicas ni eléctricas cuando está sometida a

²⁷ Konica Minolta. Precise Color Communication. <https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/part4/08.html>. Consultada el 31/7/2025

²⁸ IRAM 121, Ensayo de revestimientos. Prueba de exposición a la niebla de sal.

vibraciones típicas de su entorno de instalación. La norma IRAM/AADL J2021:2016 [29] establece los requisitos y métodos de ensayo para luminarias en este tipo de pruebas.

G. Ensayos mecánicos

1. Grado de protección contra polvo y agua (IP): Las luminarias LED al estar expuestas a condiciones climáticas adversas y a la contaminación ambiental, pueden sufrir depreciación. Para garantizar su vida y reducir el mantenimiento las normas exigen un grado mínimo de protección mecánica que impida ingreso de polvo y agua bajo condiciones normales de funcionamiento como en condiciones severas de mantenimiento. El ensayo IPXY (Ingres Protection) consiste en someter a la luminaria a una atmosfera de polvo primero y luego a un chorro de agua. El ensayo es del tipo pasa - no pasa, es decir si ingresa polvo (primer dígito X) o ingresa agua (segundo dígito Y) de acuerdo al protocolo de la norma, la luminaria cumple o no cumple. La exigencia actual para luminarias viales es IP65 y el ensayo se realiza bajo la norma IEC 60598-1 [30]. El test de ingreso de polvo se verifica en un recinto estanco (cámara de polvo) con circulación de polvo de talco seco y fino (como el de tamiz de 75 µm) con concentración típica: 2 kg/m³ durante 2h. El test de ingreso de agua (IPX5/IPX6) se realiza mediante con un chorro de agua con una boquilla de 12,5 mm, 100 L/min, durante 3 minutos. Finalizado el ensayo no debe haberse producido ingreso de polvo ni de agua al recinto optico ni al recinto del portaequipo auxiliar que afecte el funcionamiento seguro o la integridad de la Luminaria. En Fig. 12 se muestra la camara durante el ensayo IPX6.

2. Resistencia a impactos (IK): Es un parámetro que sirve para asegurar la durabilidad frente a golpes, vandalismo, granizo, o manipulación durante la instalación y el mantenimiento el luminarias LED de uso vial.

Para el ensayo bajo normas IEC [31] se utiliza un martillo de péndulo (ver Fig. 13.) o sistema de caída vertical. Se aplica un golpe en distintos puntos de la carcasa de la luminaria. Para luminarias con cubiertas de vidrio la energía de impacto es IK08 (5Joules) y para cubiertas de policarbonato es IK10 (10Joules).

Fig. 12 Cámara de para verificación del ingreso de agua mediante chorro de agua según norma [30].



Fig. 13: martillo de pendulo para ensayo de IK en luminaria Vial

III. CONCLUSIONES

El trabajo destaca la importancia de realizar un conjunto completo y estandarizado de ensayos eléctricos, fotométricos, térmicos, de durabilidad,

³¹ IEC 62262: "Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code).

VI. BIOGRAFIA

Eduardo R. Manzano es Ingeniero Eléctrico, y Magister en Ingeniería, egresado de la UNT y doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), España. Actualmente es co-director de la Maestría en Luminotecnia, Jefe del Depto. de Luminotecnia Luz y Visión y Docente e investigador de la UNT. Presenta trabajos en congresos y revistas internacionales y asesora a municipios y empresas en alumbrado público, y sobre tecnología LED en alumbrado vial, promoviendo la calidad, seguridad y sostenibilidad en la iluminación urbana.

²⁹ IRAM/AADL J2021:2016. Alumbrado público. Luminarias para vías de tránsito. Requisitos y métodos de ensayo.

³⁰ IEC 60598-1 2006 Luminaires – Part 1: General requirements and tests.

ambientales y mecánicos para garantizar la calidad, seguridad y vida útil de luminarias LED destinadas a iluminación vial. La calidad de una luminaria no depende solo de su eficiencia luminosa, sino también de su capacidad para mantener el flujo luminoso y la temperatura de color correlacionada (TCC) bajo condiciones reales de operación en el tiempo. Pruebas como IP, IK, corrosión y vibración son críticas en aplicaciones viales, dado que las luminarias enfrentan solicitaciones físicas y climáticas extremas durante 15 a 20 años de servicio. Los ensayos de laboratorio bajo normas permiten detectar fallas antes de la instalación, reducir costos de mantenimiento y prolongar la vida útil del sistema de alumbrado. La evaluación integral mediante ensayos normalizados protege la inversión pública y optimiza el servicio de iluminación.

IV. RECONOCIMIENTOS

El autor agradece a la Universidad Nacional de Tucumán Proyecto PIUNT E731, al CONICET, y al Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (FACET-UNT) por el respaldo institucional brindado para la realización de este trabajo.

V. REFERENCIAS



Hacia una herramienta argentina de predicción de luz natural para proyectistas

Monteoliva, Juan Manuel¹ - Villalba, Ayelén¹ - Donato, Stella Maris¹
Schumacher, Emanuel Ricardo¹ - Jaime, Dario Ricardo¹

Paviglianiti Labiano, Valeria Dana¹ - Chade, Juan Ignacio² - Pattini, Andrea Elvira¹

¹ Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina

² Facultad de Artes y Diseño (FAD), Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

Resumen: La evaluación del rendimiento de la luz natural en las etapas iniciales del diseño arquitectónico es clave para mejorar la eficiencia energética y la calidad ambiental interior. Sin embargo, la mayoría de los modelos predictivos existentes fueron desarrollados en el hemisferio norte, con condiciones distintas a las de Latinoamérica, lo que limita su aplicabilidad. En este contexto, el presente trabajo expone los avances en el desarrollo de un modelo predictivo de luz natural específico para el territorio argentino. Esta investigación, llevada a cabo en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE CONICET), busca crear una herramienta accesible para arquitectos y diseñadores, que facilite la toma de decisiones en etapas tempranas del proyecto sin depender de simulaciones complejas. Entre los logros alcanzados se destacan: (i) un análisis exploratorio de los parámetros determinantes del modelo, con resultados publicados en el ámbito científico nacional; (ii) la construcción y validación del modelo predictivo, actualmente en evaluación; y (iii) la obtención de financiamiento para desarrollar una aplicación móvil. Este proyecto posicionará a Argentina entre los pocos países del hemisferio sur con un modelo propio científicamente validado, aportando al diseño sustentable en la región y fortaleciendo tanto el ámbito académico como profesional.

Palabras claves: iluminación natural, modelo predictivo, Argentina.

Abstract: The evaluation of daylight performance during the early stages of architectural design is key to improving energy efficiency and indoor environmental quality. However, most existing predictive models were developed in the Northern Hemisphere, under conditions significantly different from those in Latin America, which limits their applicability. In this context, the present work outlines the progress made in developing a

predictive daylight model specifically designed for Argentina. This research, conducted at the Institute of Environment, Habitat and Energy (INAHE CONICET), aims to create an accessible tool for architects and daylighting system designers that supports early-stage decision-making without relying on complex simulations. Key achievements include: (i) a descriptive-exploratory analysis of the model's determining parameters, with results published in national scientific forums; (ii) the development and validation of the complete predictive model, currently under evaluation; and (iii) the acquisition of public-private funding for the development of a mobile application to enable broad, practical implementation. This project will position Argentina among the few countries in the Southern Hemisphere—alongside Chile and Brazil—with a scientifically validated daylight model, contributing significantly to both academic research and the professional practice of environmentally conscious design in Latin America.

Keywords: daylight, predictive model, Argentina.

I. INTRODUCCIÓN

En 2021, el sector edilicio fue responsable del 30 % del consumo global de energía final y del 27 % de las emisiones asociadas al sector energético. Estas cifras se replican a nivel nacional, donde el consumo energético del sector edilicio alcanzó el 36 % [1][2]. Frente a este panorama, la Agencia Internacional de Energía subraya la urgencia de reducir las emisiones derivadas de la construcción y operación de edificios, destacando el papel estratégico de las envolventes edilicias en la mejora de la eficiencia energética.

Las fachadas influyen directamente en la captación de radiación solar, lo que impacta en el consumo energético destinado a iluminación,

calefacción y refrigeración, así como en las condiciones de confort visual de los espacios interiores [3][4]. Este contexto ha impulsado un creciente cuerpo de investigaciones en torno a la iluminación natural, tanto por su potencial como fuente renovable, como por sus beneficios en el bienestar de los usuarios [5][6]. Tomando relevancia en las últimas décadas los modelos predictivos de luz natural basados en técnicas de aprendizaje automático (machine learning), ampliamente reconocidos en la comunidad del diseño edilicio por su capacidad para abordar problemas complejos y no lineales [7][8]. Sin embargo, el 91.4% de estos desarrollos se concentran en ciudades del hemisferio norte (África 5.7%; América del Norte 11.4%; Asia 42.9%; Europa 28.6%). En el hemisferio sur, los modelos disponibles se han desarrollado para ciudades de América del Sur como Florianópolis (Brasil), Antofagasta, Santiago y Punta Arenas (Chile) (8.6%) [9] (véase Figura 1).

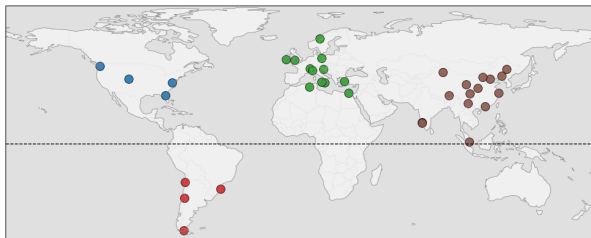


Fig. 1: Principales modelos predictivos de luz natural desarrollados en el mundo entre 2006-2023.
Referencias: ● América del Norte, ● América del Sur, ● Europa, ● Asia. Fuente: Autores.

Frente a esta problemática y contexto, el Grupo de Iluminación Natural Sustentable del INAHE (CONICET) desarrolló en 2016 un primer modelo predictivo simplificado para predecir la iluminancia por luz natural útil ($UDI_{100-2000}$) en oficinas perimetrales individuales ubicadas en la provincia de Mendoza, Argentina [10].

En los últimos años, dicho modelo ha sido ampliado mediante nuevas simulaciones por computadora. La oficina analizada mantiene las características originales (6x4x3 m), con una única ventana centrada en la fachada. La superficie vidriada varió desde 0.25 m² (0.5x0.5 m) hasta 12 m² (3x4 m, tipo *curtain wall*), en incrementos de 0.05 m². En total, se evaluaron 184032 condiciones lumínicas, resultado de la combinación de: 8 condiciones de cielo típicas de distintas ciudades argentinas de alta densidad poblacional (Mendoza, Bahía Blanca, Comodoro Rivadavia, Córdoba, Salta, San Carlos de Bariloche, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Resistencia y Neuquén); 36 orientaciones de fachada (con intervalos de 10° según el azimut de la ventana); 71 tamaños de áreas vidriada; y 9 niveles de transmitancia visible del vidrio (τ_v) (de 0.1 a 0.9, en incrementos de 0.1).

El modelo virtual incluyó una grilla de medición de iluminancia horizontal compuesta por 72 sensores (18x4), ubicados a 0.80 m de altura (plano de trabajo). La reflectancia visible de los materiales interiores fueron: pared 60 %, techo 80 % y piso 30 %.

La escena simulada fue simple, sin geometrías complejas, y se utilizaron los parámetros de simulación en Radiance: -ab 5 -ad 1000 -as 100 -aa 0.1 -ar 300 -dt 0 -ds 0 [11]. Se calcularon las siguientes métricas dinámicas: autonomía de la luz natural o *daylight autonomy* (DA_{200}) [12], autonomía espacial de luz natural o *spatial daylight autonomy* ($sDA_{200,50\%}$) [13], iluminancia por luz natural útil o *useful daylight illuminance* ($UDI_{200-2000}$) [14] e iluminancia espacial por luz natural útil o *spatial useful daylight illuminance* ($sUDI_{200-2000,50\%}$) (*sUDI*) [15]. El perfil de ocupación considerado simuló un uso típico de oficinas en edificios no residenciales de la región: lunes a viernes, de 8:00 a 18:00.

En este marco, el presente trabajo tiene por objetivo dar a conocer los principales avances alcanzados en esta segunda etapa del proyecto (2024–2025), organizados en tres ejes: A. *Análisis exploratorio de los parámetros determinantes del modelo*; B. *Construcción y validación del modelo predictivo* y C. *Desarrollo de una aplicación móvil para su implementación práctica*.

II. DESARROLLO

A. Análisis exploratorio de los parámetros determinantes del modelo

Se analizaron las cuatro métricas dinámicas consideradas: (2) de tipo temporal (DA_{200} y $UDI_{200-2000}$) y (2) de tipo espacial ($sDA_{200,50\%}$ y $sUDI_{200-2000,50\%}$), evaluando su relación con las variables previamente definidas. Los resultados confirmaron que tanto el área vidriada como la T_v del vidrio inciden significativamente sobre las métricas dinámicas, determinando la cantidad y calidad de luz natural disponible en el espacio interior. La condición de cielo también influyó en los valores obtenidos, aunque su efecto se manifiesta principalmente como un desplazamiento sistemático en los resultados, en función de la localización geográfica. Respecto a la orientación de fachada, se identificó la posibilidad de agrupar los valores según su cercanía al norte geográfico, lo que permitió simplificar la estructura del modelo sin pérdida significativa de precisión.

Este trabajo exploratorio preliminar fue fundamental para las etapas siguientes del proyecto, ya que permitió establecer criterios clave para la selección de técnicas estadísticas, así como para la definición de variables y niveles de análisis. Asimismo, los resultados fueron compartidos y evaluados en reuniones científicas nacionales, dando como resultado una publicación científica [16].

B. Construcción y validación del modelo predictivo

Se desarrolló un modelo de aprendizaje supervisado no paramétrico, basado en árboles de decisión o *decision tree* (DT), que permite predecir la disponibilidad de luz natural con alta interpretabilidad, facilitando la toma de decisiones en etapas tempranas del diseño arquitectónico. El modelo incluye variables críticas como la orientación de fachada, el área vidriada y τ_v , y demuestra que esta última tiene un impacto significativo en la disponibilidad de luz, un aspecto poco abordado en otros estudios. Si bien de forma directa el modelo, no contempla los efectos térmicos, si incluyen una serie de advertencias al riesgo de ganancia solar excesiva, junto con recomendaciones de sistemas de sombreado, para evitar posibles condiciones de deslumbramiento.

El modelo permite identificar de manera rápida el impacto de decisiones de diseño. Aunque durante la etapa de investigación se aplicaron otras técnicas, como *Random Forest* (RF), para validar la capacidad predictiva (con una mejora del 7% en precisión), se priorizó el uso de DT por su transparencia y utilidad práctica para profesionales del diseño. La leve pérdida de precisión se considera aceptable, dada la etapa de diseño en la que se aplica. Actualmente, este modelo forma parte de una publicación en revisión en una revista internacional; por este motivo, la documentación e información específica se mantiene bajo confidencialidad.

La base de datos elaborada para el modelo fue publicada oportunamente en el repositorio digital de CONICET, quedando disponible para su libre acceso [Link]. El archivo de datos contiene valores de iluminancia horizontal (mínima, máxima y media), DA, sDA, UDI y sUDI de distintas condiciones lumínicas analizadas. Esta decisión, coherente con la filosofía de los autores, se enmarca en los principios de la ciencia abierta.

C. Desarrollo de aplicación móvil

Durante el proceso de construcción del modelo, en 2024 se presentó una postulación a un financiamiento público-privado en el marco de la segunda edición de los *Fondos Verdes para la Sostenibilidad Ambiental*. Esta convocatoria, auspiciada por la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza y el Banco Galicia, otorgó al equipo de investigación un financiamiento específico para la implementación del modelo en una aplicación móvil dirigida a profesionales proyectistas.

La aplicación tiene como objetivo ofrecer, de forma intuitiva, sencilla y rápida, el cálculo de la disponibilidad de luz natural en una oficina tipo, sin requerir procesos complejos de simulación. En este sentido, se continúan y amplían desarrollos previos del equipo [17]. Este proyecto presenta una vinculación directa con personal técnico de las áreas de Biodiversidad y Recursos Naturales, y de la Unidad de Proyectos Urbanos, ambas

pertenecientes a la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Urbano del municipio capitalino. Actualmente, la nueva aplicación Phōton se encuentra en etapa de desarrollo. Según el cronograma previsto, su lanzamiento oficial está programado para los últimos meses de 2025.

El principal aporte de esta segunda etapa del proyecto radica en el desarrollo de un modelo predictivo robusto que, sin comprometer la rigurosidad metodológica propia de los procesos de simulación computacional utilizados en normativas y certificaciones internacionales, permite optimizar la productividad y apoyar la toma de decisiones de los profesionales proyectistas en etapas tempranas del diseño arquitectónico. Este modelo apunta a mejorar las condiciones lumínicas de los espacios interiores en la región, promoviendo un uso eficiente y controlado de la luz natural, con beneficios tanto visuales como no visuales para sus ocupantes.

El proyecto se consolida como una propuesta clara de I+D+i mediante la incorporación de tecnologías emergentes, entre las que se destacan la simulación computacional avanzada, técnicas de aprendizaje automatizado supervisado y el desarrollo de una aplicación móvil con enfoque en diseño de interfaz y experiencia de usuario (UI/UX). Como resultado, se prevé poner a disposición de los usuarios una herramienta tecnológica, ejecutable desde un dispositivo móvil, que brinde asistencia precisa, simple e intuitiva al profesional del diseño edilicio. Aunque esta segunda versión de la aplicación móvil está orientada principalmente al ámbito profesional, se anticipa un impacto directo en los usuarios finales, es decir, en los ocupantes de los espacios construidos.

III. CONCLUSIONES

Este ambicioso proyecto, iniciado en 2016 y actualmente de alcance nacional, prevé:

- (i) posicionar a la Argentina entre los países del hemisferio sur con un modelo propio, científicamente validado, que contribuya al diseño sustentable en la región y fortalezca tanto el ámbito académico como el profesional;
- (ii) ofrecer a los profesionales una herramienta intuitiva, validada y de libre acceso; y
- (iii) fortalecer la producción interdisciplinaria de conocimiento científico y tecnológico, y su vinculación con organismos públicos y privados del sector.

IV. RECONOCIMIENTOS

El estudio fue apoyado por CONICET (Argentina) desde sus inicios y cuenta con financiamiento adicional de la Municipalidad de Mendoza y el Banco Galicia (FOVE) para el desarrollo de la app.

V. REFERENCIAS

- [1] International Energy Agency (IEA) (2025). Buildings – Topics, IEA. Disponible en: <https://www.iea.org/topics/buildings> (consultada el 18/07/2025).
- [2] Ministerio de Economía (2022). Balances energéticos. Argentina.gob.ar. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/planeamiento-energetico/balances-energeticos> (consultada el 18/07/2025).
- [3] Alva M., Vlachokostas A., Madamopoulos N. (2020). “Experimental demonstration and performance evaluation of a complex fenestration system for daylighting and thermal harvesting”. *Solar Energy*, 197, pp. 385–395.
- [4] Brembilla E., Chi D.A., Hopfe C.J., et al. (2019). “Evaluation of climate-based daylighting techniques for complex fenestration and shading systems”. *Energy and Buildings*, 203:109454. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109454>.
- [5] Boyce P., Hunter C., Howlett O. (2003). *The benefits of daylight through windows*. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York.
- [6] Wirz-Justice A., Skene D.J., Münch M. (2021). “The relevance of daylight for humans”. *Biochemical Pharmacology*, 191, 114304.
- [7] Ayoub M. (2020). “A review on machine learning algorithms to predict daylighting inside buildings”. *Solar Energy*, 202, pp. 249–275. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.104>.
- [8] Li X., Yuan Y., Liu G., Han Z., Stouffs R. (2024). “A predictive model for daylight performance based on multimodal generative adversarial networks at the early design stage”. *Energy and Buildings*, 305, 113876. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113876>.
- [9] Monteoliva J.M. et al. (2025). *Decision tree-based modelling of daylight for perimeter office in the Southern Hemisphere*. (No publicado).
- [10] Monteoliva J.M., et al. (2016). “Modelo simplificado para el cálculo de iluminancia por luz natural útil (UDI) en espacios individuales perimetrales de cielos claros. Caso de estudio: Mendoza, Argentina”. *Revista Hábitat Sustentable*, pp. 50–59.
- [11] Jacobs A. (2012). *Radiance Tutorial*. Disponible en: https://www.jaloxa.eu/resources/radiance/documentacion/docs/radiance_tutorial.pdf (consultado el 19/01/2024).
- [12] Reinhart C.F., Walkenhorst O. (2001). “Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds”. *Energy and Buildings*, pp. 683–697.
- [13] Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) (2013). *LM-83-12: Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. IESNA, New York, NY.
- [14] Nabil A., Mardaljevic J. (2006). “Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors”. *Energy and Buildings*, pp. 905–913. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.013>
- [15] Konis K., Gamas A., Kensek K. (2016). “Passive performance and building form: An optimization framework for early-stage design support”. *Solar Energy*, pp. 161–179. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.020>
- [16] Villalba A., Monteoliva J.M., Donato S., Pattini A. (2024). “Desarrollo de modelo predictivo regional de la disponibilidad de luz natural en espacios interiores”. *Revista AVERMA*, 48, pp. 33–43.
- [17] Aceña A., Monteoliva J.M., Villalba A. (2016). *AppUDI v1.0* [Aplicación móvil]. Derecho de autor de producciones tecnológicas.

VI. BIOGRAFIAS



Dr. Juan Manuel Monteoliva
Investigador Adjunto. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina.
Enlaces de interés: [CONICET](#)



Dra. Ayelén Villalba
Investigadora Adjunta. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina.
Enlaces de interés: [CONICET](#)



Dra. Stella Maris Donato
Personal de Apoyo. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina.
Enlaces de interés: [CONICET](#)



Ing. Emanuel R. Schumacher
Personal de Apoyo. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina.
Enlaces de interés: [CONICET](#)



Lic. Dario Ricardo Jaime
Personal de Apoyo. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina.
Enlaces de interés: [CONICET](#)



Arq. Valeria D. Paviglianiti L.
Becaria Doctoral. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina.
Enlaces de interés: [CONICET](#)



D.I. Juan Ignacio Chade
Pasante I+D. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina. Enlaces de interés: [Portfolio](#)



Dra. Andrea E. Pattini
Investigadora Principal. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina.
Enlaces de interés: [CONICET](#)



Iluminación en parques y plazas del Gran San Miguel de Tucumán: tecnologías empleadas y potenciales impactos sobre murciélagos urbanos

Bárbara Silva

Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión, Universidad Nacional de Tucumán - CONICET, Tucumán, Argentina.

Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión, Facultad de Cs. Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

bsilva@herrera.unt.edu.ar

Camila S. González Noschese

Instituto de Investigaciones de Biodiversidad Argentina, Facultad de Cs. Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

camilasgn.95@gmail.com

M. Leonor Sandoval Salinas

Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión, Universidad Nacional de Tucumán - CONICET, Tucumán, Argentina.

Instituto de Investigaciones de Biodiversidad Argentina, Facultad de Cs. Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

maritissandoval@yahoo.com.ar

Resumen

En continuidad con un estudio previo sobre actividad de murciélagos en espacios verdes del Gran San Miguel de Tucumán, en el que se observó mayor riqueza y actividad en sitios con altos niveles de iluminación artificial, esta etapa aborda la caracterización técnica del alumbrado público en esos sitios. El relevamiento se realizó con apoyo de equipos técnicos municipales y datos de fabricantes, analizando tipo de tecnología (LED, sodio de alta presión, halogenuros metálicos), potencia y temperatura de color correlacionada (CCT).

Se detectó una coexistencia de tecnologías, predominando luminarias LED con CCT entre 4000 K y 6000 K, cuyo espectro presenta un pico en el azul (~450 nm). También se encontraron lámparas de sodio, con emisión concentrada en el rango amarillo-anaranjado (<3000 K). Estas diferencias espectrales pueden incidir en el comportamiento de murciélagos insectívoros, ya sea por su sensibilidad a ciertas longitudes de onda o por efectos indirectos sobre las poblaciones de insectos de las que se alimentan.

Este estudio técnico preliminar permitirá, en futuras etapas, vincular el tipo de alumbrado con indicadores de biodiversidad urbana, generando evidencia local para la planificación y gestión sustentable de la iluminación en áreas urbanizadas.

Abstract

Following a previous study on bat activity in green spaces of Greater San Miguel de Tucumán—which revealed higher species richness and activity in areas with elevated artificial light levels—this phase focuses on a technical characterization of the public lighting in these sites. The survey was conducted in collaboration with municipal technical teams and manufacturer data, analyzing lighting technology types (LED, high-pressure sodium, metal halide), power, and correlated color temperature (CCT).

A coexistence of technologies was identified, with LED fixtures (CCT 4000–6000 K) predominating; their emission spectra peaked in the blue range (~450 nm). Sodium-vapor lamps, with emissions concentrated in the yellow-orange spectrum

(<3000 K), were also documented. These spectral differences may influence the behavior of insectivorous bats, either through direct sensitivity to specific wavelengths or indirect effects on their insect prey populations.

This preliminary technical study will enable future stages to correlate lighting types with urban biodiversity indicators, generating localized evidence to guide sustainable urban lighting planning and management.

Palabras claves: biodiversidad urbana, iluminación urbana, murciélagos insectívoros.

I. INTRODUCCIÓN

La iluminación artificial nocturna (ALAN, por sus siglas en inglés) puede alterar el comportamiento de las especies nocturnas, provocando atracción, evasión o desorientación [1]. En entornos urbanos, la fauna silvestre está particularmente expuesta a estos impactos [2]. Los murciélagos insectívoros, que suelen representar una parte importante de la quiropterofauna urbana [3,4], utilizan tanto la ecolocalización como la visión para desplazarse, lo que los hace sensibles a los cambios en el paisaje lumínico [5,6].

Diversos estudios muestran que las respuestas de los murciélagos a la ALAN son especie-específicas y dependen tanto de la intensidad como del tipo y color de la luz [7-9]. Algunas especies incrementan su actividad en torno a las luminarias mientras que otras la reducen [10-12]. Estas respuestas pueden deberse a la sensibilidad diferencial de sus fotorreceptores [13], con el comportamiento de los insectos de los que se alimentan —que suelen ser atraídos por la iluminación [14]—, o con la necesidad de evitar a posibles predadores [15,16]. En particular, las respuestas a la luz artificial varían notablemente en función del estilo de vuelo: murciélagos de vuelo lento y maniobrable, que suelen forrajear en espacios cerrados, tienden a evitar consistentemente las áreas iluminadas, mientras que especies de vuelo más rápido, típicos de espacios abiertos, pueden mostrar mayor actividad cerca de ciertas luminarias [17]. En este sentido, conocer los niveles de iluminación, la composición espectral y la distribución del alumbrado público se vuelve clave para evaluar sus efectos ecológicos y orientar estrategias de gestión urbana que consideren la conservación de la biodiversidad [18,19].

Anteriormente, se realizó un análisis cualitativo de espacios verdes urbanos y un registro de actividad acústica de murciélagos insectívoros [20].

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de un estudio exploratorio que se realizó para evaluar la riqueza de especies de murciélagos insectívoros y su actividad relativa, en espacios verdes en áreas urbanas en el gran San Miguel de Tucumán, poniendo el foco en su relación con las tecnologías de iluminación existentes en esos sitios.

II. METODOLOGÍA PARA EL MUESTREO

Para este trabajo se seleccionaron ocho espacios verdes ubicados en áreas urbanas en el gran San Miguel de Tucumán (Fig. 1), distribuidos en las ciudades de San Miguel de Tucumán (seis), Yerba Buena (uno) y Lules (uno). En esos sitios, se registraron la actividad acústica de murciélagos y los niveles de iluminación. Posteriormente, se indagó sobre la tecnología de la iluminación presente en cada uno. A continuación, se detallan los datos relevados.

A. Espacios verdes

Para este estudio, se seleccionaron los siguientes espacios verdes (plazas y parques):

- En San Miguel de Tucumán (SMT), de este a oeste: Parque 9 de Julio; Plaza Independencia; Plaza Urquiza; Plaza San Martín; Parque Avellaneda; Parque Batalla de Tucumán (conocido como Parque Guillermina).
- En Yerba Buena (YB): Parque Percy Hill.
- En Lules (L): Plaza 9 de Julio.

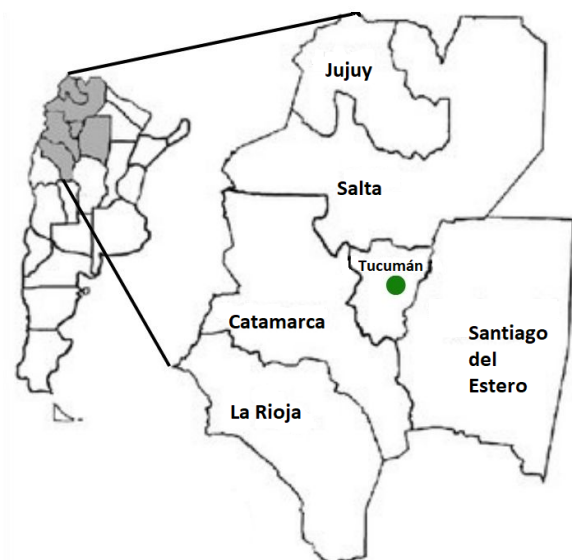


Fig. 1: Los espacios verdes elegidos se encuentran en el Gran San Miguel de Tucumán (círculo verde), en la región del noroeste de Argentina.

B. Registro de actividad acústica

La actividad acústica se registró con un dispositivo portátil de la marca *Wildlife Acoustics* modelo *Echo Meter Touch 2* que, conectado a un

smartphone y mediante una *app* que proporciona el fabricante, permite la detección y grabación de vocalizaciones de murciélagos en formato de audio de alta frecuencia. Las grabaciones fueron posteriormente procesadas con el *software Raven Pro 1.6*, extrayendo parámetros espectrales (frecuencia de inicio, frecuencia final, frecuencia de máxima energía) y temporales (duración de la vocalización, intervalo entre pulsos). Con base en estos parámetros, se determinó la identidad específica de los individuos registrados.

A partir de las grabaciones realizadas con el dispositivo portátil Echo Meter Touch 2, se calculó un índice de actividad acústica (IA), como se expresa en (1).

$$IA(\%) = \frac{MGE}{MGT} \cdot 100 \quad (1)$$

donde MGE son los minutos de grabación efectiva (aquellos bloques de un minuto en los que se detectó la presencia de murciélagos) y MGT son los minutos de grabación totales obtenidos en cada sitio.

C. Iluminancia y tipos de tecnología en luminarias

Los niveles de iluminación fueron tomados con un luxómetro marca TES-1335, a una altura de 1.5 metros desde el suelo, bajo las diferentes luminarias que se identificaron en cada uno de los sitios.

Para relevar las tecnologías presentes en los puntos de medición, se registraron las ubicaciones de las luminarias, se tomaron fotografías y se realizó una caracterización *in situ*. Adicionalmente, se solicitó información a los responsables de la iluminación de cada ciudad, es decir, a funcionarios/as de las respectivas municipalidades para constatar la correcta identificación del tipo de tecnología (por ejemplo, LED, HPS, MH, etc.).

III. RESULTADOS

A. Actividad acústica y riqueza de especies

Se registró una riqueza total de 11 especies de murciélagos insectívoros, tanto de vuelo rápido como de vuelo lento, pertenecientes a dos familias: Vespertilionidae y Molossidae (TABLA I).

B. Iluminación y actividad acústica

Los niveles promedio de iluminancia en cada uno de los sitios muestreados son variables (Fig. 2). En cuanto a la tecnología de iluminación utilizada, se observa que, en algunos parques, coexisten otras tecnologías además de la iluminación LED, que es la tecnología dominante (TABLA II).

TABLA I: Actividad acústica registrada en cada uno de los espacios verdes estudiados y presencia (x) o ausencia (-) de murciélagos de vuelo rápido (MVR) y de vuelo lento (MVL) en cada sitio. Los valores del índice de actividad (IA) corresponden al total de registros, sin diferenciar entre grupos de especies.

Espacios verdes	IA total ^a	MVR ^b	MVL ^c
Parque 9 de Julio (SMT)	58,89%	x	x
Plaza Independencia (SMT)	24,44%	x	-
Plaza Urquiza (SMT)	12,22%	x	-
Plaza San Martín (SMT)	35,56%	x	-
Parque Avellaneda (SMT)	23,33%	x	-
Parque Guillermina (SMT)	38,89%	x	x
Parque Percy Hill (YB)	35,56%	x	x
Plaza 9 de Julio (L)	28,89%	x	-

^a IA total: Índice de actividad acústica total del ensamble de murciélagos.

^b MVR: murciélagos de vuelo rápido (molósidos y *Lasiurus*).

^c MVL: murciélagos de vuelo lento (vespertilionidos y *Molossops temminckii*).

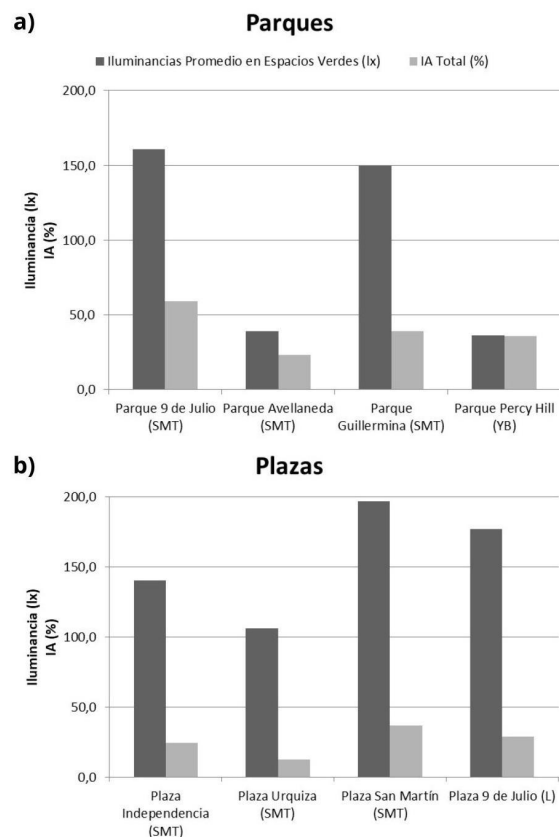


Fig. 2: Iluminancias y actividad acústica (IA) en dos categorías de espacios verdes: a) parques, y b) plazas en el Gran San Miguel de Tucumán.

TABLA II: Tecnologías de iluminación existentes en los espacios verdes muestreados en el Gran San Miguel de Tucumán.

Espacios verdes	Tecnologías existentes	
	Mayoría	Minoría
Parque 9 de Julio (SMT)	LED	-
Plaza Independencia (SMT)	LED	RGB(B) ^a
Plaza Urquiza (SMT)	LED	-
Plaza San Martín (SMT)	LED	-
Parque Avellaneda (SMT)	LED	HPS ^b
Parque Guillermina (SMT)	LED	HPS ^b
Parque Percy Hill (YB)	LED	MH ^c
Plaza 9 de Julio (L)	LED	-

^a RGB (B): RGB azulados.

^b HPS: Sodio de alta presión.

^c MH: Mercurio halogenado.

Si se comparan los espacios verdes categorizados como plazas con aquellos categorizados como parques, se observa que las plazas presentan niveles de iluminancia superiores a los de los parques (Figs. 2 y 3) y que los mayores valores de IA se registraron en los parques (Figs. 2 y 3).

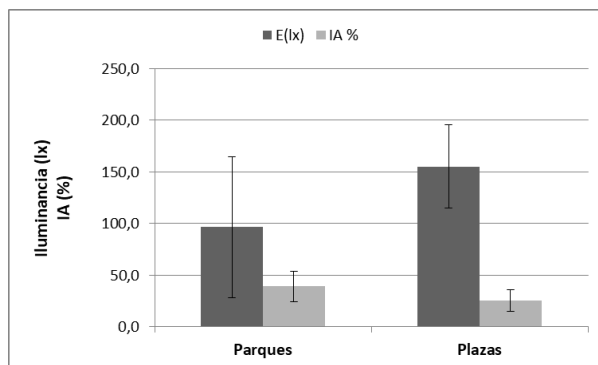


Fig. 3: Iluminancias y actividad acústica (IA) promedios para parques y plazas en el Gran San Miguel de Tucumán.

IV. CONCLUSIONES

En este estudio logramos identificar 11 especies de murciélagos insectívoros, con un índice de actividad acústica (IA) que varió entre 12,22 % y 58,89 % en las plazas y parques evaluados en el Gran San Miguel de Tucumán.

En todos los sitios analizados se registró el uso de tecnología LED, y la tendencia observada sugiere

una transición hacia su implementación casi exclusiva; sin embargo, aún persisten otras tecnologías (HPS o MH), especialmente en tres de los cuatro parques evaluados, en coincidencia con aquellos sitios donde se registró una alta actividad acústica de murciélagos. En cuanto a los niveles de iluminación, los valores promedio parecen ser mayores en las plazas que en los parques. Esto podría deberse, por un lado, a las dimensiones de estos espacios, de manera que en los parques el interior queda frecuentemente alejado de las principales fuentes de luz; y, por otro, a las características de la matriz urbana en la que se encuentra inmersa cada una de las plazas y parques analizados en nuestro estudio.

Los resultados obtenidos constituyen los primeros registros de murciélagos urbanos mediante métodos acústicos en la región, considerando el efecto potencial de la iluminación artificial sobre la fauna silvestre en espacios verdes urbanos. Si bien estos hallazgos no son concluyentes, representan una primera aproximación para entender los posibles impactos de la iluminación artificial en la biodiversidad urbana y ofrecen una base para estudios futuros que integren variables lumínicas, ecológicas y de planificación urbana.

V. RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al personal de las municipalidades de San Miguel de Tucumán, Yerba Buena y Lules por ayudarnos a corroborar el tipo de tecnología de las luminarias en los espacios verdes estudiados.

VI. REFERENCIAS

- [1] Gaston K. J., Bennie J., Davies T. W., Hopkins J. (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal: nighttime light pollution. *Biol Rev* 88(4):912-927.
- [2] Koen E. L., Minnaar C., Roever C. L., Boyles J. G. (2018). Emerging threat of the 21st century lightscape to global biodiversity. *Glob Change Biol* 24(6):2315-2324.
- [3] Hourigan C. L., Catterall C. P., Jones D., Rhodes M. (2010). The diversity of insectivorous bat assemblages among habitats within a subtropical urban landscape: bat diversity in a subtropical city. *Austral Ecol* 35(8):849-857.
- [4] Santini L., González-Suárez M., Russo D., Gonzalez-Voyer A., Hardenberg A., Ancillotto L. (2019). One strategy does not fit all: determinants of urban adaptation in mammals. *Ecol Lett* 22(2):365-376.
- [5] Müller B., Glösmann M., Peichl L., Knop G. C., Hagemann C., Ammermüller J. (2009). Bat eyes have ultraviolet-sensitive cone photoreceptors. *PLoS ONE* 4(7):e6390.
- [6] Xuan F., Hu K., Zhu T., Racey P., Wang X., Zhang S., Sun Y. (2012). Immunohistochemical evidence of cone-based ultraviolet vision in divergent bat species and implications for its evolution. *Comp*

- Biochem Physiol B: Biochem Mol Biol 161(4):398-403.
- [7] Stone E. L., Harris S., Jones G. (2015a). Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. *Mamm Biol* 80(3):213-219.
- [8] Stone E. L., Wakefield A., Harris S., Jones G. (2015b). The impacts of new street light technologies: experimentally testing the effects on bats of changing from low-pressure sodium to white metal halide. *Philosophical Transact Royal Soc B: Biolog Sci* 370(1667):20140127.
- [9] Spoelstra K., van Grunsven R. H. A., Ramakers J. J. C., Ferguson K. B., Raap T., Donners M., Veenendaal E. M., Visser M. E. (2017). Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. *Proceed Royal Soc B: Biolog Sci* 284(1855):20170075.
- [10] Russo D., Ancillotto L., Cistrone L., Libralato N., Domer A., Cohen S., Korine C. (2019). Effects of artificial illumination on drinking bats: a field test in forest and desert habitats. *Anim Conserv* 22(2):124-133.
- [11] Haddock J. K., Threlfall C. G., Law B., Hochuli D. F. (2019a). Light pollution at the urban forest edge negatively impacts insectivorous bats. *Biol Cons* 236:17-28.
- [12] Hooker J., Lintott P., Stone E. (2022). Lighting up our waterways: impacts of a current mitigation strategy on riparian bats. *Environ Pollut* 307:119552.
- [13] Longcore T., Rich C. (2016). Ecological and organismic effects of light pollution. En *eLS* (pp. 1-8).
- [14] van Langevelde F., Eetema J. A., Donners M., WallisDeVries M. F., Groenendijk D. (2011). Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. *Biol Cons* 144(9):2274-2281.
- [15] Cravens Z. M., Brown V. A., Divoll T. J., Boyles J. G. (2018). Illuminating prey selection in an insectivorous bat community exposed to artificial light at night. *J Appl Ecol* 55(2):705-713.
- [16] Lockett M. T., Jones T. M., Elgar M. A., Gaston K. J., Visser M. E., Hopkins G. R. (2021). Urban street lighting differentially affects community attributes of airborne and ground-dwelling invertebrate assemblages. *J Appl Ecol* 58(10):2329-2339.
- [17] Barré K., Thomas I., Le Viol I., Spoelstra K., Kerbiriou C. (2023). Manipulating spectra of artificial light affects movement patterns of bats along ecological corridors. *Anim Conserv* 26(6):865-875.
- [18] Fuller R. A., Irvine K. N., Devine-Wright P., Warren P. H., Gaston K. J. (2007). Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biol Lett* 3(4):390-394.
- [19] Keniger L., Gaston K., Irvine K., Fuller R. (2013) What are the benefits of interacting with nature? *Int J Environ Res Public Health* 10(3):913-935.
- [20] González Noschese C. S., Sandoval Salinas M. L., Silva B., Díaz M. M. (2024). Respuesta de los murciélagos insectívoros (Mammalia: Chiroptera) a la urbanización en la provincia de Tucumán, Argentina. Libro de resúmenes. Editor: Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos

(SAREM), XXXV Jornadas Argentinas de Mastozoología, San Luis, Argentina.

- [21] Miller B. W. (2001). A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity index for acoustic monitoring. *Acta Chiropterol* 3(1):93-105.

VII. BIOGRAFÍAS



Bárbara Silva: Doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente, Ingeniera Electrónica y Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (MAVILE). Profesional Adjunta (CPA-CONICET), responsable del Laboratorio de Radiometría y Colorimetría en el Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV - UNT CONICET). Docente de grado y posgrado en el Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (DLLyV) en la Facultad de Cs. Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán (FACET-UNT) y miembro de la Comisión Académica de la Especialización en MAVILE.



Camila S. Gonzalez Noschese: Licenciada en Ciencias Biológicas egresada de la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP). Becaria Doctoral CONICET en el Programa de Investigaciones de Biodiversidad Argentina (PIDBA), Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (FCNeIML, UNT).
Tema de investigación: Ensamblajes de murciélagos en función del uso de la tierra en la provincia de Tucumán.



María L. Sandoval-Salinas: Licenciada y Doctora en Ciencias Biológicas (Universidad Nacional de Tucumán, UNT). Investigadora Adjunta del CONICET en el Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV, UNT - CONICET). Docente de la Licenciatura en Ciencias Biológicas, de la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (UNT).



Evaluación de la Contaminación Lumínica como Herramienta Técnica para el Análisis y Diseño de Proyectos de Iluminación Sustentable

Carla Sosa

Esp. Diseñadora de Iluminación (UNT). Jujuy. Argentina.
ldcarlasosa@gmail.com

Iván Kopaitic Otero

Lab. Fotometría. Universidad Pontificia Católica de Valparaíso. Valparaíso. Chile.
ivan.kopaitic@pucv.cl

Resumen La contaminación lumínica, definida como la alteración de la oscuridad natural de la noche por luz artificial inapropiada o excesiva, representa una preocupación ambiental global con impactos multifacéticos en la astronomía, los ecosistemas, la salud humana y el consumo de energía. Se manifiesta en diversas formas, incluyendo el resplandor celeste, la intrusión lumínica, el deslumbramiento y el desorden lumínico. Este informe subraya que la medición precisa de la contaminación lumínica no es un mero ejercicio académico, sino una herramienta de diagnóstico fundamental. Proporciona la base empírica necesaria para diseñar soluciones de iluminación verdaderamente sostenibles y contextualmente apropiadas, trascendiendo las observaciones anecdóticas para implementar intervenciones basadas en datos. El despliegue estratégico de instrumentos de medición, permite una evaluación basada en datos de las condiciones de iluminación existentes. Esto facilita la identificación de problemas específicos. Estos diagnósticos informan diseños de iluminación personalizados que cumplen con los estándares y las normativas nacionales, si es el caso que existan para ciertas localidades. La diferenciación es crucial para las áreas rurales sensibles frente a los entornos urbanos más iluminados donde las necesidades de iluminación y las tolerancias ambientales difieren significativamente.

Palabras claves: Contaminación Lumínica, proyectos de iluminación. SQM, SQC, mapas de polución.

Abstract: Light pollution, defined as the disruption of natural nighttime darkness by inappropriate or

excessive artificial light, represents a global environmental concern with multifaceted impacts on astronomy, ecosystems, human health, and energy consumption. It manifests itself in diverse forms, including skyglow, light trespass, glare, and light clutter. This report underscores that accurate measurement of light pollution is not merely an academic exercise but a fundamental diagnostic tool. It provides the empirical basis necessary to design truly sustainable and contextually appropriate lighting solutions, transcending anecdotal observations to implement data-driven interventions. The strategic deployment of measurement instruments enables a data-driven assessment of existing lighting conditions. This facilitates the identification of specific problems. These diagnostics inform customized lighting designs that comply with national standards and regulations, if any exist for specific locations. Differentiation is crucial for sensitive rural areas versus brighter urban environments where lighting needs and environmental tolerances differ significantly.

Keywords: Light pollution, lighting projects, SQM, SQC, pollution maps

I. INTRODUCCIÓN.

La contaminación lumínica se define formalmente como la alteración de la oscuridad natural de la noche, causada por luz desaprovechada, innecesaria o inadecuada generada por el alumbrado de exteriores, lo que a su vez genera impactos en la salud y en la vida de los seres vivos.

De manera más amplia, abarca cualquier iluminación artificial no deseada, inapropiada o excesiva. La proliferación de la luz artificial en el entorno nocturno ha transformado drásticamente los paisajes urbanos y rurales, con consecuencias que van más allá de la estética.

II. DEFINICIÓN Y TIPOS DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Las principales manifestaciones de la contaminación lumínica incluyen:

- **Resplandor Celeste (Sky Glow):** Este fenómeno se caracteriza por el brillo difuso del cielo nocturno, resultado de la reflexión y dispersión de la luz artificial en los gases y partículas de la atmósfera. Reduce significativamente la visibilidad de las estrellas y otros objetos celestes, afectando la observación astronómica.
- **Intrusión Lumínica (Light Trespass):** Ocurre cuando la luz artificial no deseada se proyecta fuera del área prevista, invadiendo propiedades adyacentes, espacios naturales o el interior de edificios. Esto puede causar molestias a los residentes, alterar el sueño e interferir con la vida silvestre nocturna.
- **Deslumbramiento (Glare):** Se define como el brillo excesivo que provoca incomodidad visual, reducción de la visibilidad o incluso una pérdida temporal de la visión. El deslumbramiento puede clasificarse como deslumbramiento incapacitante (que reduce la visión) o deslumbramiento molesto (que causa incomodidad).
- **Desorden Lumínico (Clutter):** Se refiere a agrupaciones excesivas, confusas o brillantes de fuentes de luz. Aunque menos discutido, contribuye a la sobreiluminación general y a la distracción visual.
- **Sobreiluminación (Over-illumination):** Implica el uso de niveles de luz más altos de lo necesario para una tarea o área específica. Esto conlleva un desperdicio de energía y exacerba todos los demás tipos de contaminación lumínica, impactando la salud y los ecosistemas.
- **Espectro Inadecuado (Inappropriate Spectrum):** Se refiere al uso de luz con componentes espectrales (especialmente la luz azul) que tienen efectos biológicos adversos.

Los diversos tipos de contaminación lumínica, aunque distintos en su manifestación, están a menudo interconectados causalmente. Por ejemplo, las luminarias mal apantalladas son una fuente principal tanto de deslumbramiento como de emisión de luz hacia arriba, lo que contribuye al resplandor celeste. La intrusión lumínica, a menudo, es el resultado de luz mal dirigida que

estaba destinada a otra área. La medición de un solo aspecto, como el resplandor celeste con un SQM, proporciona datos valiosos, pero podría no capturar completamente los impactos localizados del deslumbramiento o la intrusión lumínica, que requieren diferentes técnicas de medición. Esto implica que un enfoque de diagnóstico integral no puede depender de un único instrumento o métrica, sino que necesita una evaluación multifacética para comprender el alcance completo del problema. Esto sugiere que las futuras herramientas y metodologías de medición necesitan evolucionar para capturar estas interacciones complejas, quizás a través de redes de sensores integradas o modelos computacionales avanzados que combinen diversas fuentes de datos.

La contaminación lumínica tiene consecuencias de gran alcance:

- **Astronómicos:** Históricamente, la principal preocupación, el exceso de luz artificial afecta gravemente la observación astronómica al aumentar el brillo del cielo nocturno y reducir el contraste necesario para ver los cuerpos celestes. Chile, con sus observatorios de renombre mundial, ha sido pionero en la región, en la implementación de regulaciones para proteger sus cielos oscuros.
- **Ecológicos (biodiversidad):** La contaminación lumínica altera los ecosistemas nocturnos, interfiriendo con los ritmos naturales y comportamientos de la flora y fauna. Ejemplos específicos incluyen la desorientación de aves migratorias y tortugas marinas recién nacidas, la alteración de las relaciones depredador-presa y los impactos negativos en las poblaciones de insectos cruciales para la polinización.
- **Salud humana (ritmos circadianos):** La exposición a la luz artificial por la noche, particularmente el espectro de luz azul, altera los ritmos circadianos humanos al suprimir la producción de melatonina. Esta alteración se ha vinculado a diversos problemas de salud, como trastornos del sueño, depresión, aumento del riesgo de enfermedades metabólicas y ciertos tipos de cáncer.
- **Energéticos:** La iluminación exterior ineficiente o innecesaria resulta en un desperdicio significativo de energía y recursos financieros. Reducir la contaminación lumínica contribuye directamente al ahorro de energía y a la mitigación del cambio climático al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas.

III. OBJETIVOS

El objetivo principal es establecer una conexión clara entre la medición precisa de la contaminación lumínica y el diseño informado y basado en datos

de proyectos de iluminación sostenible. Se busca demostrar cómo las mediciones de diagnóstico sirven como la base técnica para crear soluciones de iluminación que no solo sean eficientes y funcionales, sino también ambientalmente responsables y respetuosas con la oscuridad natural.

IV. INSTRUMENTOS Y METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN.

La evaluación precisa de la contaminación lumínica es el primer paso indispensable para cualquier proyecto de iluminación sostenible. Esta evaluación se basa en el uso de instrumentos y metodologías específicas que permiten cuantificar los diversos aspectos de la luz artificial en el entorno nocturno.

A1. Herramientas de Medición In Situ.

Para obtener datos fiables sobre la contaminación lumínica, se emplean diversos instrumentos de medición directa en el lugar:

- **Medidores de Calidad del Cielo (SQM - Sky Quality Meter):** Estos instrumentos se utilizan para medir la luminancia del cielo nocturno, específicamente el Brillo del Cielo Nocturno (NSB) en el cenit, y expresan sus lecturas en "magnitudes por segundo de arco cuadrado" (mag arcsec^{-2}). En esta escala logarítmica, valores más pequeños indican un cielo más brillante. Los valores típicos oscilan entre aproximadamente 16 mag arcsec^{-2} para cielos urbanos brillantes y 22 mag arcsec^{-2} para los cielos más oscuros.
- **Cámaras de Calidad del Cielo (SQC - Sky Quality Camera):** Las SQC utilizan cámaras DSLR equipadas con lentes ojo de pez y software especializado (como Sky Quality Camera) para capturar imágenes de todo el cielo, proporcionando información completa sobre la luminancia y la temperatura de color correlacionada (CCT) en todo el hemisferio superior. Esta metodología permite un análisis cuantitativo tanto de la emisión directa de luz hacia el observador como de la iluminación en superficies circundantes. Son particularmente útiles para analizar el brillo general del cielo, evaluar el impacto de las condiciones nubosas e identificar cúpulas de luz originadas por fuentes de luz distantes cerca del horizonte.
- **Aplicaciones móviles** como "Dark Sky Meter" (para iPhone) y "Loss of the Night" (que utiliza observaciones del ojo humano) permiten a los ciudadanos contribuir con datos valiosos sobre el brillo del cielo nocturno.

Si bien los SQM proporcionan mediciones puntuales valiosas del brillo del cielo en el cenit, la contaminación lumínica es un fenómeno complejo,

espacial y espectralmente diverso. El resplandor celeste se origina a partir de la luz dispersa en todo el hemisferio, y su impacto varía con la dirección y el espectro de la fuente de luz. Las SQC, con sus capacidades de imagen de todo el cielo, ofrecen una ventaja significativa al proporcionar información espacial sobre la luminancia y la CCT en todo el hemisferio. Para un diseño de iluminación sostenible, los diagnósticos deben evolucionar más allá de las simples mediciones del brillo del cenit para capturar la distribución y la composición espectral de la contaminación lumínica en todo el entorno. Estos datos multidimensionales son cruciales para comprender cómo la luz interactúa con la atmósfera, penetra en diferentes áreas e impacta en diversos receptores (humanos, vida silvestre, telescopios). Esto apunta a un futuro en el que las herramientas de medición sean más sofisticadas, integrando potencialmente imágenes hiperespectrales o redes de sensores que proporcionen datos espaciales y espectrales completos.

Monitoreo continuo y estandarización de datos.

El creciente despliegue de dispositivos SQM conectados permanentemente (por ejemplo, SQM-LU, SQM-LU-DL, SQM-LE) y los prototipos que se encuentran en estudio continuo han llevado a una proliferación de estaciones de monitoreo permanente del resplandor celeste en todo el mundo. La estandarización de los formatos de registro de datos es crucial para facilitar comparaciones sólidas de las mediciones a lo largo del tiempo y entre diferentes ubicaciones, independientemente del detector específico utilizado. Esta estandarización mejora la fiabilidad y la utilidad de los conjuntos de datos globales sobre contaminación lumínica.

El monitoreo continuo y la recopilación de datos estandarizados son esenciales para identificar tendencias a largo plazo en la contaminación lumínica.

- **Identificación de fuentes de contaminación:**
 - **Luz Ascendente (Upward Light):** Los instrumentos pueden cuantificar la Relación de Luz Ascendente (ULR) y la Relación de Flujo Ascendente (UFR), que representan el porcentaje de luz emitida por encima del plano horizontal. Un ULR alto es un factor principal que contribuye al resplandor celeste.
 - **Intrusión Lumínica (Light Trespass):** Se mide la iluminancia vertical en los límites de la propiedad, para identificar la luz no deseada que se llega en áreas adyacentes.
 - **Deslumbramiento (Glare):** La evaluación implica la valoración del deslumbramiento molesto (G) y el incremento del umbral (TI), que cuantifican la reducción de la visibilidad o

la incomodidad causada por fuentes de luz brillantes.

- **Emisión Espectral (Spectral Emission):** La medición de la Temperatura de Color Correlacionada (CCT) es crucial para identificar la proporción de luz azul emitida, que tiene impactos biológicos y astronómicos significativos.
- **Evaluación de niveles de iluminación y uniformidad:**
 - Para la iluminación vehicular, las mediciones incluyen la luminancia promedio (Lmed) y las relaciones de uniformidad (Uo, UI).
 - Para la iluminación peatonal y otras áreas, se miden la iluminancia promedio (Emed) y las relaciones de uniformidad (G1, G2). Estas mediciones aseguran que se cumplan los requisitos funcionales de seguridad y visibilidad, al tiempo que identifican áreas de sobreiluminación.

La capacidad de medir parámetros específicos de contaminación lumínica (por ejemplo, ULR, niveles de intrusión lumínica en los límites, CCT) permite un diagnóstico preciso de *dónde, cómo y qué tipo* de contaminación lumínica está ocurriendo. Esto va más allá de una evaluación general de "demasiada luz" para identificar problemas específicos como luminarias mal apantalladas (ULR alto), una orientación inadecuada (intrusión lumínica) o un exceso de luz azul (CCT alta). Esta capacidad de diagnóstico informa directamente las intervenciones de diseño dirigidas, en lugar de soluciones genéricas y menos efectivas. Este enfoque de diagnóstico transforma el diseño de iluminación de un ejercicio puramente prescriptivo (por ejemplo, simplemente cumplir con los niveles mínimos de lux) en uno de resolución de problemas. Permite optimizar múltiples objetivos simultáneamente: seguridad, eficiencia energética y protección ambiental, abordando vectores de contaminación específicos identificados a través de la medición. Esto también apoya firmemente el argumento de las mediciones obligatorias antes y después de la instalación para proyectos de iluminación a gran escala, asegurando la rendición de cuentas y mejoras verificables.

A2. Mapas y portales de contaminación lumínica.

Los mapas de contaminación lumínica y los portales de datos son herramientas visuales y analíticas invaluable para el diagnóstico a gran escala del alumbrado público y la planificación de proyectos sustentables.

- **Light Pollution Map (lightpollutionmap.info lightpollutionmap.app):**
 - **Datos y Funcionalidad:** Esta plataforma ofrece mapas globales de contaminación lumínica basados principalmente en

datos satelitales de VIIRS/DMSP (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite / Defense Meteorological Satellite Program). Muestran el brillo del cielo nocturno en unidades de la Escala de Bortle (del 1 al 9, donde 1 es el más oscuro) y magnitudes por segundo de arco cuadrado (mag/arcsec^2), permitiendo una visualización intuitiva de la calidad del cielo. Además, integran mediciones de SQM/SQC, el World Atlas 2015 de brillo cenital, datos de nubes casi en tiempo real, predicciones de auroras y ubicaciones de observatorios astronómicos. Permiten a los usuarios explorar el mapa, cambiar el contenido y la opacidad de las capas, y realizar mediciones de distancia y azimut.

Los mapas permiten identificar rápidamente áreas con alta contaminación lumínica (cielos urbanos brillantes, $<18.5 \text{ mag/arcsec}^2$ o Clase 9 de Bortle). Esto es crucial para priorizar intervenciones de mejora en el alumbrado público.

- **Clasificación de Zonas Ambientales:** Al superponer los datos de brillo del cielo con la ubicación de las ciudades y áreas naturales, se puede realizar una clasificación preliminar de las Zonas Ambientales CIE (E0-E4) o DarkSky (LZ0-LZ4).

A3. Simulaciones con Software Especializado (DIALux, Relux)

DIALux evo, ReluxDesktop entre otras; Son herramientas de simulación que permiten calcular y visualizar la iluminación para áreas interiores y exteriores, incluyendo el alumbrado vial. Estos programas son fundamentales para verificar el cumplimiento de las normas regionales e internacionales. Más allá del diseño de nuevas instalaciones, estos softwares pueden utilizarse para, simular el alumbrado público existente. Esto implica modelar las luminarias actuales (tipo, potencia, distribución fotométrica), su ubicación, altura y orientación en el entorno real. Para que la simulación del alumbrado existente sea lo mas precisa posible, es crucial estimar la depreciación del flujo luminoso de las luminarias actuales. Teniendo en cuenta Factor de mantenimiento, Factor de mantenimiento del flujo luminoso de la lampara, Factor de supervivencia de lámpara, Factor de mantenimiento de la luminaria, etc. Al estimar estos factores para el alumbrado existente (considerando su antigüedad, tipo de luminaria, mantenimiento y entorno), se puede estimar el flujo luminoso que las luminarias están emitiendo en el momento del diagnóstico. Esto permite cuantificar los niveles de iluminancia y luminancia que realmente llegan a la "superficie útil" (calzadas, aceras, fachadas) y estimar los parámetros de contaminación lumínica actuales, como el ULR, la

intrusión lumínica y el deslumbramiento. Esta simulación del estado actual proporciona una base de datos objetiva sobre la cual se pueden diseñar las mejoras.

V. METODOLOGÍAS DE DISEÑO Y SIMULACIÓN.

Las mediciones de diagnóstico se integran en metodologías de diseño y herramientas de simulación para optimizar los proyectos de iluminación. Considerando Normativas y Estándares que proporcionan los marcos regulatorios que dictan los niveles mínimos de iluminación, la uniformidad, los límites de deslumbramiento y las restricciones de emisión de luz hacia el hemisferio superior (ULR) y el espectro de color, ofrece directrices globales sobre la limitación de los efectos de la luz. Las mediciones iniciales de la contaminación lumínica proporcionan un punto de partida basado en datos, identificando las condiciones actuales y los problemas específicos. Estos datos de campo se utilizan para alimentar y validar los modelos en software de simulación. Este enfoque reduce drásticamente los errores costosos en la implementación física y asegura que el diseño final sea óptimo para el contexto específico. La iluminación sostenible busca minimizar el impacto ambiental y optimizar los costos operativos, yendo más allá de la mera eficiencia energética. Implica un enfoque reflexivo en el diseño de la iluminación que prioriza el bienestar ecológico y humano a largo plazo. Los principios clave incluyen:

- **Eficiencia Energética:** La reducción del consumo de electricidad mediante tecnologías altamente eficientes como los LEDs disminuye significativamente las emisiones de carbono y los costos operativos.
- **Longevidad y Reparabilidad:** Diseño de luminarias, con una construcción de alta calidad y componentes que puedan repararse, actualizarse o reemplazarse, extiende su vida útil y reduce los residuos. Esto incluye abogar por una política de "reparar en lugar de reemplazar".
- **Materiales Responsables y Circularidad:** La utilización de materiales de origen responsable, reciclados o naturales minimiza el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del producto, fomentando un enfoque de economía circular.
- **Minimización de la Contaminación Lumínica:** Esto se logra a través de varios subprincipios:
 - **Necesidad:** Utilizar la luz solo donde y cuando sea realmente necesaria, considerando su impacto potencial en la vida silvestre y los hábitats naturales.

Esto a menudo significa evitar la iluminación permanente con fines puramente estéticos y optar por marcadores reflectantes cuando sea posible.

- **Brillo Adecuado:** Emplear la cantidad de luz necesaria para la actividad prevista, evitando la sobreiluminación. Esto también implica considerar la reflectancia de las superficies iluminadas, ya que las superficies altamente reflectantes pueden contribuir al resplandor celeste.
- **Color (Espectro):** Minimizar los componentes espectrales azules y violetas de la luz. Esto se logra utilizando fuentes de luz de color blanco cálido, amarillo o ámbar, ya que la luz azul tiene efectos adversos significativos en la salud humana y los ecosistemas nocturnos, y contribuye más al resplandor celeste.
- **Apantallamiento:** Utilizar luminarias con ópticas de corte total que dirijan toda la luz hacia abajo, asegurando que no se emita luz por encima del plano horizontal (0% ULR). Esto es fundamental para reducir el resplandor celeste, el deslumbramiento y la intrusión lumínica. El objetivo es restringir los haces de luz a conos descendentes.
- **Control Horario (Timing):** Asegurar que la luz se utilice solo cuando sea necesaria. Esto implica apagar las luces o atenuarlas significativamente durante períodos de baja actividad, o implementar controles activos como temporizadores y detectores de movimiento.
- **Uso de Controles Inteligentes:** Implementar sistemas de control avanzados para proporcionar brillo ajustable, crear diferentes ambientes y optimizar el uso de energía.

La evolución de los principios de iluminación sostenible representa un cambio de paradigma, pasando de la mera "eficiencia" a la "responsabilidad". Inicialmente, la eficiencia energética fue el principal impulsor de la iluminación sostenible, especialmente con la llegada de la tecnología LED. Sin embargo, la comprensión actual de la contaminación lumínica ha ampliado este enfoque para incluir impactos más amplios en la salud humana, la biodiversidad y los ecosistemas. Este cambio reconoce que una iluminación sostenible no se trata solo de consumir menos energía, sino también de minimizar los efectos adversos de la luz artificial en el medio ambiente natural y los sistemas biológicos. Por lo tanto, el diseño debe priorizar la luz *apropiada* en lugar de simplemente la luz *eficiente*. Esto implica

un enfoque más holístico que considere el espectro de color, el apantallamiento y el control del tiempo, además del consumo de energía, para garantizar que la iluminación sea verdaderamente responsable y no solo un medio para reducir los costos operativos.

La combinación de mediciones diagnósticas y simulaciones avanzadas abre nuevas vías para la innovación en el diseño de iluminación sustentable:

- **Diseño Diferenciado por Zonas:** Los datos de SQM y SQC, junto con las simulaciones del alumbrado actual, permiten una aplicación precisa de las Zonas Ambientales CIE (E0-E4/LZ0-LZ4). Esto significa que los diseños pueden ser altamente específicos para cada área, diferenciando entre zonas rurales (E0/E1) que requieren mínima luz, baja CCT y 0% ULR, y zonas urbanas (E3/E4) donde se permite mayor intensidad y CCT, siempre bajo control. Esta diferenciación evita la sobreiluminación innecesaria en áreas sensibles y optimiza el uso de la luz donde es realmente necesaria.
- **Alumbrado Adaptativo y Dinámico:** La información obtenida de las mediciones in situ y las simulaciones puede alimentar sistemas de control inteligente. Esto permite implementar alumbrado adaptativo que ajusta los niveles de luz, la CCT y los patrones de encendido/apagado en tiempo real, basándose en la presencia de personas, el tráfico, las condiciones meteorológicas o la hora de la noche. Por ejemplo, en una zona rural designada como E1, las luces podrían atenuarse significativamente o apagarse por completo durante las horas de menor actividad, o cambiar a una CCT más cálida para proteger la fauna nocturna.
- **Optimización del Espectro Lumínico:** Las mediciones espectrales (a través de SQC o espectrorradiómetros) permiten a los diseñadores seleccionar luminarias con una distribución de potencia espectral (SPD) optimizada para minimizar el impacto biológico y astronómico, especialmente el contenido de luz azul, en cumplimiento con normativas como el DS N°1 de Chile. Esto va más allá de la simple CCT y permite un control más fino de la calidad de la luz.
- **Validación y Mejora Continua:** Las mediciones in situ post-instalación, combinadas con los datos de simulación, permiten validar la efectividad del diseño y realizar ajustes. Este ciclo de retroalimentación es clave para la mejora continua de los proyectos de iluminación, asegurando que los objetivos de sostenibilidad y control de la

contaminación lumínica se cumplan a lo largo del tiempo.

- **Desarrollo de Políticas Basadas en Evidencia:** La recopilación de datos a través de estos instrumentos y simulaciones proporciona evidencia sólida para el desarrollo y la actualización de políticas de iluminación a nivel municipal y nacional, permitiendo regulaciones más efectivas y adaptadas a las realidades locales.

VI. CONCLUSIONES

La evaluación de la contaminación lumínica mediante instrumentos de medición es una herramienta técnica indispensable para el análisis y diseño de proyectos de iluminación sostenible. Este enfoque basado en datos permite un diagnóstico preciso del alumbrado existente, la identificación de fuentes de contaminación y la formulación de soluciones de diseño específicas y efectivas. La adopción de principios de iluminación sostenible, diferenciados por zonas ambientales y apoyados por la tecnologías, es crucial para mitigar los impactos negativos de la luz artificial y preservar la oscuridad natural.

Las principales conclusiones derivadas de este análisis son:

- **La medición es el fundamento del diseño sostenible:** La cuantificación de la contaminación lumínica a través de herramientas como SQM, SQC, luxómetros y espectrorradiómetros, así como el análisis de mapas de contaminación lumínica, proporciona los datos objetivos necesarios para comprender el problema y diseñar soluciones a medida. Sin una base de medición sólida, las iniciativas de iluminación sostenible corren el riesgo de ser ineficaces o insuficientes.
- **La contaminación lumínica es un fenómeno multifacético que requiere un enfoque integral:** El resplandor celeste, la intrusión lumínica, el deslumbramiento y el espectro inadecuado están interconectados. Abordar solo un aspecto sin considerar los demás puede llevar a soluciones incompletas. Las mediciones deben ser multidimensionales para capturar la complejidad del problema.
- **La eficiencia energética de los LEDs no garantiza la sostenibilidad por sí sola:** Aunque los LEDs son altamente eficientes, su adopción masiva sin una planificación cuidadosa puede conducir a un aumento general de la luz artificial y sus impactos adversos. La sostenibilidad requiere un

enfoque más amplio que priorice la cantidad, la calidad espectral, la dirección y el control temporal de la luz.

- **El diseño de iluminación debe ser contextual y zonal:** No existe una solución única para todas las áreas. Las zonas rurales y protegidas requieren un enfoque de minimización de la luz y preservación de la oscuridad, mientras que las zonas urbanas necesitan una gestión inteligente de la luz para equilibrar la seguridad y la funcionalidad con la reducción de la contaminación. Existen zonas que requieren consideraciones especiales, tales como observatorios turísticos o científicos. Los mapas de contaminación lumínica son una herramienta necesaria para esta diferenciación.
- **Implementar mediciones diagnósticas:** Establecer protocolos para mediciones pre y post-instalación de la contaminación lumínica (resplandor celeste, intrusión, deslumbramiento, CCT) en proyectos de iluminación exterior, utilizando una combinación de instrumentos y metodologías.
- **Integrar sistemas de control inteligente:** Incorporar tecnologías de atenuación, sensores de presencia/movimiento y programadores horarios para permitir la iluminación a tiempo parcial y la adaptación dinámica de los niveles de luz según la demanda real, maximizando el ahorro de energía y minimizando la emisión de luz innecesaria.
- **Establecer un seguimiento y fiscalización en las instalaciones:** Incluir en las licitaciones, tanto públicas como privadas, el seguimiento continuo de las instalaciones de alumbrado. Esto implica la realización de pruebas periódicas (ej. anuales) en laboratorios certificados para corroborar la depreciación de flujo luminoso real de las luminarias y verificar que los parámetros eléctricos y fotométricos se mantengan dentro de los estándares iniciales de laboratorio. Esta fiscalización es crucial para asegurar la calidad y la durabilidad esperada de las luminarias, garantizando la fidelidad de los datos obtenidos y el mantenimiento del rendimiento del alumbrado a lo largo del tiempo, lo que a su vez permite un seguimiento efectivo del impacto ambiental y energético. Al integrar estas mediciones y principios en el análisis y diseño de proyectos, aseguran una durabilidad y calidad en las luminarias y proyecto.

VII. REFERENCIAS

- [1] IRAM-AADL J-2022.
- [2] Decreto supremo número uno. Ministerio de ambiente chile.
- [3] CIE 126.
- [4] CIE 150.
- [5] Dark Sky assessment guide
- [6] Dorai S. 2024. Sustainable Urban Street lighting through predictive maintenance using IoT and IA.
- [7] Fundación Starlight guía

VIII. BIOGRAFIAS



Carla Sosa. Profesional independiente en diseño de proyectos de iluminación. Diseñadora de iluminación (UNT), especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (UNT).



Iván Kopaitic Otero. Director del laboratorio de control de calidad y fotometría. Escuela de Ingeniería eléctrica. Pontificia Universidad católica de Valparaíso.

TEMA 2

LUZ, ARTE Y ARQUITECTURA



Iluminación y percepción visual en museos: relaciones entre espacio y atención del visitante

Bazán, Natalia; Ajmat, Raúl; Issolio, Luis

Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV) - Universidad Nacional de Tucumán (UNT)-CONICET - San Miguel de Tucumán, Argentina - Email primer autor: nbazan@herrera.unt.edu.ar

Bazán, Natalia; Ajmat, Raúl

Facultad de Arquitectura y Urbanismo - UNT - San Miguel de Tucumán, Argentina.

Resumen: La iluminación de museos tiene un impacto significativo en cómo se perciben tanto el espacio como los objetos que contiene. Con el objetivo de establecer lineamientos útiles para el diseño de iluminación y museografía en espacios expositivos, en este trabajo se analizó cómo se relaciona la atención visual de los visitantes con las propiedades fotométricas del entorno iluminado. Para ello, se examinaron las conexiones entre los patrones de observación visual (medidos mediante eye tracking) y los niveles de luminancia registrados en una sala de exhibición de un museo en Tucumán, Argentina. Los datos obtenidos del análisis de distintas escenas visuales consecutivas a lo largo del recorrido de la sala revelaron vínculos entre el comportamiento visual de los visitantes y las condiciones de iluminación del espacio. En particular, se observó una posible relación entre los niveles de luminancia y las primeras fijaciones visuales de los observadores dentro de las escenas.

Palabras claves: Atención visual, Iluminación en Museos, Eye-Tracking

Abstract: Lighting plays a key role in shaping the perception of both space and the objects within it. This study aims to provide useful guidelines for lighting and exhibition design in museum environments by analyzing the relationship between visitors' visual attention and the photometric characteristics of the illuminated space. Specifically, it explores the connections between visual observation patterns (measured through eye tracking) and luminance levels recorded in an exhibition room of a museum in Tucumán, Argentina.

The analysis of different visual scenes encountered along the exhibition path revealed links between visitors' visual behavior and the

lighting conditions of the space. In particular, a potential relationship was identified between luminance levels and the locations of initial visual fixations within the scenes.

Keywords: Visual attention, Museum lighting, Eye-Trackers

I. INTRODUCCIÓN

En el diseño museográfico, la iluminación constituye un recurso contextual clave para articular el diálogo entre espacio arquitectónico, objetos y visitantes, influyendo de forma decisiva en la percepción de ambos elementos [1,2,3]. No obstante, la literatura carece de estudios que aborden específicamente su papel como atractor de la atención en salas de exhibición [4].

La atención visual, de carácter selectivo, puede ser involuntaria —guiada por estímulos que sobresalen en el entorno, en un procesamiento bottom-up— o voluntaria —determinada por metas y motivaciones internas, en un procesamiento top-down— [4]. En el contexto de exhibiciones, la atención involuntaria se vincula con la saliencia, entendida como el grado de distinción de un objeto respecto al resto, un factor central en el diseño museográfico para captar el interés del visitante [5,6]. Aunque la ubicación de las piezas ha sido estudiada como elemento de saliencia [7,8], son escasos los trabajos que la relacionan con la iluminación en entornos reales.

Los modelos actuales de atención bottom-up sostienen que las regiones más salientes de la escena visual reciben las primeras fijaciones oculares [9, 10]. Sin embargo, estudios con búsquedas visuales en imágenes indican que, instrucciones claras pueden orientar las fijaciones según un procesamiento top-down, reduciendo la influencia de la saliencia, a excepción de que esta

sea muy intensa [10, 11, 12]. Hart y colaboradores [13] comprobaron que, en entornos naturales y contruidos, el aumento del contraste de luminancias puede convertir en atractores objetos previamente ignorados.

En experimentos en el Palacio Ducal de Urbino, la ausencia de instrucciones derivó en que figuras humanas fueran los principales atractores, seguidas de elementos dinámicos o con alto contraste [14].

El desarrollo de tecnologías portátiles de seguimiento ocular (eye trackers móviles) ha permitido estudiar actividades en contextos reales [15], aunque mayormente en tareas simples. Estos dispositivos registran el orden y la duración de las fijaciones, revelando patrones que permiten inferir qué información se omite, qué se observa más tiempo y cómo varían las estrategias de mirada entre personas o grupos. Sin embargo, las fijaciones no equivalen directamente al foco atencional, por lo que requieren metodologías complementarias para su interpretación [12, 16].

En museografía, el seguimiento ocular es una herramienta prometedora, aunque su aplicación en investigación museal sigue siendo limitada y centrada en elementos específicos o en entornos de laboratorio [10,14]. No obstante, la experiencia espacial condiciona fuertemente el comportamiento del visitante [5,10], y factores como el color de la obra y su fondo dependen del tipo de iluminación utilizada, la cual a su vez influye en la percepción del nivel lumínico general del espacio.

Este trabajo tiene como objetivo la generación de criterios museográficos relevantes a partir del análisis de la relación entre la percepción del público de museos del espacio iluminado y los niveles de atención suscitados en las exhibiciones, según las características fotométricas (luminancias) del ambiente arquitectónico.

II. METODOLOGÍA

El estudio analiza la atención visual en contextos museográficos a partir de cuatro grupos de datos:

1. Atención visual: puntos y trayectorias de fijación ocular y tiempos de fijación, registrados con un eye tracker portátil (Pupil Labs Pupil Core).
2. Datos fotométricos: medición de luminancias (cd/m^2).
3. Valoración subjetiva: percepción y preferencia sobre la iluminación.
4. Registros posteriores: información sobre procesos atencionales mediante evaluación subjetiva complementaria.

El trabajo de campo se realizó en la Sala 5 del Museo de Arte Sacro (San Miguel de Tucumán, Argentina), iluminada principalmente con luz artificial puntual y aportes de luz natural desde accesos y patios (Fig. 1). Paredes y techo blancos rugosos ($\approx 80\%$ reflectancia) y piso liso blanco ($\approx 50\%$ reflectancia) configuran la envolvente.

La metodología, basada en investigaciones previas [1,2] considera el recorrido museográfico como una secuencia de escenas clave con las que el visitante interactúa de forma continua. Una escena se entiende como una visión del entorno real que incluye: 1) elementos de fondo y 2) objetos organizados perceptualmente en relación con dicho fondo [4].

Se seleccionaron diez escenas en total: cinco de tipo “panorámico”, que ofrecían una visión general del espacio, y cinco de tipo “acercamiento”, centradas en vistas directas de obras específicas (Fig. 1). En cada escena se delimitaron áreas de interés o AOI (area of interest), definidas como regiones de atención específica dentro de la escena para el análisis de fijaciones con eye trackers [10,17]. La determinación de estas áreas responde a los objetivos específicos de la investigación; en este caso, se establecieron en función de la ubicación de las obras y su entorno inmediato, así como de zonas con mayor aporte lumínico (luminarias o reflexiones), distribuidas en tres sectores: izquierdo, central y derecho. Las Fig. 2, 3 y 4 muestran las AOI definidas para las escenas panorámicas 4, 7 y 9, respectivamente.

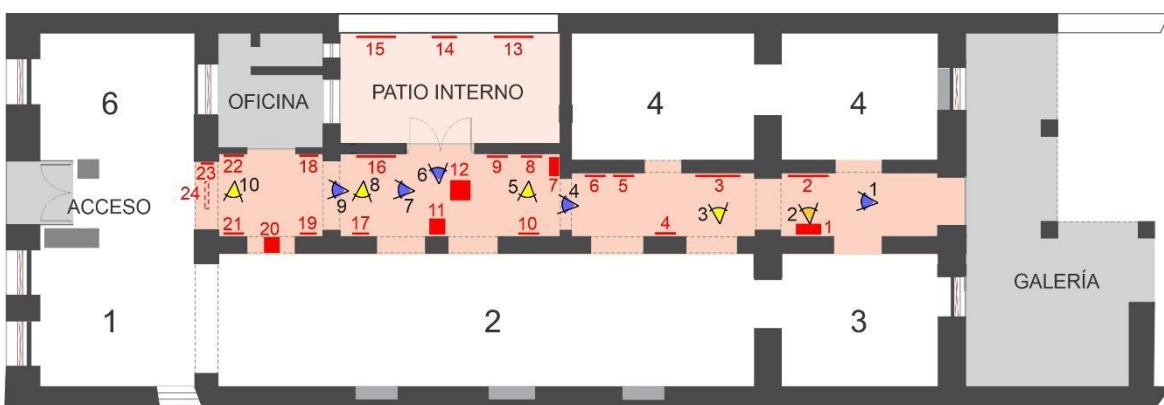


Fig. 1: Planta del Museo de Arte Sacro, ubicación de obras numeradas (rojo), de escenas panorámicas (azules) y de acercamientos (amarillo) en la sala seleccionada.

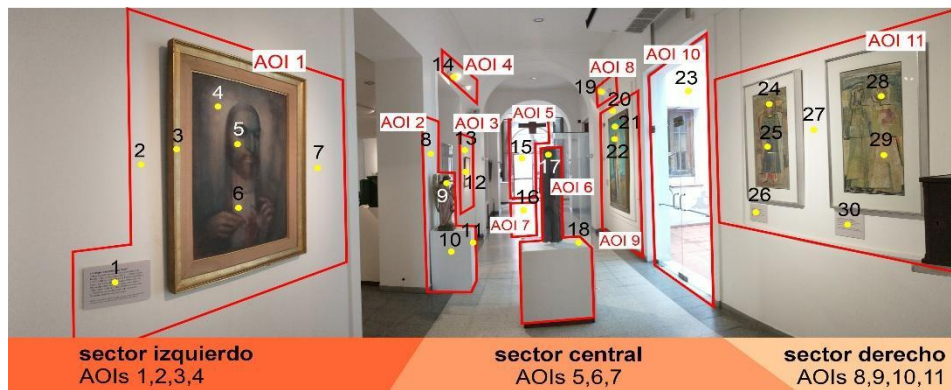


Fig. 2: Áreas de interés (AOI) en cada sector y puntos de medición de luminancias en la escena 4

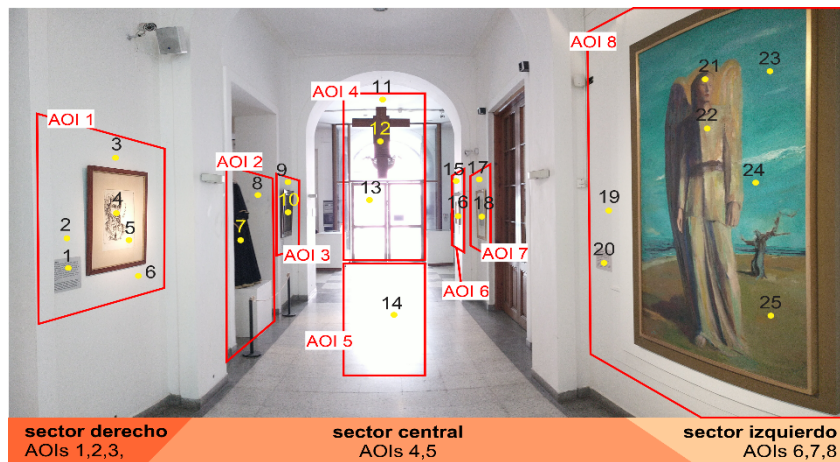


Fig. 3: Áreas de interés (AOI) en cada sector y puntos de medición de luminancias en la escena 7

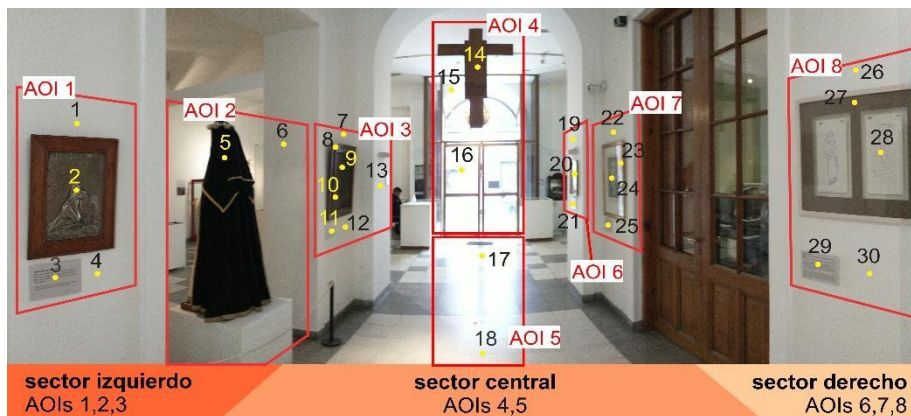


Fig. 4: Áreas de interés (AOI) en cada sector y puntos de medición de luminancias en la escena 9

A. Registro Fotométrico

Se determinó un número de 25 a 40 puntos de medición en cada escena panorámica y de 15 a 20 para los acercamientos. El criterio de selección se compuso de, como mínimo, un punto de medición por cada objeto/obra sumado a puntos de medición en el entorno cercano a cada objeto, así como reflejos y manchas de luz que pudieran apreciarse. Los registros fotométricos se llevaron a cabo cada día de medición con cada observador, de mañana o tarde según el horario de su visita.

B. Atención Visual

Cada persona era instruida para mirar cada escena libremente desde cada punto de vista definido por 30 segundos. Este lapso de tiempo se debe a que ha sido el reportado en muchos trabajos como el promedio de observación de obras en ambientes de museo reales [10]. Se completó el registro de cuatro observadores (uno por día) con todas las escenas propuestas. Una fijación se determinó en un rango de entre 80 a 220 milisegundos. Los movimientos sacádicos no fueron analizados en este trabajo.

Se determinaron los órdenes de fijación en las AOI a lo largo de los 30 segundos de fijaciones registradas con el instrumental, así como los tiempos totales de fijación en cada una. Cada orden de fijación se define en este caso por el conjunto total de fijaciones efectuadas por el observador en un AOI determinado, antes de pasar al siguiente. Los tiempos totales de fijación están definidos por la sumatoria de todos los tiempos individuales en los que el observador condujo su atención visual a un AOI determinado en el lapso de 30 segundos de medición.

C. Valoraciones subjetivas

Se realizaron al finalizar el registro de fijaciones para cada observador. Para la valoración de la iluminación, se utilizó un cuestionario de cinco preguntas sobre percepción y preferencia lumínica desarrollado y aplicado en un trabajo anterior [2].

El segundo tipo de medición subjetiva se realizó mediante la aplicación de la técnica de Pensamiento Retrospectivo en Voz Alta (Retrospective Thinking Aloud) [12]. Su utilización tiene como objetivo diferenciar entre fijaciones inconscientes y los objetos a los que el visitante haya dirigido conscientemente su atención. Se mostró a cada observador el registro en video de sus fijaciones, realizado por el eye tracker y se le pidió que comentara de manera libre el mismo.

Los resultados y conclusiones de esta presentación corresponden a los contrastes realizados entre las fijaciones de mirada y mediciones de luminancias en tres escenas panorámicas, 4, 7 y 9 (Fig. 2, 3, 4) a partir de dos premisas: 1) si el orden de las fijaciones en las escenas está relacionado a los valores de luminancias; 2) si los tiempos de fijación están relacionados a los valores de luminancias. Antecedentes parciales se detallan en trabajos anteriores [18,19].

III. RESULTADOS

A. Caracterización fotométrica de las instancias del recorrido - escenas

En la TABLA I se presentan los rangos de luminancias por AOI para cada observador (OBS) en los tres sectores de las escenas analizadas. En las tres escenas el sector central concentra en general los rangos más altos. Los sectores izquierdo y derecho presentan rangos más elevados en la escena 4 con relación a las otras dos escenas. Esto, se debe en parte a la entrada de luz natural proveniente del patio interno (Fig. 2).

Respecto a las diferencias entre observadores, en el sector izquierdo de la escena 4 los rangos de L son mayores para los OBS 1 y 2 y disminuyen notablemente para los OBS 3 y 4. Este patrón se repite de forma menos pronunciada para las escenas 7 y 9.

En la escena 7, a excepción de los valores extremos en el AOI 1, los rangos de L son mayores en el sector derecho.

En la escena 9 vuelve a encontrarse rangos más elevados en el sector derecho de la escena.

B. Orden de fijaciones con relación a los rangos de luminancias.

En la TABLA II se presentan los órdenes de fijaciones sobre las AOI de cada sector para cada observador en las tres escenas analizadas.

Al contrastar los datos fotométricos con los órdenes de fijaciones de cada observador, en la escena 4 se destaca que los OBS 1 y 2 concentran su primer orden de fijaciones en los sectores central y/o izquierdo y posteriormente en el derecho, mientras que los OBS 3 y 4 lo hacen primero en el central y/o derecho y posteriormente en el izquierdo. Las primeras fijaciones se ajustan así en cada caso con los sectores de mayores luminancias dentro de la escena.

En la escena 7 se destaca que:

1. De los cinco primeros órdenes de fijación de cada observador, muchos se encuentran concentrados en el AOI 4, es decir, en el sector de mayores luminancias de la escena.
2. Los cuatro observadores concentran su primer orden de fijaciones en los sectores central y/o derecho y posteriormente en el izquierdo, nuevamente ajustándose las primeras fijaciones con los sectores de mayores luminancias dentro de la escena.

En el caso de la escena 9, en todos los casos los observadores concentran su atención visual primero en el sector central y/o derecho y posteriormente en el izquierdo, nuevamente ajustándose las primeras fijaciones con los sectores de mayores luminancias dentro de la escena.

C. Tiempos de fijaciones con relación a los rangos de luminancias.

En la Fig. 5 se presentan las relaciones entre el tiempo total de fijación y la luminancia máxima en cada AOI para todas las observaciones en cada escena.

Si bien no puede establecerse una relación concluyente con los datos actuales, se destacan las siguientes observaciones:

1. Las AOI más cercanas al observador en cada escena (AOI 1 y 11 en escena 4 y AOI 1 y 8 en escenas 7 y 9), concentran los mayores tiempos totales de fijación en casi todos los casos. Este resultado es esperable como producto de las proporciones de la sala con relación a la posición del observador y la dimensión de los objetos expuestos en las AOI más alejadas.

2. Las AOI centrales de cada escena, sobre todo el AOI 4, son en varios casos las siguientes en tiempo total máximo de fijación. El AOI 4 no sólo presenta los

valores más altos de luminancia en la escena, sino que, al conectar al exterior, ofrece posibles elementos atractores en el constante movimiento de los transeúntes [14].

TABLA I: Rangos de luminancias por AOI para cada observador

N° AOI	Rangos de luminancias (cd/m ²)							
	OBS 1		OBS 2		OBS 3		OBS 4	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
ESCENA 4								
AOI 1	27.35	109.00	27.79	113.20	13.18	52.43	11.14	40.57
AOI 2	19.45	148.60	15.95	134.10	10.44	74.17	6.22	30.01
AOI 3	79.10	80.85	65.80	75.35	37.40	53.09	31.98	69.20
AOI 4	20280.00	-	18920.00	-	17920.00	-	17270.00	-
AOI 5	1196.00	-	6294.00	-	2927.00	-	354.10	-
AOI 6	211.40	-	446.20	-	209.07	-	25.28	-
AOI 7	16.39	118.70	36.23	109.10	12.86	44.63	6.35	37.11
AOI 8	6732.00	-	6284.00	-	5390.00	-	5229.00	-
AOI 9	34.40	75.28	42.10	74.83	21.92	43.43	16.40	37.05
AOI 10	998.00	-	10810.00	-	306.50	-	248.60	-
AOI 11	22.95	86.60	26.69	107.00	13.84	301.18	13.83	78.16
ESCENA 7								
AOI 1	17.64	137.09	30.78	158.40	15.72	113.80	15.25	101.30
AOI 2	1.45	17.53	5.04	43.95	1.55	17.27	1.15	15.75
AOI 3	5.09	21.72	18.41	51.79	4.60	17.15	3.84	17.86
AOI 4	9.05	612.70	40.06	7114.00	8.66	313.00	6.14	288.80
AOI 5	215.10	-	1178.00	-	205.10	-	95.40	-
AOI 6	26.91	34.92	155.50	311.2	13.56	30.54	18.78	32.31
AOI 7	11.98	21.02	35.44	51.90	11.12	17.26	11.90	18.54
AOI 8	15.49	51.63	17.19	68.38	12.44	35.55	14.15	34.64
ESCENA 9								
AOI 1	9.93	35.81	29.00	60.94	4.34	18.09	6.73	23.83
AOI 2	1.06	22.38	2.05	37.26	0.59	12.50	0.78	15.53
AOI 3	6.66	55.25	12.57	123.6	2.44	15.69	4.53	29.01
AOI 4	11.67	1635.00	17.27	8001.00	3.17	249.20	8.25	435.10
AOI 5	106.00	444.00	77.60	1524.00	71.88	104.90	65.95	122.80
AOI 6	86.63	325.40	53.90	881.13	14.18	66.90	31.08	36.59
AOI 7	25.96	70.43	30.18	108.80	7.26	12.53	12.14	22.14
AOI 8	13.01	46.77	18.42	62.50	5.21	19.76	8.00	27.74

1-25 cd/m² 26-50 cd/m² 51-100 cd/m² >100 cd/m²

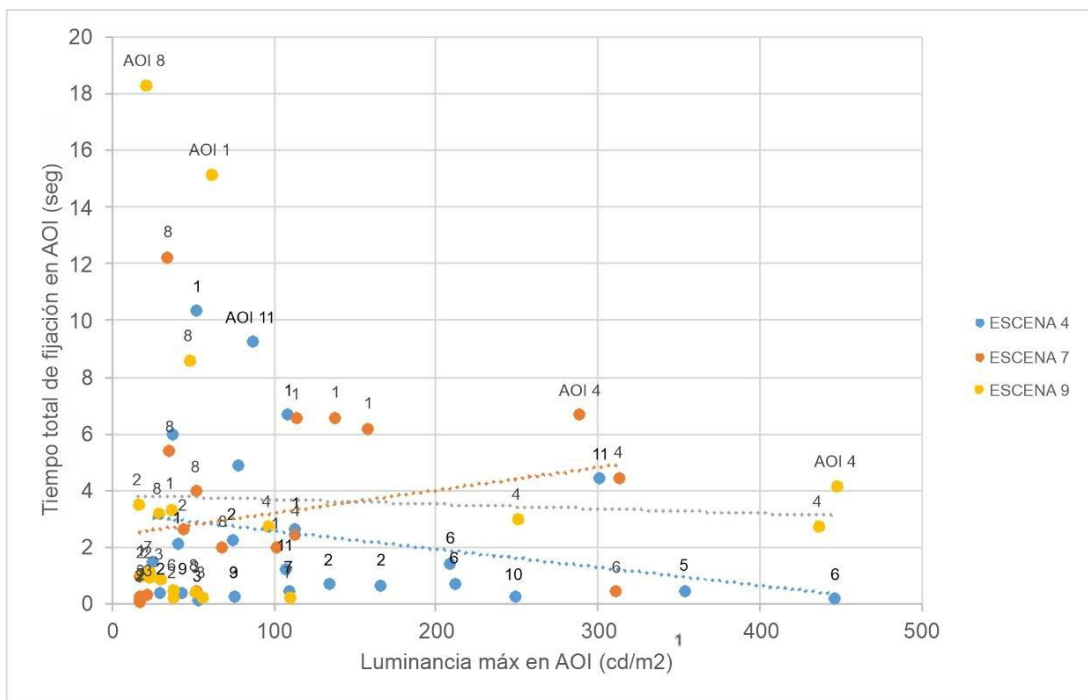
Sector izquierdo Sector central Sector derecho

TABLA II: Órdenes de fijaciones en AOI para cada observador por escena

Orden de fijaciones en AOI															
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
ESCENA 4															
OBS1	AOI 6	AOI 2	AOI 1	AOI 2	AOI 11	AOI 9	AOI 6	AOI 5							
OBS2	AOI 2	AOI 1	AOI 2	AOI 11	AOI 6	AOI 11	AOI 5	AOI 2	AOI 10	AOI 4	AOI 3	AOI 2	AOI 7	AOI 5	AOI 7
OBS3	AOI 6	AOI 11	AOI 9	AOI 6	AOI 5	AOI 3	AOI 5	AOI 6	AOI 2	AOI 6	AOI 1	AOI 2			

OBS4	AOI 6	AOI 11	AOI 9	AOI 6	AOI 5	AOI 3	AOI 5	AOI 6	AOI 2	AOI 6	AOI 1	AOI 2			
ESCENA 7															
OBS1	AOI 8	AOI 1	AOI 4	AOI 2	AOI 4	AOI 3	AOI 2	AOI 1	AOI 2	AOI 8					
OBS2	AOI 4	AOI 6	AOI 4	AOI 1	AOI 2	AOI 1	AOI 2	AOI 3	AOI 8	AOI 4	AOI 2	AOI 3	AOI 2	AOI 5	AOI 2
OBS3	AOI 4	AOI 8	AOI 1	AOI 3	AOI 1	AOI 2	AOI 1	AOI 4	AOI 7	AOI 4					
OBS4	AOI 4	AOI 8	AOI 4	AOI 3	AOI 4	AOI 1	AOI 4	AOI 8	AOI 4						
ESCENA 9															
OBS1	AOI 4	AOI 8	AOI 1	AOI 2	AOI 3	AOI 4	AOI 3	AOI 2	AOI 8						
OBS2	AOI 7	AOI 8	AOI 1	AOI 2	AOI 1	AOI 2	AOI 4								
OBS3	AOI 4	AOI 8	AOI 1												
OBS4	AOI 8	AOI 7	AOI 8	AOI 7	AOI 8	AOI 4	AOI 2	AOI 3	AOI 2	AOI 3	AOI 2	AOI 3	AOI 4	AOI 6	AOI 4

■ Sector izquierdo
 ■ Sector central
 ■ Sector derecho



¹ Cinco valores extremos de luminancia de más de cuatro cifras fueron removidos de la figura para conservar la escala

Fig. 5: Relación entre tiempos totales de fijación por AOI para todas las observaciones en cada escena.

IV. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se analizó el efecto de las luminancias presentes sobre la atención de los visitantes en escenas visuales consecutivas en el recorrido de una sala de exhibición de un museo. Para esto, las mediciones fotométricas se contrastaron con órdenes y tiempos de fijación de mirada producidos mientras los visitantes exploraban las escenas, registrados mediante la utilización de eye trackers móviles.

Se encontró una posible relación entre luminancias en las AOI y el orden de las primeras

fijaciones. En las tres escenas del recorrido analizadas, todos los observadores fijaron su mirada primero en los sectores con mayor luminancia y sólo posteriormente en el/los de menores valores. Esto coincide con teorías que vinculan las primeras fijaciones a estímulos bottom-up [9,10,12]. Esta relación cobra importancia ya que la saliencia de la iluminación no se ha estudiado con claridad previamente en la bibliografía, sobre todo en espacios reales y particularmente en salas de exhibición [10,12,13].

En tiempos de fijación, la relación con los niveles de luminancia es menos clara que para el orden de fijaciones. La ausencia de relaciones

observables, podría sugerir que estos tiempos totales responden más a procesos top-down, guiados por metas y motivaciones, donde la luminancia actúa como factor secundario.

Los resultados obtenidos sobre la saliencia de la iluminación como atractor inicial hacia distintos sectores de una exhibición, podrían relacionarse con resultados existentes en el campo de análisis de la saliencia por ubicación, lo que permitiría el diseño de interacciones espaciales más diversas con el arte. El número de otras obras de arte visibles desde una ubicación determinada (co-visibility) puede enriquecer la experiencia del visitante y mejorar su comprensión de la exposición [8]. La generación de jerarquías de luminancias que respondan a esta interacción entre guion museográfico y arquitectura podría resultar en diseños de exhibiciones más enfocados en su interacción con los visitantes. Por ejemplo, mediante la iluminación de sectores alejados de la sala de forma pregnante.

El desarrollo tecnológico en curso permitiría plantear propuestas innovadoras de dispositivos de iluminación que atiendan los requerimientos perceptuales del espacio en espacios de exhibición. Sería posible diseñar un ajuste de nivel de iluminación vinculado a la atención de los visitantes manteniendo una relación coherente con las características morfológicas del entorno

Con el fin de potenciar la interacción entre los visitantes y el guion museográfico, los resultados obtenidos evidencian la importancia de focalizar el diseño de iluminación y su relación con las particularidades del espacio arquitectónico. En este sentido, para profundizar en la comprensión de estas cuestiones, resulta esencial llevar a cabo un trabajo in situ que permita analizar las interrelaciones entre la atención, la iluminación, la arquitectura y la museografía en una exhibición, propósito central del presente trabajo.

V. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT) para la realización del presente trabajo a través del proyecto PIUNT B701 "Calidad ambiental urbana y edilicia: su influencia en la conservación y la gestión sostenible del patrimonio de museos".

VI. REFERENCIAS

- [1] Bazán, L., Ajmat R., & Sandoval J., (2018). Iluminación en museos, experiencia y satisfacción de visitantes en contextos patrimoniales. Casos de estudio en el Noroeste Argentino. *Anales AFA*. [S.l.], 39-48.
- [2] Bazán, L. (2020). Influencia de las condiciones ambientales en museos en la satisfacción de los visitantes. Su evaluación. [Tesis doctoral]. Universidad Nacional de Tucumán. Disponible en repositorio CONICET: <http://hdl.handle.net/11336/114637>
- [3] Bazán, L., & Ajmat R. (2021). Considerations on visitor satisfaction as part of an integral evaluation methodology. *Intervención. Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, 1, 204-230.
- [4] Goldstein, E. (2013). *Sensation and perception* (9th Ed.). USA: Cengage Learning.
- [5] Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2016). *The museum experience revisited*. New York. Routledge.
- [6] Bitgood, S. (2002). Environmental psychology in museums, zoos, and other exhibition centers. In R. B. Bechtel & A. Churchman. (Ed.), *Handbook of environmental psychology* (pp.461-480). New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Lu, Y. & Peponis, J. (2014). Exhibition visitors are sensitive to patterns of display covisibility. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(1), 53-68.
- [8] Krukar, J., & Dalton, R. C. (2020). How the visitors' cognitive engagement is driven (but not dictated) by the visibility and co-visibility of art exhibits. *Frontiers in psychology*, 11, 350.
- [9] Itti, L. & Koch, C. (2001). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision research*, 40(10-12), 1489-1506.
- [10] Walker, F., Bucker, B., Anderson, N.C., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2017). Looking at paintings in the Vincent Van Gogh Museum: Eye movement patterns of children and adults. *PLoS ONE*, 12(6): e0178912.
- [11] Hayhoe, M. & Ballard, D. (2005). Eye movements in natural behavior. *Trends in cognitive sciences*, 9(4), 188-194.
- [12] Garbutt, M., East, S., Spehar, B., Estrada-Gonzalez, V., Carson-Ewart, B., & Touma, J. (2020). The embodied gaze: Exploring applications for mobile eye tracking in the art museum. *Visitor Studies*, 23(1), 82-100.
- [13] Hart, B. M., Schmidt, H. C., Roth, C., & Einhäuser, W. (2013). Fixations on objects in natural scenes: dissociating importance from salience. *Frontiers in psychology*, 4, 455.
- [14] Mandolesi, S., Gambelli, D., Naspetti, S., & Zanoli, R. (2022). Exploring visitors' visual behavior using eye-tracking: The case of the "Studiolo Del Duca". *Journal of Imaging*, 8(1), 8.
- [15] Land, M.F., & Hayhoe, M. (2001). In what ways do eye movements contribute to everyday activities? *Vision research*, 41(25-26), 3559-3565.
- [16] Eghbal-Azar, K. & Widlok, T. (2013). Potentials and limitations of mobile eye tracking in visitor studies: Evidence from field research at two museum exhibitions in Germany. *Social Science Computer Review*, 31(1) 103-118.
- [17] Quiroga, R. & Pedreira, C. (2011). How do we see art: an eye-tracker study. *Frontiers in human neuroscience*, 5, 98.
- [18] Bazán L., Ajmat R., Issolio L. (2023). El espacio arquitectónico iluminado en museos, su apreciación y el efecto de los patrones de fijación de la mirada y la atención. XVI Jornadas Argentinas de Iluminación: Luz 2023. Santiago del Estero, Argentina.

[19] Bazán L., Ajmat R., Issolio L. (2024). Iluminación del espacio arquitectónico en museos y su relación con la atención visual de los y las visitantes. IV Simposio La Luz en el Museo y el Cuidado del Patrimonio. San Miguel de Tucumán, Argentina.

VII. BIOGRAFIAS



Natalia Bazán es arquitecta y doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Se desempeña como docente en la Cátedra de Acondicionamiento Ambiental II de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), UNT y en el Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET), UNT. Su trabajo de investigación se centra actualmente en el análisis del espacio arquitectónico iluminado y su percepción, a través del estudio de la atención visual de los visitantes de museos mediante el uso de dispositivos de seguimiento ocular (eye trackers). Ha publicado trabajos de investigación en publicaciones científicas de ámbito nacional e internacional.

Áreas de interés: Espacialidad en museos, Iluminación en museos, Diseño de exposiciones, Atención visual, Eye tracking, Condiciones ambientales, Estudios de público en museos.



Raúl Ajmat es arquitecto y especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente de la UNT, Argentina. Doctor en Diseño Arquitectónico por la Universidad De Montfort de Reino Unido. Se desempeña como Profesor Asociado de Acondicionamiento Ambiental y director del Instituto de Acondicionamiento Ambiental en la FAU-UNT. Es docente estable en carreras de postgrado de Especialización, Maestría y Doctorado en las Universidades de Tucumán,, Litoral, Nordeste y Tecnológica Nacional. Es Investigador del ILAV, CONICET-UNT. Ha publicado trabajos de investigación en publicaciones científicas nacionales e internacionales.

Áreas de Interés: Uso eficiente de Energía en Edificios, Iluminación en Museos, Simulación Termo-lumínica de Edificios públicos.



Luis Issolio es ingeniero electricista con orientación electrónica, especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente, magister en Luminotecnia y doctor en Medio Ambiente Visual e

Iluminación Eficiente de la UNT, Argentina. Es investigador independiente del CONICET, actual director del Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV) dependiente del CONICET y la UNT.

Ha publicado trabajos de investigación en publicaciones científicas nacionales internacionales. Su interés se centra en estudiar la relación entre las personas y el hábitat, en cuanto espacio iluminado. Las investigaciones que realiza se orientan a describir la respuesta visual en espacios poco iluminados (iluminación mesópica) y los efectos de fuentes deslumbrantes en las personas.

Áreas de interés: adaptación a la luz, tests visuales, calidad visual.



Evaluación dinámica de iluminación natural en tipologías residenciales de apartamentos estándar para el cañón urbano central de Rosario

Gabriel Chiarito - Jesica Alvarez - Lucila Allori - Soledad Arana - Daniela Chiarito - Wanda Gomez Carmana - Guadalupe González - Aimé Muriel - Eugenia Turdó
Centro de Desarrollo de Tecnología - FAPyD, UNR - Rosario, Argentina -
arqchiarito@gmail.com

Resumen

Este trabajo da continuidad a una investigación previa (Chiarito et al., 2024), centrada en el análisis de iluminación natural (IN) en departamentos de tipologías estándar ubicados en entornos urbanos, mediante simulaciones dinámicas realizadas con software de uso libre.

En este avance, se evalúan la distribución espacial y los niveles de IN en días de diseño para un prototipo monoambiente, a partir de una matriz de puntos, considerando variables la orientación y obstrucciones externas.

Uno de los principales aportes del estudio es la identificación del impacto que ejercen las geometrías del cañón urbano sobre el cielo visible y, en consecuencia, sobre la IN en los espacios interiores. Esta situación resulta especialmente diferenciada y comprometida entre los pisos inferiores y superiores de los edificios. Sin embargo, esta variable no está contemplada en la normativa edilicia vigente de Rosario.

Los resultados preliminares indican la conveniencia de revisar dicha normativa, incorporando criterios que consideren no sólo la orientación de las fachadas vidriadas, sino también la relación altimétrica del departamento respecto del nivel del suelo para garantizar condiciones mínimas y más eficientes energéticamente de la IN.

Palabras claves: iluminación natural, simulación dinámica, normativa edilicia.

I. INTRODUCCIÓN

En entornos urbanos densos, la geometría del cañón urbano definida por la relación entre altura edilicia y ancho vial, limita el acceso al cielo

visible y afecta de forma desigual la iluminación natural (IN). Este fenómeno impacta tanto en los pisos inferiores, donde la obstrucción es más severa, como en los pisos superiores, donde pueden generarse efectos adversos debido a la sobreexposición de la fachada al cielo visible.

Pese a su importancia, esta variable no está contemplada en la normativa edilicia vigente de Rosario, que regula la iluminación y ventilación sólo en función de las dimensiones del local y la superficie vidriada, sin considerar orientación ni obstáculos externos.

Este trabajo analiza, mediante simulaciones dinámicas, el comportamiento de la IN en departamentos monoambientes de tipología estándar (M0). Los resultados buscan aportar evidencia cuantitativa que permita poner en discusión los criterios actuales de la normativa edilicia, con el objetivo de promover una revisión que contemple las condiciones reales de habitabilidad lumínica. Más allá de los beneficios energéticos, se enfatiza la necesidad de garantizar una adecuada IN como un derecho básico vinculado al confort, la salud y la calidad de vida en la vivienda urbana.

II. METODOLOGÍA

El estudio se basa en simulaciones dinámicas detalladas de unidades habitacionales edificios en altura ubicados en cañones urbanos del área central, caracterizada por la alta densidad edilicia, en la ciudad de Rosario analizando la habitabilidad lumínica de los locales de primera categoría.

Definición del área de estudio

El área de estudio corresponde a la zona de mayor densidad edilicia de la ciudad: el área

central y primer anillo de Rosario indicada en la Figura 2.

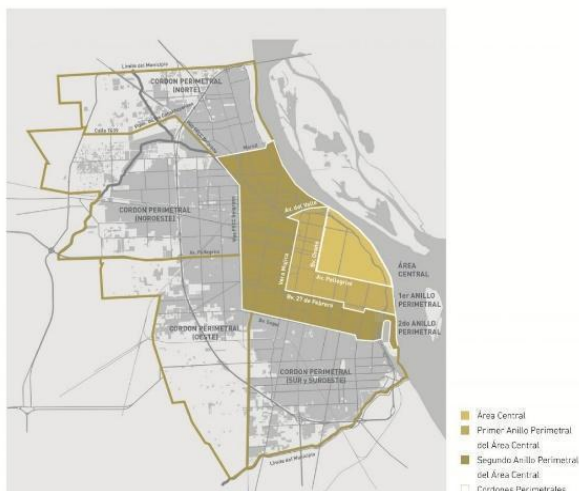


Fig. 1: Planimetría de Rosario. Fuente: Plan Urbano Rosario 2007-2017 (Levin, 2011).

En esta zona la existencia de obstáculos exteriores es particularmente definitoria debido a la consolidación edilicia con alturas de edificación máximas que afectan el cielo visible disponible. Esta geometría determina condiciones muy distintas de primer al último piso, tal como indica porcentualmente piso a piso la Figura 2, que evidencia el ocultamiento producido por los obstáculos propios del cañón urbano de la ciudad.

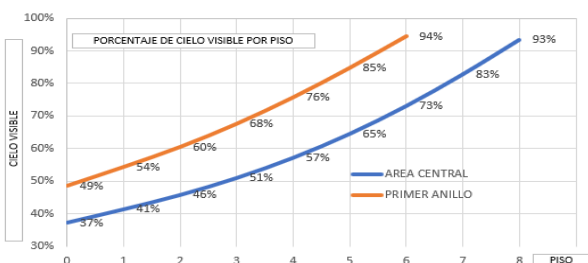


Fig. 2: Porcentaje de cielo visible por piso en Área Central y Primer Anillo.

Para el análisis de cielo visible se consideraron las dimensiones de los corredores urbanos de tipo "B" pertenecientes al Área Central, con un ancho medio de 15,60m y una altura máxima de 25,00m.

Definición Tipológica del prototipo (M0)

En base a un relevamiento estadístico se define el módulo M0 (Figura 3) con una superficie promedio de 30 m², ajustado por las normativas vigentes y el tamaño habitual de los terrenos. Su envolvente contempla un muro medianero y otro lindero con la unidad vecina del mismo piso.

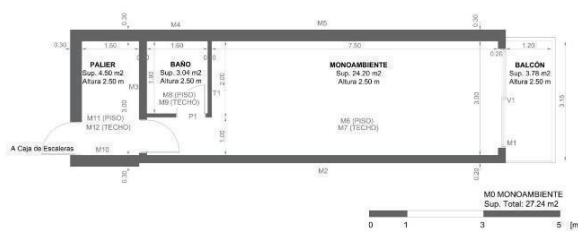


Fig. 3: Esquema de planta del módulo M0.

La superficie útil queda determinada por el ancho mínimo exigido para locales de primera categoría, y su profundidad surge del requisito normativo de iluminación y ventilación natural: 2,5 veces el ancho del local, más el espacio de cocina integrada. El esquema se completa con un baño, usualmente ubicado en áreas internas, contiguo al palier de acceso y con menores exigencias de iluminación y ventilación.

Definición del software utilizado: Dynamic Daylighting (DD)

Con la asistencia articulada del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (CONICET Mendoza), se determinó el empleo de la versión del software "Dynamic Daylighting 2.0.0." (Marsh, 2019) (DD). El software DD permite, mediante el empleo de métricas dinámicas, evaluar la IN en un espacio en periodos temporales extendidos considerando diferentes condiciones de cielo en acuerdo con la condición irregular del fenómeno meteorológico involucrado (Reinhart et al, 2006).

La elección se basa en varios aspectos: su condición de software libre de métricas dinámicas, sus prestaciones de salida con un ajuste aceptable y comparable con simuladores más detallados, las menores demandas de ingreso y salidas de datos adecuadas y su compatibilidad con geometrías simples coincidentes con el modelo tipológico M0 analizado en este trabajo (Marsh y Stravoravdis, 2017).

El software utilizado DD presenta ciertas limitaciones frente a la complejidad de obstrucciones y distintas alturas, por este motivo para la construcción de la escena dentro del simulador se modificó la altura de la obstrucción para las condiciones de primer y último piso. Estas relaciones geométricas se adoptaron en función (ancho y alto) de los cañones urbanos del área central y primer anillo, considerando la máxima obstrucción posible del sector urbano, que por otro lado coincide con la tendencia actual de densificación edilicia ajustada a la permitida.

Parámetro Useful Daylight Illuminance (UDI)

El UDI, o Iluminancia Diurna Útil, determina el porcentaje de tiempo en el plano de trabajo del espacio analizado dentro del rango de iluminación establecido.

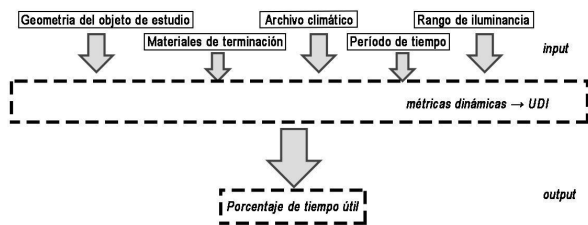


Fig. 4: Diagrama input-output Daylighting Design: UDI.

Parámetro Spatial Daylight Autonomy (sDA)

El sDA expresa el porcentaje de superficie con IN sobre el plano de trabajo que supera o iguala un valor de referencia establecido, al menos el 50 % del rango horario especificado, en este caso de 8 h a 18 h.

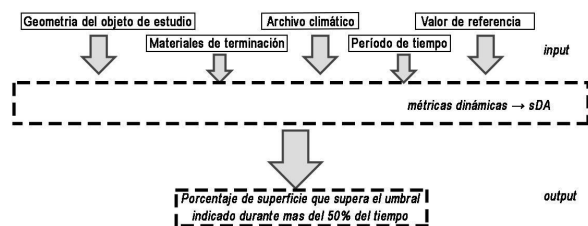


Fig. 5: Diagrama input-output Daylighting Design: sDA.

Definición de la escena dentro del software

Las simulaciones se realizaron para tres periodos: diciembre (verano), junio (invierno) y anual. Con el objetivo de comparar y analizar los resultados para las cuatro orientaciones de la trama urbana, en los pisos primero y último.

Las corridas dinámicas del software utilizan como base los datos climáticos a partir de un archivo de clima para Rosario en extensión EPW de la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional de Rosario entre los años 2007 y 2021, descargado de la página Climate. One Building.Org que define un promedio de las características climáticas del sitio en dicho período. Se considera el análisis en el horario de 8 h a 18 h acorde a las horas de sol presentes en el momento más crítico: el invierno.

Los valores de iluminancia considerados se tomaron según las recomendaciones de la Norma IRAM AADL J20-06 para uso residencial, (tanto para UDI-u y sDA): valor mínimo sugerido 200lx, y valor máximo para UDI-u 2000lx para tareas muy

severas prolongadas con detalles y poco contraste.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Si bien hay diferencias entre el ancho de calles y altura de la edificación entre el primer anillo y el área central, en las Figuras 6, 7, 8 y 9 se puede ver que no se detectan variaciones significativas en condiciones semejantes de orientación con la misma altura de piso, en concordancia con la comprobación geométrica elemental de porcentajes de cielo visible en ambas áreas urbanas indicados en Figura 2. Lo que aparece claramente expuesto es la diferencia comparativa entre la IN de pisos bajos y altos.

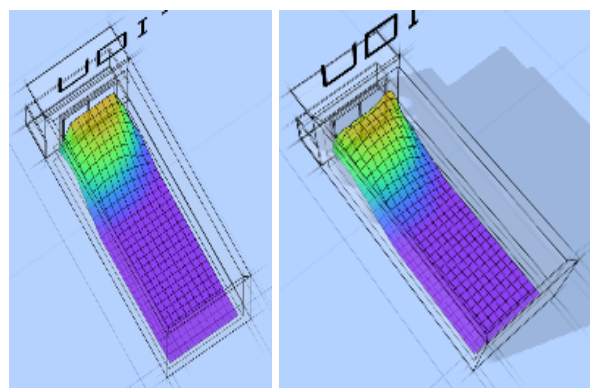


Fig. 6 y 7: UDI junio para 1er piso en Área central y en Primer anillo.

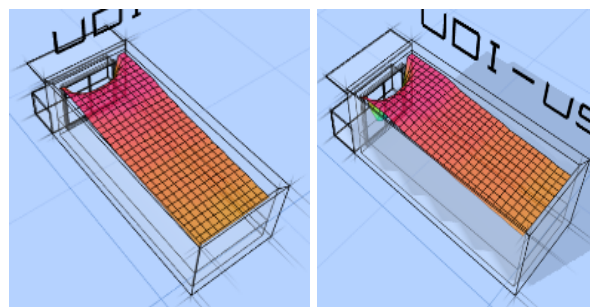


Fig. 8 y 9: UDI diciembre para último piso en Área Central y Primer Anillo.

Las simulaciones para los periodos y condiciones mencionadas, definen una matriz de datos de iluminancia que permiten ver la distribución espacial en la tipología analizada. En las figuras 10 a 9 mediante una vista lateral y una grilla se indica la distribución de iluminancia.

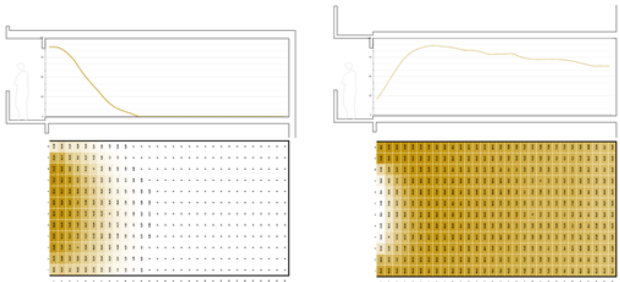


Fig. 10: UDI Junio Norte Área Central primer piso y último.

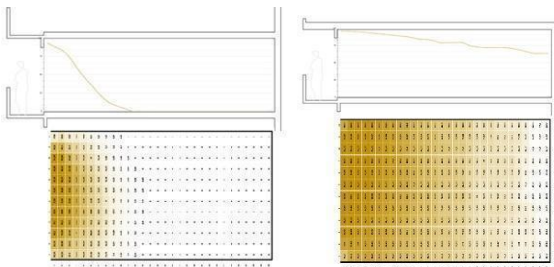


Fig. 11: sDA Junio Norte Área central primer piso y último.

Los resultados de las simulaciones se disponen en las tablas siguientes donde la primera y segunda columna indican valores máximos y mínimos de la matriz de cálculo cercanos a la ventana. La tercera columna indica la profundidad en planta donde los valores máximos y mínimos se aproximan. La cuarta columna indica los mínimos sobre la pared de fondo del local.

TABLA I: UDI [%] DEL PRIMER Y ÚLTIMO PISO EN EL ÁREA CENTRAL

		PRIMER PISO				ÚLTIMO PISO			
		Máx. en primera línea [%]	Mín. en primera línea [%]	Prof. de converg.	Mín. en última línea [%]	Máx. en primera línea [%]	Mín. en primera línea [%]	Prof. de converg.	Mín. en última línea [%]
NORTE	JUNIO	78,2	0	4/10	0	88,9	23,3	3/10	33,3
	DIC.	100	34,4	3/10	0	100	27,7	1/10	81,3
	ANUAL	91,5	21,4	3/10	0	94,4	20,8	2/10	63,2
ESTE	JUNIO	78,7	0	3/10	0	78,1	41	2/10	30,3
	DIC.	93,8	16,1	5/10	0	99	37,7	2/10	93,6
	ANUAL	89,3	6	5/10	0	90,3	37,4	2/10	77,4
SUR	JUNIO	78,9	0	2/10	0	81,3	50	2/10	32,7
	DIC.	100	35,8	3/10	0	100	12,6	2/10	96,1
	ANUAL	90	14,7	2/10	0	94,4	47,4	2/10	71,6
OESTE	JUNIO	80	0	2/10	0	89,6	48,8	2/10	31,9
	DIC.	100	17,4	2/10	0	100	60	2/10	100
	ANUAL	92,7	7	2/10	0	98,3	50,1	2/10	97,5

De los datos indicados en la Tabla I (UDI-u) se indican las siguientes observaciones:

En el primer piso el valor mínimo de iluminancia útil sobre la línea más próxima a la fachada es 0% en invierno, independientemente de las orientaciones, mientras que en el último piso mejoran en un rango variable por orientación de 24 al 50 %.

Para este último piso los valores mínimos de junio y diciembre son homogéneos en la orientación norte, al este y sur. En junio los valores superan los de diciembre. Al oeste los valores de diciembre son superiores en un 23% al de junio.

El valor mínimo de iluminancia útil sobre la línea más lejana a la fachada en el primer piso para todas las orientaciones es 0%. En el último piso aumentan un 31 % para junio, entre 80 % y 100 % en diciembre y anualmente de 63 % al 98 %.

La profundidad de convergencia permite identificar la homogeneidad en el ancho del local para todas las orientaciones y en los pisos bajos la convergencia se produce muy próxima a la ventana en el primer tercio del local.

TABLA II: sDA [200lx] DEL PRIMER Y ÚLTIMO PISO EN EL ÁREA CENTRAL

		PRIMER PISO			ÚLTIMO PISO				
		Máx. en primera línea [%]	Mín. en primera línea [%]	Prof. de converg.	Mín. en última línea [%]	Máx. en primera línea [%]	Mín. en primera línea [%]	Prof. de converg.	Mín. en última línea [%]
NORTE	JUNIO	80	0,4	4/10	0	86,8	65,5	2/10	44,2
	DICIEM	100	34,5	3/10	0	100	99,7	5/10	91
	ANUAL	95,4	18	4/10	0	97,9	89,8	4/10	74,5
ESTE	JUNIO	78,7	0	3/10	0	90	63,3	3/10	30,3
	DICIEM	100	16,1	5/10	0	100	100	6/10	93,6
	ANUAL	94	5,6	4/10	0	98,3	87	5/10	68,5
SUR	JUNIO	79,7	0	2/10	0	89,3	50	5/10	32,7
	DICIEM	100	35,8	4/10	0	100	98,7	6/10	96,1
	ANUAL	96,1	14,7	3/10	0	98,2	81,7	5/10	71,6
OESTE	JUNIO	79,3	0	2/10	0	89,3	64,1	1/10	31,9
	DICIEM	100	17,4	3/10	0	93,6	100	5/10	81,6
	ANUAL	92,7	7	3/10	0	95,9	81,1	4/10	62,2

La Tabla II (sDA) permite indicar que el valor máximo de sDA sobre la primera línea cercana a la ventana, presenta una variación del 20% entre diciembre a junio, tanto en el primer piso como en último para todas las orientaciones. Si se compara piso a piso, en junio el área útil aumenta un 10 % en los pisos superiores.

Los valores mínimos en la primera y última línea son sustancialmente más altos en el último piso respecto a los valores del primer piso. Sobre la primera línea en diciembre, los valores de los pisos bajos, están en el orden del 30% para las orientaciones N y S, en el E y O cercanos al 15%; mientras que en los pisos altos se ubican próximos al 100 % para todas las orientaciones.

Durante junio la superficie útil en la primera y última línea de los pisos bajos es 0%, independientemente de las orientaciones y épocas del año, no alcanzando el mínimo requerido de 200 lx.

En los pisos altos los valores sobre la primera línea rondan el 60 %. Sobre la última línea se reducen al 44% al norte y al 30% las E, O y S. Para diciembre estos registros se duplican o triplican.

La profundidad de convergencia da cuenta que en los pisos bajos la caída del porcentaje de superficie útil, que ocurre en el primer tercio cercano a la ventana, es más abrupta que en los pisos altos, donde se mantiene estable logrando mayores porcentajes hacia el fondo del local variando de un 44% al 96% de acuerdo a la época del año.

Como resultados generales de los parámetros analizados, los valores obtenidos resultan insuficientes en primer piso, tanto en verano como invierno, mientras que para los pisos superiores presentan altas variaciones que van del 30 al 100 % en las distintas épocas del año. Claramente la diferencia de los mínimos se debe al efecto de las obstrucciones exteriores determinantes de la iluminación natural en el fondo del local.

En la condición de invierno se hace más evidente la deficitaria condición de los pisos inferiores. Los valores máximos próximo de la ventana, causales de potencial deslumbramiento, se mantienen constantes y nunca inferiores al 80 %.

IV. CONCLUSIONES

En el caso de Rosario, en la búsqueda de condiciones de habitabilidad IN residencial, las disposiciones reglamentarias definen las restricciones independientemente de las geometrías de cielo visible disponible. En entramados urbanos con alta densidad de edificaciones en altura, debería considerarse segmentar las condiciones reglamentarias por ubicación relativa de pisos bajos o altos.

Las simulaciones demuestran que la variable "obstáculos externos" resulta más influyente que la "orientación", especialmente en los corredores urbanos estrechos y de alta densidad edilicia propios del tejido clásico como el de Rosario, el cual provoca fuertes diferencias de IN en pisos bajos y altos, influyendo en la definición del área interior útil con iluminancia aceptable.

La geometría resultante de la relación de área vidriada y superficie habitable (relación, ancho del local y profundidad máxima), definida por reglamento, indica que el porcentaje de superficie con nivel de IN aceptable es deficitario en los pisos bajos.

Esta situación, que analiza solo la variable IN del proyecto arquitectónico, habilita también la posibilidad de considerar la modificación reglamentaria y modificar la profundidad máxima de los locales de primera a medida que se asciende piso a piso.

V. RECONOCIMIENTOS

Los autores de este trabajo queremos dejar constancia del agradecimiento por la precisa y exhaustiva asistencia del Equipo del INAHE, Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (CONICET, Mendoza) con dirección de la Dra. Andrea Pattini. En especial a la Dra. Ayelen Villalba y el Dr. Juan Manuel Monteoliva que contribuyeron al desarrollo del presente trabajo.

VI. REFERENCIAS

- [1] Chiarito, G. et. al (2024). Análisis de iluminación natural en departamentos con tipología estándar en entornos urbanos y orientaciones variables de Rosario. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 28*, pp. 10-19, ISSN 2796-8111.
- [2] Climate. One Building.Org (2023). Dirección URL: <https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/ARG_Argentina/index.html > [consulta 10 de marzo de 2023].
- [3] Levin, M. (2011). Plan Urbano Rosario 2007-2017. pp 104. Dirección URL: https://www.rosario.gob.ar/ArchivosWeb/pur/pur_i_i.pdf. [consulta Agosto 2023]
- [4] Norma IRAM AADL J 20-06 (1972) (1996). Niveles mínimos de servicio de iluminancia. Argentina
- [5] Marsh, A. y Stravoravdis, S. (2017). Towards Dynamic Real-Time Daylight Simulation. PLEA 2017, Proceedings Design to Thrive, Volumen II.
- [6] Marsh, A. (2019). Dynamic Daylighting (versión 2.0.0) [software]. Dynamic Real-Time Daylight Simulation. Department of Built Environment, University of Greenwich.UK. Dirección URL: <<https://andrewmarsh.com/software/daylight-box-web/>> [consulta 10 de mayo de 2023].
- [7] Reinhart, C., Mardaljevic y J., Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. pp. 13, 3:1. LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America.

VII. BREVE BIOGRAFÍAS AUTORES

Allori, Lucila. Arquitecta FAPyD-U.N.R. Docente universitaria FAPyD.

Alvarez, Jesica Anahí. Arquitecta FAPyD-U.N.R. Docente universitaria FAPyD.

Arana, Soledad. Estudiante FAPyD-U.N.R. Adscripción docencia universitaria FAPyD.

Chiarito, Daniela. Arquitecta FAPyD-U.N.R. Docente universitaria FAPyD.

Chiarito, Gabriel. Arquitecto FAPyD-U.N.R. Docente universitario FAPyD.

Gomez Carmana, Wanda. Arquitecta FAPyD-U.N.R.

González, Guadalupe. Arquitecta FAPyD-U.N.R.

Muriel, Aimé. Arquitecta FAPyD-U.N.R.

Turdó, Eugenia. Arquitecta FAPyD-U.N.R. Docente universitaria FAPyD.

Abstract:

This work builds on a previous study (Chiarito et al., 2024), which focused on the analysis of natural lighting (NL) in standard apartment typologies located in urban environments, through dynamic simulations using open-source software.

In this new phase, the spatial distribution and levels of NL are evaluated on a design day for the same studio apartment prototype, using a point matrix and considering variables such as orientation and presence of external obstructions.

One of the main contributions of the study is the identification of the significant impact that urban canyon geometries have on visible sky exposure and, consequently, on the amount of natural light entering indoor spaces. This issue is particularly critical on the lower and upper floors of buildings, where lighting conditions may be compromised. However, this variable is not currently addressed in the building regulations of the city of Rosario.

Preliminary simulation results highlight the need to revise current regulations by incorporating criteria that consider not only the orientation of glazed façades but also the vertical position of the apartment relative to ground level. This approach would help ensure minimum natural lighting conditions, promoting more energy-efficient buildings.

Keywords: natural lighting, dynamic simulation, building regulations.



La Luz como Herramienta de Valoración Patrimonial: Propuestas para un Ícono Tucumano

Diego, Rosa Angela¹

FADU-UBA- Buenos Aires, Argentina rosa.diego@fadu.uba.ar

Abril, Juan Esteban²

CENTROSUR-Cuenca, Ecuador juanes637@centrosur.gob.ec

Fuentes, Pablo Manuel³

FACET-UNT-San Miguel de Tucumán, Argentina pablo.shyst@gmail.com

Lescano, Edgardo Daniel⁴

Profesional independiente daniellescano21@gmail.com

Resumen: El presente trabajo expone dos propuestas alternativas de iluminación para un edificio de valor patrimonial, ubicado en el área central de la ciudad de San Miguel de Tucumán. Ambas propuestas parten de un análisis patrimonial y morfológico, con el objetivo de poner en valor el edificio central de correos de Tucumán a través de la iluminación. A partir de distintos conceptos de diseño y el uso de diversos recursos tecnológicos, se plantean las potencialidades de diferentes escenas lumínicas. Se presentan gráficas correspondientes a la conceptualización, la propuesta de escenas con sus respectivas especificaciones técnicas, simulaciones y cálculos. Las soluciones presentadas permiten demostrar que factores como el contexto urbano-ambiental, la lectura arquitectónica del objeto, la narrativa simbólica, el respeto por el patrimonio y la eficiencia tecnológica pueden generar resultados diversos, según la creatividad aplicada en cada propuesta.

Abstract: This paper presents two alternative lighting design proposals for a heritage building located in the central area of San Miguel de Tucumán, Argentina. Both proposals are grounded in heritage and morphological analyses. The primary aim is to enhance the architectural value of the central post office building through thoughtful lighting design. Drawing on different design concepts and various technological resources, the proposals explore the potential of diverse lighting scenes. Visual materials are included to illustrate the conceptual framework, along with the proposed scenes, technical specifications, simulations, calculations. Results demonstrate that factors such as the urban and environmental context, the architectural interpretation of the building, symbolic narrative,

respect for heritage, and technological efficiency can yield distinct results—depending on the creativity applied to each proposal.

Palabras claves: Iluminación, Patrimonio, Eficiencia.

Objetivo: El objetivo de este trabajo es el de poner en valor el edificio del Correo central de San Miguel de Tucumán a través de la iluminación.

1. INTRODUCCIÓN

La iluminación de un edificio patrimonial requiere un equilibrio entre el respeto por su historia y la incorporación de soluciones técnicas contemporáneas. En términos generales, suelen considerarse, además de su valor patrimonial, aspectos tales como su impacto urbano-ambiental, su relación con el entorno y la relación entre función y arte. Así, y en base a un diseño conceptual que prioriza alguna o varias de estas cuestiones, se recurre a la jerarquización de fachadas distribuyendo la luz eficientemente de tal manera de enfatizar distintos elementos a través de la tecnología disponible, dando lugar a diferentes lecturas del edificio.

Entonces... ¿Cómo se puede iluminar exteriormente el edificio del Correo central de San Miguel de Tucumán?

2. CONTEXTUALIZACIÓN

A. Contexto urbano e histórico

El Correo central de San Miguel de Tucumán se encuentra ubicado en pleno centro de la ciudad, calle 25 de Mayo esquina Córdoba, en un área de gran movimiento comercial, peatonal y vehicular.

Obra del Arq. Virasoro, fue construido a principios del siglo XX, en coincidencia con el gran proceso inmigratorio en que la comunicación postal era el único puente entre los inmigrantes y sus familiares en sus países de origen.

Declarado Monumento Histórico Nacional en 2005 por su importancia arquitectónica y cultural y localizado en una de las principales arterias comerciales de la ciudad, cerca de la Plaza Independencia, se ha convertido en un símbolo en una zona de alto tránsito y relevancia histórica para la provincia.

B. Entorno inmediato y Arquitectura

De estilo italianizante, el edificio se impone en la esquina formada por la intersección de dos calles, destacándose entre construcciones de distintas alturas gracias a su imponente torre con reloj, visible desde diversos puntos de la ciudad.

Desde el punto de vista morfológico, adopta una configuración con un marcado basamento, sobre el cual se desarrollan un acceso principal y dos ingresos secundarios.

En cuanto al lenguaje estilístico, su fachada presenta detalles de inspiración medieval y un juego expresivo de texturas a partir del uso de distintos materiales. En el interior, la organización espacial se estructura en cuatro niveles, destinados a la atención al público y al funcionamiento de oficinas administrativas.

3. DISEÑO CONCEPTUAL Y DETALLADO

En función del análisis realizado, se desarrollaron dos estrategias lumínicas alternativas para intervenir el edificio del Correo. Cada una responde a un enfoque conceptual distinto, incorporando criterios técnicos, simbólicos y urbanos. A continuación, se describen ambas propuestas, sus fundamentos y resoluciones específicas.

A. Estrategias proyectuales

1. Estrategia D-F

Este proyecto interpreta el simbolismo del edificio institucional, destacando sus valores expresados en elementos de su arquitectura.

- seguridad: representada en el basamento, evocando la solidez de construcciones medievales
- historia: expresada en el Escudo Nacional y el reloj, símbolo del paso del tiempo.
- tradición: manifestada en la torre, emblema de permanencia
- solidez: reflejada en los arcos ojivales, conocidos por su resistencia estructural.

- comunicación: sugerida por formas que evocan bordes de estampillas.

a) Desafíos y condicionantes de diseño

La escala del edificio en relación a su emplazamiento impide su visualización completa a nivel peatonal. Factores como el alumbrado público – con diversas alturas, modelos y temperaturas de color – provocan deslumbramiento y dificultan el control lumínico. La presencia de un semáforo sobre la acera angosta interfiere los posibles efectos lumínicos y el arbolado urbano oculta secciones clave de la fachada.

b) Recursos perceptuales lumínicos implementados

-Iluminación rasante en esquina para enfatizar la verticalidad.

-Iluminación bajo cornisas y modillones para contraponer horizontalidad.

-Iluminación en planos entrantes y oscuridad en salientes para realzar la repetición, orden, ampliar espacialidad y aligerar la lectura visual.

c) Efectos lumínicos propuestos según valores simbólicos

-seguridad: luz rasante descendente cálida en basamento, con lectura “horizontal”.

-historia: retroiluminación del reloj, blanco neutro en Escudo y nombre; modillones y bajo cornisa en blanco cálido ascendente y lectura “horizontal”.

-tradición: iluminación rasante en bandas laterales de torre y arcos del reloj.

-solidez: luz neutra rasante ascendente en ojivas y columnas con lectura “vertical”

Se propone trasladar el semáforo a la acera opuesta (posible según la Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Vial 2449, Dec. 779/95) y cambiar fuentes de alumbrado público.

d) Escenas propuestas

-Diaria: luz cálida horizontal en basamento (ubicación espacial y seguridad peatonal), cornisas y modillones (historia); neutra vertical en ojivas (solidez) y reloj (ubicación temporal), Escudo Nacional y nombre (presencia institucional). Iluminación austera, suficiente para uso cotidiano evitando contaminación lumínica.

-Eventos cívicos: efectos adicionales en columnas, vanos y molduras para ocasiones oficiales.

-Fiestas patrias: luz horizontal celeste y vertical blanco neutra.

-Celebraciones varias: horizontales y bandas laterales de torre toman colores de la ocasión aplicados solo sobre superficies claras.

e) Aspectos técnicos/tecnológicos

La intervención es una “puesta en valor” sin alterar la lectura general del edificio (categoría A, protección 1 según CNMMYLH). Se emplean faldones para ocultar luminarias, brazos para ampliar el alcance y cálculos precisos para lograr dramatismo sin exceso de luz.

Las luminarias horizontales serán RGBW para permitir cambios de color; las verticales - excepto en bandas laterales de la torre - serán eW.

Para permitir alcance y diferenciar funciones las luminarias de modillones y cornisas se inclinan 10°. En fachada se utilizan lineales rasantes o puntuales; en accesos, luminarias de piso y apliques, ampollas LED para iluminar los faroles del acceso principal; y lámpara LED especial para sustituir la vieja lámpara de descarga del reloj.

El nombre y Escudo Nacional se iluminan con proyectores montados en luminarias públicas.

Se lograron niveles de luminancia y contraste acorde a las recomendaciones e intenciones.

El sistema de control es DMX con controlador Color Play y telecomando con monitoreo por cámara. Se recomienda mantenimiento preventivo y correctivo. Las luminarias cumplen con protecciones IP-IK correspondientes.

2. Estrategia L-A

a) Desafíos y condicionantes del diseño

La fachada sobre calle 25 de Mayo está parcialmente cubierta por árboles y mobiliario urbano, lo que limita la lectura peatonal. Sobre calle Córdoba, la visual es más despejada, aunque la vereda angosta afecta la proyección lumínica. La presencia de elementos como semáforos y faroles exige planificación precisa, y su fachada extensa con múltiples planos demanda una iluminación jerarquizada para evitar la uniformidad excesiva y conservar su legibilidad.

b) Recursos perceptuales lumínicos implementados

Iluminación cálida en la fachada principal, reforzando la presencia histórica y generando una atmósfera acogedora.

Luz de precisión en la torre del reloj, que enfatiza su verticalidad y su rol como hito urbano.

Luz rasante sobre volúmenes y texturas, destacando elementos del lenguaje italianizante.

Iluminación puntual en accesos y esquinas, mejorando la legibilidad espacial y la seguridad peatonal.

c) Efectos lumínicos propuestos según valores simbólicos

-Identidad: luz cálida continua en fachada y torre, que refuerza su presencia institucional nocturna.

-Elegancia: uso de luz rasante y controlada que revela las texturas con sobriedad, evitando saturaciones o contrastes innecesarios.

-Versatilidad: incorporación de luminarias RGBW en sectores estratégicos que permiten variaciones cromáticas en fechas especiales, sin afectar la lectura arquitectónica general.

d) Escenas propuestas

- Diaria: Luz cálida uniforme en fachada, torre y accesos. Reafirma el carácter institucional y la integración al ritmo cotidiano de la ciudad. Aporta seguridad sin generar contaminación lumínica. Favorece la lectura arquitectónica desde el entorno inmediato.

- Festiva: Activación de luminarias RGBW con programación de colores específicos según la ocasión (fiestas patrias, celebraciones locales o institucionales). Aplica color a elementos como bandas verticales, torre y arcos principales. Aporta dinamismo manteniendo el respeto por el carácter patrimonial.

e) Aspectos técnicos/tecnológicos

Sistema de control DALI, compatible con software como Philips Dynalite.

Luminarias RGBW en fachada y torre, combinadas con equipos de temperatura cálida fija.

Sensores de luz ambiental y presencia, que ajustan el sistema según las condiciones externas.

Panel de control personalizado, con interfaz accesible desde dispositivos móviles.

Gateway IoT, que permite monitoreo remoto y programación avanzada.

Disposición de luminarias:

- Rasantes lineales en fachadas.
- Proyectores dirigidos en torre.
- Apliques en accesos y esquinas.

El diseño lumínico fue desarrollado con criterios normativos para edificios institucionales y patrimoniales, utilizando cálculos precisos para garantizar niveles adecuados de iluminancia y contraste. Las luminarias seleccionadas permiten una lectura clara de los elementos arquitectónicos sin generar deslumbramiento, asegurando tanto la valorización estética como la seguridad peatonal. Los niveles de luz fueron evaluados en función del uso diario y los requerimientos específicos de las escenas festivas.

4. RESULTADOS

TABLA I: Estrategias. Elaboración propia

Aspecto	Estrategia D-F	Estrategia L-A
Enfoque general	Patrimonial, simbólico y contextual. Traduce la historia con precisión técnica y mirada conservacionista.	Contemporáneo, escenográfico. Enfoque narrativo y participativo en la vida nocturna urbana.
Tecnología	Sistema DMX RGBW con telegestión versátil y control detallado para eventos.	Sistema DALI, sensores y RGBW. Favorece un relato dinámico.
Tratamiento patrimonial	Valorización histórica con efectos lumínicos precisos y ocultamiento de artefactos.	Valoración escénica y actual del patrimonio.
Escenarios lumínicos	Diario, cívico, patrio y celebraciones varias. RGBW con fuerte simbolismo	Diario sobrio y cálido; festivo con RGBW icónico.
Jerarquización	Enfatiza el edificio como hito tradicional mediante bandas y efectos simbólicos.	Torre de reloj como hito compositivo central.
Lenguaje lumínico	Iluminación por capas y modelado volumétrico que suaviza escala y resalta materialidad.	Iluminación general con acento puntual. Estrategia sintética, eficiente y expresiva.
Consideración urbana	Integra entorno urbano: veredas, árboles, alumbrado, semáforos.	El edificio actúa como actor activo de la noche urbana.
Rol urbano	Refuerza carácter institucional desde mirada histórica respetuosa.	Protagonismo escénico y contemporáneo en la ciudad nocturna.

5. CONCLUSIONES

Si bien ambas propuestas parten de un objetivo común, buscando destacar el edificio en su entorno nocturno y respetando tanto su carácter como los principios de conservación patrimonial controlando el impacto visual y ambiental, podemos indicar varias diferencias, que dan

Fig. 1: Estrategias D-F (izquierda) y L-A (derecha).



cuenta de las estrategias utilizadas en cada caso.

La luz es herramienta fundamental de conocimiento y comunicación que trasciende la mera función técnica o decorativa para convertirse en una forma de narrar:

- Enseña historia, destacando los elementos originales del edificio, lenguaje académico e implantación en el entorno.
- Revela detalles que pasan desapercibidos de día, acentuando texturas, formas, materiales y proporciones.
- Emociona, transmitiendo valores cívicos, memoria colectiva y sentido de pertenencia.
- Actúa como mediadora entre pasado y presente, otorgando nueva vida al edificio histórico sin perder su identidad.

La iluminación de un edificio patrimonial puede ser concebida desde diferentes interpretaciones. En este trabajo ofrecemos dos respuestas válidas: cómo iluminar un edificio histórico para que transmita su historia, emocione al espectador y genere un aprendizaje visual.

6. RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a los Dres. Arq. Raúl Ajmat e Ing. Eduardo Manzano por su guía continua.

7. REFERENCIAS

- [1] Aguilar, M. J. (2010). Luz y Arquitectura: Diseño de la Iluminación Artificial en Arquitectura. Gustavo Gili.
- [2] Bartenbach, C. (2005). Light Perspectives: Between Culture and Technology. Birkhäuser.
- [3] Boyce, P. (2014). Human Factors in Lighting. CRC Press.
- [4] ICOMOS (2008). Principios para la Conservación de las Estructuras Arquitectónicas Iluminadas
- [5] IESNA (Illuminating Engineering Society of North America). The Lighting Handbook.
- [6] Paterlini de Koch, O. "San Miguel de Tucuman". En: Liernur, Jorge Francisco y Fernando Aliata, Diccionario de Arquitectura en la Argentina, Buenos Aires: AGEA, 2004.
- [7] Zumthor, P. (2006). Atmospheres: Architectural Environments – Surrounding Objects. Birkhäuser.



8. BIOGRAFIAS

¹ Diego, Rosa Angela es Arquitecta, Magister y doctorando por la UBA, Especialista MAVILE por la UNT. Profesional independiente, docente e investigadora UBA y UB.

² Abril, Juan Esteban es Ingeniero Eléctrico por la UC y Especialista MAVILE por la UNT. Funcionario del departamento Alumbrado Público en Empresa CENTROSUR.

³ Fuentes, Pablo Manuel es Lic. en Higiene y Seguridad en el Trabajo por la UNPSJB, Especialista MAVILE por la UNT. Higienista, profesional independiente y docente FCEN UBA.

⁴ Lescano, Edgardo Daniel es Arquitecto y Especialista MAVILE por la UNT. Profesional independiente.



LA ARQUITECTURA ESTÁ COLONIZADA POR LA LUZ. QUIÉN LA DESCOLONIZARÁ?

Mario Raitelli

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

Resumen: El objetivo del diseño de arquitectura es proyectar espacios que satisfagan las necesidades funcionales y que, además, generen sensaciones y emociones que contribuyan al bienestar y calidad de vida de los usuarios. Las emociones asociadas con la arquitectura son provocadas por estímulos que activan todo el sistema sensorial humano. Sin embargo, el quehacer arquitectónico -impulsado por los avances tecnológicos- fue priorizando de manera progresiva los estímulos visuales por sobre los otros sentidos; lo cual, muchas veces, lleva a diseñar y construir espacios y edificios que producen un alto impacto visual, pero que carecen de otras cualidades sensoriales que también podrían promover el bienestar. Esta práctica puede incluso, tener un impacto emocional negativo en las personas.

Lo anterior demuestra cuán importante es abordar el diseño con una perspectiva multisensorial. Este enfoque, denominado arquitectura sensorial, tiene como premisa básica la empatía hacia los usuarios, ya que busca identificar y comprender cómo el espacio los afecta. El objetivo del presente trabajo es proponer una metodología para tal cometido. La misma se basa en una forma peculiar de conceptualizar un espacio arquitectónico y al acto de utilizarlo: la noción de espacio vivido.

Abstract: The objective of architectural design is to design spaces that satisfy functional needs and, in addition, generate sensations and emotions that contribute to the well-being and quality of life of their users. The emotions associated with architecture are triggered by stimuli that activate the entire human sensory system. However, architectural practice -driven by technological advances- has progressively prioritized visual stimuli over other senses. This often leads to the design and construction of spaces and buildings that produce a high visual impact but lack other sensory qualities that could also promote well-being. This practice can even have a negative emotional impact on people.

The above demonstrates the importance of approaching design from a multisensory perspective. This approach, called sensory architecture, has as a basic premise the empathy toward users, as it seeks to identify and understand how space affects them. The objective of this paper is to propose a methodology for such purpose. It is based on a peculiar way of conceptualizing architectural space and the act of using it: the notion of lived space.

Palabras claves: Arquitectura, diseño emocional, factores humanos.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la arquitectura es crear espacios que estimulen los sentidos humanos para generar sensaciones y emociones que contribuyan al bienestar y a mejorar la calidad de vida de sus usuarios. Para ilustrar esto se puede pensar que el simple y cotidiano acto de abrir una ventana permite sentir en la piel el aire fresco, contemplar la vegetación de un jardín, oír el sonido de una fuente de agua o percibir el perfume de una especie floreal (Fig. 1). Todos estos estímulos ayudan, por ejemplo, a relajarse después de un día estresante, experimentar sensaciones de calma, tranquilidad, etc.



Fig. 1: Las emociones que produce la arquitectura son provocadas por estímulos que activan todo el sistema sensorial humano. Imagen: <https://n9.cl/ju5wkr>.

El ejemplo anterior demuestra que las personas perciben y se conectan emocionalmente con la arquitectura utilizando todos sus sentidos. Además, diversos estudios en neurociencia [1] han revelado que una estimulación multisensorial produce efectos superiores a la suma de los efectos que se consiguen al estimular cada sentido por separado, es decir, la interacción de los diferentes sentidos, enriquece la experiencia sensorial. Sin embargo, desde aproximadamente la segunda mitad del siglo XX, el diseño de arquitectura, de manera progresiva, fue dando prioridad a los estímulos visuales por sobre los otros sentidos. Esta especie de “sesgo sensorial”, también llamado ocularcentrismo, ha sido impulsado por los avances tecnológicos, y lleva a diseñar y construir espacios y edificios que, claramente, buscan producir un fuerte impacto visual (Fig. 2) muy avanzados tecnológicamente, pero, muchas veces carentes de otras cualidades sensoriales que también podrían generar experiencias emocionales que promueven el bienestar.



Fig. 2: Muchas obras de arquitectura contemporánea son diseñadas para generar impacto visual y atraer la atención, priorizando, a menudo, la estética visual sobre la funcionalidad o la integración con el entorno. Imagen: <https://shre.ink/xoTR>.

La práctica ocularcentrista en realidad, propicia un empobrecimiento de la sensibilidad perceptual pues promueve experiencias espaciales más valorativas que participativas; lo cual puede llevar a una desconexión de las personas con el espacio construido. Esta desvinculación podría incluso ser causal de varios de los trastornos emocionales atribuidos a la vida moderna por la Organización Mundial de la Salud [1] como sentimientos de aislamiento y soledad, entre otros. Los ambientes con cualidades multisensoriales en cambio, dan lugar a experiencias inmersivas, posibilitando que los usuarios/habitantes establezcan un vínculo más íntimo con el entorno, haciéndolos sentir partes del mismo y creando un sentimiento de pertenencia. El diseño de espacios que estimulan sensaciones de manera holística se conoce como arquitectura sensorial [2]. El desarrollo de esta perspectiva del diseño arquitectónico se ha visto beneficiado con los aportes de la investigación neurocientífica [3].

Uno de los principios básicos de la arquitectura sensorial es la empatía hacia los usuarios. Esto implica la necesidad de comprender cómo el espacio afecta a sus usuarios. El objetivo del presente trabajo es justamente proponer una metodología para tal cometido.

II. ANALISIS DEL IMPACTO EMOCIONAL DE LA ARQUITECTURA

Este análisis tiene por objetivo identificar y comprender cabalmente las necesidades, gustos, preferencias, y aspiraciones de las personas que utilizarán/habitarán el espacio, pero también como la arquitectura puede afectar sus respuestas conductuales y emocionales. Normalmente, este conocimiento se obtiene mediante estadísticas, entrevistas, investigación y la observación de cómo las personas utilizan el espacio.

La propuesta que se presenta en este trabajo se basa en conceptualizar el espacio de diseño como una realidad física sensible que carece de significado si no involucra al ser humano.

III. CONCEPTO DE ESPACIO DE DISEÑO

En la práctica de arquitectura, el concepto de espacio se refiere a una entidad, es decir un objeto, que se define normalmente por su función (por ejemplo, una oficina, un centro comercial, una calle, etc.) y se describe por su morfología y materialidad (forma, dimensiones, escala, proporción, distribución de ambientes, relación con el contexto etc.). Esta manera de caracterizar al espacio es demasiado “simplista” pues sólo considera el uso principal del recinto, a pesar de que el acto de usar/habitar un espacio involucra otras tareas, funciones, comportamientos, y respuestas emocionales además de las que se pueden inferir de la función del espacio.

Una conceptualización completa de espacio debe incluir al usuario, no como un sujeto pasivo (es decir, alguien que responde a las condiciones del ambiente de una manera preestablecida) sino como un ser activo, que interactúa con el espacio que habita para satisfacer sus necesidades y gestionar sus emociones.

IV. CONCEPTO DE ESPACIO VIVIDO

La mayoría de las nociones cotidianas de espacio no se refieren a una entidad física en sí misma, sino a algo vinculado con el comportamiento o la intencionalidad humana. Esto se relaciona con el concepto de “espacio vivido” [4] el cual se trata de un constructo social que surge por la experiencia personal del usuario al utilizar/habitar un recinto.

Más allá del simple hecho de ocupar un lugar físico, el espacio vivido se conforma por las interacciones y la conexión emocional que las personas establecen con el entorno. Dicho de otro

modo, el espacio vivido es una experiencia espacial y temporal y, además, multisensorial de la arquitectura, ya que involucra elementos como la forma y la disposición espacial, la luz, el sonido, el tacto, y otros recursos sensoriales para crear una percepción específica (Fig. 3).



Fig. 3: La escalera es un objeto de la arquitectura cuya función práctica es permitir cambiar de nivel. Pero también puede ser percibida como un lugar para hacer ejercicios (izquierda) o como un peligro potencial para niños de corta edad (derecha) habida cuenta de la atracción natural que sienten por jugar en tales lugares. Imagen: <https://shre.ink/xh4y>.

Los ejemplos de la Fig.3 demuestran que las emociones asociadas con la arquitectura, que contribuyen al bienestar de los usuarios, no radican -principalmente- en la apariencia o tecnología de sus componentes, sino en el acto de utilizarlos. Así, por ejemplo, una ventana puede tener un diseño muy atractivo, y un sistema de control moderno y sofisticado; sin embargo, las emociones que realmente mejoran la calidad de vida se generan por la posibilidad de ventilar la habitación, de iluminarla con luz natural y de conectarse con el exterior (Fig. 4).



Fig. 4: El impacto emocional que genera una ventana surge por la posibilidad de iluminar el interior con luz natural, ventilar la habitación y conectarse con el exterior. Imagen: <https://shre.ink/xbYy>.

V. INTERRELACIONES ENTRE USUARIOS Y LA ARQUITECTURA

El uso/habitación de un espacio comprende una multiplicidad de tareas y actos que los usuarios realizan sobre la arquitectura (encender las luces, conectar la calefacción, limpiar y ordenar, preparar e ingerir alimentos, trabajar, descansar, y un larguísimo etc.). Por su parte, la arquitectura

también influye sobre las personas, ya que crea el marco espacial para que desarrollen sus actividades y afecta su respuesta emocional. Esta interacción entre los usuarios y la arquitectura sucede de tres maneras: corporal, sensorial y mentalmente, respectivamente (Fig. 5). La primera se refiere a los movimientos y posturas adoptadas; por ejemplo, la acción de caminar, sentarse, acostarse, desplazarse, bailar, etc. La interacción sensorial se da, por ejemplo, cuando se percibe la textura o la materialidad de una superficie, el calor de una chimenea, un ruido del exterior, etc. Mientras que la interacción mental se manifiesta porque el espacio puede



hacer pensar, recordar, imaginar, inspirar, etc. Esta revela que la percepción espacial es un complejo proceso donde no sólo intervienen los datos recibidos sensorial-mente, sino también los que surgen por la actividad mental.

Fig. 5: La interacción usuario-arquitectura es de corporal, sensorial y mental, Imágenes; (<https://shre.ink/xgSU>), (<https://shre.ink/xgt9>) y (<https://shre.ink/xgL0>).

VI. METODOLOGIA PARA ANALIZAR LA RESPUESTA EMOCIONAL Y CONDUCTUAL AL ESPACIO

La propuesta consiste en realizar una narrativa de la experiencia espacial vivida en el transcurso de una visita al espacio, de manera holística; es decir incluyendo todas las interrelaciones (corporales, sensoriales y mentales) que se manifiestan, esto es, se deben registrar las actitudes, conductas y comportamientos que el espacio induce, las sensaciones y emociones experimentadas, lo que hace recordar, pensar, imaginar, fantasear, desear, y un muy extenso etc. Para realizar esta descripción se debe adoptar una actitud empática, es decir, “ponerse en el papel de los usuarios” si no es posible que ellos participen. Además, hay que evitar realizar evaluaciones o apreciaciones basadas en conocimientos y preconcepciones previos (ya que el análisis es simplemente descriptivo y no evaluativo). Por último, es importante también que la experiencia se haga en las condiciones tal como se presentan, es decir, sin hacer cambios o modificaciones a las modalidades de utilización y funcionamiento de las instalaciones (por ejemplo, si las ventanas están cerradas y no todas las luces encendidas, deben quedar así, aunque la visión se dificulte, lo mismo si hay una situación de falla o mal funcionamiento de algún sistema del acondicionamiento ambiental).



El análisis narrativo del espacio vivido, no sólo permite tener una comprensión, más amplia y ajustada a la realidad, de cómo es la experiencia de utilizar/habitar un ambiente, sino también puede servir para identificar aspectos no satisfactorios que podrían ser importantes para el diseño de la arquitectura. Por ejemplo, en salas de museos como la mostrada en la Fig. 6, tal análisis podría revelar la creación de sentimientos de soledad y aislamiento (síntomas típicos en personas con claustrofobia) pues la iluminación general crea también la sensación de mayor amplitud espacial. Esta información sería útil para analizar el tipo de iluminación que conviene proponer. Así, el alumbrado localizado tiende a crear efectos opuestos a los antes señalados, como se puede apreciar en la Fig. 7.

Fig.6. La iluminación general puede crear sensación de amplitud (el espacio se percibe como más grande) pero también generar sentimientos de soledad y aislamiento en personas claustrofóbicas; en especial si la sala queda circunstancialmente vacía. Imagen: propia.

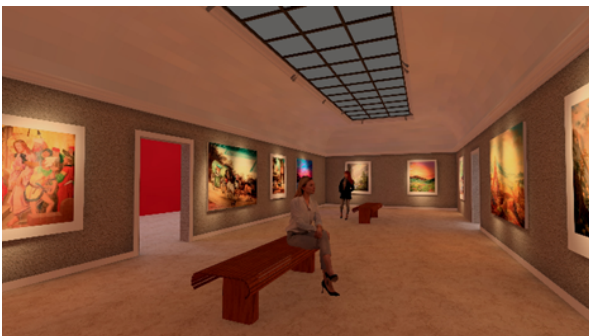


Fig.7. El alumbrado localizado puede hacer que el espacio se perciba como más pequeño y menos intimidante. Imagen: propia.

VII. CONCLUSIONES

El diseño de arquitectura consiste en crear espacios que, además de responder a necesidades funcionales, también estimulen los sentidos humanos para generar sensaciones y emociones.

Los avances tecnológicos han promovido una práctica del diseño que prioriza la creación de espacios muy atractivos al ojo, menospreciando la importancia de los otros sentidos, lo que puede ocasionar sentimientos adversos en los usuarios de un espacio arquitectónico.

Abordar el diseño con una perspectiva multisensorial puede contribuir a lograr un impacto emocional y psicológico más intenso, ya que permite al usuario vivir una experiencia más inmersiva que cuando percibe la arquitectura sólo visualmente.

Las personas interactúan, de manera corporal, sensorial y mental, con el espacio que utilizan o habitan. El enfoque multisensorial del diseño requiere identificar y comprender cabalmente cómo se desarrollan estas interacciones.

La metodología propuesta para analizar las interrelaciones entre los usuarios y la arquitectura se basa en el concepto de espacio vivido, y permite realizar una narrativa descriptiva de cómo se desarrolla la experiencia de utilizar o habitar un recinto.

El análisis del espacio vivido puede aportar información importante para el diseño de la arquitectura de un espacio.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Sitio WEB de la Organización Mundial de la Salud (OMS). <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mental-disorders>
- [2] Spence, C (2020). Senses of place: architectural design for the multisensory mind. *Cognitive Research*, 5, 46 (2020). <https://doi.org/10.1186/s41235-020-00243-4>.
- [3] Quesada D. (2023). Neuroarquitectura: así se proyectan espacios que afectan a nuestros sentidos. *Revista Arquitectura y Diseño*. https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/neuroarquitectura-asi-se-proyectan-espacios-que-afectan-a-nuestros-sentidos_8715.
- [4] Pallasmaa, Juhani (2016). *Habitar*. Ed. Gustavo Gilli. ISBN: 9788425229237

IX. 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. Projectista y asesor técnico de

obras de iluminación en los ámbitos público y privado.

ANÁLISIS DE OBRAS DE ARQUITECTURA E ILUMINACIÓN MEDIANTE IMÁGENES

Mario Raitelli

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

Resumen: En la práctica de arquitectura y diseño de iluminación, las imágenes son recursos que permiten comunicar ideas y conceptos de diseño de una manera inteligible y efectiva y también, analizar y evaluar espacios construidos. La forma habitual de representar con imágenes describe bastante bien “cómo es la arquitectura”, pero no siempre refleja cabalmente “cómo funciona”. Este último aspecto es importante para describir un espacio de manera integral; es decir, mostrando no sólo su morfología y materialidad sino, también, hasta qué punto su arquitectura satisface las necesidades funcionales, y la respuesta emocional de sus usuarios. Representar cómo funciona la arquitectura es, en cierto sentido, describir cómo se desarrolla el acto de usar/habitar el espacio; y para ello las imágenes deben ser dotadas con un carácter narrativo, además de técnico.

Abstract: In the practice of architecture and lighting design, images are resources that allow to communicate design ideas and concepts in an intelligible and effective manner, as well as to analyze and evaluate built spaces. The usual way of representing with images describes quite well “what architecture is like”, but it does not always fully reflect “how it works.” This last aspect is important for describing a space comprehensively; that is, showing not only its morphology and materiality but also the extent to which its architecture meets the functional needs and the emotional response of its users. Representing how architecture works is, in a sense, describing how the act of using/inhabiting the space unfolds; and to achieve this, images must be endowed with a narrative, as well as a technical, character.

Palabras claves: Arquitectura, representación, imágenes

I. INTRODUCCIÓN

En la práctica de la arquitectura y del diseño de iluminación las imágenes son un recurso para

comunicar ideas y conceptos de diseño de una manera inteligible y efectiva y también, para analizar y evaluar espacios construidos. Son empleadas también como material de referencia e inspiración.

La forma habitual de representar la arquitectura es con imágenes de tipo descriptivo (dibujos de plantas, cortes, perspectivas, bocetos, maquetas, etc. y en la actualidad, simulaciones digitales fotorrealistas) lo que permite mostrar bastante bien “cómo es la arquitectura” (Fig. 1) pero no siempre refleja cabalmente “cómo funciona”. Este último aspecto es importante para realizar una descripción completa de la arquitectura de un espacio, es decir, una que muestre no sólo su morfología y materialidad, sino que, además, revele cómo satisface las necesidades funcionales de los usuarios, y también la respuesta emocional que genera en ellos. Para este cometido es necesario dotar a la representación con un carácter narrativo [1].

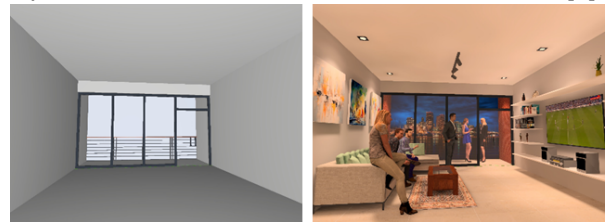
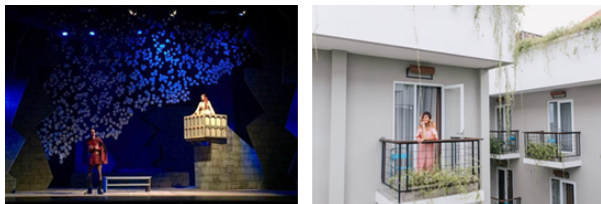


Fig. 1: Una imagen descriptiva (izquierda) muestra “cómo es la arquitectura”. Una narrativa (derecha) revela también “cómo funciona”. Imagen: propia.

Es importante tener presente que toda representación es una versión reducida de la realidad (pues es imposible reproducirla en su totalidad) lo cual implica una selección y simplificación, donde se omiten algunos detalles y enfatizan otros. Además, como es el autor quien decide qué aspectos se van a mostrar, la representación también es subjetiva.

El análisis de la arquitectura mediante imágenes requiere de habilidades visuales, atención a



detalles y capacidad para establecer relaciones y asociaciones que ayuden a comprender la información incluida en la representación, y a interpretar el significado de cada uno de los elementos presentes en las imágenes.

II. ANALISIS DE IMÁGENES

Las personas están muy bien entrenadas para leer signos lingüísticos, sin embargo, no ocurre lo mismo con la "lectura" de imágenes, a pesar que más del 90% de la información a la que tiene acceso se hace a través de ese medio



El análisis o lectura de una imagen es un examen visual que se hace con la finalidad de comprender la información contenida en ella [2]. El análisis se realiza en dos niveles: descriptivo e interpretativo. El primero consiste en describir de manera objetiva (es decir, sin hacer interpretaciones ni valoraciones personales) todos los elementos que aparecen en la imagen (Fig. 2). El análisis interpretativo por su parte, es una lectura subjetiva que busca atribuir significados a los elementos de la imagen, es decir, lo que sugieren, evocan, recuerdan, inspiran, etc. Se trata de una información que no es observable a primera vista, sino que resulta del análisis deductivo personal, basado en experiencias, creencias, valores y emociones; y por ello, puede conducir a múltiples interpretaciones (Fig. 2).

Fig. 2: Descripción objetiva de los elementos constitutivos de la arquitectura del puente de la mujer, e interpretación del significado de la obra: la estructura simboliza una pareja bailando tango. Imagen: propia.

III. REPRESENTACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA ARQUITECTURA CON IMÁGENES

Se puede decir que representar cómo funciona la arquitectura es realizar una descripción de cómo se desarrolla la experiencia de utilizar el espacio. Una interesante manera de hacerlo con imágenes es recurriendo a la siguiente metáfora: "el uso o

habitación de un espacio es la puesta en escena de la vida de sus usuarios, donde la arquitectura es la escenografía" [3]. Esta comparación es muy pertinente pues tanto la escenografía teatral como la arquitectura tienen por objetivo crear entornos para uso de las personas (Fig. 3). Entonces, para hacer una representación del espacio vivido, se deben elaborar los elementos que conforman una puesta en escena: 1) guión o argumento, 2) contexto espacial y temporal, 3) actores principales y de reparto, y 4) escenografía.

Fig. 3: La escenografía crea el marco espacial para la puesta en escena de una obra de teatro (izquierda). La arquitectura hace lo mismo para el acto de usar/habitar un espacio (derecha). Imágenes: izquierda: gentileza de Concepción y Paz Perré.

(<https://www.instagram.com/concepcionypazperre/>). Derecha: Plataforma freepik (<https://n9.cl/pg5jnw>).

III.1. ARGUMENTO

Para determinar qué aspectos de la arquitectura habría que incluir en la representación es necesario disponer de la mayor información y comprensión posibles del espacio; y esto incluye entre otros, los objetivos del diseño, la intención del diseñador, el perfil de los usuarios, el contexto espacial, temporal y climático, los patrones de estilo, las razones de uso de materiales, las innovaciones tecnológicas, el impacto social, económico, las influencias culturales, etc. El análisis de esta información puede contribuir a agregar significados a la representación. Por ejemplo, en arquitectura vernácula (Fig. 4) es importante representar la materialidad y las técnicas constructivas, pues muchas veces ese tipo de información se transmite entre generaciones, y no siempre queda documentada.



Fig. 4: En arquitectura vernácula mostrar la materialidad y las técnicas constructivas puede aportar información valiosa a la representación. En obras de hormigón armado, por ejemplo, sería irrelevante.

Imagen: gentileza de Uwe Aranas (<https://www.instagram.com/cephoto2017/>)

Los contrastes son otros recursos que pueden aportar al argumento de una representación. Por ejemplo, mostrar las diferencias de apariencias en un espacio iluminado con distintas escenas de luz puede revelar la funcionalidad y también, las respuestas emocionales que genera la arquitectura (Fig. 5).



Fig. 5: Contraste de apariencia de un espacio creado por distintas maneras de iluminarlo. Imagen: propia.

Los contrastes no se refieren sólo a las diferencias de claridad o cromaticidad que se consigue con la iluminación, sino también a lo que en fotografía se denomina contraste conceptual [4] (diferencia entre dos o más elementos que se presentan en una misma situación o entorno). Este tipo de contraste tiene un alto potencial narrativo ya que puede ser utilizado para llamar la atención, transmitir información o generar emociones. Así, por ejemplo, mostrar contrastes de estilo, de tecnología, de materialidad, etc. puede contribuir a revelar las distintas respuestas emocionales que un espacio de arquitectura puede generar (Figs. 6 y 7).

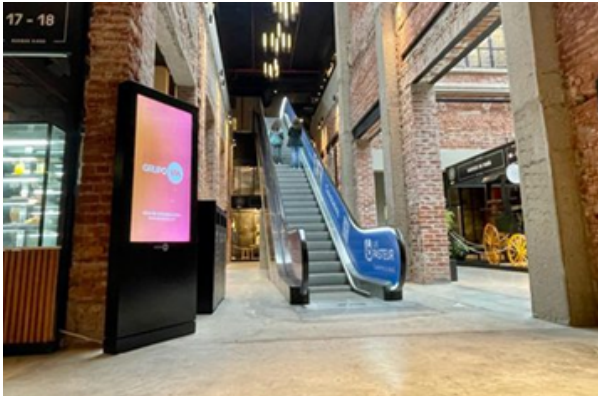


Fig. 6: Mostrar la “convivencia” entra tecnologías: moderna (escalera mecánica) vs, tradicional (arquitectura del edificio) puede crear la sensación de espacio en evolución, que se adapta a los estilos de



vida actuales. Imagen: gentileza de Grupo Vía (<https://grupovia.com>).

Fig. 7: El contraste entre lo natural y lo construido puede generar sensaciones de bienestar, calma, disfrute, placer, etc. Imagen: propia.

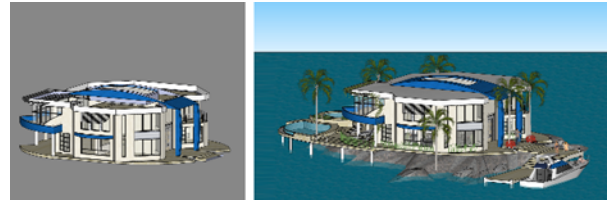
V.2. CONTEXTO ESPACIAL Y TEMPORAL

La representación de un espacio de arquitectura debe documentar su relación con el entorno que

ocupa, para revelar como se integra con el paisaje, la topografía y el contexto social y cultural del lugar. Esto ayuda a identificar el carácter y el significado urbanístico del emplazamiento, y también sus características funcionales (Fig. 8).

Un aspecto importante que la representación debe mostrar es la accesibilidad al espacio, ya que influye decisivamente sobre la calidad de vida de las personas que lo utilizan.

Fig. 8: La inclusión del contexto espacial en la representación le confiere carácter narrativo a la



imagen, revelando cómo la arquitectura se relaciona con su entorno. Imagen: propia

En cuanto a la representación del contexto temporal, este ha sido históricamente, una gran limitación para las artes visuales incluyendo, por supuesto, a la arquitectura. La representación de este aspecto implica mostrar cómo el tiempo influye y se manifiesta en la arquitectura de un espacio, tanto en sus etapas de diseño como de utilización. Esto se puede lograr representando diferentes momentos del espacio que reflejen no sólo la relación entre la arquitectura y el paso del tiempo sino, además, cómo impactan en su capacidad de generar una experiencia temporal (por ejemplo: evocar recuerdos, conectar con la historia y anticipar el futuro). Dicha relación es influenciada por la evolución tecnológica y las tendencias cambiantes (Fig. 9) y también, por



factores sociales, culturales, políticos, económicos, urbanísticos, medioambientales, etc. (Fig. 10).

Fig. 9: Influencia del contexto temporal en el diseño de arquitectura. Hasta mediados del siglo XX prevaleció el estilo funcionalista (izquierda) para luego dar paso, paulatinamente al estilo posmoderno de la actualidad. Imágenes: izquierda: gentileza de Rebecca López Vera (https://www.instagram.com/rebecca_arq/#), derecha (<https://shre.ink/xhOb>)

Fig. 10: Influencia del contexto temporal en la utilización de la arquitectura. Representar diferentes momentos de un espacio, refleja su relación con el transcurso del tiempo, pero también su capacidad para generar, por ejemplo, emociones conectadas con la historia del lugar. Imagen: Estación de trenes de San Salvador de

Jujuy, Argentina, reconvertida en centro cultural (gentileza de Justina y Mónica Ibarra).

Otro aspecto de la arquitectura relacionado con el contexto temporal que puede ser interesante de representar es la percepción del “transcurso del tiempo” que genera el hecho de usar/habitar un espacio. Para hacerlo, hay que prestar atención a todo lo que pueda generar sensaciones de temporalidad, por ejemplo: los juegos de luz y sombra y los cambios de intensidad y tonalidad que se producen por las variaciones de la luz natural, los movimientos y las direcciones de visión, las texturas y los materiales, la escala y forma del espacio, las modificaciones del recinto y su entorno, etc. (Figs. 11, 12 y 13).



Fig. 11: La dinámica de la luz natural puede generar sensaciones de temporalidad pues brinda pistas sobre el momento del día y las distintas épocas del año. Imagen (<https://shre.ink/xj0t>)

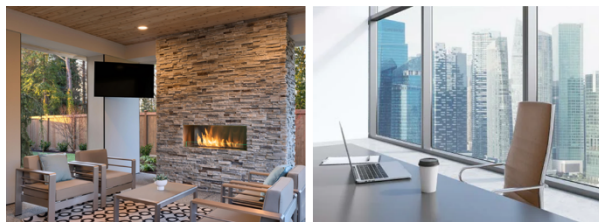


Fig. 12: Materiales y textura. Las paredes de piedra o madera pueden evocar sensaciones de historia y quietud (izquierda). En cambio, el vidrio y los metales tienden a crear impresiones de inmediatez y rapidez (derecha).

Imágenes: izquierda (<https://shre.ink/xijn>) derecha (<https://shre.ink/xjix>)

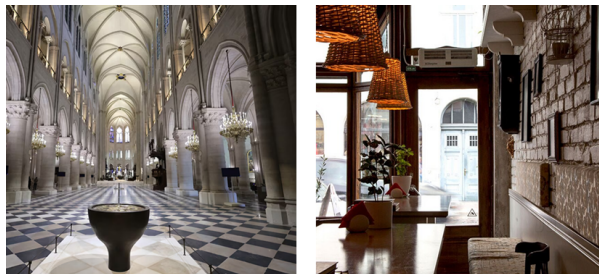


Fig. 13: Espacios de escala grande (izquierda) suelen crear la sensación de que el tiempo se expande. Por el contrario, recintos pequeños y acogedores (derecha) pueden hacer parecer que el tiempo transcurre más lento. Imagen: <https://shre.ink/xj3B>.

IV. ACTORES PRINCIPALES Y DE REPARTO

Por lo general, en las representaciones de arquitectura se omite la inclusión de personas u objetos, que podrían contribuir a la narrativa de una imagen. Por ejemplo, la inclusión de usuarios puede servir para dar escala a la representación, revelar estrategias de uso y funcionamiento y, además, transmitir sensaciones de movimiento y dinamismo, temporalidad, seguridad, confort, etc. (Figs. 14 y 15).



Fig. 14: La inclusión de personas y objetos sirve para dar escala a la representación y también para mostrar modos de uso del espacio. Figura: propia.



Fig. 15: En espacios exteriores urbanos, la inclusión de personas y objetos puede crear la sensación de seguridad, disfrute, confort, etc. Figura: propia.

V. CONCLUSIONES

En arquitectura, la representación gráfica es una herramienta de comunicación muy efectiva para describir un espacio. También permite “transcribir” a un formato inteligible, las ideas y conceptos que un diseñador elabora -mentalmente- en la etapa inicial de un proyecto.

La forma habitual de representar la arquitectura, describe bastante bien la morfología y materialidad de un espacio, pero no siempre permite revelar cómo funciona. Para esto último, la representación debe tener un carácter narrativo, además de técnico.

Representar cómo funciona la arquitectura es, en cierto sentido, realizar una narrativa visual del acto de usar/habitar el espacio. Comparar este acto con una puesta en escena teatral es una forma muy objetiva de elaborar la descripción.

Como toda puesta en escena, la descripción visual de la arquitectura debe incluir un argumento, un contexto espacial y temporal, actores, y una escenografía.

La representación del contexto temporal es un aspecto que históricamente ha sido una limitación para las artes visuales en general, incluyendo, por supuesto, a la arquitectura.

La descripción de la arquitectura con una narrativa visual, facilita la comprensión del espacio por parte de comitentes que no tienen formación para entender documentación técnica.

VI. REFERENCIAS

- [1] Batán Bernal, E. (2017). La representación gráfica de la arquitectura y su carácter expresivo en relación con las corrientes artísticas del momento en la 1ª mitad del siglo XX. Digitum: Repositorio Institucional de la Universidad de Murcia. <http://hdl.handle.net/10201/53381>
- [2] Hattwig Denise (2018). Images Research Guide: Image Analysis. University of Washington Bothell & Cascadia College Campus Library. URL: <https://guides.lib.uw.edu/newimages>
- [3] Mili Sánchez Azcona (2022). Hacia una fotografía de arquitectura más humana: conversando con Ana Amado. Blog Archdaily (<https://www.archdaily.cl/cl/987495/hacia-una-fotografia-de-arquitectura-mas-humana-conversando-con-ana-amado>).
- [4] Blog: Qué es el contraste en fotografía y cómo utilizarlo correctamente. (<https://isnca.org/es/qu%C3%A9-es-el-contraste-en-fotograf%C3%ADa-y-c%C3%B3mo-utilizarlo-correctamente/>)

VII. 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. Projectista y asesor técnico de obras de iluminación en los ámbitos público y privado.



EL IMPACTO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA ILUMINACIÓN ARQUITECTÓNICA CONTEMPORÁNEA. LEDs y nuevas estrategias de diseño lumínico.

Zoppi, Carlos Augusto¹ - Cortadi, Mariano Alfredo¹ - Aguirre Lara, Cecilia Gisela¹

¹Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) – SECyT (Secretaría de Ciencia y Tecnología) - Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
carlos.zoppi@unc.edu.ar

Resumen: En el campo de la iluminación arquitectónica contemporánea, la tecnología LED ha impactado sensiblemente permitiendo innovar en las estrategias de diseño, por la disruptiva forma de producir luz, dimensiones, versatilidad, color y control, entre otros. Este trabajo continúa sobre la línea de investigación iniciada en 2018-19, orientado en esta segunda etapa, hacia la exploración conceptual y la evaluación del estado actual de la iluminación arquitectónica, analizando el impacto de esta tecnología. Se identificaron estrategias innovadoras de diseño lumínico atendiendo a las posibilidades que brinda para el desarrollo proyectual y su potencial aplicación en contextos académicos y profesionales.

Con esos objetivos, este trabajo permitió abordar desde una perspectiva integradora los diferentes factores y variables que intervienen en el diseño de iluminación. Como casos de estudio se tomaron obras de iluminación arquitectónica de espacios interiores, de escalas y usos diversos, nacionales e internacionales, permitiendo extraer conclusiones de las relaciones entre requerimientos lumínicos, condicionantes ambientales y arquitectónicas, recursos disponibles y estrategias de diseño. El uso de esta tecnología disruptiva no solo implica la sustitución de fuentes luminosas por una nueva tecnología, sino que bajo el concepto LEDfit produjo un cambio de paradigma en el diseño lumínico, atendiendo al carácter innovador de la misma.

Palabras claves: Iluminación arquitectónica / LEDs / Diseño

Abstract: In the field of contemporary architectural lighting, LED technology has significantly impacted design strategies, enabling innovation due to its disruptive light production,

dimensions, versatility, color, and control, among others. This work continues the line of research initiated in 2018-19, focusing in this second phase on the conceptual exploration and evaluation of the current state of architectural lighting, analyzing the impact of this technology. Innovative lighting design strategies were identified based on the possibilities they offer for design development and their potential application in academic and professional contexts.

With these objectives in mind, this work allowed us to address the different factors and variables involved in lighting design from an integrative perspective. Architectural lighting projects for interior spaces of diverse scales and uses, both national and international, were used as case studies, allowing us to draw conclusions about the relationships between lighting requirements, environmental and architectural constraints, available resources, and design strategies. The use of this disruptive technology not only involves replacing light sources with a new technology, but also, under the LEDfit concept, produced a paradigm shift in lighting design, reflecting its innovative nature.

Keywords: Architectural Lighting / LEDs / Design

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, la creciente urbanización, la mayor demanda energética y el consecuente agotamiento de las fuentes de energía no renovables replanteó el uso de las tecnologías tradicionales en iluminación y su consecuente sustitución por nuevas tecnologías más eficientes, avanzando en parámetros cualitativos, ya que la luz tiene el atributo de modificar la percepción de los espacios, las personas y los objetos.

Las tecnologías disruptivas, definidas como una innovación que ayuda a crear una nueva red de valor y que interrumpe en el mercado actual, desplazando una tecnología anterior. En esta disrupción e innovación los LEDs (Light Emitting Diode) surgen como una nueva tecnología para la generación de luz, llevando a replantear conceptos de diseño, cambiando los paradigmas en iluminación y aspectos expresivos y comunicacionales de la luz. Las innovaciones disruptivas hacen grandes cambios provocando mejoras, como esta nueva tecnología, especialmente en las aplicaciones para su uso en iluminación arquitectónica, innovando 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 el reemplazo de un producto de tecnología tradicional por otro con tecnología LED tratando de adaptarse a las luminarias existentes ni los criterios proyectuales originales. La segunda, denominada LEDfit, donde esta tecnología disruptiva posibilita la innovación y promueve nuevas estrategias de diseño desde su génesis, incentivando la investigación y exploración proyectual con nuevas estrategias de diseño.

Josep María Montaner [1] 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”. 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. La luz es el requisito previo para la percepción espacial, acompañados de los nuevos usos y roles que asume en la actualidad, se ha transformado en una componente integral de la arquitectura. 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 [2].

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”. 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.

Como síntesis de lo planteado, Esther Torelló [3] expresa “Vivimos en una era visual en la que la imagen de la arquitectura es parte de su función. (...) Los vertiginosos avances tecnológicos de los últimos años, unidos a las demandas de una sociedad ávida de sensaciones, han permitido proyectar edificios e interiores de naturaleza interdisciplinar, en los que se entrelazan y fusionan arte, arquitectura y tecnología”..

II. DESARROLLO

A. Iluminación arquitectónica

Del análisis bibliográfico sobre el concepto de iluminación arquitectónica y nuevas tecnologías desde diferentes disciplinas, como la luminotecnia, la arquitectura, la psicología de la percepción, el marketing, entre otras, permitió la construcción de un marco conceptual.

En los orígenes y desarrollo de la iluminación arquitectónica, en la década del 50 Richard Kelly fue un pionero del diseño dado que propuso considerar 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. Gyorgy Kepes [4] plantea 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”.

Según Juhani Pallasmaa [5] “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”.

La formación académica de Lighting Designers acompañó este proceso, que amplía el campo de la actividad dentro de la Luminotecnia. Se integran diversos aspectos técnicos, formales y psicológicos que contribuyen a que el diseño de iluminación en la actualidad se posicione como una actividad que aúna la creatividad, los conocimientos técnicos, formales y perceptuales para 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, explorando nuevas estrategias y generando aportes a la enseñanza de la Luminotecnia de manera integral.

Para Birgit Walter [6], Diseñadora de iluminación y Codirectora de Master Lighting Design-UPCatalunya “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)”

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”.

B. El rol de la tecnología LED en el diseño lumínico

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 dimensiones, color y control de la luz, han posibilitado la generación de nuevas luminarias, espacios lumínicos dinámicos y la incorporación en múltiples componentes del espacio y equipamiento [8].

Recuperando lo investigado en el Proyecto 2018-19 [9] referido a LEDs, se considera que 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.

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 [10] “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”.

C. Análisis de casos

El relevamiento, sistematización y análisis de ejemplos representativos de iluminación arquitectónica, de espacios interiores de diferentes escalas y usos permitió detectar factores, variables y estrategias de diseño. 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.

Para ello, los casos de estudio fueron:

-Estación del Metro de Moscú (Rusia), Biblioteca Pierre Veillet, Bordeaux (Francia); Hotel VP Plaza España, Madrid (España); Club Bala Perdida (Madrid) Centro Cultural Kirchner, CABA (Argentina); COC coctelería, Villa Allende (Córdoba); Punto W, Villa Warcalde, Córdoba (Córdoba); Viviendas varias, de diferentes autores y localizaciones.

D. Detección de variables

Se realizó un análisis crítico, 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. A partir de la conceptualización se tomaron los casos de estudio citados para el análisis, partiendo de la consideración de las 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.

E. Encuestas

La realización de encuestas a profesionales vinculados al diseño de iluminación, permitió conocer cómo conceptualizan la iluminación arquitectónica. Estas demostraron que la iluminación arquitectónica es un concepto en evolución y en cierta manera indefinido según desde qué campo se la considere, ya sea desde la arquitectura, ingeniería, psicología, diseño de interiores, artes plásticas, entre otras.

Las observaciones realizadas por profesionales, verifica las hipótesis planteadas en este proyecto:

1. Las nuevas tecnologías de iluminación posibilitan soluciones de diseño creativas, eficientes y sustentables.
2. La iluminación integrada a los entornos construidos favorece estrategias de diseño innovadoras para crear espacios

perceptualmente confortables, que estimulan nuevos usos y roles en la iluminación arquitectónica contemporánea.

3. Los LEDs permiten nuevas soluciones tecnológicas, promoviendo la exploración de la luz y su interacción con la materialidad.

III. CONCLUSIONES

Desde lo conceptual, los análisis y entrevistas permitió arribar a conclusiones desde diversas dimensiones o variables. Conclusiones que permiten obtener un panorama integral y actualizado sobre la iluminación arquitectónica en relación a las nuevas tecnologías, de manera que contribuya a la toma de decisiones en la definición de proyectos de iluminación.

III.a. La iluminación como parte del proceso de diseño integral

Se observa la necesidad de un abordaje integral en el proceso de diseño involucrando los factores condicionantes, las variables y las estrategias de diseño como también las resoluciones tecnológicas y los resultados obtenidos.

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.

III.b. Estrategias de diseño en la iluminación arquitectónica contemporánea.

-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 el concepto 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.

-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, dado que, 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. En el campo de la arquitectura y el interiorismo la luz ha sido siempre una constante a debatir, y en la actualidad acompañado por los avances tecnológicos y cambios culturales adquiere relevancia.

Por todo lo expresado, es que se abre un campo profesional para los diseñadores, en plena difusión, expansión y permanente actualización de la mano de las nuevas tecnologías.

IV. REFERENCIAS

- [1] Montaner, J. M. (2015) La condición contemporánea de la arquitectura. Barcelona: G. Gili.
- [2] 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:
- [3] Torelló, E. (2015) El espíritu creativo del LED. En Sá, A. Aplicaciones del LED en diseño de iluminación, (Págs. 173-178). Barcelona: Marcombo.
- [4] Kepes, G. (1969) El lenguaje de la visión. Buenos Aires: Infinito.
- [5] Pallasmaa, J. (2016) Los ojos de la piel. La arquitectura y los sentidos (2da. Ed. Ampliada). Barcelona: G. Gili.
- [6] 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.
- [7] Urbano, R. (2017) De la bombilla a la bacteria. Arquitectura Viva (197), págs. 71 a 74.
- [8] Zoppi, C. et al (2019) Tecnologías disruptivas y nuevos paradigmas en iluminación y diseño. SECyT, Universidad Nacional de Córdoba.

[9] Sá, A. et al. (2015) Aplicaciones del led en diseño de iluminación. España: Marcombo

V. BIOGRAFIAS

	<p>Arq. Carlos Augusto Zoppi Profesor Titular INSTALACIONES III-A FAUD-Universidad Nacional de Córdoba. Director de proyectos de Investigación SECyT. Córdoba. Profesor Titular DISEÑO LUMÍNICO I y II. FAD - Universidad Provincial de Córdoba. Miembro de la AADL</p>
	<p>Mg. Arq. Mariano Alfredo Cortadi Profesor Adjunto INSTALACIONES III-A FAUD-Universidad Nacional de Córdoba. Investigador SECyT. Córdoba. Profesor Titular ACÚSTICA Y LUMINOTECNIA. Facultad de Arquitectura- U. Católica de Córdoba.</p>
	<p>Arq. Cecilia Gisela Aguirre Lara Profesora Asistente INSTALACIONES III-A FAUD-Universidad Nacional de Córdoba. Investigador SECyT. Córdoba. Adscripta en DISEÑO LUMÍNICO II. FAD – Universidad. Provincial de Córdoba.</p>

TEMA 3

LUZ, INDUSTRIA Y ACADEMIA



Sobre la caracterización del sistema actual de iluminación de aulas de la Universidad de Mendoza.

Aliquó Jeremias¹, Gonzalez Ignacio¹, Hernández Ignacio¹, Starikuvich Ivo¹

¹Universidad de Mendoza – Mendoza, Argentina
jeremias.aliqo@um.edu.ar

Resumen: Este proyecto de investigación busca diagnosticar y analizar el estado actual del sistema de iluminación en las aulas de la Universidad de Mendoza, con el propósito de generar conocimiento aplicable sobre sus condiciones técnicas y operativas. Para ello, se desarrolla un estudio comparativo entre el sistema implementado y los estándares nacionales e internacionales que regulan la calidad de la iluminación en entornos educativos.

La metodología incluye la caracterización experimental de las fuentes de luz, mediante mediciones sistemáticas de sus parámetros lumínicos y eléctricos. Los datos obtenidos permiten identificar deficiencias críticas y, a partir de ellas, diseñar propuestas técnicas concretas para optimizar la calidad de la iluminación en las aulas. Estas alternativas buscan no solo cumplir con las normativas vigentes, sino también implementar acciones sostenibles que garanticen condiciones visuales adecuadas para el desarrollo académico.

Abstract: This research project aims to diagnose and analyze the current state of the lighting system in the classrooms of the University of Mendoza, with the goal of generating applicable knowledge about its technical and operational conditions. To this end, a comparative study is being conducted between the implemented system and the national and international standards that regulate lighting quality in educational environments.

The methodology includes the experimental characterization of the light sources through systematic measurements of their luminous and electrical parameters. The data obtained allows for the identification of critical deficiencies and, based on these, the design of specific technical proposals to optimize classroom lighting quality. These alternatives seek not only to comply with current regulations but also to implement

sustainable practices that guarantee adequate visual conditions for academic development.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad de la iluminación en espacios educativos es un factor crítico que incide directamente en el rendimiento académico, el confort visual y la salud de estudiantes y docentes. En este contexto, la Universidad de Mendoza enfrenta un sistema de iluminación obsoleto, caracterizado por la persistencia de tecnologías fluorescentes con más de tres décadas de antigüedad y una migración parcial y desorganizada hacia luminarias LED. Este escenario motivó una investigación exploratoria cuyo objetivo principal fue evaluar el grado de cumplimiento del sistema actual con los estándares técnicos establecidos por la normativa IRAM-AADL J 20-06, así como identificar oportunidades de mejora en términos de eficiencia energética, calidad de luz y mantenimiento.

El estudio se enmarca en la necesidad de generar conocimiento aplicable no solo a la institución, sino también a la formación de recursos humanos especializados en luminotecnia, un área con escasa oferta académica formal en la región. La investigación se desarrolló bajo limitaciones presupuestarias que impidieron la adquisición de instrumental avanzado para medir parámetros de calidad de luz, como el índice de reproducción cromática (CRI) y la temperatura de color correlacionada (CCT), los cuales fueron estimados a partir de datos declarados por los fabricantes o inspección visual.

II. ANTECEDENTES Y CONTEXTO

El sistema de iluminación de la Universidad de Mendoza presenta dos problemas estructurales: obsolescencia tecnológica y falta de planificación. Por un lado, persisten tubos

fluorescentes T8, tecnologías ya retiradas del mercado por su baja eficacia luminosa y alto consumo energético. Por otro, la migración a LED se ha realizado sin criterios técnicos unificados, lo que ha derivado en una heterogeneidad de marcas, temperaturas de color (que oscilan entre 4000K y 6500K) y valores de CRI no documentados. Esta situación se agrava por la ausencia de un programa de mantenimiento preventivo, que ha llevado a la acumulación de luminarias quemadas, soluciones provisorias y una degradación acelerada del sistema.

La normativa IRAM-AADL J 20-06 establece requisitos mínimos de iluminancia para espacios educativos, como 500 lux para aulas comunes y 1000 lux para pizarras, valores que, según observaciones preliminares, no se cumplen en la mayoría de los ambientes. Además, la falta de mediciones previas impidió contar con una línea de base para comparar la evolución del sistema, lo que subraya la relevancia de este estudio como primer diagnóstico integral.

III. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo central de la investigación fue caracterizar el sistema de iluminación actual en las facultades de Ingeniería y Arquitectura, Urbanismo y Diseño, contrastándolo con los parámetros normativos, para luego proponer alternativas de mejora. Para ello, se diseñó una metodología basada en tres ejes: relevamiento de campo, análisis de datos y evaluación de conformidad.

El relevamiento se llevó a cabo mediante mediciones de iluminancia con un luxómetro CEM DT-3809 debidamente certificado, siguiendo un protocolo que incluyó la identificación de zonas críticas (pupitres, pizarras, mesas de trabajo) y la toma de muestras representativas en cada ambiente. Se calculó la iluminancia media, máxima y mínima, así como los índices de uniformidad (media y extrema) para cada sector. Los datos se recolectaron durante la noche para evitar la influencia de la luz natural, y se compararon con los valores de referencia de la norma IRAM-AADL J 20-06.

Paralelamente, se registraron parámetros eléctricos de las luminarias, como potencia, factor de potencia y tecnología (fluorescente o LED), con el fin de evaluar la eficiencia energética del sistema. La potencia instalada total en ambas facultades ronda los 18 kW, con un consumo real similar entre tecnologías debido a la baja eficacia de los tubos LED instalados, que no superan los 80 lm/W en la mayoría de los casos.

Dependencia	Iluminancia (lux)
Aulas comunes	500

Sobre pizarrón	1000
Oficinas	500
Bibliotecas	400
Aulas especiales	750

Tabla 1: Niveles mínimos de iluminancia media en ámbitos educativos.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados del estudio revelaron un incumplimiento generalizado de los estándares de iluminancia en el 90% de los espacios evaluados. En las aulas comunes, por ejemplo, la iluminancia media osciló entre 129 lux y 575 lux, la mayoría de las aulas por debajo de los 500 lux requeridos, mientras que en las pizarras los valores rara vez superaron los 450 lux (frente a los 1000 lux normativos). Esta deficiencia es especialmente crítica en ambientes como el *Laboratorio de Máquinas Eléctricas*, donde se registraron valores medios de solo 129 lux en zonas de trabajo, y en el *Aula H*, con una iluminancia media de 271 lux y uniformidades extremas inferiores a 0.5, lo que indica una distribución desigual de la luz.

En cuanto a la calidad de la luz, se observó una gran dispersión en la temperatura de color, con valores que van desde 4000K (luz neutra) hasta 6500K (luz fría), sin un criterio claro de selección. Esta variabilidad puede afectar el confort visual y el ritmo circadiano de los usuarios, especialmente en aulas donde se combinan fluorescentes y LED con diferentes CCT. Además, el índice de reproducción cromática (CRI) no pudo ser evaluado en la mayoría de los casos por falta de datos, aunque en las pocas lámparas donde se declaró, los valores oscilaban entre 70 y 80, cercanos al mínimo aceptable para entornos educativos.

Desde el punto de vista eléctrico, el sistema presenta una oportunidad significativa de ahorro energético. Aunque el 70% de las luminarias ya son LED, su eficacia es baja (similar a la de los fluorescentes), lo que mantiene el consumo en torno a los 9 kW por tecnología. Una migración planificada a LED de alta eficacia (≥ 150 lm/W) podría reducir el consumo a la mitad, generando ahorros tanto económicos como ambientales.

V. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

El estudio confirmó la hipótesis inicial: el sistema de iluminación de la Universidad de Mendoza es obsoleto, heterogéneo y no cumple con los estándares técnicos vigentes. La falta de un plan de mantenimiento y la migración desordenada a LED han perpetuado condiciones de iluminación inadecuadas, con impactos negativos en el rendimiento académico y la

eficiencia energética. Sin embargo, los resultados también abren oportunidades concretas para mejorar la situación:

1. **Migración tecnológica:** Reemplazar todas las luminarias fluorescentes y LED de baja eficacia por modelos con CRI ≥ 80 , CCT de 4000K (para mantener un ambiente neutro) y eficacia ≥ 150 lm/W. Priorizar aulas con peores resultados, como el Laboratorio de Máquinas y el Aula H.
2. **Programa de mantenimiento:** Implementar un plan preventivo que incluya inspecciones semestrales, limpieza de luminarias, reemplazo inmediato de lámparas defectuosas y mediciones periódicas de iluminancia para garantizar el cumplimiento normativo.
3. **Sistemas inteligentes:** Evaluar la instalación de sensores de presencia y regulación automática de flujo luminoso según la luz natural disponible, lo que podría optimizar aún más el consumo energético.
4. **Capacitación:** Formar al personal técnico en normativas de iluminación y mantenimiento, y promover la investigación aplicada en luminotecnia, un área con escaso desarrollo local-

Este trabajo sienta las bases para proyectos posteriores, como el diseño de un sistema de iluminación centrado en el ser humano (HCL), que ajuste dinámicamente la temperatura de color según el horario para mejorar el confort y el rendimiento. También se propone explorar soluciones de gestión inteligente de la iluminación, con monitoreo en tiempo real y análisis de datos para la toma de decisiones. Finalmente, sería valioso replicar este estudio en otras facultades de la universidad para obtener un diagnóstico integral y escalar las propuestas de mejora. Los culturales adquiere relevancia.

Por todo lo expresado, es que se abre un campo profesional para los diseñadores, en plena difusión, expansión y permanente actualización de la mano de las nuevas tecnologías.



Análisis del comportamiento térmico dinámico de un LED COB mediante Holografía Interferométrica Digital

Antonella Benitez Wagner, Delfina Rocha, Juan Hasenauer, Fabio Vincitorio

GIF UTN Paraná. Universidad Tecnológica Nacional. Almafuerite 1033, Paraná Entre Ríos Argentina. fabiovincitorio@frp.uitn.edu.ar

Resumen: La Holografía Interferométrica Digital (HID) es una técnica óptica que permite registrar deformaciones desde 300 nm en objetos tridimensionales, como los dispositivos LED, cuando son sometidos a cambios térmicos. Estos sistemas disipan parte de la energía como calor, lo que genera dilataciones dimensionales que pueden provocar esfuerzos mecánicos.

En los LED tipo COB (Chip on Board), los componentes están integrados sobre un sustrato común en contacto con un disipador primario, que a su vez suele acoplarse a un segundo disipador estructural. A diferencia del contacto relativamente flexible entre disipadores, la unión entre el sustrato y el disipador primario es rígida, lo que produce dilataciones no uniformes durante los ciclos térmicos.

Mediante HID, se analizaron estas deformaciones en un LED COB extraído de una luminaria de alumbrado público, sometido a variaciones térmicas controladas inferiores a 40 °C. Se detectaron tensiones térmico-mecánicas en la interfaz entre la pastilla del LED y el disipador durante los encendidos y apagados.

Estos resultados permiten describir el comportamiento térmico del sistema y sugieren que el diseño de la interfaz de disipación puede tener un impacto directo en la durabilidad del componente.

Palabras claves: Holografía, comportamiento, LED COB, temperatura.

Abstract: Digital Holographic Interferometry (DHI) is an optical technique that enables the detection of deformations as small as 300 nm in three-dimensional objects, such as LED devices, when subjected to thermal variations. These systems dissipate part of their energy as heat, leading to dimensional changes that can induce mechanical stresses if not properly managed.

In Chip-on-Board (COB) LEDs, components are integrated on a common substrate in contact with a primary heatsink, which is often coupled to a secondary structural heatsink. Unlike the relatively flexible interface between heatsinks, the bond between the substrate and the primary heatsink is rigid, resulting in non-uniform thermal expansion during operation.

Using DHI, thermal deformations were analyzed in a COB LED extracted from a public lighting fixture, under controlled temperature variations below 40 °C. Thermo-mechanical stresses were observed at the interface between the LED die and the heatsink, particularly during power cycling.

These findings provide insight into the thermal behavior of COB LED systems under limited operational conditions and suggest that the interface design between the substrate and the heat dissipation system may have a direct impact on the component's lifespan.

Palabras claves: Holography, behavior, Temperature, LED COB.

I. INTRODUCCIÓN

La iluminación pública ha evolucionado desde las lámparas de arco eléctrico del siglo XIX, como las desarrolladas por Yablochkov en París y Londres, hasta las lámparas de vapor metálico y sodio utilizadas ampliamente en el siglo XX

En las primeras décadas del XXI, la tecnología LED se incorporó progresivamente al alumbrado urbano, impulsada por su alta eficiencia, menor consumo energético y mayor vida útil en comparación con sistemas tradicionales como las lámparas de alta presión de sodio o halogenuro metálico.

Los sistemas LED permiten reducir el consumo eléctrico y extender la vida útil del equipo siempre

que operen en las condiciones adecuadas. Asimismo, proyectos modernos aprovechan sistemas de iluminación inteligente y adaptativa, que ajustan la intensidad conforme al tránsito peatonal o vehicular a partir de sistemas tele gestionados. Todas estas posibilidades son un gran avance tecnológico que busca lograr sistemas cada vez más eficientes en sus prestaciones como en el consumo energético. Sin embargo, si las luminarias no alcanzan una vida útil mayores a las de tecnologías preexistentes entonces las luminarias LED se convierten en un problema mayor al tener que ser descartadas íntegramente.

En la iluminación LED pueden distinguirse dos grupos de tecnologías bien diferenciados [1,2,3]. Por una parte la tecnología denominada SMD de potencia se basa en múltiples chips montados sobre una placa de circuito impreso, ofreciendo alta eficiencia luminosa, modularidad y una distribución térmica no homogénea. Son compatibles con sistemas inteligentes y control de iluminancia adaptativa. Por la otra la tecnología LED COB (Chip-on-Board) integran múltiples juntas sobre un mismo sustrato, lo que puede generar una distribución térmica más homogénea pero con niveles más elevados y menor eficiencia lumínica por deriva térmica.

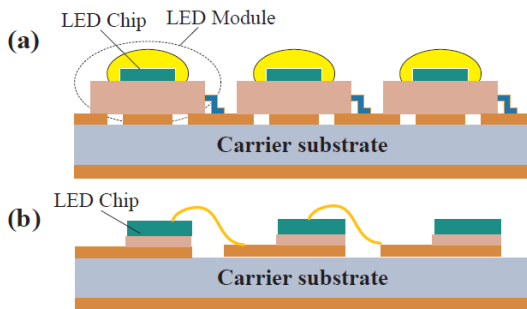


Fig. 1. (a) Esquema de montaje del led tipo SMD/SMT. (b) Esquema de montaje de un LED COB [4].

Es evidente que las ventajas comparativas en costo y eficiencia de los COB tienen como contraparte un problema térmico asociado con su topología de construcción. Tanto en los SMD como en los COB el calor generado en la junta debe propagarse a través de diferentes materiales que presentan resistencias térmicas diferentes y por lo tanto con coeficientes de dilatación diferentes en intervalos de temperatura particulares para cada material [4]. Es lógico por lo tanto presuponer la existencia de tensiones mecánicas en los transitorios de encendido y apagado considerando la demora en alcanzar la estabilidad térmica cada una de las 3 capas generales de montaje [4].

En este trabajo se muestran los resultados de analizar el comportamiento térmico mecánico de una pastilla COB montada en una luminaria de APU (Alumbrado Público Urbano) en la cual existe

un sistema de sujeción particular el que en conjunto con el COB proveen una camino específico para la disipación térmica sobre la carcasa disipadora que integra la luminaria. Para esto se emplea IHD (Interferometría holográfica digital) un metodo de análisis interferométrico comparativo entre dos estados morfológicamente diferentes de una misma pieza.

II. MARCO TEÓRICO

La IHD es una técnica de evaluación de óptica de alta coherencia en la cual siempre es necesario combinar dos hologramas del mismo objeto de manera de poder registrar el comportamiento diferencial. Un holograma es capturado en la condición inicial y un segundo holograma luego de haber introducido la excitación que genera el cambio de las dimensiones de la pieza de interés. De esta forma, es posible obtener información tanto cualitativa como cuantitativa del comportamiento del objeto bajo estudio. El resultado de este procedimiento será la obtención de una imagen de fase en la que se observa una distribución de franjas. Estas franjas representan el cambio dimensional tal como se observa en la Figura 2.

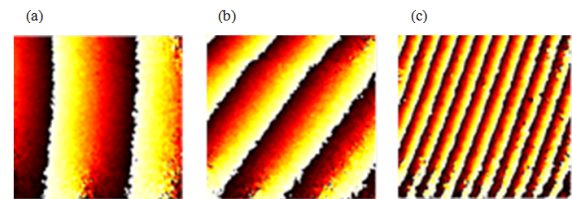


Fig. 2. (a) Diagrama de fase correspondiente a dilatación predominante en x. (b-c) Diagramas de fase de dilatación z-x. Considerando un plano paralelo a al plano de la página siendo x la dimensión en dirección izquierda derecha y z la dirección perpendicular al plano.

Matemáticamente la fase relativa registrada sobre la combinación de los dos hologramas queda modelada por:

$$\varphi_1(\xi, \eta) = \arctang \frac{Im I_1(\xi, \eta)}{Re I_1(\xi, \eta)} \quad (1)$$

$$\varphi_2(\xi, \eta) = \arctang \frac{Im I_2(\xi, \eta)}{Re I_2(\xi, \eta)} \quad (2)$$

Para poder obtener una definición en la diferencia de fase más allá de los límites de la función, la diferencia de fase resultante de la interferencia de ambos frentes puede ser calculada en forma directa mediante la resta de las fases relativas [5].

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \quad \text{cuando } \varphi_1 > \varphi_2$$

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 + 2\pi \quad \text{cuando } \varphi_2 > \varphi_1 \quad (3)$$

Este modelo de reconstrucción digital es sumamente conveniente sin embargo no nos

permite obtener un diagrama de distribución de fase continua. Debido a esto, los algoritmos de IDH incorporan rutinas de desenvolvimiento o demodulación de fase [6]. El resultado es una distribución de fase continua que puede ser evaluada mediante la aproximación mostrada en la ecuación 4 [7].

$$\Delta d \approx \Delta x (\sin \theta_i - \sin \theta_o) - (\cos \theta_i + \cos \theta_o) \Delta z \quad (4)$$

Donde θ_i es el ángulo formado por la normal al plano del objeto y la dirección de incidencia del haz del objeto sobre este plano y θ_o es el ángulo formado por la normal al plano del objeto y la trayectoria de observación. Siendo θ_i de 20° objeto y θ_o un ángulo nulo, la ecuación se simplifica resultando las deformaciones en z y x en escalas de visualización diferentes.

$$\Delta d \approx 0,34\Delta x - 1,93\Delta z \quad (5)$$

La ecuación 5 nos permite definir la magnitud de las deformaciones.

III. MATERIALES Y MÉTODO

A. Técnica de IHD implementada

En este trabajo se utilizó como técnica general de doble camino óptico y doble exposición para implementar el esquema mostrado en la figura 2. Con un divisor de haz, la luz emitida por un láser He-Ne de 632.8 nm no polarizado se divide en dos haces (haz de referencia y haz del objeto) con una relación de intensidad de 1:1 entre ellos, controlada por un par de polarizadores lineales en el haz de referencia. En este caso, se utilizó una cámara monocromática USB3 "BlackFly" de Point Grey, con una resolución de 5 Mpix y una velocidad de 75 fps, siendo por lo tanto una implementación de IHD de acuerdo con lo documentado [9].

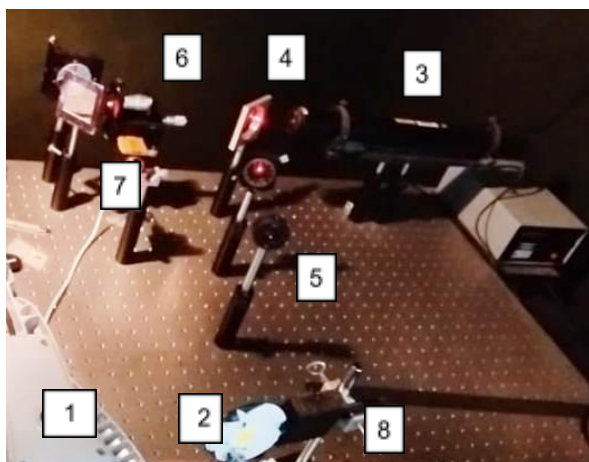


Fig. 3. Detalle del esquema de IHD utilizado. (1) Luminaria. (2) LED COB. (3) Láser He-Ne. (4) Divisor de haz 50 %. (5) Par polarizador analizador. (6) Sistema de lente y espejo para iluminación del haz del objeto. (7) Cámara. (8) Espejo cóncavo para expansión del haz de referencia.

El primer holograma se toma cuando el objeto está a alta temperatura (60°C a 70°C). El segundo holograma sobre una secuencia de hologramas distanciados en tiempo cada 300 ms. El haz de referencia se mantiene constante para ambas exposiciones.

B. LED COB Utilizado

El LED COB utilizado corresponde a una luminaria de 60 W construida con una sola pastilla la cual es montada sobre un sustrato de aluminio y plástico que a su vez se sujetará al disipador de la luminaria.



Fig. 4. Detalle del LED COB utilizado y su sistema de soporte el cual sirve para sujetarlo en la luminaria disipador.

Durante el ensayo por IHD el COB permanece conectado mediante sus cables de alimentación al driver alojado dentro de la luminaria de manera que se produzca el ciclo natural de encendido o apagado.

Durante los ensayos, cuando se busca analizar el frente de la pastilla, se debe tener en cuenta que el encendido producirá la saturación de la cámara por lo cual solo se podrá analizar el ciclo térmico de apagado. Por otra parte en esta posición se encuentra expuesto a la luz del laser el fosforo [4] que impide una correcta visualización del interferograma debido a su capacidad de reducir la coherencia mediante procesos de absorción y emisión.

Durante el análisis del comportamiento mecánico del sustrato metálico posterior fue posible obtener hologramas de la superficie durante el proceso de encendido.

Contemporáneamente al proceso de captura de los hologramas se realiza la toma de temperatura controlando que el sustrato no supere los 70°C con el fin de evitar daños en el LED.

C. Análisis complementario del comportamiento térmico de la luminaria mediante termografía

Con el fin de definir los puntos de concentración de calor en condiciones de funcionamiento normal de la luminaria se realizaron una secuencia de tomas termográficas con la cámara Testo 875, controlando su funcionamiento en régimen permanente.

IV. RESULTADOS

A. Análisis termográfico de la luminaria

Colocada la luminaria en el banco de pruebas se deja a esta alcanzar la temperatura máxima de operación de 58°C tomados en el centro de la luminaria con una termocupla tipo K, sobre la ubicación del LED, coincidente con los registros termográficos.

Los patrones de comportamiento térmico muestran una distribución uniforme de la temperatura en la zona del disipador siendo radial desde la zona de ubicación del LED.

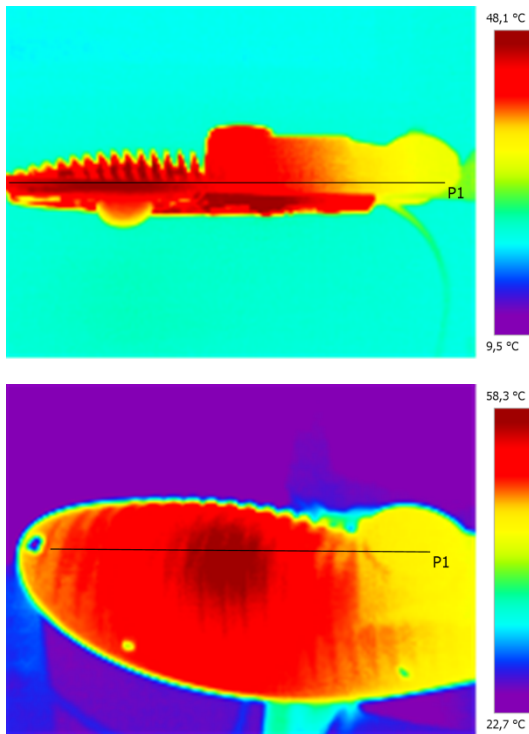


Fig. 5. Imágenes del análisis termográfico realizado sobre la luminaria en condiciones de operación normales. En la vista superior puede verse la zona de mayor temperatura coincidente con la ubicación del COB.

B. Análisis mediante IHD del frente del COB

Montado el LED en el esquema óptico se realiza el análisis de comportamiento de este, teniendo en cuenta que el recubrimiento resulta de material fotosensible y por lo tanto con capacidad de destrucción de coherencia. En la figura 6 se observa el resultado de la IHD para la pastilla del COB entre 2 imágenes separadas 3 segundos un equivalente a 2 °C de intervalo térmico. El diagrama de franjas de la IHD representa claramente un comportamiento de deformación en 2 dimensiones con centro de curvatura desplazado hacia la derecha. La deformación es predominante en Z existiendo una concavidad o convexidad en la deformación de la pastilla. Que el centro de las franjas concéntricas se encuentre

desplazado nos indica la existencia de un punto de soporte o rigidez mayor al resto de la pastilla. Claramente se observa que esta no se deforma uniformemente pudiendo derivar en rupturas por estrés mecánico.

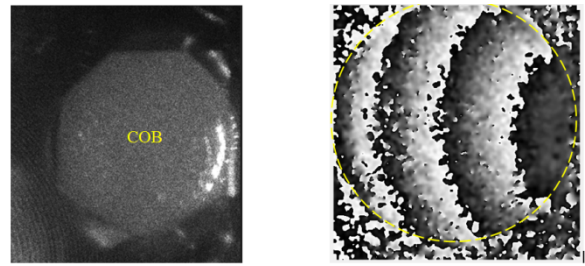


Fig. 6. Imágenes del análisis IHD realizado sobre la cara frontal del conjunto COB sustrato.

El diagrama de reconstrucción de fase tridimensional representa una idea del proceso de deformación del objeto, en este caso el diagrama muestra la curvatura resultante del proceso de dilatación, donde se observa claramente la curvatura asimétrica del COB.

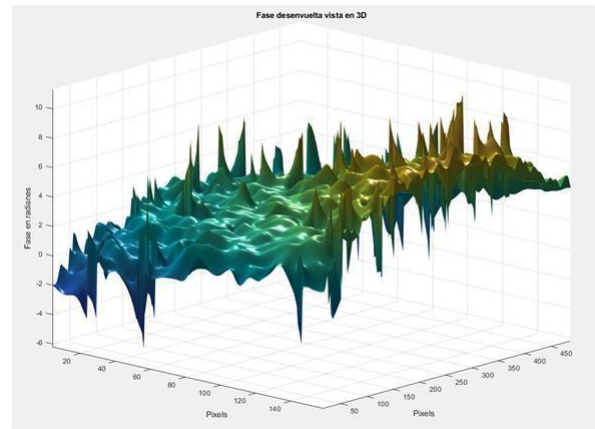


Fig. 7. Diagrama de fase demodulada en el que se observa el patrón de deformación.

El diagrama mostrado en la figura 7, se encuentra cubierto de picos que salen fuera de la superficie además de un patrón rugoso. Lo primero se debe a deformaciones localizadas muy posiblemente asociadas a los LED que integran la matriz del COB. La rugosidad se asocia fundamentalmente con el recubrimiento ópticamente activo que utiliza este dispositivo que tiende a romper la coherencia entre los hologramas de fase.

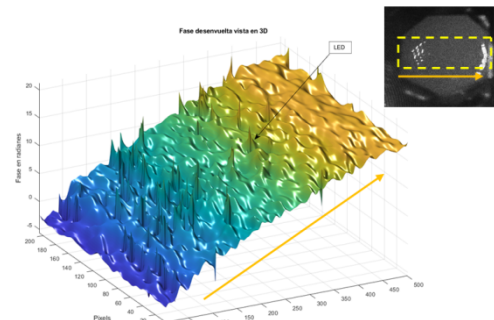


Fig. 8. Diagrama de fase demodulada de corte horizontal.

En la figura 8 se observa un corte de la deformación sufrida por el COB en una franja que abarca la zona central de la pastilla.

La reconstrucción del proceso de deformación puede ser realizada en un modelo sólido en el cual se aprecian claramente la bidimensionalidad de la deformación. Si el proceso de deformación fuera de dilatación térmica lineal sin curvaturas el resultado sería un plano inclinado perfecto. En este caso además del plano inclinado es posible apreciar la curvatura de la superficie, tal como se observa en la Figura 9, donde las diferencias de alturas en diferentes zonas representan una deformación mayor cuanto más alta es la representación del sólido resultante.

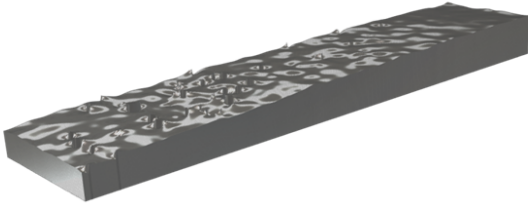


Fig. 9. Representación en sólido del patrón de deformación sufrido por el COB en la franja central tomado del ensayo mostrado en la Fig. 8.

C. Análisis mediante IHD de la placa metálica posterior del COB

La placa metálica de soporte posterior del LED, sobre el que se produce la sujeción mecánica y la fase en el proceso de transferencia de calor fue analizada sobre el mismo esquema holográfico usado para el frente del COB. Los resultados obtenidos muestran un patrón mucho más claro en el holograma de fase resultante en dos temperaturas debido a que no existe el recubrimiento ópticamente activo. Desde el primer ensayo es posible observar el mismo fenómeno de deformación observado en el frente pero en este caso la deformación registrada es en el plano ZY (Vertical y fuera del plano) por lo cual a igual cantidad de franjas mayor deformación registrada, tal como se ve en la Figura 10.

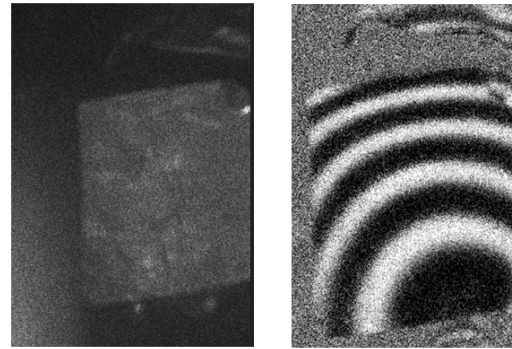


Fig. 10. Detalle de la zona analizada y diagrama de franjas obtenidas de la parte posterior del COB.

Con el fin de corroborar que la distribución de franjas se correspondiera con una deformación definida de la placa posterior se realizó una rotación para cambiar el plano a la dirección ZX. En este caso con un ángulo menor a 90°. La distribución de franjas se mantiene en la rotación demostrando ser un problema de deformación de la placa.

Nuevamente aparece una deformación de tipo convexidad o concavidad pero de magnitud mayor a la observada sobre el frente de la pastilla, incluso en igual intervalo de temperatura, esto es debido al cambio de dirección de la placa respecto al plano del holograma.

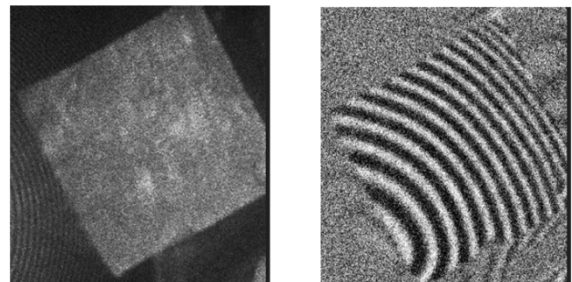


Fig. 11. Detalle de la zona analizada y diagrama de fase luego de una rotación cercana a 90°.

En la figura 11, al haber rotado la posición del objeto y mantenido el intervalo de temperaturas se observa como el número de franjas aumentó confirmado que la deformación posterior es mucho mayor a la deformación registrada en el frente. Tomando una franja longitudinal en el sentido de la distribución de franjas es posible observar el grado de disparidad en la distribución de las tensiones.

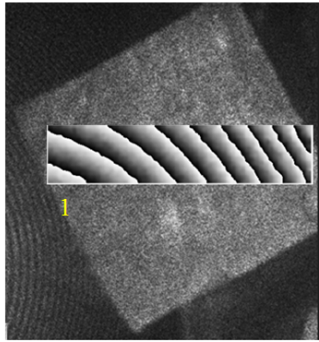


Fig. 12. Holograma de amplitud y holograma interferométrico de fase correspondiente a la franja central de la superficie posterior, sobre el soporte del COB.

El análisis mediante la reconstrucción del diagrama de fase demodulada muestra como existe una curvatura asimétrica debido a una dilatación no uniforme además de existir una deformación cóncavo convexo sobre la placa posterior, lo que da lugar a un comportamiento diferencial entre la pastilla del COB y el sustrato posterior.

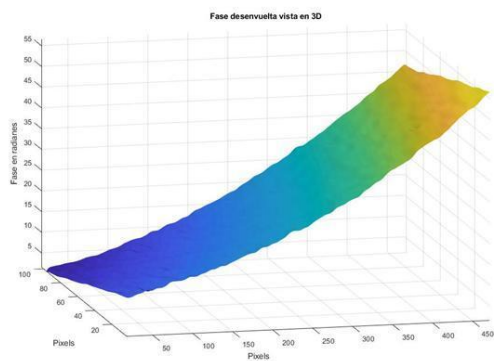


Fig. 13. Diagrama de fase demodulada que muestra el comportamiento en deformación de la zona central del sustrato.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Si bien la bibliografía consultada no hace referencia a los problemas derivados de tensiones resultantes de procesos térmico mecánico si es profusa la información respecto del comportamiento térmico del COB. Es evidente que la concentración de de juntas sobre una misma pastilla presenta un desafío importante para lograr una correcta disipación de la temperatura generada. Por otra parte es importante para el diseñador de la luminaria conocer en detalle las características térmicas de la pastilla utilizada. En este caso el análisis termográfico muestra claramente que el diseñador ha optimizado el proceso de disipación, logrando una temperatura media baja sobre el disipador. Esto hace que puedan ser descartadas como hipótesis de daño prematuro no respetar las características térmicas de la pastilla. A partir de esto, si bien se desconocen los índices de fallas de esta luminaria, queda como única alternativa de daño

térmico las tensiones generadas entre las diferentes capas constructivas del LED.

Los resultados obtenidos por IHD muestran claramente que existen comportamientos diferenciales entre la cara anterior y la posterior. Particularmente se observa que a iguales intervalos de temperatura las deformaciones son más importantes sobre el sustrato que sobre el propio LED. Siendo que ambos se encuentran rígidamente unidos el resultado de los procesos de encendido y apagado son ciertamente una fuente de tensiones que pueden afectar la estructura del conjunto.

En ambos casos se observa una tendencia a la curvatura fuera del plano del objeto, esto es una concavidad o convexidad pero con dimensiones muy diferenciadas, mientras que la deformación del COB alcanza unos 20 radianes la del sustrato metálico llega a los 50 radianes de fase relativa (aplicable a la ecuación 5).

VI. CONCLUSIONES

Del análisis mediante HID demuestra claramente que existen esfuerzos térmicos mecánicos sobre la pastilla del LED COB que llevarán a la fractura de esta. Las diferencias de deformación entre la pastilla y el soporte son de un 100 % mayor dentro del intervalo de tiempo asociado al proceso de enfriamiento natural. Este comportamiento es esperable que se presente durante el encendido. Es así que la pastilla se contrae a una tasa mucho menor que el soporte metálico generando tensiones entre las partes. Por otra parte, el hecho que se registren en ambos casos procesos de deformación en curvatura agrega además riesgo de fractura en la pastilla.

De los resultados obtenidos se concluye que si no existe un control térmico de los procesos de encendido y apagado el fallo se producirá dentro de un número definido de ciclos de conmutación, siendo esta la principal causa de falla en la luminaria debida al LED.

VII. REFERENCIAS

- [1] Ates, S., Yurtseven, M. B., & Onaygil, S. (2019). DESIGN OF A CHIP ON BOARD (COB) LED BASED INDUSTRIAL LUMINAIRE WITH THERMAL SIMULATIONS. *Light & Engineering*, 27(2).
- [2] Wu, H. H., Lin, K. H., & Lin, S. T. (2012). A study on the heat dissipation of high power multi-chip COB LEDs. *Microelectronics Journal*, 43(4), 280-287.
- [3] Vakrilov, N., Andonova, A., & Kafadarova, N. (2015, May). Study of high power COB LED modules with respect to topology of chips. In 2015 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE) (pp. 108-113). IEEE.
- [4] Hamidnia, M., Luo, Y., & Wang, X. D. (2018). Application of micro/nano technology for thermal management of high power LED packaging—A review. *Applied Thermal Engineering*, 145, 637-651.
- [5] Schnars, U. and Jueptner, E., "Digital Holography", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (2005).

- [6] Thomas Kreis. "Handbook of Holographic Interferometry", WILEY-VCH Verlag. 2005.
- [7] F.M. Vincitorio, Desarrollo de la reconstrucción digital de imágenes holográficas para su aplicación a ensayos no destructivos, in: Thesis, Universidade da Coruña, 2014 <http://hdl.handle.net/2183/13884>.
- [8] Agustín Götte, Mónica Krenz, Fabio Vincitorio. La histéresis térmica origen fundamental en la falla de la tecnología LED. XVI Jornadas Argentinas de Luminotecnia. Santiago del Estero, 2019.

BIOGRAFIAS



Antonella Belén Benitez Wagner nació el 25 de junio de 2000 en la ciudad de Diamante, Entre Ríos, Argentina. Estudiante avanzada de Ingeniería Civil en la UTN FRP e integrante del Grupo de Investigación en Física Aplicada a la Ingeniería.



Delfina Rocha, nació en Paraná, provincia de Entre Ríos, el 4 de mayo de 1995. Es estudiante avanzada de la carrera Ingeniería en Electromecánica de la facultad Regional Paraná de la UTN. Se desempeña como ayudante de segunda en la cátedra Matemáticas para Ingenieros e integra los grupos de investigación GIF y GiePi en la UTN FRP. Actualmente realiza una pasantía en la Dirección de Alumbrado Público de la Ciudad de Paraná.



Juan Hasenauer, Nació en la ciudad de Paraná Argentina el 2 de junio de 1991. Se graduó de ingeniero en electromecánica en el año 2019. Actualmente cursa la maestría en energías renovables de la UTN FRP. Se desempeña como director técnico en la Dirección de Alumbrado Público de la Municipalidad de Paraná.



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 Universidade Da Coruña 2014. Profesor Titular de la cátedra de Física y Director del Grupo de Investigación en Física Aplicada a la Ingeniería. Director de la maestría en Energías Renovables que se dicta en la UTN FRP.



Colector espectral de luz

Carlos Lionel Colonna, Pablo Ixtaina, Agustina Petrozzino.

Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – Comisión de Investigaciones Científicas – Gonnet, Argentina. lionelcolonna@gmail.com

Resumen: El uso de iluminación LED aplicada en horticultura presenta la posibilidad de modelar el espectro, logrando reducir rangos que no significan grandes aportes al crecimiento del cultivo. Para el desarrollo de los prototipos de iluminación dentro del proyecto “horticultura dinámica”, se ha utilizado la reflexión en plantas a fin de conocer espectros de absorción y detectar prematuramente signos de senescencia o la presencia de agentes patógenos [1].

A la hora de obtener la reflectancia en las plantas, se presentan una serie de dificultades, tanto como la presencia de luces difusas externas, como su pequeña dimensión. En la actualidad existen equipos con la capacidad de realizar dicha tarea, que por lo general son costosos. Considerando que es un pequeño proyecto de bajo presupuesto, se buscó desarrollar un dispositivo integrador que pueda acoplarse al espectrómetro Avantes [2], de manera tal, que es capaz de medir la luz reflejada en una muestra pequeña. Dicho dispositivo está conformado por el colector (esfera integradora), la muestra, la fuente de luz de espectro conocido y una placa de referencia blanca, a lo que luego se le sumo un colimador al sensor permitiendo mejorar la sensibilidad.

El trabajo muestra aspectos de diseño del colector y los resultados de las primeras aplicaciones

Palabras claves: Reflectancia, espectro, longitud de onda.

Abstract: The use of LED lighting in horticulture offers the possibility of modeling the spectrum, reducing ranges that do not contribute significantly to crop growth. For the development of lighting prototypes within the “dynamic horticulture” project, reflection in plants has been used to determine absorption spectra and detect early signs of senescence or the presence of pathogens [1].

When obtaining reflectance in plants, a number of difficulties arise, such as the presence of diffuse external light and the small size of the plants. Currently, there are devices capable of performing this task, but they are generally expensive. Considering that this is a small, low-budget

project, the aim was to develop an integrating device that could be attached to the Avantes spectrometer [2] so that it could measure the light reflected from a small sample. This device consists of the collector (integrating sphere), the sample, the light source with a known spectrum, and a white reference plate, to which a collimator was later added to the sensor to improve sensitivity.

The work shows aspects of the collector's design and the results of the first applications.

Palabras claves: Reflectance, Spectrum, Wavelength

I. INTRODUCCIÓN

La horticultura presenta orígenes desde el sedentarismo humano, donde inició el arte y la ciencia de lograr el crecimiento de frutos, vegetales y hervas para el consumo de la población. Buscando así, jerarquizar el desarrollo de sus capacidades de siembra y cultivo, en sitios donde se cuente con disponibilidad de agua junto con la fertilidad de los suelos, permitiendo el crecimiento de especies vegetales en forma relativamente estable y con mayor rendimiento [3].

A medida que pasaron los años y con la incorporación de la iluminación artificial, se buscó tanto suplir las condiciones de baja luminosidad natural, tanto en los extremos polares, como en algunas épocas estacionarias con periodos más cortos de luz diurna.

Este trabajo está enmarcado en el Proyecto “Horticultura Dinámica”, ganador del concurso Ciencia y Tecnología en Energías Bonaerenses (Buenos Aires, Argentina, 2023). El Plan tiene como objetivo mejorar la sustentabilidad de la producción agrícola, mediante el desarrollo de sistemas alternativos de cultivo con aporte de radiaciones LED, tanto en forma exclusiva o como complemento a la luz solar

El análisis de la luz reflejada por especies vegetales (hojas principalmente) permite detectar particularidades en el espectro de absorción y

cambios de color, que resultan útiles para establecer el estado general del cultivo, su actividad y la posible presencia de agentes patógenos.

Si el objetivo es suplementar con luz artificial el crecimiento, al cuantificar la luz absorbida, podremos ajustar el espectro de estimulación a fin de optimizar su aprovechamiento o regular sus efectos.

II. PRINCIPIO DE REFLECTANCIA

La superficie de los objetos al ser iluminados por una fuente, tanto natural como artificial, presentan una absorción de ciertas longitudes de onda y otra parte es reflejada. Este fenómeno produce el "color" del objeto, del cual depende de la muestra como la fuente con la cual se la ilumina [4].

III. DISEÑO DEL DISPOSITIVO

El desarrollo del prototipo paso por varias etapas de modificaciones, donde inicialmente estaba constituida por una esfera la cual fue pintada internamente con material reflectivo difuso (a base de metil celulosa y carbonato de magnesio). Externamente se constituye de una carcasa a fin de brindar tanto protección como apoyo para la posición del sensor del espectrómetro y la luz de referencia. Permitiendo obtener una incidencia de la iluminación a ocho grados de la normal (posición donde es colocada la muestra) y con apantallamiento de la fibra óptica en dirección paralela a la muestra (imagen 1). El inconveniente que se presentó, fue que los tiempos de integración utilizados para la obtención de los datos, eran muy prolongados, rondando a los 30 segundos.

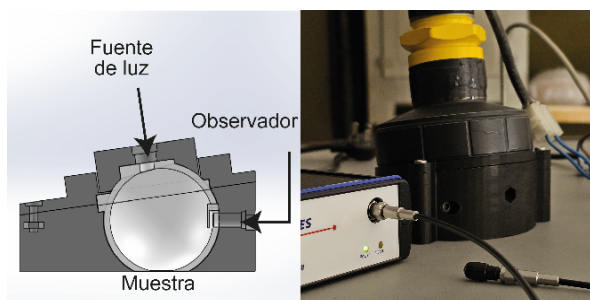


Imagen 1: Primer modelo.

Para contrarrestar los problemas, se cambió la geometría de medición, posicionando el sensor de manera perpendicular a la muestra y la fuente de luz a cuarenta y cinco grados con apantallamiento. De esta manera los tiempos se redujeron a solo unos cuantos segundos (imagen 2). Para este modelo, se pudo observar que la posición fija de la luz era un tema a resolver, dada la elevada temperatura por la radiación infrarroja que generaba. Además, al estar en mayor cercanía del dispositivo (respecto al modelo

previo), el calor producía la deformación de las piezas, quedando descartado el modelo para un uso prolongado.



Imagen 2: Segundo modelo.

La solución a la posición de la luz se resolvió colocando una base que permite mantener la distancia relativa a la esfera. Además, se pudo separar del propio equipo, evitando las deformaciones producidas por el calor en pequeños lapsos. Como adicional se le añadió un colimador en el extremo de la fibra óptica, lo que aumentó la sensibilidad y permitió reducir los tiempos de integración del equipo a los milisegundos (imagen 3).

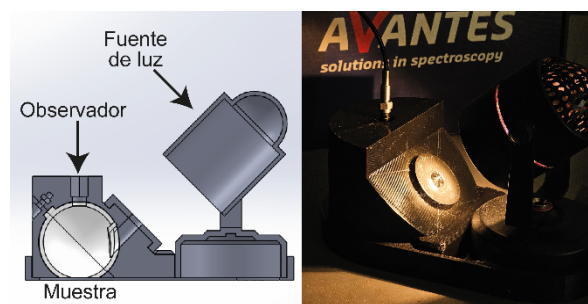


Imagen 3: Modelo final.

IV. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Para la utilización de la esfera, inicialmente se debe encender la fuente de luz un tiempo prudente a fin de dejarla estabilizar. Luego se posiciona en la base una placa de magnesio, siendo la difusora estándar blanca. Con la referencia en su posición, se toma el espectro reflejado de la propia fuente de luz incidente, simulando un iluminante tipo A de la CIE [5]. De esta manera se logra suprimir tanto el espectro propio de la lámpara como la selectividad de la propia esfera al realizar el cociente entre la muestra de interés con la referencia blanca.

El dispositivo puede ser utilizado para medir porciones de hojas de plantas, muestras de láminas de color, tiras retrorreflectivas, entre otras aplicaciones.

Es importante destacar, que los valores de reflexión obtenidos se encuentran dentro del rango visible de la fuente de referencia utilizada (entre los 400 y 800 nm).

COMPARATIVA

La diferencia que más se enmarca a la hora de usar el colimador con la esfera y usar la base con apantallamiento en medición directa (imagen 4), es una mayor presencia de la luz difusa, así como los tiempos de integración del equipo. En las figuras 1 y 2 podemos observar que las curvas son similares, pero se presentan valores de reflectancia mayor a la unidad en el caso de los paneles (imagen 4), siendo un indicio de que el procedimiento no es el correcto o apto. En este caso se efectuaron los ensayos en láminas de referencia impresa con los colores indicados de la leyenda grafica.

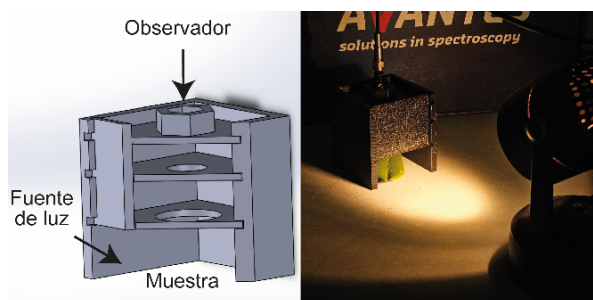


Imagen 4: Colimador apantallado.

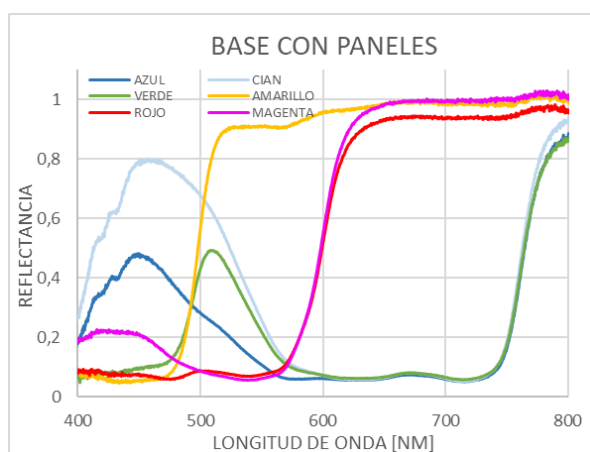


Fig. 1: Reflectancia de base con paneles.

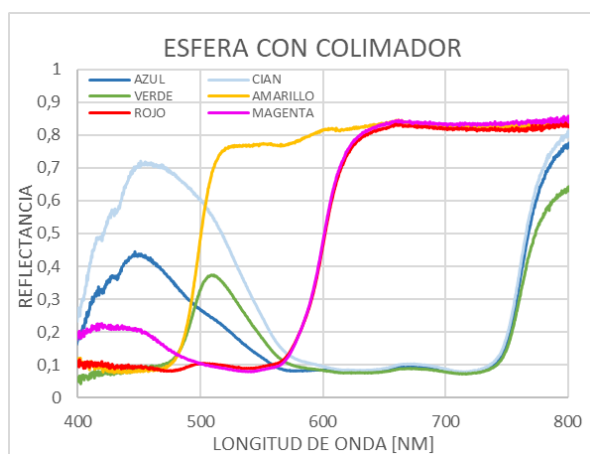


Fig. 2: Reflectancia de esfera con colimador

En las siguientes figuras 3 y 4, se obtuvieron las reflectancias en las hojas (HPV y HPA) y pétalos (PV y PA) de plantas con flores de color amarillo y

violeta, así como de un laurel (HL). Pudiendo observar el comportamiento cuando se miden muestras pequeñas. En este caso no hay una reflectancia que supere a la unidad, pero si se observan mayores valores que los obtenidos en el caso de hacer la medición con la esfera y el colimador.

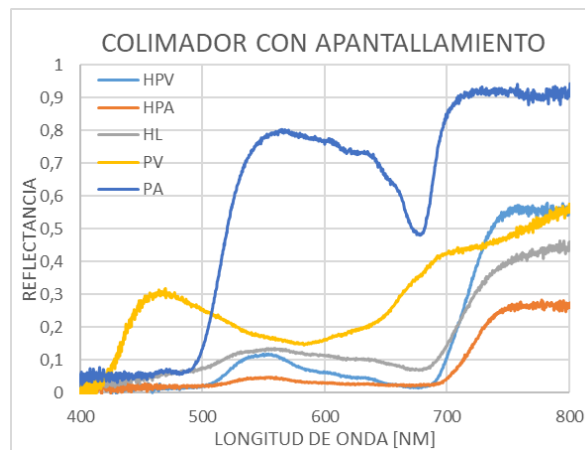


Fig. 3: Reflectancia de base con paneles

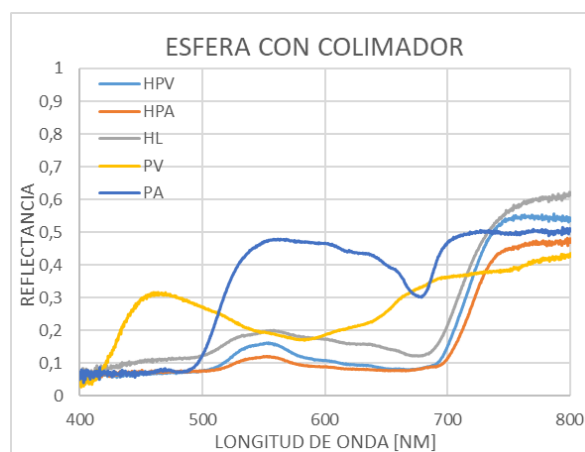


Fig. 4: Reflectancia de esfera con colimador

V. CONCLUSIONES

Con un prototipo de bajo coste, se logró obtener reflectancias de objetos pequeños en un menor tiempo y a su vez, con resultados más confiables que solo usando una base apantallada. La gran ventaja que presenta es que al necesitar modificaciones se aplican en el corto plazo, dado que es un producto realizado con impresión 3D.

Otra virtud es poder colocar distintas fuentes de iluminación de referencia externas, siendo útil en caso de requerir el uso de reflectancias en zonas específicas o en zonas de baja longitud de onda, donde una incandescente presenta un espectro pobre.

El inconveniente mayor que se tiene, es el calor de la propia lámpara por la radiación infrarroja, por lo cual luego de un uso prolongado, produce deformaciones en la zona exterior de la carcasa, condicionando al recambio de esa parte expuesta.

Esto podría solucionarse con impresiones de materiales más técnicos como asa, nylon, ABS, carbono, entre otros, pero por el momento no contamos con máquinas preparadas para ese tipo de impresión.

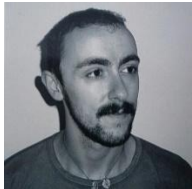
VII. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la CIC PBA, donde C.L.C. es Profesional Científico, P.I. es miembro de la Carrera del Investigador Científico y Tecnológico, A.P. es Técnica Asistente.

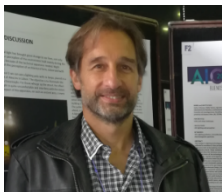
VIII. REFERENCIAS

- [1] Espectrómetro Avantes
<https://www.avantes.ru/en/spectrometer/avaspec3648.php>, consultado el 14/08/25
- [2] Ixtaina P, Colonna C., Pucheta A.
2024, Book of Abstracts of the International Colour Association Conference, Fresh Appearance and Color in Green Vegetables, Sao Pablo (Brasil).
- [3] Eduardo Sixto Leguizamón
2018, Ediciones INTA, Historia de la horticultura, ISBN 978-987-521-927-4
- [4] Keitz, H.A.E.
1974, Light calculations and measurements, Eindhoven (Holanda).
- [5] International Commission on Illumination
2018, CIE STANDARD ILLUMINANT A - 1931, Vienna (Austria).

IX. BIOGRAFIAS



Carlos Lionel Colonna (1991, Oriente, Bs. As., Argentina). Ing. Electrónico UNLP. Profesional de la CIC. Ha realizado cursos de postgrado en la UNLP, visitas a los laboratorios de LMT (Berlín, Alemania) y Avantes (Apeldoorn, Países Bajos), participado en la realización de trabajos de investigación y actualmente desarrolla sus actividades y su doctorado en el laboratorio de Acústica y Luminotecnia – LAL CIC.



Pablo R. Ixtaina (1965, La Plata, Bs. As., Argentina). Mg en Ingeniería, UNLP, docente en carreras de grado y posgrado en UNLP y UTN. Investigador CIC y director del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – LAL CIC



Agostina Petrozzino (1985, CABA, Argentina). Estudiante de la Licenciatura en Óptica Ocular y Optometría (UNLP). Personal de apoyo de la CIC y docente en la UNLP. Ha

realizado capacitaciones en calidad y participa en actividades de investigación tanto en el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia (LAL) como en la funcionalidad visual y patrones de rastreo ocular en la detección de disfunciones oculomotoras asociadas a dificultades en la lecto-comprensión.



Desarrollo de una cámara hiperespectral y su correspondiente interfaz para el análisis espectral de entornos naturales

José M. Fanchini

Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV), CONICET - Universidad Nacional de Tucumán | Depto. de Luminotecnia, Luz y Visión, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina

María L. Sandoval-Salinas

Instituto de Investigaciones de Biodiversidad Argentina (PIDBA), Facultad de Ciencias Naturales e IML, Universidad Nacional de Tucumán | ILAV, CONICET - Universidad Nacional de Tucumán, Argentina

Pablo A. Barrionuevo

ILAV, CONICET - Universidad Nacional de Tucumán, Argentina | AG Sensomotorisches Lernen, Fachbereich Psychologie, Philipps-Universität Marburg, Alemania

Resumen: Se presenta el desarrollo de una cámara hiperespectral terrestre de corto alcance. El sistema captura imágenes en múltiples longitudes de onda usando un filtro sintonizable que permite la adquisición de información espectral detallada cada 10 nm en el rango de 420 a 720 nm, con radiancia de $3,11E-04$ a $5,75E-01$ W/cm²·nm. Se utiliza como sensor una Blackmagic Cinema Camera modificada. Las imágenes, almacenadas en formato .DNG de 12 bits, son procesadas con Python.

El procesamiento genera un cubo hiperespectral en formato .H5 con 31 bandas espectrales. La interfaz permite: 1) seleccionar regiones de interés de 100x100 píxeles, 2) calcular estadísticas descriptivas (promedio, desviación estándar, máximo y mínimo) por banda espectral, y 3) graficar y exportar los resultados en formato .CSV.

Conociendo la sensibilidad espectral de la cámara y la transmitancia del filtro y de la óptica, se estima la radiancia espectral por grupo de píxeles. Esta información permite identificar la composición espectral de elementos del entorno natural, aplicable en monitoreo ambiental, análisis de vegetación, estudio de reflectancia y evaluación de efectos visuales y no visuales.

El sistema constituye una herramienta versátil y

accesible para investigaciones que requieran caracterización espectral en el rango visible.

Abstract: The development of a short-range terrestrial hyperspectral camera is presented. The system captures images at multiple wavelengths using a tunable filter, enabling the acquisition of detailed spectral information every 10 nm within the 420 to 720 nm range, with radiance values ranging from $3.11E-04$ to $5.75E-01$ W/cm²·nm. It uses a modified Blackmagic Cinema Camera as the sensor, and the images, stored in 12-bit .DNG format, are processed using Python.

The processing generates a hyperspectral cube in .H5 format with 31 spectral bands. The interface allows: 1) selecting regions of interest of 100x100 pixels, 2) calculating descriptive statistics (mean, standard deviation, maximum, and minimum) for each spectral band, and 3) plotting and exporting the results in .CSV format. Knowing the camera's spectral sensitivity, and the transmittance of the filter and optics, the spectral radiance is estimated for each pixel group. This information enables the identification of the spectral composition of natural scene elements, with applications in environmental monitoring, vegetation analysis, reflectance studies, and the evaluation of visual and non-visual effects.

The system represents a versatile and

accessible tool for research requiring spectral characterization in the visible range.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas tradicionales de captura de imagen integran rangos de longitudes de onda amplios (Fig. 1), sin registrar la distribución espectral precisa del entorno. Ante esta limitación, las cámaras hiperespectrales capturan información espectral detallada en múltiples bandas estrechas, logrando una caracterización más precisa de la escena. Tales cámaras se clasifican en cámaras de línea, de punto y sistemas con filtros sintonizables de cristal líquido [1].

Debido al alto costo de estos equipos sofisticados, en este trabajo se presenta el desarrollo de una cámara hiperespectral de 31 bandas entre 420 y 720 nm, mediante la modificación de una cámara comercial que permite registrar imágenes crudas (directamente desde el sensor) del entorno visual.

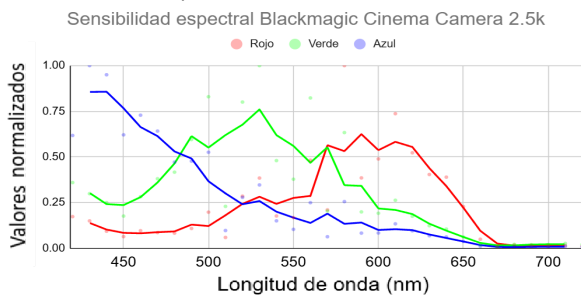


Fig. 1. Curva de sensibilidad espectral de la Blackmagic Cinema Camera para los canales rojo, verde y azul.

II. METODOLOGÍA

Se desarrolló un sistema de captura hiperespectral utilizando un filtro sintonizable Kurios KURIOS-XL1/M [2], que permite seleccionar bandas espectrales estrechas cada 10 nm en el rango visible. Se diseñó un sistema óptico que admite lentes de cámaras comerciales permitiendo flexibilidad y capacidad de adaptación a distintas escenas. La sincronización del filtro se realiza mediante librerías en Python, automatizando la adquisición de imágenes espectrales. Las imágenes se organizan como un cubo hiperespectral mediante un software de interfaz, que también permite visualizar los datos y extraer curvas de reflectancia o radiancia espectral por región (i.e., grupo de píxeles).

A. La cámara

Para la elección de la cámara se evaluaron: sensibilidad espectral, rango dinámico,

profundidad de bits, tamaño del sensor y tiempo de adquisición por imagen. Se compararon los modelos Canon 5D Mark II, Canon T3i, QImaging QICAM FAST 1394 y Blackmagic Cinema Camera 2.5K [3]. Luego de dicha comparación, la cámara elegida fue la Blackmagic, que permite capturar imágenes en formato RAW de 12 bits, con resolución 2.5K y hasta 30 fps, resultando la opción más rápida y adecuada.

La Blackmagic Cinema Camera permite guardar imágenes en disco SSD, incorpora entrada de sonido y batería, y captura en formato .DNG de 12 bits sin compresión espacial ni temporal, lo que asegura alta fidelidad en los datos. Librerías como Rawpy permiten controlar el proceso de *debayering*. Su rango dinámico va de 0.46 cd/m² a 3500 cd/m² [3]. La entrada de sonido se utilizó como referencia para sincronizar la cámara con el filtro sintonizable.

B. El filtro sintonizable

Se utilizó un filtro KURIOS-XL1/M de Thorlabs, con rango espectral de 420 a 720 nm. Su transmitancia varía significativamente: desde un 1% a 420 nm hasta un 43% a 729 nm, lo que exige una buena respuesta del sensor en condiciones de baja iluminación.

El filtro sintonizable KURIOS-XL1/M ofrece mejores resultados cuando trabaja con haces paraxiales perpendiculares a su superficie. Dado que no es posible ubicar el filtro directamente entre el lente y el sensor de la cámara, se implementó un arreglo óptico con dos lentes convergentes de 100 mm y 120 mm (Fig. 2) para generar haces paraxiales, ubicando el filtro en el punto medio del sistema. Todo el sistema se sostiene mediante soportes impresos en 3D.

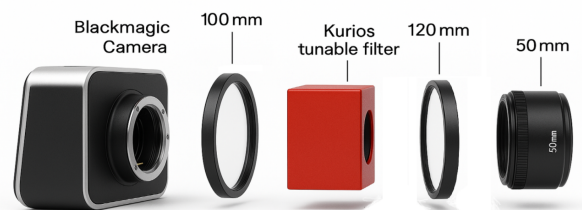


Fig. 2. Esquema del sistema óptico de la cámara hiperespectral, mostrando la disposición de los lentes y del filtro sintonizable.

La fidelidad del sistema se validó mediante comparación con un espectrorradiómetro SpectraScan PR-715 en laboratorio y fue puesta a prueba en una campaña de campo en Barranca Larga, Catamarca.

C. El software

Se desarrolló un controlador que sincroniza la cámara hiperespectral con el filtro sintonizable mediante señales de audio. El filtro recorre automáticamente 31 bandas espectrales en unos 7 segundos, mientras la cámara captura 25 cuadros por segundo, generando cinco fotogramas por banda. Un pulso de sonido, emitido al inicio de cada cambio de banda, es registrado por la entrada de audio de la cámara y permite identificar con precisión qué imagen corresponde a cada longitud de onda (Fig. 3).

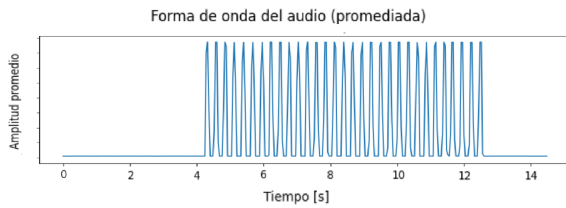


Fig. 3. Forma de onda de los pulsos de sincronización capturados por la cámara, alineados con la secuencia de imágenes adquiridas para cada banda espectral.

El software de procesamiento de datos abre el archivo de audio (.wav) y asocia cada pico sonoro con un fotograma específico. Una vez identificadas las 31 bandas espectrales, se procesan con *rawpy*, una librería de Python que aplica *debayering* lineal sobre los archivos RAW (.DNG) [4]. El script linealiza cada canal (rojo, verde y azul) por separado y luego fusiona los tres en un único canal, conservando únicamente el valor más alto entre ellos. Esto permite obtener la menor relación señal-ruido (SNR) por canal para cada longitud de onda. Finalizado el proceso, todas las bandas espectrales se almacenan en un archivo .H5 junto con los metadatos correspondientes.

A partir del cubo hiperespectral, es posible calcular radiancia o reflectancia si se cuenta con una referencia de PTFE (politetrafluoroetileno). Además, se genera una curva espectral con media, desviación estándar, máximos y mínimos del grupo de píxeles seleccionado, junto con un vectorscopio coloreado por longitud de onda que permite visualizar la distribución espectral dentro de la región de interés (Fig. 4).

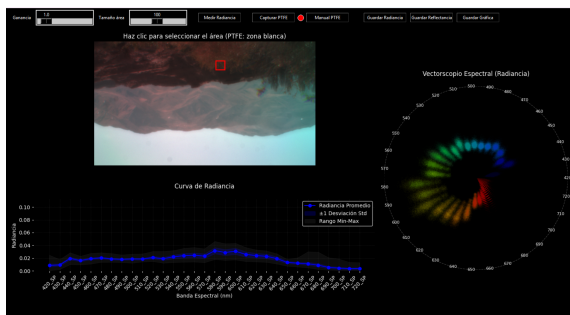


Fig. 4. Captura de pantalla de la interfaz gráfica del software desarrollado para la obtención de valores de radiancia en la región señalada en la montaña más

cercana (recuadro rojo), a partir del cubo hiperespectral. Notar que la escena aparece rotada 180° .

En la medición de reflectancia, es posible tomar los datos de una referencia de PTFE capturada en una imagen y aplicarlos a otra que no la contenga. Esto resulta muy útil al registrar distintas zonas de un mismo entorno bajo las mismas condiciones de iluminación, evitando incluir la referencia en cada toma (Fig. 5).

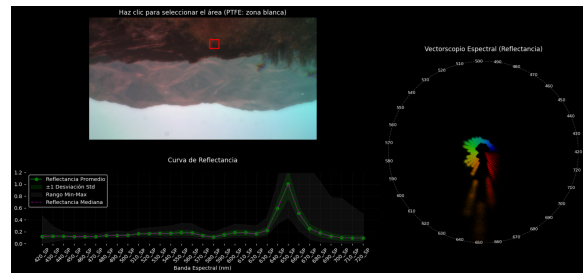


Fig. 5. Captura de pantalla de la interfaz gráfica del software desarrollado para la medición de reflectancia en la región señalada en la montaña más cercana (recuadro rojo), utilizando como referencia una PTFE capturada en una imagen distinta del mismo entorno. Notar que la escena aparece rotada 180° .

III. RESULTADOS

La cámara hiperespectral desarrollada (Fig. 6) permite obtener cubos espectrales en condiciones de campo, independientemente de la distancia a zonas urbanas, gracias a su portabilidad y versatilidad. El cuerpo impreso en 3D es liviano y facilita el transporte, permitiendo su uso incluso desde un vehículo. Asimismo, las roscas superiores de la cámara posibilitan la integración de dispositivos adicionales, como un luxómetro que puede ser utilizado para medir la iluminancia en terreno. No obstante, hay aspectos a considerar: el movimiento del entorno o de la propia cámara puede afectar la calidad de los datos debido al tiempo de adquisición, generando errores en la adquisición. Además, aunque la cámara cuenta con una autonomía de 40 minutos, el sistema depende de una fuente externa de 220 V y 45 W para alimentar el filtro sintonizable.

Las imágenes obtenidas presentan una calidad aceptable, lo que permite determinar con precisión la distribución espectral del entorno y, a partir de su referencia de blanco, identificar —si se desea— la reflectancia (Fig. 7), luminancia o las coordenadas cromáticas (x, y) de una región específica del cuadro.



(a) (b)

Fig. 6. (a) Foto del sistema hiperespectral montado en un auto capturando el cubo hiperespectral en campo. (b) Foto RGB de una escena capturada con la cámara hiperespectral.

Una aplicación práctica de una cámara hiperespectral es la obtención de coordenadas cromáticas a partir de la reflectancia espectral.

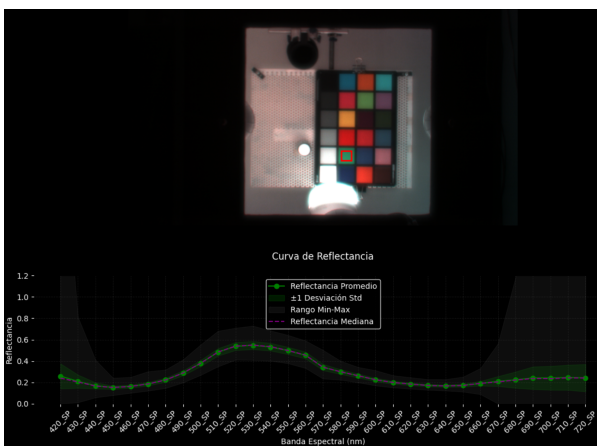


Fig. 7. Captura de pantalla de la interfaz gráfica del software para la medición de reflectancia en la región señalada (recuadro rojo), correspondiente al parche verde, utilizando como referencia una placa de PTFE. Nótese que la escena aparece rotada 180°.

Al obtener los valores de reflectancia con el

archivo CSV, se pueden procesar estos datos con las CMF del espacio de color CIE XYZ y, posteriormente, obtener las coordenadas x , y ; en este caso serían $x = 0.31$; $y = 0.44$.

IV. CONCLUSIONES:

La cámara hiperespectral desarrollada permite caracterizar espectralmente entornos visuales entre 420 y 720 nm, facilitando el estudio detallado de la luz visible y su impacto en la visión humana. Su diseño portátil y versátil la hace apta para uso en campo, validándose en laboratorio con una alta fidelidad respecto a un espectrorradiómetro puntual.

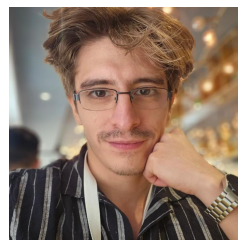
Aunque presenta limitaciones, como la sensibilidad a movimientos y la dependencia de una fuente externa para el filtro, ofrece una solución efectiva para diversas aplicaciones científicas y técnicas, reduciendo la necesidad de equipos comerciales costosos.

Futuros desarrollos buscarán mejorar la estabilidad y autonomía del sistema, así como ampliar sus aplicaciones en análisis espectral.

V. REFERENCIAS

- [1] Foster D.H., Amano K. (2019). Hyperspectral imaging in color vision research: tutorial. Journal of the Optical Society of America A 36(4): 606-627.
- [2] Thorlabs (2024). Liquid Crystal Tunable Bandpass Filters: KURIOS-XL1/M [Manual]. Disponible en: https://www.thorlabs.com/catalogpages/Obsolete/2024/KURIOS-XL1_M.pdf (consultado el 15/07/25).
- [3] Fanchini J.M., Gutiérrez A., Silva B., Sandoval-Salinas M.L., Barrionuevo P.A. (2022). Comparación de parámetros de dos cámaras DSLR para la obtención de características colorimétricas de una escena visual. Libro de resúmenes ArgenColor 2022 - 14° Congreso Argentino de Color, Tucumán, Argentina.
- [4] Riechert M. (2025). rawpy (vers. 0.25.0) [Software]. PyPI. Disponible en: <https://pypi.org/project/rawpy/> (consultado el 15/07/25).

VI. BIOGRAFÍAS



José María Fanchini:
Licenciado en Cinematografía (Universidad Nacional de Tucumán, UNT). Director de Fotografía y Colorista. Becario Doctoral del CONICET en el Instituto de Investigación en Luz,

Ambiente y Visión (ILAV, UNT - CONICET). Su investigación se centra en la visión del color en seres humanos y la adaptación cromática en ambientes naturales. Desarrolla herramientas tecnológicas para la captura, análisis y procesamiento de imágenes hiperspectrales.



María L. Sandoval-Salinas:

Licenciada y Doctora en Ciencias Biológicas (Universidad Nacional de Tucumán, UNT). Investigadora Adjunta del CONICET en el Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV, UNT - CONICET). Docente de la Licenciatura en Ciencias Biológicas, de la

Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (UNT).



Pablo A. Barrionuevo:

Ingeniero Electrónico y Doctor en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (Universidad Nacional de Tucumán, UNT). Investigador Adjunto del CONICET en el Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV, UNT - CONICET), Investigador Visitante en la

Universidad de Marburgo (Alemania).



Historia y desarrollo del alumbrado urbano en San Miguel de Tucumán

Fortuna Maria Paula¹, Heredia Sophia^{1,2}, Preciado Oscar U.^{1,2}

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

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

Av. Independencia 1800, 4000 Tucumán, Argentina

mariapaulafortuna@gmail.com

Resumen: Los avances tecnológicos han transformado profundamente la vida humana y los procesos de producción, siendo la electricidad una de las innovaciones más significativas. Su aparición no solo revolucionó la economía y la industria —facilitando la automatización y aumentando la productividad— sino que también tuvo un impacto decisivo en la vida cotidiana, la infraestructura urbana, la comunicación y el progreso científico. Entre estos cambios, la iluminación pública desempeñó un papel crucial en la redefinición de los espacios urbanos, mejorando la seguridad y ampliando las actividades nocturnas. Este estudio examina la evolución histórica de la iluminación urbana en la ciudad de San Miguel de Tucumán, contextualizando en relación con los avances tecnológicos a escala global y las políticas públicas locales. A través del análisis de momentos clave en la modernización del alumbrado público, destacamos cómo estos cambios están interconectados con la expansión urbana y las decisiones sociopolíticas. Comprender esta evolución permite evaluar críticamente el panorama urbano actual y los desafíos futuros. La historia de la iluminación urbana es un componente esencial de la identidad de la ciudad, fortaleciendo el sentido de pertenencia y continuidad, al tiempo que proporciona información valiosa para futuras estrategias de planificación urbana.

Palabras claves: Alumbrado Público, Evolución, Tecnologías, Historia.

Abstract: Technological advances have profoundly transformed human life and production processes, with electricity being one of the most significant innovations. Its emergence not only revolutionized the economy and

industry—facilitating automation and increasing productivity—but also had a decisive impact on daily life, urban infrastructure, communication, and scientific progress. Among these changes, public lighting played a crucial role in redefining urban spaces, improving safety, and expanding nighttime activities. This study examines the historical evolution of urban lighting in the city of San Miguel de Tucumán, contextualizing it in relation to global technological advances and local public policies. Through the analysis of key moments in the modernization of public lighting, we highlight how these changes are interconnected with urban expansion and socio-political decisions. Understanding this evolution allows for a critical assessment of the current urban landscape and future challenges. The history of urban lighting is an essential component of the city’s identity, strengthening the sense of belonging and continuity, while also providing valuable insights for future urban planning strategies.

Keywords: Public Lighting, Evolution, Technologies, History

I. INTRODUCCIÓN

La innovación tecnológica ha sido un factor clave en la transformación urbana, y la electricidad ha representado un pilar fundamental del desarrollo moderno. Una de sus aplicaciones más significativas ha sido la iluminación pública, la cual ha redefinido la vida urbana al mejorar la seguridad, fomentar la actividad económica más allá de las horas diurnas y contribuir a la evolución estética y funcional de las ciudades. Este estudio proporciona una perspectiva única para analizar el progreso tecnológico, la gobernanza y la política urbana.

El impacto de la iluminación eléctrica fue global, un hito clave en su historia se produjo en Godalming, una ciudad del distrito de Waverley en el condado de Surrey, Inglaterra. En 1881, esta se convirtió en la primera ciudad en el mundo en brindar suministro público de energía eléctrica. La construcción de su primera central eléctrica permitió proporcionar iluminación tanto pública como privada. Este hecho histórico tuvo lugar el 1 de octubre de 1881 y fue reportado por el Surrey Advertiser, informando que la iluminación pública de las noches previas provenía de energía eléctrica, en un principio como un experimento que, con el tiempo, se consolidó como la forma predominante de alumbrado. Una placa conmemorativa en la calle principal de Godalming resalta la relevancia de este acontecimiento: "La luz de la calle en el zócalo cercano en el medio de la carretera se asemeja al primer alumbrado público eléctrico que se erigió en el mundo." [1] En controversia se encontró que otra ciudad se arraigó el hito de ser la primera ciudad del mundo con luz eléctrica, en febrero de 1879, Newcastle Upon Tyne (Inglaterra), utilizó luz eléctrica concretamente en la calle Mosley St. Para alumbrar la calle se usaban tres lámparas de incandescencia diseñadas por Joseph Swan. La segunda ciudad en usar alumbrado público fue Cleveland (Ohio, Estados Unidos) y sus luces se encendieron por primera vez en Abril de 1879. Poco más tarde, en septiembre de 1882, le siguió Pearl St., Nueva York. Ambas ciudades norteamericanas usaron las primeras lámparas experimentales de Thomas Edison[2]. En América Latina, la primera ciudad en contar con iluminación eléctrica fue La Plata, Buenos Aires, Argentina. Según el sitio web Infocielo, el 27 de abril de 1886, La Plata inauguró su alumbrado público eléctrico. Este logro fue posible gracias a un acuerdo con la 'Brush Company', que permitió que la ciudad se adelantara a Buenos Aires en la implementación de esta tecnología. El periodista italiano Arturo Di Castellnuovo destacó el avance de la ciudad al escribir: "En La Plata se camina a vapor y luz eléctrica. Esta es la primera ciudad de Sudamérica iluminada por este sistema". [3] En el caso de San Miguel de Tucumán, el desarrollo del sistema de iluminación refleja tanto las transformaciones tecnológicas como las decisiones políticas e institucionales que marcaron la vida de la ciudad. Este trabajo busca reunir y analizar fuentes históricas y técnicas que permitan comprender esta evolución, destacando su carácter pionero a nivel nacional[4].

II. DESARROLLO DE LA ILUMINACIÓN EN SAN MIGUEL DE TUCUMÁN

Si viajamos al año 1810 a la ciudad de San Miguel de Tucumán encontramos que utilizaban velas en

candiles de papel para iluminar sus calles y casas como podemos encontrar en el escrito de la historiadora Sonia Assaf [5] donde dice "Doy por supuesto que iluminar sus casas y sus calles, ha sido una preocupación de las personas desde tiempo inmemorial"; por otra parte el historiador Julio P. Avila, proporciona referencias interesantes que arrancan al terminar la colonia, sostiene que, hasta 1810 (el año de la Revolución de Mayo) la iluminación de nuestras calles se hizo utilizando faroles de papel. Los mismos "eran colgados del frente de las casas, de donde se retiraban todos los días, particularmente cuando el tiempo amenazaba lluvia"[6].

1. Los primeros sistemas de iluminación en San Miguel de Tucumán

Llegando al año 1813 el Tte. Gobernador de esta ciudad (que hasta entonces dependía de la Intendencia de Salta), comandante Antonio Luis Beruti, firmó un bando dirigido al vecindario de San Miguel de Tucumán. En él indicaba que las farolas de papel fueron sustituidas por las de cristal, estableciéndose normas de mantenimiento y tarifas diferenciadas. Se autorizaba a mercaderes, pulperos y artesanos a continuar utilizando faroles de papel, aunque sin la obligación de encargarse de su mantenimiento. Establecía, asimismo, que "todos los vecinos comprendidos en las ocho manzanas de frente a la plaza (hoy Independencia), inclusive los triángulos de las esquinas que tengan puertas de calle o vivan en cuartos sin mercaderías, sean propietarios o inquilinos", contribuirían con la misma suma, "aun siendo transeúnte o de reciente ocupación, siempre que permanezca cuando se haga el cobro". Es el primer tributo que se impone sobre el alumbrado público[5].

2. Transición al queroseno



El alumbrado a vela se mantuvo operativo hasta 1857, cuando fue sustituido por lámparas de querosén (Fig.1), tecnología que ofrecía una combustión más prolongada y mayor intensidad lumínica [5].

Fig. 1 Imagen extraída de la web donde se observa Luminaria con lámparas de queroseno

3. La introducción de la iluminación eléctrica en Tucumán

Uno de los avances más significativos se produjo a finales del siglo XIX con la llegada de la electricidad. Bajo la intendencia de José Padilla, considerado por el historiador Carlos Páez de la Torre como una figura clave en la modernización urbana, se realizaron pruebas experimentales en 1888. Finalmente, el 1 de enero de 1889 se inauguró oficialmente el alumbrado eléctrico en la Plaza Independencia, con la instalación de 17 lámparas de 4600 bujías [7].

4. Consolidación e institucionalización del servicio

En 1937, el gobernador Miguel Campero creó la Dirección Provincial de Servicios Eléctricos de Tucumán. Entre 1948 y 1993, la provincia administró el servicio a través de la Dirección de Energía de la Provincia (DEP). Posteriormente, se constituyó EDET S.A., que recibió la concesión del servicio eléctrico por 90 años durante el gobierno de Palito Ortega (1995) [3].



Fig. 2 Imágenes de las calles 25 de Mayo y Santiago en el año 1925, donde podemos observar luminaria central con lámparas incandescentes



Fig. 3. Imagen de la Av. Avellaneda en 1935. Luminaria central suspendida por tendido aéreo entre edificios, con lámpara incandescente propia del alumbrado público de la época.

5. Avances tecnológicos y modernización del sistema en el país

Durante la segunda mitad del siglo XIX, la historia de la electricidad en Argentina puede dividirse en dos etapas: la primera (1850-1880), marcada por experimentos iniciales, y la segunda (1880-1907), cuando su uso se masificó. En 1853, el odontólogo Juan Echepareborda realizó el primer ensayo de iluminación eléctrica en Buenos Aires, impresionando a sus invitados con su efecto luminoso. Su experimento anticipó debates posteriores sobre la electricidad, como su comparación con la luz solar y los costos de implementación [8].

Theodore Vail, empresario estadounidense, impulsó el transporte eléctrico en Buenos Aires. En 1907 comenzó la era de los monopolios eléctricos en Argentina con la creación de la Compañía Alemana Transatlántica de Electricidad (CATE), que obtuvo una concesión de 50 años para producir y distribuir electricidad en Buenos Aires. Este período culminó en 1932 con cambios en la gestión estatal de la industria. La monopolización permitió unificar la distribución eléctrica en la ciudad. En 1910, la popularidad de la lámpara de Edison permitió innovaciones en iluminación decorativa, destacándose un sol iluminado en la Casa de Gobierno para el Centenario. En 1916, a pesar de las críticas por los costos, la iluminación urbana creció significativamente, favoreciendo las exportaciones de Siemens. En 1925, durante la visita del príncipe de Gales, se usaron por primera vez reflectores en Buenos Aires, iluminando la Torre de los Ingleses y el palacio Ortiz Basualdo, realizando la arquitectura de la ciudad [9].

7. Expansión eléctrica en Tucumán

A medida que el uso de la electricidad fue disipando los prejuicios iniciales, se expandió la construcción de centrales en el interior del país para abastecer de energía a las distintas provincias. Como la que fue en 1897 el dique San Roque en Córdoba convirtiéndose en la primera de Latinoamérica y en 1912 se inauguró la usina de Lules, de 4.560 kW que operaba en Tucumán. Con esta última central se construyó una línea de transmisión de 20 kilómetros hasta la ciudad de Tucumán, con tensión de 44 kV y potencia de 6.000 kW. Durante el siglo XX, el sistema evolucionó hacia el uso de lámparas incandescentes (Fig.2), seguidas por lámparas de vapor de mercurio y sodio[10](Fig.3). En 1968, durante el mandato del gobernador Roberto Avellaneda, se llevó a cabo un recambio masivo de luminarias en las avenidas principales (Alem, Mitre, Sarmiento, Avellaneda, Sáenz Peña y Roca). Se retiraron las platabandas y las columnas con lámparas incandescentes de 300

W, reemplazándolas por lámparas de vapor de mercurio a alta presión (HPLM) de 200 W, instaladas en las mismas postaciones, con luminarias en forma de globo y tulipas. Fig.4) Hasta 1994, en las calles de los barrios predominaba una luminaria enlozada verde con lámpara de 200W, suspendida en el centro de la calle mediante cables sujetos a dos postes ubicados en las veredas, generalmente a mitad de cuadra y en las intersecciones (Fig.5). Los recambios realizados durante la gestión de Avellaneda estuvieron a cargo de Agua y Energía, que hacia 1970 incorporó lámparas de sodio de baja presión [10].



Fig. 4 Imagen de la calle Ildefonso Muñecas al 100 tomada en el año 1971, donde se observan lámparas de sodio de baja presión



Fig. 5 Imagen del año 1972 en la calle Ildefonso Muñecas al 100, donde se observan lámparas de sodio de baja presión

Las calles céntricas tenían lámparas de lámparas de vapor de mercurio a alta presión (HPLM) de 400W y tenían dos colgantes con suspensión con vidrios facetados hasta 1994, año en el que asume el intendente Rafael Bulacio y ordena la reconversión de lámparas de vapor de mercurio de 400 W color corregido por sodio en alta presión de 250W, para hacer un ahorro de energía. La primera etapa de este proyecto se hace con la ayuda del Instituto de Luminotecnia antecesor del actual Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión de la Universidad Nacional de Tucumán

que colabora en el análisis de fotometrías de las nuevas lámparas y luminarias.



Fig. 6 Imagen de 1991 tomada en la calle Ildefonso de las Muñecas, donde se observan lámparas de sodio de alta presión

Utilizando la disposición y ubicación de los postes existentes, y tras un estudio luminotécnico, se propuso reducir la altura de los postes en las avenidas Avellaneda y Sarmiento a 6 metros, debido a que el crecimiento de los árboles obstruía las luminarias. Esta altura se mantiene en la actualidad [10]. La responsabilidad del alumbrado público pasó a la Municipalidad de San Miguel de Tucumán, ya que Agua y Energía fue privatizada y dejó de realizar el mantenimiento. Durante la gestión del intendente Rafael Bulacio, se dictó un decreto que incorporó en la boleta de EDET un cargo destinado al mantenimiento, utilizado para la reconversión del sistema. Con el dinero recaudado se instalaron lámparas de sodio de alta presión de 150 W en avenidas secundarias y de 250 W en avenidas principales, reemplazando las luminarias colgantes del microcentro (Fig.6). Este recambio perduró hasta el año 2003 en los sectores principales de la capital. A partir de 2004 comenzó el reemplazo en los barrios, retirando luminarias colgantes con lámparas incandescentes o mezcladoras y colocando postes con tulipas tipo "chupete", proceso que se desarrolló hasta 2010.

Además, se subcontrata a la empresa ESCO perteneciente a EDET para que haga el mantenimiento y el recambio nuevamente de sodio a Leds el cual comenzó en el año 2015.[11]

6. Situación Actual en San Miguel de Tucumán

A partir de la década de 2010, comenzó a consolidarse la política de sustitución de luminarias tradicionales por luminarias con tecnología LED, a partir de fondos nacionales y financiamiento internacional. Según Heredia et al [11]., si bien estas acciones han contribuido a reducir el consumo eléctrico, en muchos casos se priorizó el ahorro teórico declarado por los fabricantes, sin realizar evaluaciones sistemáticas

sobre la calidad fotométrica, la uniformidad o la durabilidad de las instalaciones. En el año 2018 comenzó, de manera masiva, el recambio por luminarias LED en casi todos los sectores de la ciudad. Todas las obras nuevas a partir de ese año se inauguraron con la nueva tecnología. La Dirección de Alumbrado Público de la ciudad informó que hay instaladas aproximadamente 45.000 luminarias LED de las 55.000 instaladas en toda la ciudad hasta el año 2022.

III. CONCLUSIONES

La evolución del alumbrado público en San Miguel de Tucumán refleja, de manera ejemplar, la interacción entre innovación tecnológica, planificación urbana y políticas públicas a lo largo de más de dos siglos. Desde los rudimentarios faroles de papel del período colonial hasta las modernas luminarias LED con sistemas inteligentes, cada etapa respondió a necesidades sociales, avances técnicos y contextos económicos específicos. Este recorrido histórico demuestra que la iluminación no solo transformó la estética y funcionalidad de la ciudad, sino que también impactó en la seguridad, la actividad económica y la calidad de vida de sus habitantes. La experiencia tucumana, en diálogo con hitos internacionales y nacionales, evidencia cómo las decisiones locales pueden posicionar a una ciudad como pionera y, al mismo tiempo, integrar a una red global de innovación. En la actualidad, la transición hacia tecnologías más eficientes y sostenibles reafirma el compromiso con un desarrollo urbano que combine patrimonio, modernización y cuidado ambiental, sentando bases sólidas para el alumbrado público del futuro.

IV. REFERENCIAS

- [1] Empresa Viakon. (2020,24 de abril). Godalming, la primera ciudad con energía eléctrica en el mundo.
- [2] Ghía,A. Cámara argentina de la construcción (2012). Historia de la energía eléctrica argentina (1810-2010)
- [3] Infocielo. (2023, 27 de abril). La Plata: 137 años del primer alumbrado público eléctrico sudamericano. <https://infocielo.com/la-plata/la-plata-137-anos-del-primer-alumbrado-publico-electrico-sudamericano-n761419>
- [4] Nicolini,A. San Miguel de Tucumán 1800-1916. Desarrollo urbano y arquitectónico.
- [5] Assaf, S. (n.d.). *Alumbrado público Tucumán: Referencias históricas sobre el alumbrado público en Tucumán*. Tucumán, Argentina

- [6] <https://www.gedesel.net/uso-publico-electricidad/#:~:text=HISTORIA: de%20d%C3%B3lares%20de%20la%20%C3%A9poca.>
- [7] El Tucumano. (2024,16 de marzo.). *Y se hizo la luz: cuando Tucumán inauguró su primer tendido eléctrico... ¡antes que Buenos Aires!*. el tucumano. <https://www.eltucumano.com/noticia/libre/299214/y-se-hizo-la-luz-cuando-tucuman-inauguro-su-primer-tendido-electrico-antes-que-buenos-aires>
- [8] *La Gaceta*. (2016, 29 de noviembre). *Alumbrado público*. La Gaceta. <https://www.lagaceta.com.ar/nota/786238/opinion/alumbrado-publico.html>
- [9] Archivo Histórico Tucumán. (2020, 1 de enero). *Sabías que el primero de enero de 1889 se inauguraba el alumbrado público eléctrico en Tucumán?* [Publicación de Facebook]. <https://www.facebook.com/archivohistoricotucuman/photos/sab%C3%ADas-que-el-primer-de-enero-d-e-1889-se-inauguraba-el-alumbrado-p%C3%BAblico-el%C3%A9ctrico/2362845347077815/>
- [10] Cabello,A. Entrevista personal sobre historia del alumbrado público, 18 de junio de 2025.
- [11] 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.

V. BIOGRAFÍAS



María Paula Fortuna es estudiante avanzada de la carrera de grado de Diseño de Iluminación en la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, este año se desempeña como becaria BEI (Becas Estudiantiles de Investigación de la UNT).



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 Olvera, 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. Actualmente es Investigador del CONICET y Profesor del DLYV-FACET-UNT.



Hacia un diseño alternativo de paneles acrílicos para la dispersión de la luz solar en altas latitudes.

Paola Jara Cerda

Laboratorio de Bioclimática - Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Central de Chile - Santiago, Chile
paola.ejc@gmail.com

Barbara Szybinska Matusiak

Light & Colour Centre - Faculty of Architecture and Design
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)– Trondheim, Noruega
barbara.matusiak@ntnu.no

Resumen

Probablemente la paradoja más profunda de la iluminación natural está relacionada con el uso de la luz solar como fuente de luz. Su enorme intensidad luminosa crea una gran oportunidad, aún potenciable. En la NTNU, la dispersión de la luz solar mediante el diseño de claraboya con paneles acrílicos, resultó ser un método muy eficaz. Los sistemas de iluminación natural en techumbre, ofrecen un mayor potencial que los laterales. Sin embargo, su aplicación se limita principalmente a las plantas superiores; se necesitan nuevas soluciones de iluminación lateral. Una de las existentes, son los paneles cortados con láser (LCP). Estudios de la IEA Task21 demostraron que los LCP podrían aumentar significativamente el nivel de luz natural en latitudes altas. Sin embargo, zonas intensas de luz en la habitación, generaban riesgo de deslumbramiento.

Se explora un diseño alternativo de LCP que permita dispersar y redirigir simultáneamente la luz. Los modelos se analizaron en una maqueta a escala bajo luz solar artificial. Se posicionaron en el tercio superior de una ventana vertical y su rendimiento se evaluó mediante mapas de luminancia. Se observó: reducción del paso de la luz solar directa y mejora de la distribución lumínica, minimizando así el riesgo de deslumbramiento.

Palabras claves: luz diurna, panel, dispersión.

Abstract:

Probably the most profound daylighting paradox is connected to utilization of sunlight as the light source. Its enormous luminous intensity creates huge but not utilized potential. The scattering of sunlight proved to be a successful method in the new design of skylights at NTNU, Norway; high latitude and climate played an important role in its design.

Roof-lighting systems provide greater potential for illumination than side-lighting. However, its application is limited to top floors; new side-lighting solutions are needed. One of existing daylighting systems, laser cut panels (LCP), can be applied on the window to redirect daylight toward the ceiling. IEA Task21 studies proved that LCPs might significantly increase daylight level at high latitudes. However, patches of intense sunlight appear in the room creating a risk of glare.

The aim is to develop an alternative design of window LCPs to simultaneously scatter and redirect sunlight upwards. They were studied in a scale model with artificial sunlight. LCPs were positioned in the upper part of a vertical “window” and its performance was evaluated using luminance mapping from HDR photography. Results are promising; the passage of direct sunlight is decreased and the distribution of light significantly increased minimizing the risk of glare.

Palabras claves: daylighting, panels, scattering.

I. INTRODUCCION

Los sistemas de iluminación natural, en la arquitectura, son estrategias de diseño que permiten aprovechar la luz del sol para iluminar los espacios interiores. Dispositivos tales como: claraboyas, tragaluces, tubos solares, entre otros, son generalmente utilizados para este fin. La luz diurna captada mediante elementos que redirigen o dejan pasar la luz del sol desde el techo, pueden resultar suficiente para edificaciones de uno o dos niveles. Sin embargo, en edificios con un número mayor de estos, el desafío es mayor. La iluminación diurna lateral es otro camino a explorar. Actualmente, proviene de elementos como las ventanas; cuya implementación puede ser a lo extenso de toda la fachada de una edificación. El ingreso de luz controlada y optimizada desde estos elementos, es un interesante camino a investigar; se necesitan entonces, nuevas soluciones de iluminación lateral que buscando diseños que permitan el control de ingreso de luz solar, el contacto visual del usuario con el exterior; al tiempo que no exponga al mismo a condiciones lumínicas que alteren el confort visual. En la práctica, la luz solar suele reflejarse en dispositivos orientados a la protección solar. Existen dos razones: sobrecalentamiento y/o deslumbramiento. El riesgo de sobrecalentamiento depende en gran medida de la dimensión de la ventana y sus propiedades térmicas (valor g), mientras que el deslumbramiento depende, entre otros, de la distribución de la luz en la habitación.

Existen varios sistemas de iluminación natural que aprovechan la luz solar para reducir el deslumbramiento. La mayoría redirige los rayos de luz incidente en una ventana, hacia el cielo de la habitación. Es el caso de los paneles cortados con láser (LCP). También conocidos como paneles de Edmonds; del investigador australiano Ian Edmonds. El diseño original de los LCP implicaba cortar paneles acrílicos con láser, creando líneas de corte lineales y paralelas. Estudios [3], [5], [8] y [9], demostraron que los LCP montados en la parte superior de una ventana, pueden aumentar significativamente la luz natural en una habitación. Sin embargo, zonas intensas de luz solar al interior del recinto, crean fuertes contrastes de luminancia y deslumbramiento periódico.

La pregunta que surge para este proyecto de investigación es: ¿Podría la dispersión reducir las posibilidades de deslumbramiento?. En investigaciones tales como [4] y [6], la dispersión de la luz solar mediante placas acrílicas perforadas circularmente entregó resultados exitosos para el diseño de nuevas claraboyas en la ciudad de Trondheim 63°25' N (Noruega); donde la altitud solar media al mediodía es de unos 30°. Mediante un fino ajuste de la relación entre el grosor de la placa, el tamaño de los

orificios y la distancia entre ellos, fue posible garantizar la dispersión de la luz solar.

Como es conocido, la iluminación natural mediante el uso de sistemas que toman la luz del sol desde el techo o última planta de una edificación, ofrecen un mayor potencial de iluminación que la iluminación lateral. Sin embargo, su aplicación se limita principalmente a las plantas superiores. El objetivo del presente estudio fue explorar un diseño alternativo de LCP como dispositivo de iluminación diurna lateral. A partir de los estudios realizados en [4], la hipótesis fue que: las formas semicirculares y con distribución cercana, serían las más adecuadas para dispersar y redirigir simultáneamente la luz solar hacia el cielo de una habitación; al tiempo que pueda reducir las posibilidades de deslumbramiento para el usuario.

II. PANELES CORTADOS CON LÁSER (LCPs)

El panel cortado con láser fue inventado por Ian Edmonds en 1989. Se trata de un delgado panel acrílico transparente con cortes láser paralelos y perpendiculares a su superficie. La idea de esta invención fue crear un reflejo de la luz al interior del material. La superficie de cada corte funciona como un espejo interno que desvía la luz que pasa a través del panel [1]. Los cortes se definen mediante la distancia del corte entre líneas (D) y la profundidad/ancho del panel (W). De acuerdo a Ian Edmonds la relación D/W es el factor determinante para el rendimiento de los paneles en un ángulo de incidencia dado; y calculó que habría un ángulo de incidencia para cada relación D/W en el que casi toda la luz sería desviada [2]. Cuando un panel LCP se posiciona en la superficie de una ventana, este desvía la luz solar entrante, a gran altitud. Esta elevación de la luz es baja durante las primeras horas de la mañana, las últimas horas de la tarde y el invierno. Una fracción muy alta de la luz se desvía hacia arriba, reduciendo el deslumbramiento [5]. Los investigadores de la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU), Heidi Arnesen y Øyvind Aschehoug, estudiaron las fluctuaciones de luz natural en una sala de pruebas en Sandvika, Noruega; donde fijaron LCP en la parte superior de las ventanas. Bajo cielos nublados, la sala de pruebas mostró cambios mínimos en el nivel y distribución de la luz. Sin embargo, bajo cielos despejados, el LCP aumentó el nivel de luz y mejoró su distribución hacia el piso durante la mayoría de los días del año [5] y [9]. La Universidad Técnica de Berlín (TUB), Alemania, estudió los LCP inclinados y demostró que, con un ángulo de inclinación de 20° y bajo cielos nublados, los paneles no alteraban drásticamente los niveles de luz, mientras que, con cielos despejados, la iluminación natural mejoraba ajustando la posición del panel según la hora del

día y el año [9]. Los LCP también pueden utilizarse en claraboyas. En 2016, la NTNU desarrolló un nuevo diseño de LCP. El diseño de los cortes se modificó a circular y se posicionó horizontalmente; la dispersión de la luz solar mediante placas acrílicas perforadas circularmente resultó muy eficaz [6].

III. PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA

A. Propuesta de patrones para los LCP

Basándose en las investigaciones de [6], se propusieron y analizaron dos configuraciones geométricas: semicircular (cóncava) y doble convexa Fig. 1. A partir de estas, se definieron seis patrones A, B, C y H, mientras que la doble convexa se propuso en dos (D y E) Fig. 2. La variación entre la geometría de un mismo patrón, radica en la distancia entre cortes y proporciones de las geometrías. La intención fue verificar posibles y considerables cambios en la forma en que se pudiese dispersar la luz. Los paneles, se fabricaron en una lámina acrílica de 85 x 10 x 52 mm. Los cortes para el panel de Edmonds se diseñaron de acuerdo con la relación D/W [3]. Los cortes para los paneles propuestos, se definieron siguiendo el espaciado de corte planteado por Edmonds y la capacidad de corte que permitía la máquina de corte láser.



Fig.1: Medio círculo, doble convexo e lan Edmonds

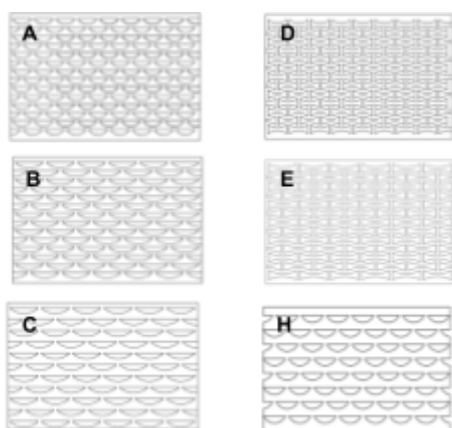


Fig. 2: Patrones. LCP: A – B – C – D – E – H

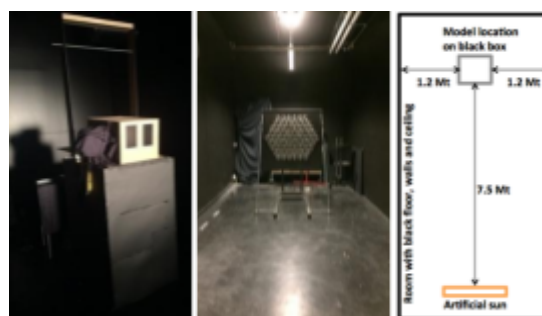
B. Experimentación

En un modelo de habitación, escala 1:10 (50 x 32 x 29 cm) Fig. 3, se testearon los paneles bajo condiciones de cielo despejado simulado en el sol artificial del laboratorio de luz diurna de la NTNU Fig. 4. En el interior del modelo, se utilizaron

valores estándar de reflectancia (LRV): paredes 50 (gris pálido), piso 20 (gris oscuro) y techo 70 (amarillo pálido). El valor de los LRV fueron revisados con un escáner de color NCS 2.0 y un atlas. Se dejaron aberturas circulares Fig. 3, para colocar una cámara digital réflex (Nikon D600) con un AF-DX fisheye-Nikkor 10.5mm f/2.8G ED, Fig. 5.



Fig. 3:



Modelo a escala 1:10

Fig. 4: Sol artificial. Laboratorio de Luz Diurna.

Fig. 5: Ángulo solar, cámara ojo de pez y panel.

Cada panel se ubicó en el tercio superior de la ventana de referencia Fig. 5, dejando la parte inferior bloqueada al paso de la luz. Se comparó el rendimiento lumínico del caso base (sin panel) con el panel de lan Edmonds y este con cada nuevo patrón propuesto. Los paneles fueron analizados bajo diferentes ángulos solares (5° a



60°), en diferentes posiciones (up y down; patrón semicircular), vertical e inclinados 5° (interior y exterior; 5° a 40°) Fig. 7. Todos los paneles se probaron asumiendo sólo un ángulo de azimut (0°) y bajo un ángulo solar de 5° (invierno) a 60° (verano). En Trondheim (63°25'47"N), el ángulo solar más alto es 50° aproximadamente (verano) y en Punta Arenas (53°10'S), alrededor de 60°. Se utilizó una tarjeta gris Kodak y un medidor de luminancia manual Minolta LS-100 para mediciones físicas y posterior calibración en el software HDR, Photosphere.

C. Monitoreo y mediciones

Para la evaluación del comportamiento lumínico de los paneles, se generaron mapas de luminancia mediante fotografías de alto rango dinámico (HDR). Para ello, se utilizó la metodología de [7]. Se verificó la uniformidad de luz sobre la fachada seleccionada mediante una cuadrícula de medición de 4x4 cm. Las mediciones oscilaron entre 600 y 650 lx Fig. 6. Se tomaron mediciones físicas referenciales con un luminancímetro portátil calibrado; las lecturas se utilizaron para calibrar las imágenes HDR mediante el software Photosphere. Se obtuvieron imágenes HDR para cada ángulo solar y posición de los paneles. Fig. 8.

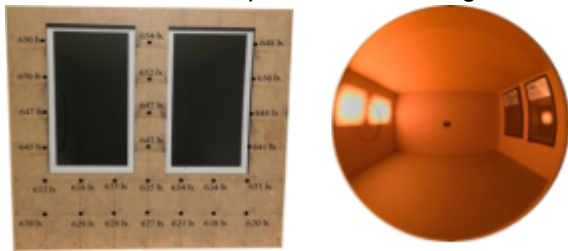


Fig.6: Uniformidad de iluminancia (lux) y de luminancia interior (cd/m2), sobre papel negro sobre muro.

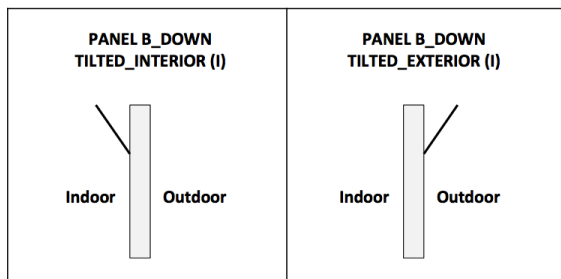


Fig.7: Posición análisis, inclinado.

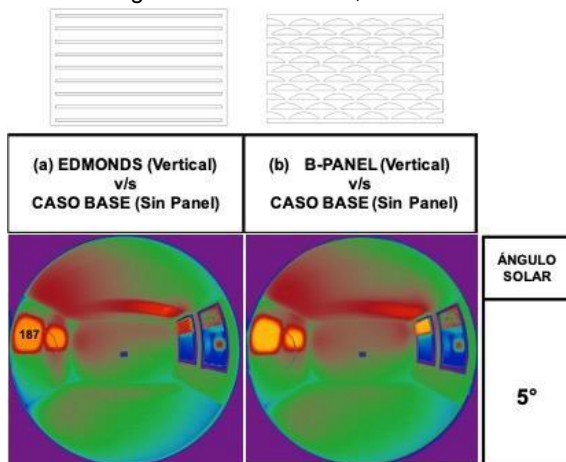


Fig. 8: Extracto. Generación mapas de luminancia.

IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Resumido: El panel de referencia de Edmonds presenta una mejor comportamiento solar e ingreso de luz bajo ángulos solares menores (5° a 15°). Por lo tanto, en latitudes altas, siempre y cuando haya luz solar, este panel sería adecuado durante el invierno (principales ángulos solares incidentes; Trondheim (Noruega) y Punta Arenas (Chile) 5° y 10° respectivamente). Bajo ángulos más elevados (20° a 60° en verano), este panel permite una cobertura solar en suelo y paredes. El rendimiento del panel Edmonds y el panel B, es bastante similar. La principal diferencia radica en que el segundo permite una cobertura solar más suavizada en suelo y pared. Finalmente, en posición inclinada. Esta no debe superar los 10 grados, una mayor, puede generar zonas de exposición solar más intensas en pared y suelo. El rendimiento del panel B es prometedor. Hay una reducción del paso de la luz solar directa, se observa una distribución de luz más uniforme lo que minimiza posibilidad de deslumbramiento; se observa mayor cobertura de luz en la habitación. Bajo ángulos de exposición solar altos (50 a 60 grados), puede ser necesario un ángulo de inclinación mayor para que la luz se disperse más profundamente en el techo, sin embargo, los parches solares sobre el suelo no son necesariamente más suaves.

V. RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Central de Chile y LabBio por el permiso académico para la realización de esta pasantía de investigación (2016). A Barbara Szybinska Matusiak, Facultad de Arquitectura y Diseño, NTNU, por recepcionar mi pasantía, compartir y dirigir este proyecto con mi persona.

VI. REFERENCIAS

[1] Aktuna, B., Bueno, B., Darula, S., Deneyer, A., Diakite, A., Fuhrmann, P., ... & Tetri, E. (2016). *Daylighting and electric lighting retrofit solutions*. Universitätsverlag der TU Berlin.

[2] Edmonds, I. R. (1993). Performance of laser cut light deflecting panels in daylighting applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 29(1), 1-26.

[3] Edmonds, I. R., & Pearce, D. J. (1999). Enhancement of crop illuminance in high latitude greenhouses with laser-cut panel glazing. *Solar Energy*, 66(4), 255-265.

[4] Knoop M. editor (2016). *Daylighting and Electric Lighting Retrofit Solutions*. DOI: 10.14279/depositonnce5162 · License: CC BY 4.0

[5] Labib, R. (2012). Improving daylighting in existing classrooms using laser cut panels. *Lighting Research & Technology*, 45(5), 585-598.

[6] Matusiak, B. S. (2017). Daylighting is More than an Energy Saving Issue (Vol. 2). Chapter.

[7] Reinhart, C. and Stein, R. (2014). *Daylighting handbook*. 1st ed. USA

[8] Reppel, J. and Edmonds, I. (1998). Angle--selective glazing for radiant heat control in buildings: theory. *Solar Energy*, 62(3), pp.245--253.

[9] Ruck, N. (2000). *Daylight in buildings*. 1st ed. Berkeley, CA.: Lawrence Berkeley National Laboratory.



Impacto de la iluminación LED y la Temperatura de Color en la Percepción de Obras de Artes

Denis Riquelme Sandoval

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

Andrés Martín

Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV), CONICET-UNT, Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Tucumán, Argentina – amartin@herrera.unt.edu.ar

Resumen: Este estudio analiza cómo la temperatura de color correlacionada (CCT, por sus siglas en inglés) influye en la percepción cromática de una obra de arte. Utilizando dos reproducciones idénticas de una pintura clásica, lámparas LED de 3000 y 6000 Kelvins con índices de reproducción cromática similares, se diseñó un experimento para cuantificar la evaluación de diferentes observadores en cuanto a las cualidades cromáticas de la obra. Los observadores se dividieron en tres grupos etarios (menores a 35 años, entre 35 y 60 años y mayores de dicha edad), con el objetivo de analizar diferencias en las evaluaciones que podrían estar causadas por el envejecimiento de los medios oculares en los adultos mayores. Se registraron sus preferencias visuales y percepciones sobre naturalidad, contraste y calidad del color. El análisis busca identificar patrones asociados al envejecimiento visual, como menor sensibilidad al azul. Los resultados preliminares aportan evidencia para mejorar criterios de iluminación museográfica, considerando tanto la conservación de las obras como la diversidad perceptual del público.

Palabras claves: LED, CCT, percepción visual.

Abstract: This study analyzes how correlated color temperature (CCT) influences the chromatic perception of a work of art. Using two identical reproductions of a classical painting, illuminated by LED lamps of 3000 and 6000 Kelvins with similar color rendering indices, an experiment was designed to quantify the evaluation of different observers regarding the artwork's chromatic qualities. Observers were divided into three age groups (under 35, between 35 and 60, and over 60 years old) with the aim of analyzing differences in their assessments that could be related to age-related changes in the ocular media. Their

visual preferences and perceptions regarding color naturalness, contrast, and quality were recorded. The analysis seeks to identify patterns associated with visual aging, such as reduced sensitivity to blue light. Preliminary results provide evidence to support improved museum lighting criteria, considering both the conservation of artworks and the perceptual diversity of the public.

Palabras claves: LED, CCT, visual perception.

I. INTRODUCCION

La percepción del color en obras de arte no depende exclusivamente de la obra en sí, sino también de las condiciones de iluminación bajo las cuales es observada. En espacios museográficos, esta relación es particularmente relevante, ya que el sistema de iluminación impacta tanto la apreciación estética del público como la conservación de las piezas.

Uno de los factores más relevantes en dicha elección es la CCT, que influye en la calidez o frialdad aparente de la luz. Esta, junto al Índice de Reproducción Cromática (CRI), determina la forma en que los colores son percibidos respecto a una fuente de referencia [1][2].

Diversos estudios han analizado cómo la CCT, la iluminancia y otros factores afectan la percepción cromática en entornos de exhibición. Bellia et al. [3] demostraron que si bien la iluminancia tiene un efecto dominante, el fondo visual y la paleta cromática de la obra también influyen significativamente en la experiencia perceptiva.

De manera similar, Zhai et al. [4] concluyeron que el nivel de iluminancia afecta más que la CCT a la percepción de comodidad y definición, desafiando

modelos tradicionales como la curva de Kruithof. Por su parte, Huang et al. [5] mostraron que la CCT por sí sola puede dominar la preferencia cromática de los observadores, incluso por encima de factores culturales o del tipo de objeto observado.

Estos antecedentes sustentan la hipótesis de que la temperatura de color puede modificar de forma significativa la percepción visual en un contexto artístico, lo que se explora empíricamente en este trabajo.

A partir de esta base, se diseñó un estudio perceptual utilizando dos reproducciones idénticas de una obra clásica de Andrea del Sarto, cada una iluminada con una fuente LED de distinta CCT (3000K vs. 6000K) pero con CRI y niveles de iluminancia similares. Se analizaron las respuestas subjetivas de observadores pertenecientes a tres grupos etarios, con el objetivo de identificar patrones de preferencia relacionados con la edad y la posible influencia del envejecimiento visual.

Este estudio busca aportar evidencia empírica sobre el efecto de la CCT en la percepción del color en obras de arte, considerando además el rol de factores individuales como la edad. Se espera contribuir al desarrollo de criterios lumínicos más inclusivos y perceptualmente adecuados para museos y espacios patrimoniales.

II. METODOLOGÍA

En este estudio se obtuvieron dos tipos de datos mediante un experimento estructurado en dos etapas consecutivas. En la primera, los participantes realizaron una tarea de elección forzada, en la cual debían seleccionar uno de los cuadros según su preferencia. Posteriormente, en la segunda etapa, evaluaron ambos cuadros utilizando una escala de Likert de 5 puntos, calificando aspectos como la naturalidad y lo agradable en cada escena.

La inclusión de la elección forzada permite interpretar la preferencia como una medida cuantificable basada en la frecuencia relativa de selección en un contexto de comparación controlado.

Para clarificar el diseño experimental y la secuencia de recolección de datos, se presenta a continuación un esquema que sintetiza el procedimiento aplicado. La Figura 1 ilustra esta metodología.

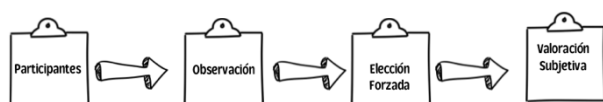


Fig.1: Esquema del diseño experimental.

A. Diseño Experimental

Con el objetivo de analizar la percepción del color bajo diferentes condiciones de iluminación, se diseñó un experimento controlado que permitió recopilar información subjetiva por parte de los participantes.

Para llevar a cabo las evaluaciones subjetivas relacionadas con el Diseño Experimental, se acondicionó el laboratorio de Luminotecnia de la Universidad Técnica Federico Santa María en Chile. El laboratorio tiene una superficie de aproximadamente 49m² y está diseñado con paredes negras, sin la presencia de luz natural ni ambiental, lo que permite un control total sobre las condiciones de iluminación durante las mediciones.

En el procedimiento, se ilumina cada escena con fuentes LED caracterizadas, los participantes se posicionan frente a las dos escenas para dar sus respuestas, cada participante recibe una hoja informativa detallada que describe el experimento y explica claramente su objetivo. Se enfatiza que la participación es completamente anónima, garantizando la confidencialidad de la identidad de cada individuo. Además, se asegura que la seguridad y la salud de los participantes no se verán comprometidas en ningún aspecto durante el desarrollo del experimento. Como medida adicional, se solicita a cada participante que firme un formulario para confirmar que han comprendido y aceptado voluntariamente los términos y condiciones.

Los participantes se ubicaron a una distancia de 2.50 metros frente a las dos escenas iluminadas, sin posibilidad de observar directamente las fuentes de luz, según se indica en la Figura 2. La tarea del observador consiste en comparar la escena iluminada por las dos fuentes de luz e indicar su preferencia. Esta elección es forzada, es decir, deben seleccionar una de las dos escenas. Luego, se les pide que evalúen cada cuadro utilizando una escala de Likert de uno a cinco, donde uno representa "muy malo" y cinco "muy bueno", calificando de este modo la naturalidad y el agrado visual en cada escena.

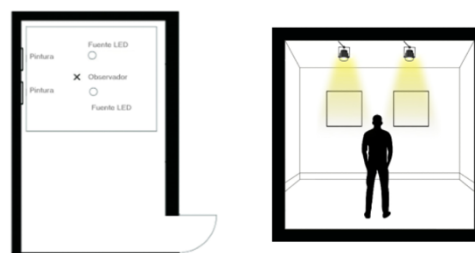


Fig.2: Esquema del diseño experimental implementado.

B. Fuentes de luz en estudio y mediciones generales

En el experimento se consideraron dos tipos de fuentes de luz LED en potencias, CRI similares y con diferentes CCT.

Estas fuentes se caracterizaron en el Laboratorio de Luminotecnia de la Universidad Técnica Federico Santa María en Chile. Las mediciones se efectuaron de acuerdo con la recomendación de la Comisión Internacional de Alumbrado CIE en su reporte CIE 250: 2022 "Spectroradiometric measurement of optical radiation sources" [6] y de la Illuminating Engineering Society en su reporte ANSI/IES LM79-24 "Electrical and Photometric measurements of solid state lighting products" [7]. Todos los instrumentos calibrados y trazables a estándares internacionales.



Fig.3: Instrumentación utilizada en el Laboratorio de Luminotecnia para la caracterización colorimétrica de las fuentes luminosas.

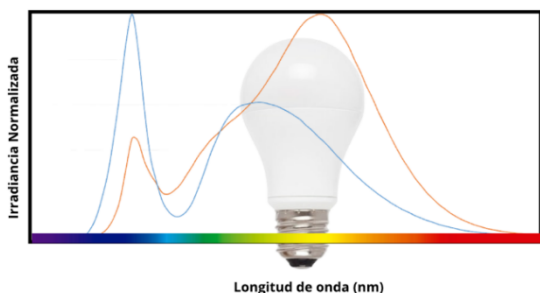


Fig.4: SPD medido de las 2 fuentes de luz (color azul: LED 6000K; color naranja: LED 3000K).

TABLA I: Mediciones fotométricas y colorimétricas de las dos fuentes en estudio.

Muestra	Potencia (W)	Iluminancia en el centro del cuadro (lux)	CCT (K)	x	y	CIE Ra
1	5	558.3	2935	0,4403	0,4030	81
2	5	561.1	6405	0,3132	0,3390	82

C. Pintura de evaluación

La pintura evaluada por los participantes fue el cuadro 'La Virgen con el Niño entre San Mateo y un ángel' de Andrea del Sarto.

La selección de esta obra, presenta una composición cromática equilibrada y armónica, donde predominan tonos representativos del espectro RGB: el rojo en los paños de San Mateo, el verde en la vestimenta del ángel, y los tonos azulados en el manto de la Virgen. Esta distribución de colores dentro del cuadro, permite explorar cómo distintas CCT modifican la percepción visual y emocional de la escena.



Fig.5: Pintura utilizada en el experimento: "La Virgen con el Niño entre San Mateo y un ángel" de Andrea del Sarto.

D. Participantes

Para reclutar observadores, se realizó una convocatoria general en la Universidad Técnica Federico Santa María de Chile. Para participar del experimento, cada participante realizó una prueba de Ishihara para detectar deficiencias graves en la visión del color.

Las valoraciones subjetivas del experimento se recogieron a través de un cuestionario. La muestra fue administrada a 30 participantes, 15 mujeres y 15 hombres. Se consideraron tres rangos etarios para su clasificación, menores a 35 años, entre 35 y 60 años y mayores de 60 años.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Tal como se detalla en la sección de Metodología, los datos obtenidos se clasifican en dos categorías: la elección forzada de la escena iluminada preferida y las calificaciones subjetivas registradas a través del cuestionario. Los primeros resultados corresponden a la respuesta de los participantes a la pregunta: ¿Cuál de las dos pinturas prefiere?. La Figura 6 resume esta información, donde se observa que la mayoría de los participantes optó por la obra iluminada con la fuente de luz de CCT 3000K.

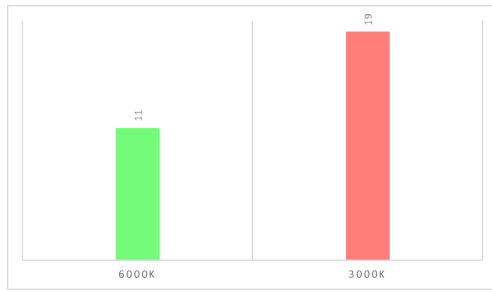


Fig.6: Cantidad de participantes (eje Y) que escogieron una obra iluminada con cada una de las fuentes de distintas características cromáticas (eje X).

Este resultado sugiere una tendencia general hacia una preferencia de iluminación cálida (CCT 3000K), lo cual podría estar relacionado con una mayor familiaridad perceptual o con la forma en que dicha iluminación resalta determinados matices cromáticos de la obra. Al segmentar por edad (Figura 7), se observa que los que se encuentran en el rango etario entre 35 y 60 años prefieren la lámpara neutra, pero con respecto a los otros rangos etarios no es posible poder determinar una conclusión firme debido a la cantidad de la muestra.

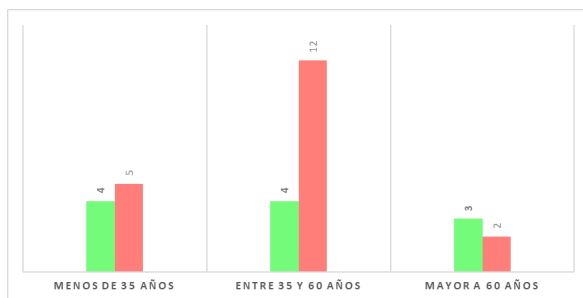


Fig.7: Datos desagregados por edad. Cantidad de participantes (eje Y) que escogieron una obra iluminada con cada una de las fuentes de distintas características cromáticas (eje X).

En la Figura 8, se muestran los resultados de agrado visual por cada grupo etario, donde se indica una tendencia clara a la iluminación cálida (CCT 3000K) en todos los grupos etarios evaluados. De cada grupo etario, podemos comentar:

- El grupo de menores de 35 años muestra agrado visual similar para ambas iluminaciones, con una leve preferencia por la CCT 3000K (3,7 vs. 3,6).
- El grupo de entre 35 y 60 años presenta una diferencia más notoria, con una puntuación de 3,6 para la escena con 3000K frente a 3,2 para 6000K. Esto indica una percepción significativamente hacia la iluminación neutra.
- Por el contrario, aunque se podría esperar que el grupo mayor de 60 años prefiriera la iluminación fría, este valoró más positivamente la escena iluminada con 3000K

(4,2 frente a 3,8), lo que contrasta con la tendencia observada en la preferencia declarada de la obra, tal como se muestra en la Figura 7.

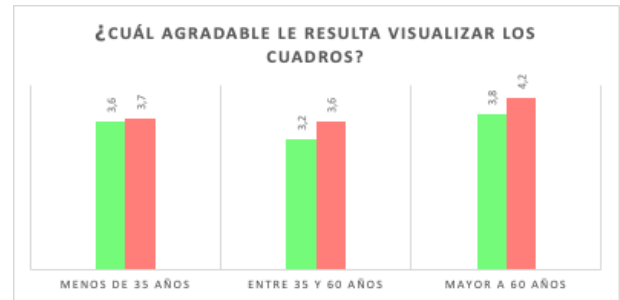


Fig.8: Promedio de agrado visual de los participantes a las escenas iluminadas con LED de 6000K y 3000K, segmentado por grupo etario.

Los resultados obtenidos en la Figura 8, confirman que la iluminación con CCT de 3000K es percibida como más agradable visualmente, incluso entre adultos mayores a 60 años, quienes según algunos estudios podrían mostrar una mayor tolerancia a temperaturas frías.

De la pregunta ¿En cuál de las dos pinturas percibió los colores como más naturales?, la Figura 9 resume esta información, donde los resultados reflejan una preferencia global por la iluminación cálida (3000K) en cuanto a percepción de naturalidad del color, con 18 participantes eligiéndola frente a 12 que optaron por la fuente fría (6000K).

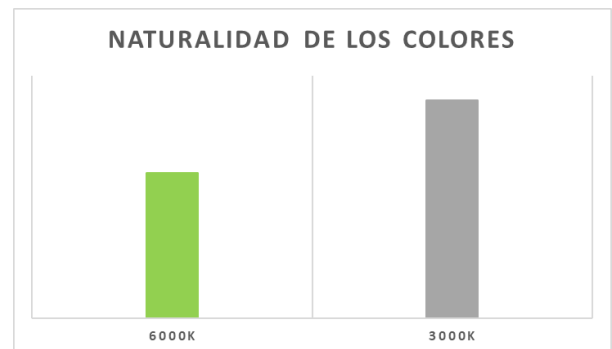


Fig.9: Cantidad de participantes que percibieron los colores como más naturales bajo iluminación LED de 6000K y 3000K

En la Figura 10, se muestran los resultados por grupo etario, de lo que podemos comentar:

- Menores de 35 años: la tendencia es clara, con 7 de 9 participantes indicando que percibieron los colores como más naturales bajo 3000K.
- Entre 35 y 60 años: los resultados están más equilibrados, con una ligera mayoría que favorece la iluminación cálida (9 frente a 7), existe una percepción más distribuida, pero aún inclinada hacia 3000K.
- Mayores de 60 años: en este grupo, se observa un comportamiento inverso, con 3 de

5 participantes percibiendo como más natural la pintura bajo 6000K. Este dato es coherente sobre el impacto del envejecimiento ocular, que puede alterar la percepción cromática y aumentar la sensibilidad relativa a longitudes de onda más cortas.

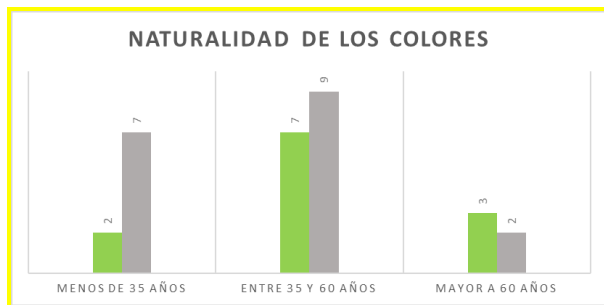


Fig.10: Cantidad de participantes que percibieron los colores como más naturales bajo iluminación LED de 6000K y 3000K, segmentados por grupo etario.

IV. CONCLUSIONES

En este estudio se han comparado las respuestas perceptuales de una misma obra de arte bajo iluminaciones con diferentes CCT, uno con una de 3000K y otro con 6000K. Los resultados analizados a partir de las respuestas de todas las personas participantes permiten afirmar que la CCT influye significativamente en la percepción y preferencia visual de obras de arte.

La iluminación neutra fue la más elegida en la elección forzada como en las calificaciones de agrado visual y naturalidad.

En el grupo de adultos mayores (>60 años) se observó una tendencia inversa en cuanto a percepción de naturalidad, con una leve inclinación hacia la luz fría (6000K). Sin embargo, al evaluar el agrado visual, este grupo también otorgó su puntuación más alta a la iluminación cálida, lo que sugiere que el confort visual sigue siendo un criterio predominante, incluso con alteraciones fisiológicas del sistema visual.

Las calificaciones subjetivas coinciden, en la mayoría de los casos, con la elección forzada de la obra preferida.

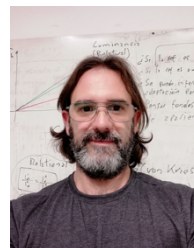
V. REFERENCIAS

- [1] CIE 13.3:1995. Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources.
- [2] Smet, K.A.G., Schanda, J., Whitehead, L. & Luo, R.M., 2013. CRI2012: A proposal for updating the CIE colour rendering index.
- [3] Bellia, L., Fragliasso, F., Stefanizzi, E., 2019. Effects of light source spectrum and background colour on the perception of paintings.
- [4] Zhai, QY., Luo, MR., Liu, XY., 2014. The impact of illuminance and colour temperature

on viewing fine art paintings under LED lighting.

- [5] Huang, Z., Liu, Q., Westland, S., Pointer, MR., Ronnier, M., Xiao, K., 2017. Light dominates colour preference when correlated colour temperature differs.
- [6] CIE 250:2022: Spectroradiometric measurement of optical radiation sources. International Commission on Illumination.
- [7] ANSI/IES LM-79-24, "Approved Method: Optical And Electrical Measurements Of Solid-States Lighting Products.

VI. BIOGRAFIAS



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.



Ing. Denis Riquelme. Docente del Departamento de Electrotecnia e Informática de la UTFSM. Estudiante del Doctorado en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente de la UNT, Argentina. Ing. Civil

Eléctrico, Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (MAVILE), UNT, Argentina. Áreas de interés en investigación: Radiometría y Colorimetría a fuentes luminosas. Instrumentos.



Evaluación de los PPFd en una luminaria LED RGB Smart

Delfina Rocha, Juan Hasenauer, Fabio Vincitorio

GIF UTN Paraná. Universidad Tecnológica Nacional. Almafuerite 1033, Paraná Entre Ríos Argentina. delfinarocha@alu.frp.utn.edu.ar

Resumen:

Este trabajo presenta una caracterización experimental del flujo de fotones emitido por una luminaria LED con canales rojo, verde, azul y blanco (correspondiente a 3000 K y 6500 K), evaluando su aplicación en sistemas de cultivo indoor. Se estudió la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD, por sus siglas en inglés) en función de la altura de montaje y la configuración espectral. Las mediciones se realizaron con un espectrómetro sobre una superficie de un metro cuadrado, utilizando cinco configuraciones espectrales a tres alturas diferentes. El control de la luminaria se efectuó mediante una aplicación móvil compatible con iOS y Android, así como por comandos de voz a través de asistentes virtuales como Alexa, Google Assistant y Siri. Además, se registraron parámetros eléctricos como potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y distorsión armónica total, tanto en corriente como en tensión. Los resultados muestran un incremento sostenido de la PPFd al reducir la distancia entre la luminaria y el plano de trabajo, independientemente de la configuración espectral y diferencias en los niveles de PPFd según el espectro seleccionado. Estos datos permiten evaluar la viabilidad técnica de este tipo de luminarias multicanal como alternativa accesible para horticultura de interior con control espectral.

Palabras claves: cultivo *indoor* – luminaria LED – PPFd – configuración espectral – aplicación móvil – espectrómetro

Abstract: This work presents an experimental characterization of the photon flux emitted by an LED luminaire with red, green, blue, and white channels (corresponding to 3000 K and 6500 K), evaluating its application in indoor cultivation systems. The photosynthetic photon flux density (PPFD) was analyzed as a function of mounting height and spectral configuration. Measurements were performed using a spectrometer over a one-square-meter surface, applying five spectral

configurations at three different heights. The luminaire was controlled through a mobile application compatible with iOS and Android, as well as by voice commands via virtual assistants such as Alexa, Google Assistant, and Siri. Additionally, electrical parameters were recorded, including active power, reactive power, power factor, and total harmonic distortion, both in current and voltage. The results show a sustained increase in PPFd as the distance between the luminaire and the working plane decreases, regardless of the spectral configuration, along with differences in PPFd levels depending on the selected spectrum. These findings support the technical feasibility of this type of multichannel luminaire as an accessible alternative for indoor horticulture with spectral control.

Keywords: indoor cultivation – LED luminaire – PPFd – spectral configuration – mobile application – spectrometer

I. INTRODUCCIÓN

Las luminarias LED RGBW están diseñadas para emitir luz de forma controlada mediante la modulación independiente de cada canal. Si bien su uso ha estado históricamente asociado a la iluminación decorativa o arquitectónica, en los últimos años se ha incrementado el interés por su aplicación en entornos que requieren un control espectral preciso, como el cultivo *indoor*.

En sistemas de cultivo bajo condiciones controladas, la luz artificial constituye un factor determinante para el desarrollo vegetal. Para evaluar su eficacia, una de las variables más representativas es la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD), que cuantifica la cantidad de fotones útiles para la fotosíntesis que inciden sobre una superficie por segundo. Este parámetro no puede medirse con un luxómetro convencional, por lo que se requieren espectrómetros u otros

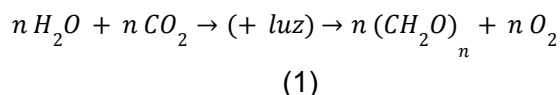
sensores capaces de registrar información dentro del rango fotosintéticamente activo.

En este contexto, el presente trabajo se propone caracterizar experimentalmente la PPFD y el comportamiento eléctrico de una luminaria LED multicanal. Se busca analizar su viabilidad como fuente de iluminación adaptable para horticultura de interior, considerando tanto su distribución espectral como sus prestaciones eléctricas y sus capacidades de control mediante aplicaciones móviles y asistentes virtuales.

II. MARCO TEORICO

La fotosíntesis es un proceso biológico esencial mediante el cual las plantas convierten la energía luminosa en energía química. A través de este proceso, las plantas utilizan dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) para sintetizar carbohidratos y liberar oxígeno (O_2) como subproducto.

La ecuación global de la fotosíntesis es la siguiente:



En este proceso $(\text{CH}_2\text{O})_n$ representa un azúcar producido durante la fotosíntesis. El oxígeno liberado como subproducto es esencial para la respiración de los seres vivos.

Este mecanismo depende de la absorción de luz por pigmentos fotosintéticos, principalmente la clorofila A, que responde eficientemente a longitudes de onda comprendidas entre 400 y 700 nanómetros, rango conocido como radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés) [1].

La eficiencia fotosintética dentro del espectro PAR varía según la longitud de onda. La luz roja (600–700 nm) y azul (400–500 nm) son las más efectivas para la fotosíntesis [1]. En cambio, la luz verde (500–600 nm) tiene una menor absorción por la clorofila, pero puede penetrar más profundamente en el dosel vegetal. Además, es utilizada por pigmentos accesorios como carotenoides, cumpliendo un rol importante en el balance energético y la fotosíntesis en capas inferiores del follaje [2].

Para cuantificar la luz útil para la fotosíntesis, se utiliza la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD). Este parámetro se expresa en micromoles de fotones por metro cuadrado por segundo ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y representa la cantidad instantánea de fotones dentro del rango PAR que

inciden sobre una superficie. A diferencia de la iluminancia, medida en lux y ponderada según la sensibilidad visual humana, la PPFd mide exclusivamente la luz aprovechable para la fotosíntesis. Por ello, es el parámetro más relevante en el diseño y evaluación de sistemas de iluminación para horticultura [1].

Complementariamente, el índice diario de luz (DLI, Daily Light Integral) cuantifica la cantidad acumulada de luz fotosintéticamente activa que recibe una planta durante un día. Se expresa en moles por metro cuadrado por día ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) y está estrechamente relacionado con el rendimiento y desarrollo fenológico de los cultivos [3].

La implementación de proyectores LED multicanal RGBW en cultivos indoor permite un control espectral preciso mediante la modulación independiente de los canales rojo, verde, azul y blanco. Esta característica es especialmente valiosa, dado que las distintas etapas del ciclo de vida vegetal —germinación, crecimiento vegetativo y floración— responden diferencialmente a las longitudes de onda. La combinación de luz azul y roja es óptima para la fotosíntesis. Por su parte, la luz verde y blanca contribuyen a una mejor penetración lumínica y a una distribución espectral equilibrada. Además, la luz blanca facilita la observación y monitoreo visual del cultivo, mejorando las condiciones de trabajo [4].

Frente a tecnologías convencionales, los proyectores LED presentan ventajas térmicas y energéticas. Emiten menos calor radiante, lo que permite ubicarlos más cerca del dosel vegetal sin riesgo de daño térmico. Esto maximiza la PPFd efectiva, especialmente en espacios reducidos [5].

La medición precisa de la PPFd requiere el uso de sensores o espectrómetros capaces de registrar la cantidad de fotones dentro del rango PAR. Estas mediciones son fundamentales para optimizar el crecimiento vegetal y evaluar la eficiencia y distribución espacial del flujo fotónico emitido por los dispositivos LED [6].

Una herramienta teórica útil para estimar la variación de la PPFd en función de la distancia entre la fuente emisora y el plano de cultivo es la ley del inverso del cuadrado de la distancia. Esta ley describe cómo se atenúa la intensidad de una magnitud irradiada desde una fuente puntual a medida que aumenta la distancia, y puede expresarse como:

$$E = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2)$$

Donde E es la densidad de flujo irradiado, P potencial total emitida por la fuente puntual y $4\pi r^2$ corresponde a la superficie de una esfera de radio r , que representa el área sobre la cual se distribuye uniformemente el flujo en un espacio libre e isotrópico [7].

Desde el punto de vista eléctrico, la caracterización de las luminarias incluye parámetros como potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y distorsión armónica total (THD). Estos últimos pueden afectar la calidad de la energía y la eficiencia del sistema eléctrico. La potencia activa representa la energía útil consumida, mientras que la potencia reactiva está asociada a campos electromagnéticos que no realizan trabajo útil, pero afectan el sistema. El factor de potencia indica qué tan eficientemente se utiliza la energía eléctrica, y la distorsión armónica total (en corriente y tensión) mide las desviaciones de la forma de onda ideal que pueden causar problemas en la red eléctrica. Evaluar estos parámetros es esencial para garantizar un funcionamiento óptimo y evitar interferencias o sobrecostos energéticos [8].

Finalmente, la integración tecnológica de los proyectores LED con sistemas de automatización inteligente, mediante conectividad Wi-Fi y Bluetooth, permite su control remoto a través de aplicaciones móviles compatibles con iOS y Android, así como asistentes de voz como Alexa, Google Assistant y Siri. Esta capacidad facilita la adaptación rápida y precisa de las condiciones de iluminación según el tipo de cultivo y la etapa fenológica, contribuyendo a un manejo más eficiente y personalizado del sistema de cultivo indoor [9].

III. MATERIALES Y METODO

Para la experiencia se utilizó como instrumento principal un espectrómetro Sekonic C-7000, diseñado para medir la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) en el rango de 400 a 700 nm. La caracterización eléctrica de la luminaria se realizó con un analizador digital de energía trifásica ENTES MPR-63 con salida RS485. Este equipo permitió registrar potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y distorsión armónica total (THD) en corriente y tensión.

El área de medición se definió como un plano horizontal de 1 m × 1 m, dividido en 10 secciones iguales.

La fuente lumínica fue un proyector LED RGBW, con capacidad de emitir luz en canales rojo, verde, azul y blanco, con temperaturas de color de 3000 K y 6500 K. La luminaria cuenta con conectividad Wi-Fi (2.4 GHz) y Bluetooth, y puede ser operada desde una aplicación móvil

compatible con Android e iOS, así como mediante comandos de voz por Alexa, Google Assistant y Siri.

Método utilizado

En el centro de cada sección se marcó un punto de medición. Las pruebas se realizaron en condiciones de oscuridad, a fin de evitar interferencias externas.

La luminaria fue montada en un trípode, inicialmente a una altura de 1 m respecto al plano de trabajo. Desde un teléfono móvil Android, se vinculó la luminaria por Bluetooth, lo que permitió encenderla, seleccionar el canal activo y ajustar la configuración espectral desde la aplicación móvil.

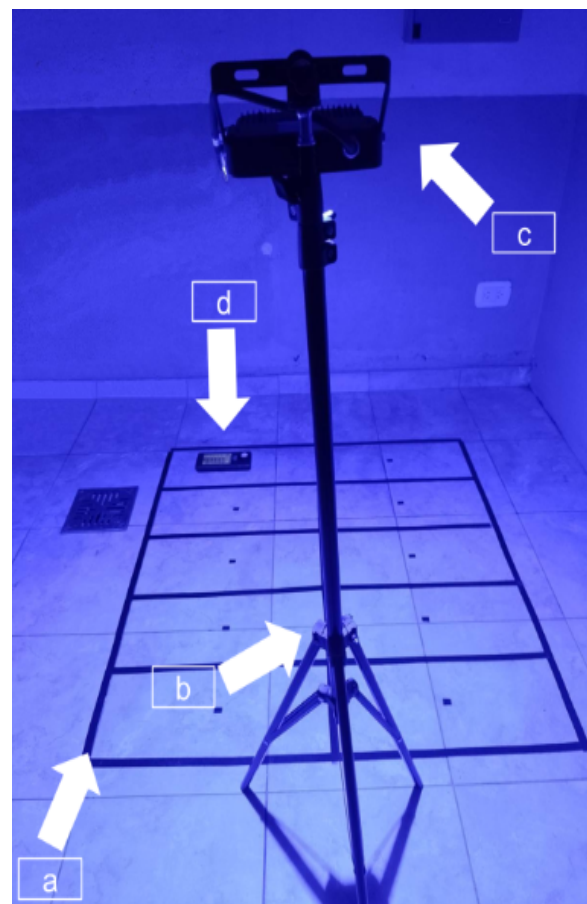


Fig. 1: Montaje de ensayo para el análisis de PPFd, con el canal azul encendido. (a) Es el área de medición. (b) Es el trípode. (c) Es el proyector LED RGBW. (d) El espectrómetro.

Se realizaron mediciones de PPFd para cinco configuraciones espectrales: rojo, verde, azul, blanco 3000 K y blanco 6500 K. Para cada una de ellas, se registraron 10 mediciones puntuales —una por cada punto marcado— con el espectrómetro Sekonic C-7000. Completadas las mediciones a 1 m de altura, la luminaria se colocó a 0.65 m y luego a 0.45 m, repitiendo el mismo protocolo para cada configuración espectral.



Fig.2: Medición de PPFd canal verde

En forma independiente del análisis fotométrico, se caracterizó el comportamiento eléctrico de la luminaria. Para cada canal espectral, se midieron los parámetros eléctricos mientras se variaba la intensidad lumínica desde el 100 % al 10 %, en pasos del 10 %. Se obtuvieron así 10 mediciones por canal, lo que permitió evaluar el desempeño de la luminaria como carga eléctrica en distintos niveles de exigencia.

IV. RESULTADOS

Las mediciones experimentales de densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) realizadas a tres alturas (1 m, 0.65 m y 0.45 m) mostraron en todas las configuraciones espectrales un aumento sistemático de la PPFd al reducir la distancia entre la luminaria y el plano de medición. Este comportamiento se mantuvo en los cinco canales evaluados (rojo, verde, azul, blanco 3000 K y blanco 6500 K), y se corresponde con lo esperado: al reducirse la superficie iluminada, los fotones emitidos se concentran sobre un área menor, lo que incrementa la densidad de fotones incidente.

Con el objetivo de ampliar la interpretación de los datos obtenidos experimentalmente, se desarrolló un modelo estimativo de PPFd en función de la altura. Este modelo parte del valor medido a 1 m y permite proyectar el comportamiento del flujo para otras distancias, facilitando así la planificación de condiciones de iluminación sin necesidad de repetir mediciones para cada configuración geométrica.

Para ello, se empleó la ley del inverso del cuadrado de la distancia.

A partir de esta expresión general (2) se dedujo el siguiente modelo relativo, adaptado al caso práctico:

$$PPFD_{estimado} = PPFd_{1m} \left(\frac{1m}{h} \right)^2 \quad (3)$$

Donde $PPFD_{estimado}$, es la densidad de flujo de fotones fotosintéticos estimada a una altura h , $PPFD_{1m}$ valor medido de referencia a 1 m y h la altura de cálculo.

Esta ecuación permitió construir una tabla con estimaciones de PPFd desde 95 cm hasta 5 cm, en incrementos de 5 cm, proyectando el comportamiento para alturas no medidas directamente. Aunque el modelo predice correctamente la tendencia creciente del flujo al reducir la distancia, los valores calculados presentaron diferencias significativas respecto a las mediciones reales, especialmente a distancias cortas.

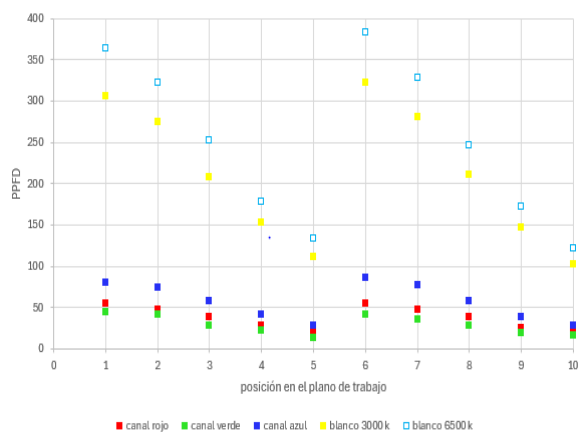


Fig.3: PPFd obtenidos para cada canal

Estas discrepancias se deben a que la luminaria no se comporta como una fuente puntual ideal, sino que presenta una geometría extendida, emisión angular variable y lentes de distribución que afectan la homogeneidad del flujo. A pesar de estas limitaciones, el modelo puede ser utilizado como herramienta preliminar de diseño, siempre

que se reconozca su carácter aproximado y se lo complemente con mediciones reales.

Con el objetivo de evaluar el comportamiento eléctrico de la luminaria bajo diferentes configuraciones espectrales, se realizaron mediciones de potencia activa (P), potencia aparente (S) y distorsión armónica total en corriente (THD-I) para cada uno de los cinco canales disponibles (rojo, verde, azul, blanco 3000 K y blanco 6500 K). Las mediciones se realizaron variando la intensidad de emisión desde el 100 % hasta el 10 %, en pasos del 10 %.

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a los niveles extremos (100 % y 10 %), que permiten observar con claridad el rango completo de comportamiento eléctrico de cada canal.

TABLA I: Medición de parámetros eléctricos

Canal	Parámetros eléctricos		
	100% intensidad		
	P [W]	S [VA]	THD I%
Rojo	9.3	17.7	129.1
Verde	6.9	13.7	134.1
Azul	6.6	12.8	129.4
Blanco 3000 K	20.9	41.6	147.4
Blanco 6500 K	21.6	41.2	127.3

TABLA II: Medición de parámetros eléctricos

Canal	Parámetros eléctricos		
	10% intensidad		
	P [W]	S [VA]	THD I%
Rojo	2.7	6.2	102.5
Verde	2.2	5.3	88.1
Azul	2.4	5.7	78.5
Blanco 3000 K	5.5	11.3	117.6
Blanco 6500 K	5.5	11.6	128.2

Los resultados indican que la potencia activa disminuye proporcionalmente con la reducción de intensidad en todos los canales, siendo más elevada en las configuraciones blancas (superior a 20 W a máxima potencia), mientras que los canales rojo, verde y azul presentan potencias activas inferiores a los 10 W. A mínima intensidad, todos los canales registraron valores de potencia activa inferiores a 6 W.

En cuanto a la THD-I, los valores fueron elevados en todas las configuraciones, oscilando entre 78 % y 147 %. Esta alta distorsión armónica sugiere que el driver electrónico de la luminaria

introduce componentes no fundamentales en la forma de onda de corriente. Si bien la distorsión armónica en corriente no afecta de forma directa la generación de flujo luminoso en condiciones normales de operación, puede influir negativamente en el rendimiento del sistema a largo plazo, especialmente en instalaciones donde múltiples dispositivos se alimentan en paralelo sin mecanismos de compensación.

En conjunto, los datos muestran un consumo eléctrico que refleja las diferencias de rendimiento espectral observadas en términos de PPFD, y un comportamiento estable bajo distintos niveles de exigencia, aunque con una distorsión armónica considerable que debe ser tenida en cuenta en contextos de mayor sensibilidad a la calidad de red.

V.DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Si bien todas las configuraciones espectrales respondieron de forma similar ante el cambio de altura, el valor de PPFD entregado por cada una fue diferente. Estas diferencias se explican por la, su eficiencia dentro del rango fotosintéticamente activo (PAR) y el diseño óptico de la luminaria, que afecta la distribución angular del haz.

A una misma altura, por ejemplo, una configuración espectral puede entregar el doble de PPFD que otra, a pesar de estar accionadas a la misma intensidad. Este comportamiento indica que no todas las emisiones espectrales aportan la misma cantidad de fotones útiles para la fotosíntesis, aun bajo condiciones idénticas de montaje. Por lo tanto, al seleccionar los canales espectrales a utilizar, es necesario considerar no solo el tipo de emisión espectral, sino también la cantidad real de fotones útiles que cada canal es capaz de aportar al sistema.

El análisis conjunto de los datos revela que la altura de instalación y el canal espectral actúan como variables combinadas que determinan el nivel de PPFD disponible. Si bien todas las configuraciones espectrales responden con un aumento de PPFD al reducir la distancia, lo hacen desde diferentes valores de mínima emisividad y con diferente pendiente de incremento. Es decir, algunas requieren distancias más cortas para alcanzar umbrales mínimos de flujo útil, mientras que otras resultan más eficientes desde alturas mayores.

Este comportamiento pone en evidencia que, al diseñar un sistema de iluminación para cultivo indoor utilizando luminarias RGBW, no alcanza con ajustar un único parámetro (altura o

configuración espectral). Se requiere una optimización conjunta de ambas variables según los requerimientos fisiológicos de la especie cultivada y la etapa de desarrollo (germinación, vegetativo, floración).

VI. CONCLUSION

Los ensayos realizados permitieron caracterizar el rendimiento en términos de PPFD y consumo eléctrico de una luminaria LED RGBW, evaluando su aplicación en sistemas de cultivo indoor. Se comprobó que la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) aumenta al reducir la altura de instalación, y que cada canal espectral entrega una cantidad distinta de fotones útiles, incluso cuando operan a igual intensidad.

Si bien el modelo basado en la ley del inverso del cuadrado de la distancia permitió estimar tendencias generales, los resultados experimentales confirmaron la necesidad de validar estas proyecciones con mediciones reales, especialmente a distancias cortas.

Además, se detectó un nivel notable de distorsión armónica total de corriente (THDI), lo cual implica un calentamiento adicional que debe considerarse en el diseño y la gestión térmica de sistemas indoor, para evitar impactos negativos en la eficiencia y la durabilidad de las luminarias.

Un aspecto particularmente relevante observado fue la facilidad de operación remota: la posibilidad de ajustar tanto la intensidad como la configuración espectral desde un dispositivo móvil, sin necesidad de contacto físico con la luminaria, representa una ventaja significativa en entornos de cultivo bajo condiciones controladas.

En conjunto, la experiencia demostró que este tipo de proyectores ofrece una solución accesible, adaptable y tecnológicamente conveniente para la horticultura de interior, particularmente en escenarios donde el control espectral y la automatización remota son deseables.

VII. RECONOCIMIENTOS

A la Facultad Regional Paraná de la Universidad Tecnológica Nacional y a la Dirección de Alumbrado Público de la ciudad de Paraná por la cooperación en el uso de medios y dispositivos.

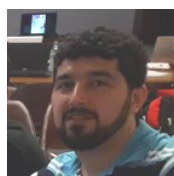
VIII. REFERENCIAS

- [1] Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (Eds.). (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2.ª ed., caps. 9–10). McGraw-Hill Interamericana de España.
- [2] Terashima, I., Fujita, T., Inoue, T., Chow, W. S., & Oguchi, R. (2009). Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green. *Plant and Cell Physiology*, 50(4), 684–697.
- [3] Faust, J. E., & Logan, J. (2018). Daily light integral: A research review and high-resolution maps of the United States. *HortScience*, 53(9), 1250-1257.
- [4] Singh, D., Basu, C., Meinhardt-Wollweber, M., & Roth, B. (2015). LEDs for energy efficient greenhouse lighting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 139–147.
- [5] Massa, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7), 1951–1956.
- [6] McCree, K. J. (1972). The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191–216.
- [7] Ryer, A. (1997). *Light measurement handbook*.
- [8] Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Beaty, H. W., & Santoso, S. (1996). *Electrical power systems quality*.
- [9] Hadj Abdelkader, O., Bouzebiba, H., Pena, D., & Aguiar, A. P. (2023). Energy-efficient IoT-based light control system in smart indoor agriculture. *Sensors*, 23(18), 7670.

BIOGRAFIAS



Delfina Rocha, nació en Paraná, provincia de Entre Ríos, el 4 de mayo de 1995. Es estudiante avanzada de la carrera Ingeniería en Electromecánica de la facultad Regional Paraná de la UTN. Se desempeña como ayudante de segunda en la cátedra Matemáticas para Ingenieros e integra los grupos de investigación GIF y GiePi en la UTN FRP. Actualmente realiza una pasantía en la Dirección de Alumbrado Público de la Ciudad de Paraná.



Juan Hasenauer, Nació en la ciudad de Paraná Argentina el 2 de junio de 1991. Se graduó de ingeniero en electromecánica en el año 2019. Actualmente cursa la maestría en energías renovables de la UTN FRP. Se

desempeña como director técnico en la Dirección de Alumbrado Público de la Municipalidad de Paraná.



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 Universidade Da Coruña 2014.

Profesor Titular de la cátedra de Física y Director del Grupo de Investigación en Física Aplicada a la Ingeniería. Director de la maestría en Energías Renovables que se dicta en la UTN FRP.



PACs: suite de programas open source para análisis dinámico de indicadores de luz natural en Radiance

Schumacher, Emanuel Ricardo - Monteoliva, Juan Manuel

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía - CONICET, Mendoza, Argentina -
eschumacher@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen: En el campo de la luz natural, RADIANCE se destaca como el motor de cálculo de iluminación más validado y ampliamente utilizado por la comunidad científica. No obstante, RADIANCE no incorpora programas de posprocesamiento para el cálculo de métricas de luz natural. En este contexto, el presente trabajo introduce un conjunto de Programas de Automatización de Cálculos (PACs) para el posprocesamiento de archivos de simulación de luz natural generados por RADIANCE. Hasta la fecha, se han desarrollado: (i) PAC-MD (2022-2023): herramienta de posprocesamiento de métricas dinámicas luz natural autónoma, luz natural autónoma espacial, Iluminancia por luz natural útil, Iluminancia por luz natural útil espacial, iluminancia por luz natural característica (CDI) e iluminancia por luz natural característica espacial (sCDI). (ii) PAC-PHOS4D (2023-2024): herramienta de posprocesamiento de archivos de simulaciones por zona de luz natural en edificios reconstruidos mediante el módulo phos4dtool. (iii) PAC-FOVE (2025): variación optimizada de PAC-MD para el cálculo específico de CDI y sCDI en grandes volúmenes de simulaciones dinámicas. La principal contribución de este trabajo radica en la creación de recursos de acceso libre que automatizan y amplían el análisis de datos de RADIANCE, abriendo nuevas posibilidades para el estudio de la luz natural y promoviendo de manera concreta la transparencia, reproducibilidad y colaboración en el marco de la ciencia abierta.

Palabras claves: iluminación natural, métricas dinámicas, posprocesamiento, procesamiento paralelo.

Abstract: In the field of daylighting, RADIANCE stands out as the most validated and widely used lighting calculation engine by the scientific community. However, RADIANCE does not incorporate post-processing programs for the calculation of daylighting metrics. In this context, this work introduces a set of Calculation

Automation Programs (PACs) for the post-processing of daylighting simulation files generated by RADIANCE. To date, the following have been developed: (i) PAC-MD (2022-2023): a post-processing tool for dynamic metrics Daylight Autonomy, spatial Daylight Autonomy, Useful Daylight Illuminance, spatial Useful Daylight Illuminance (sCDI), Characteristic Daylight Illuminance (CDI), and spatial Characteristic Daylight Illuminance. (ii) PAC-PHOS4D (2023-2024): a post-processing tool for simulation files by daylight zone in buildings reconstructed using the phos4dtool module. (iii) PAC-FOVE (2025): an optimized variation of PAC-MD for the targeted computation of CDI and sCDI in large-scale dynamic simulations. The primary contribution of this work lies in the development of open-access resources that automate and extend the analysis of RADIANCE data, thereby opening new possibilities for the study of daylight and, more specifically, promoting transparency, reproducibility, and collaboration within the framework of open science.

Keywords: daylight, dynamic metrics, post-processing, parallel computing

I. INTRODUCCION

En el ecosistema actual de herramientas para la simulación por computadora de luz natural, RADIANCE es el motor de cálculo más utilizado y validado en la comunidad científica con más de 20 años de trayectoria. Si bien este software brinda un conjunto importante de herramientas de cálculo (sub-programas) para analizar la luz natural, no cuenta con herramientas de posprocesamiento de análisis de métricas dinámicas. Fiel a su filosofía, el motor delega en el usuario el desarrollo de estas tareas, lo que ha impulsado que muchos profesionales adquieran herramientas comerciales (pagas) para realizar dichos análisis.

En el mercado actual se ofrecen diferentes softwares que implementan RADIANCE como motor de cálculo, y brindan soluciones propias de posprocesado tales como: Daysim, Ladybug Tools, Pollination, ClimateStudio, entre otras. No obstante, las necesidades particulares en el campo académico, científico como comercial muchas veces demandan una versatilidad que estas herramientas adquiridas no siempre ofrecen, o al menos no en los mismos tiempos de actualización que ofrece permanentemente el motor RADIANCE.

Por este motivo, el desarrollo de herramientas que atienden esta necesidad de flexibilidad, adaptación e interoperabilidad son fundamentales en la actualidad. Bajo este concepto, este trabajo presenta un pack o conjunto de herramientas desarrolladas para el cálculo de métricas dinámicas de luz natural en función de los archivos de salida generados por RADIANCE (Pack PACs). Estas son gratuitas y se distribuyen bajo una licencia de código abierto, lo que permite al usuario descargarlas, utilizarlas sin costo y modificarlas según sus necesidades particulares, otorgándole así la capacidad de ampliar las características y funcionalidades iniciales de cada una.

II. METODOLOGÍA

El conjunto de herramientas PAC-MD, PAC-PHOS4D y PAC-FOVE permite el posprocesamiento de diferentes indicadores de luz natural. Están implementadas en lenguaje Python y hacen uso de bibliotecas especializadas en la gestión y visualización de datos, ofreciendo una interfaz intuitiva diseñada tanto para investigadores como para profesionales.

Todas las herramientas del PACK PACs aplican y comparten la misma metodología de diseño, la cual se organiza en 6 ciclos básicos de posprocesamiento: (1) *colección de datos de salida del simulador*, (2) *preparación y filtrado a través de criterios personalizables*, (3) *input o datos de entrada*, (4) *cálculo de métricas dinámicas*, (5) *output o datos de salida* y (6) *almacenamiento de los resultados*.

A continuación, se presentará el desarrollo de las herramientas: PAC-PHOS4D y PAC-FOVE, dado que PAC-MD fue publicada previamente en ediciones anteriores [1].

A. PAC-PHOS4D (2023-2024)

Esta herramienta permite el posprocesamiento de archivos de simulaciones por zona de luz natural en edificios reconstruidos mediante el módulo *phos4dtool* [2]. Este módulo emplea una técnica de muestreo adaptativo espacial e incorpora una nueva propuesta de muestreo adaptativo temporal, basada en la concepción del día en la antigua Roma. En este marco, *phos4dtool* divide

el período de luz diurna en doce intervalos llamados *horae* (horas), cuya duración varía según la estación del año. El resultado son 12 períodos a lo largo de los 12 meses del año

Estos archivos de salida son del tipo valores separados por tabulación. Se conforman por un conjunto de columnas que detallan la zona de análisis, las coordenadas espaciales, el área, y 144 valores de iluminancia correspondiente al valor medio de las 12 horas de luz diurna, de los 12 meses del año. El archivo se designa con el nombre de *export_pts4_ID.tsv*, donde 'ID' identifica el espacio evaluado.

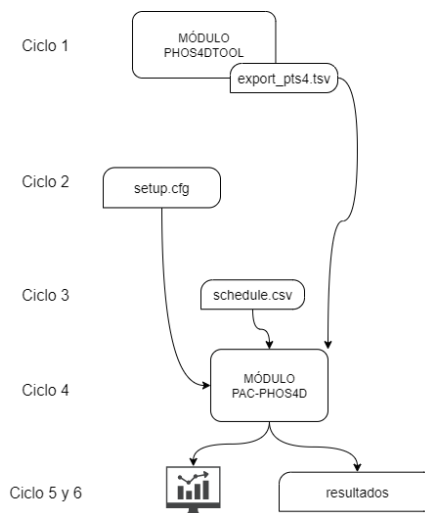


Fig.1: Flujo de trabajo de PAC-PHOS4D

En particular, PAC-PHOS4D implementó, a diferencia de desarrollos previos, un archivo de configuración (*setup.cfg*). Este archivo permite la preparación y selección de filtros personalizables, incluyendo la definición de la ubicación de los archivos a procesar, el destino del archivo de resultados y el periodo de estudio (meses/horas). Las métricas dinámicas incorporadas al posprocesamiento son: *iluminación media anual (MCT)* (*horizontal/vertical*), *iluminancia característica de la luz diurna* (siglas en inglés CDI) e *iluminancia característica de la luz diurna espacial* (siglas en inglés sCDI) [3].

La salida obtenida consiste en: (i) posprocesamiento de datos, y su posterior almacenamiento en un archivo de valores separados por coma, designado con el nombre *results_pac-phos4dt.csv* (ii) Visualización interactiva de datos, se genera de forma automática una interfaz web que abre una pestaña en el explorador de internet configurado por defecto en la PC. En esta interfaz se muestra un mapa de calor de 12x12 celdas, donde las columnas representan las 12 horas de luz diurna y las filas corresponden a los meses del año, visualizando los valores de MCT o CDI. Asimismo, se permite seleccionar la zona mediante una lista desplegable. Como detalle adicional, la interfaz ofrece la opción de alternar la visualización de

periodos de tiempos predefinidos en el archivo de configuración. En la Fig. 1 se presenta el flujo de trabajo implementado.

B. PAC-FOVE

Esta herramienta es una adaptación de PAC-MD, la cual ofrece el posprocesamiento de archivos de salida de simulaciones dinámicas obtenidas en RADIANCE, optimizando su cálculo para grandes volúmenes de información. Este método dinámico permite evaluar con precisión el comportamiento de la iluminación natural durante las 8,760 horas del año (las 24 horas del día, los 365 días), utilizando una caracterización detallada del cielo, obtenida de bases de datos climáticas satelitales y/o terrestres [4].

Los datos de salida generados consisten en una serie de columnas correspondientes a cada uno de los sensores de la grilla y las 8,760 horas del año. El archivo generado se nombra como output.dat y será el usado como dato de entrada al ciclo (3). Para la preparación y filtrado mediante criterios personalizables, y dado que esta herramienta está diseñada para calcular, a partir de un conjunto de datos específico, dos métricas dinámicas, un cronograma de ocupación (schedule.csv) y un porcentaje de cumplimiento de sensores a considerar en el análisis de la métrica espacial sCDI, se ha decidido declarar estos parámetros directamente en el propio código.

Las métricas incorporadas en esta herramienta, CDI y sCDI, migran el cálculo implementado en PAC-MD [1] e incorporan una lógica de procesamiento paralelo de los archivos de simulación, con el objetivo de optimizar los tiempos de cómputo y aprovechar las capacidades de procesadores multinúcleos de las plataformas actuales. Los valores de las métricas dinámicas calculadas para cada una de las simulaciones se almacenan en un archivo de valores separado por comas denominado FV_dataset_CDI_sCDI.csv. En la Fig.2 se detalla el flujo de trabajo implementado.

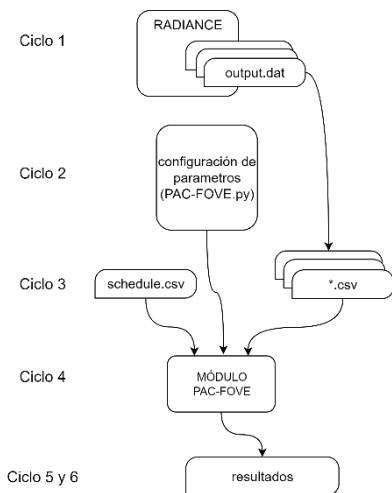


Fig.2: Flujo de trabajo de PAC-FOVE

III. RESULTADOS

Como resultado este PACK ofrece tres módulos que conforman hasta este momento el paquete de Programas de Automatización de Cálculos. Las mismas están escritas en lenguaje Python 3.9, y hacen uso de las librerías numpy 1.22.4, pandas 1.5.0, matplotlib 3.6.0, glob para PAC-MD; PAC-FOVE además incluye la librería de multiprocesamiento nativa de Python y PAC-PHOS4D usa la librería plotly 5.21 para la generación de las imágenes interactivas de los mapas de calor. Las herramientas pueden ser ejecutadas en Visual Studio Code -o entornos similares- o correrlas por línea de comando con Python desde el terminal.

El conjunto de herramientas PAC brinda soluciones de posprocesamiento de métrica dinámicas que se caracteriza por su capacidad de procesar altos volúmenes de datos con un mínimo de configuración por parte del usuario.

- PAC-MD destaca por su capacidad de evaluar un conjunto de archivos de simulación RADIANCE con respecto a uno o varios archivos de ocupación y obtener las métricas dinámicas (DA, sDA, UDI, sUDI, CDI, sCDI)[1].
- PAC-PHOS4D provee la capacidad de analizar métricas dinámicas en función del paradigma de estudio de la luz natural enfocado en sociedades antiguas, análisis que no se cuenta en otras herramientas del mercado. La interfaz gráfica (Fig. 3) despliega un mapa de calor que permite visualizar de manera rápida y precisa el patrón de iluminación de la métrica dinámica calculada. Cuenta con una lista desplegable para seleccionar la zona por nombre y métrica a mostrar, ya sea la MCT o CDI, así como dos botones que permiten activar o desactivar la visualización del rango de meses y horas configurado.



Fig.3: Interfaz gráfica PAC-PHOS4D

Su aplicación se ha documentado en estudios realizados en el marco de un proyecto colaborativo internacional que participaron los autores: “ $\Phi\Omega\Sigma$ 4D – Evaluación del aprovechamiento de la luz natural en edificaciones residenciales antiguas basada en accesibilidades”, desarrollado en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Artes de Lucerna (Suiza). Asimismo, forma parte de un

artículo en preparación centrado en la Casa de la Nave Europa, ubicada en el Parque Arqueológico de Pompeya (Nápoles, Italia).

- PAC-FOVE marca un importante avance en la velocidad de cómputo haciendo uso de las ventajas de los procesadores actuales de multinúcleo reduciendo drásticamente los tiempos para el cálculo de las métricas dinámicas propuestas. Se llevó a cabo un ensayo de cómputo en *modalidad serie* y *paralelo*, así como una *evaluación del rendimiento del cómputo paralelo*. Para el primero, se emplean 4260 simulaciones de un conjunto de 230,747 datos disponibles y 2 computadoras, una plataforma con procesador Intel i5 10210 con 4 núcleos (8 procesadores lógicos) y una plataforma AMD Ryzen 7 5800X con 8 núcleos (16 procesadores lógicos), ambas con 32GB de memoria RAM. Para la *evaluación de rendimiento* se emplea el conjunto de 230,747 datos simulados y la plataforma AMD Ryzen 7 5800X. En el *ensayo de cómputo serie* y *paralelo* se evaluaron los tiempos de la lógica secuencial, donde se computa las métricas dinámicas de cada simulación una por una, con respecto al nuevo enfoque de cálculo paralelo, donde se procesan múltiples archivos de simulación a la vez y se hace uso de todos los núcleos de procesamiento disponibles de cada plataforma. En la TABLA I se presentan los tiempos de las pruebas realizadas para ambas plataformas.

TABLA I: Tiempos de cómputo de 4260 simulaciones [segundos]

Procesamiento	Plataforma	
	intel (4 núcleos)	AMD (8 núcleos)
Serie	277,380	297,03
Paralelo	95,950	23,870

Se observa que el caso de procesamiento serie, el uso del tipo de plataforma tiene bajo impacto, con una relación de 0,93 entre ambas; por el contrario, al usar la totalidad de los núcleos en el enfoque paralelo, se aprecia una mejora sustancial en los tiempos de cómputo de ambas plataformas.

Analizando los tiempos de procesamiento serie y paralelo, la plataforma Intel (8 núcleos lógicos), empleando todos los núcleos del procesador, ejecuta 2,89 veces más rápido los cálculos de las métricas dinámicas, así mismo la plataforma AMD (16 núcleos lógicos) computa 12,44 veces más rápido con respecto al procesamiento serie. La evaluación de cómputo paralelo entre plataformas arroja una mejora de los tiempos al usar una cantidad mayor de núcleos, siendo la plataforma AMD con 16 núcleos

lógicos, 4 veces más rápida que la plataforma Intel con 8 núcleos lógicos. Esto consolida la robustez de la implementación del cálculo paralelo en grandes volúmenes de datos.

Con estos resultados se realiza la *evaluación de rendimiento de cómputo paralelo* con el conjunto de 230.747 simulaciones, las cuales son posprocesadas en la plataforma AMD empleando todos los núcleos lógicos disponibles, obteniendo el cómputo total en 21,55 minutos, en contraste de 4hs 28 minutos que demanda el cálculo mediante procesamiento serie.

Su aplicación se ha registrado en el marco de un financiamiento específico público-privado, "Fondos Verdes para la Sostenibilidad Ambiental", otorgado a los autores por el Municipio de Capital y el Banco Galicia. Dicho financiamiento específico tuvo como objetivo la migración de un modelo predictivo de luz natural previamente desarrollado hacia un entorno de aplicación móvil.

IV. CONCLUSIONES

El PACK PACs ofrece a los usuarios del entorno de simulación RADIANCE una alternativa de código abierto para el cálculo de métricas dinámicas y la visualización de resultados, en contraste con las soluciones comerciales. Las herramientas están disponibles a través del repositorio de proyectos del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía en la plataforma GitHub [5].

Desde la creación de la primera herramienta, las capacidades de visualización y la velocidad de procesamiento se han perfeccionado de manera continua. Estos objetivos iniciales continúan siendo una prioridad en los desarrollos futuros. Los autores buscan seguir perfeccionando y ampliando estas herramientas de código abierto, con el fin de facilitar el acceso a soluciones de cálculo de métricas dinámicas de luz natural de alta calidad y, al mismo tiempo, promover el avance de la ciencia abierta.

V. RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

(CONICET, Argentina) - PIBAA 2872021010-0031CO y la Agencia Nacional de Investigaciones

Científicas y Tecnológicas Promoción (ANPCyT, Argentina) - PICT 2019-04356. La fuente de financiación no participó en el diseño de este estudio; en la recopilación, análisis e interpretación de datos; en la redacción del informe; o en la decisión de someter el artículo para su publicación.

VI. REFERENCIAS

- [1] Monteoliva, J. M., & Schumacher, E. R. (2023, septiembre 8). Herramienta de código abierto para el pos-procesamiento de métricas dinámicas y visualización de resultados a partir de datos originales de simulaciones anuales. XVI Jornadas Argentinas de Luminotecnia (LUZ 2023), Santiago del Estero, Argentina. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10465752>.
- [2] Wasilewski S. & Noback A., (s.f.). phos4dtools. IGIT, TU Darmstadt <https://igit.architektur.tu-darmstadt.de/phos-4d/phos4dtools>
- [3] Monteoliva, J. M., Bellia, L., Fragliasso, F., & Pattini, A. (2020). Ancient Romans and daylighting: the case of Villa of the mysteries in Pompeii. Journal of Cultural Heritage, 43, 204–218. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.12.008>.
- [4] Villalba A, Monteoliva JM, Donato SM y Pattini AE (2024). Desarrollo de modelo predictivo regional de la disponibilidad de luz natural en espacios interiores. Análisis preliminar de datos. Avances en energías renovables y medio ambiente. 28, p 33-43, ISSN 2796-8111.
- [5] INAHE-CONICET, (s.f.), <https://github.com/INAHE-CONICET>

VI. BIOGRAFIAS



Ing. Emanuel R. Schumacher
Personal de Apoyo. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina. Enlaces de interés: [CONICET](#)



Dr. Juan Manuel Monteoliva
Investigador Adjunto. Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina. Enlaces de interés: [CONICET](#)



ENSEÑAR A DISEÑAR DESDE LA INMATERIALIDAD Y EXPRESIVIDAD DE LA LUZ EN LOS ESPACIOS. Experiencias didácticas en carreras de diseño de interiores.

Zoppi, Carlos Augusto¹

¹Facultad de Arte y Diseño – Universidad Provincial de Córdoba
czoppi@upc.edu.ar

Resumen A partir de dos décadas de experiencia en la enseñanza del Diseño Lumínico, este trabajo presenta estrategias didáctico-pedagógicas, y los resultados alcanzados en su implementación. El desarrollo se enmarca en la Tecnicatura Universitaria en Diseño de Interiores de la Facultad de Arte y Diseño (UPC), en las asignaturas Diseño Lumínico I y II. La propuesta concibe la iluminación como parte integral del proceso proyectual, articulando dimensiones perceptuales, materiales, morfológicas, técnicas, energéticas, económicas y de mantenimiento.

Los objetivos de las asignaturas apuntan a que los estudiantes: (i) desarrollen una mirada crítica sobre el rol de la luz en la configuración espacial; (ii) ejerciten procesos integrales de diseño para abordar proyectos de mayor complejidad; (iii) incorporen herramientas gráficas y de comunicación proyectual; y (iv) elaboren propuestas creativas donde la luz forma parte del proyecto desde la génesis del mismo.

A través de la observación de espacios reales y el análisis crítico de proyectos, los estudiantes van descubriendo la luz como materia intangible que otorga sentido plástico a la arquitectura, transformando espacios físicos en múltiples experiencias lumínicas. Los resultados obtenidos evidencian la consolidación de un enfoque donde los estudiantes demuestran habilidades para integrar intuición, experimentación, creatividad y conocimiento técnico.

Palabras claves: Diseño lumínico – Enseñanza – Estrategias didácticas

Abstract: Based on two decades of experience teaching Lighting Design, this work presents didactic and pedagogical strategies and the results achieved in their implementation. The project is part of the University Degree in Interior Design at

the Faculty of Art and Design (UPC), in the courses Lighting Design I and II. The proposal conceives lighting as an integral part of the design process, articulating perceptual, material, morphological, technical, energetic, economic, and maintenance dimensions.

The objectives of the courses are for students to: (i) develop a critical perspective on the role of light in spatial configuration; (ii) practice comprehensive design processes to address more complex projects; (iii) incorporate graphic and design communication tools; and (iv) develop creative proposals where light is part of the project from its inception.

Through the observation of real spaces and the critical analysis of projects, students discover light as an intangible material that gives artistic meaning to architecture, transforming physical spaces into multiple lighting experiences. The results demonstrate the consolidation of an approach in which students demonstrate skills in integrating intuition, experimentation, creativity, and technical knowledge..

Keywords: Lighting design – Teaching – Didactic strategies

I. INTRODUCCIÓN

“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”. Gyorgy Kepes

Se considera al Diseño Lumínico, como una disciplina o especialidad que está íntimamente ligada al entorno humano y considera a la luz como una materia sutil del diseño del espacio interior, a través de la manipulación de sus variables. La luz,

y específicamente el diseño lumínico, no solo posibilitan 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”. [1]

Según Malcolm Innes [2] “igual que ocurre con la arquitectura y con el diseño de interiores, diseñar la iluminación no es ni un arte ni una ciencia, sino una síntesis de ambos. La luz revela el color y la tridimensionalidad, y sus juegos direccionales exponen la textura de las superficies y de los materiales. Estos elementos forman una parte tan importante del propio concepto de espacio que, sin una estudiada aplicación de la luz, el diseño de interiores nunca será ciertamente excelente. La luz es intangible e inmaterial, lo que parece implicar que también es incontrolable, pero el diseño de interiores se ocupa principalmente de la manipulación del espacio, otra propiedad inmaterial.

Hugo Fauzi [3] plantea que “El diseño de iluminación busca hacer de la luz un lenguaje que ayude a hablar a los espacios. Los muros callan con una iluminación homogénea, los detalles que pudiera tener se pierden; la luz obliga a los espacios a hablar y a las personas que los ocupan a ver lo que tienen que decir. Con un haz de luz bien dirigido, con la cromaticidad, temperatura y dirección adecuada el espacio puede dar mensajes de acogida, de asepsia, de extrañeza, de excitación. La luz es tan vital en los espacios que puede hacer que uno mismo sea percibido de maneras totalmente distintas. Luz y arquitectura constituyen un binomio inseparable. La luz es el material principal con el que cuenta el arquitecto (y diseñadores) para construir el espacio, por lo tanto, es determinante que conozca sus propiedades, comportamientos y estrategias para su manejo. [4]

Miguel Angel V. Calanchini agrega que “Los diseñadores de iluminación, portadores de estos conocimientos, deben ahondar y hacer reflexiones sobre la nueva naturaleza de la luz y su futuro, asumir con responsabilidad la labor como co-creadores en la percepción de la luz, y por consecuencia, la construcción mental del espacio iluminado. Debemos poseer la formalidad y el conocimiento técnico necesario para poder traducir una idea a un proyecto constructivo con absoluta posibilidad de ser materializado y, al mismo tiempo, la ingenuidad para explorar toda posibilidad creativa, desprendidos de los rígidos y limitantes cánones propios de las aplicaciones comerciales, en una búsqueda constante por ser innovadores. [5]

II. DESARROLLO

A. *El diseño lumínico en carreras de Diseño de Interiores.*

En la Tecnicatura Universitaria de Diseño de interiores (duración 3 años), desarrollada en la Facultad de Arte y Diseño de la Universidad Provincial de Córdoba, esta disciplina dispone según el Plan de Estudios, de dos espacios curriculares: Diseño Lumínico I y II. El objeto de estudio de estas asignaturas es el acercamiento a la luz como materia sutil de diseño, ya que es ella la que hace posible la arquitectura como hecho plástico y transforma un espacio físico en diferentes espacios lumínicos según sean las variables de diseño utilizadas. Así, la luz puede ser utilizada como una herramienta de diseño para modificar la apariencia visual de los espacios, sea desde su rol funcional o expresivo. La iluminación de un espacio es un proceso creativo en el que la intuición y la imaginación, unidos a conocimientos técnicos necesarios, marcan el camino para conseguir los objetivos propuestos.

En el material que se brinda a los estudiantes en el Curso de Ingreso a los Estudios Universitarios (CIEU), Víctor Avila expresa que [6] a diferencia de otras carreras o disciplinas, el aprendizaje del diseño del espacio tiene modalidades que le son propias en relación a la naturaleza compleja de su objeto de estudio: el espacio habitable. Partimos de concebir el espacio como un hecho complejo donde intervienen múltiples variables: función forma, tecnología, etc. Y estas variables serán diferentes o particulares a cada tema-problema a resolver: espacios de la vivienda, espacio comercial, cultural, etc. Y también interviene en este proceso de dar conformación al espacio, el propio diseñador con sus intenciones, sus ideas, su formación, su personalidad. Este proceso de conformación del espacio es lo que llamamos Proceso de Diseño. Ante una demanda social o individual para un espacio con una finalidad en un lugar determinado, se desencadena una serie de fases o etapas: análisis de factores condicionantes, de este análisis se desprenderán premisas, intenciones de diseño para poder configurar el espacio, formalizarlo; ajustarlo técnicamente en la proyectación y luego materializarlo para que sea usado. En síntesis, el diseño del espacio puede resumirse en el proceso de materialización físicas de las ideas-conceptos.

B. *Propósitos / Objetivos*

Para introducirnos en la comprensión y producción del espacio, es necesario aprender a observar, a vivenciar, a percibir el espacio existente con ojos de diseñadores, atendiendo a sus cualidades que promueven sensaciones, a sus características formales y materiales, a los usos que la gente hace del mismo. Observar, aprender a mirar el espacio, rescatando sus cualidades, es el inicio del camino del diseñador, que conjuntamente con los conocimientos específicos de las diferentes áreas que concurren en el diseño, cargan nuestra “batería ideativa”, permitiéndonos abordar con

pertinencia a un tema-problema de diseño en un proceso organizado metodológicamente. [6]

Por ello, aprender a mirar y analizar de manera diferente los espacios interiores desde las componentes de la luz y sus variables permite comprender el rol que cumple la luz en la definición espacial, la creación de atmósferas y propiciar condiciones de confort. Para ello se propone:

- Concebir a la luz como materia sutil para el diseño en interiorismo, atendiendo a sus problemas funcionales, formales, técnicos, de mantenimiento y económicos, promoviendo la sustentabilidad ambiental.

- Comprender la luz desde el punto de vista físico y perceptual. Reconocer los materiales y su respuesta ante la incidencia de la luz.

- Interpretar los fenómenos asociados a la propagación de la luz y la percepción de los efectos que la misma produce en la apariencia visual de los espacios iluminados.

- Experimentar cómo cambian los espacios según la interacción de luz y materia, utilizando diferentes estrategias de diseño.

- Comprender el rol que cumple la luz en la definición espacial y la relación con las actividades. Interpretar los roles de los diferentes sistemas de iluminación interior.

- Interpretar los factores y variables a tener en cuenta en el proceso de diseño lumínico.

- Aproximarse al uso del boceto como una herramienta de diseño.

- Familiarizarse con técnicas de representación gráfica de la iluminación.

- Ejercitar el proceso de diseño lumínico para abordar proyectos de diversas complejidades.

C. Los contenidos

En el proceso creativo, el Diseñador de Interiores como “responsable de definir los espacios para que el hombre pueda desarrollar sus actividades de manera eficiente y confortable”, articula los diversos factores intervinientes (funcionales, formales, tecnológicos, económicos, ambientales como también los aspectos subjetivos, para alcanzar esos objetivos. Por ello, se pretende que el estudiante aprenda a manejar las variables de la luz en la percepción de las personas, los objetos y los espacios interiores iluminados.

En Diseño Lumínico 1 (semestral) se introduce a los estudiantes en una nueva dimensión a considerar en el diseño de interiores. Se presentan los conceptos y variables fundamentales para comprender el rol de la luz en la creación de espacios lumínicos. Se trata de entenderla física y perceptualmente en relación a los espacios y sus materialidades, apelando al análisis en espacios reales, y experimentando en ejercitaciones en

maqueta y en los propios diseños de las/los estudiantes del nivel. Al ser una asignatura cuatrimestral, solo se desarrollan contenidos introductorios a la disciplina, en dos unidades didácticas:

U.D. 1: Luz, color, materia y espacio

U.D. 2: Sistemas de iluminación interior / roles

Diseño Lumínico 2 (anual) es un espacio curricular que cumple un rol fundamental en el proceso de diseño del Trabajo Final de Carrera (PFC), articulándose con otros espacios curriculares del nivel, instrumentando a los estudiantes en el manejo de los conceptos, las herramientas y en el desarrollo de su capacidad de observación y crítica para resolver situaciones de mayor complejidad. El proceso de diseño de iluminación interior; del concepto, las intenciones de diseño a las estrategias de iluminación interior, hasta la documentación técnica para su materialización. Estos contenidos se desarrollan de manera progresiva:

U.D. 1: Luz y espacio

U.D. 2: Luminarias, tecnología y catálogos

U.D. 3: Los usos de la luz en interiorismo

U.D. 4: El proyecto lumínico del espacio interior

III. ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

Como estrategias didácticas se utilizan diferentes recursos y modalidades de trabajo para que los estudiantes puedan aprehender los contenidos y transferirlos a sus propias prácticas proyectuales. En este marco, para que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea efectivo y significativo, en Diseño Lumínico 1 y 2 se dispone de las clases teóricas y el espacio del taller como mediadores entre docente-alumno y el conocimiento ayudados por una serie de instrumentos didácticos que contribuyen al cumplimiento de los objetivos planteados.

Cada Unidad Didáctica se abre con clases teóricas donde se asocian y refuerzan conceptos con ejemplos de diseño lumínico en interiorismo y herramientas para sus propios procesos proyectuales. Los contenidos desarrollados en estas clases teóricas, son compartidos en el Aula Virtual como una fuente de permanente consulta.

Para las clases prácticas, el ámbito del Taller es el lugar más propicio para que se genere un aprendizaje significativo y construcción cooperativa del conocimiento, donde los estudiantes tienen la posibilidad de expresarse en un ámbito más interactivo. A través de la observación de espacios reales y el análisis crítico de proyectos, los estudiantes van descubriendo la luz como materia intangible que otorga sentido plástico a la arquitectura, transformando espacios físicos en múltiples experiencias lumínicas. En este sentido, se hace énfasis en el uso de los bocetos, para “materializar” lo “invisible” de la luz, haciendo

especial hincapié en las premisas y estrategias de diseño, lo que permite llegar a la selección de luminarias y/o detalles con mayores criterios de búsqueda. (Fig. 1)

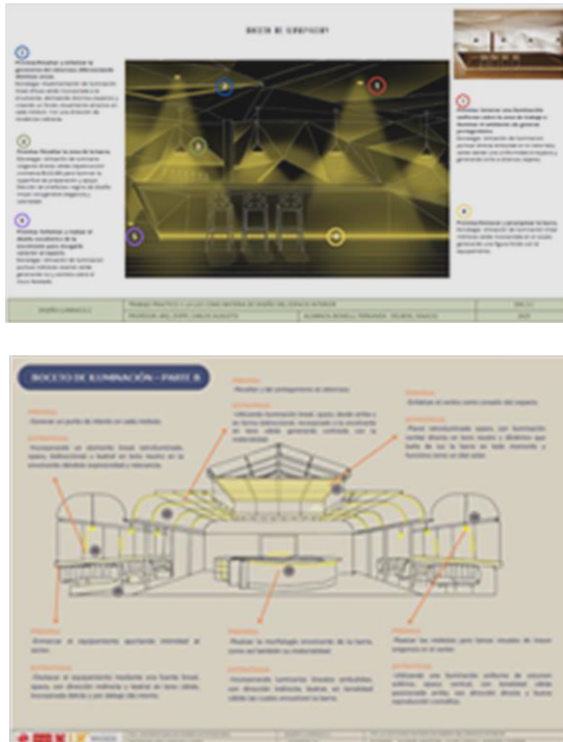


Fig. 1 – Ejemplos de bocetos

Los talleres de clases prácticas son el ámbito indiscutible de transferencia y reflexión de los aspectos conceptuales, para ello se proponen como espacios no solo de desarrollo individual o grupal de trabajos prácticos, sino también de debate y reflexión. Las propuestas de Trabajos Prácticos apuntan al diseño y aspectos técnicos, dejando en un segundo plano el cálculo lumínico. En adhesión a lo expresado por Mazzeo y Romano [7] cuando sostienen que sólo mirar o apuntar a lo operativo del proceso de cálculo obtura las posibilidades de transferencia de los mismos. Por ello las transposiciones didácticas –es decir la transformación que un docente realiza sobre el saber erudito para facilitar su apropiación por parte del alumno- constituyen una estrategia para promover las soluciones de diseño desde el campo disciplinar específico. En este campo rico y complejo en variables, se pretende que el alumno las domine y sea capaz de transferir e integrar con el proyecto:

A. Uso de herramientas digitales

Considerando el contexto de la Universidad Pública, masiva, diversa e inclusiva, se propone facilitar el acceso a la información de la materia, para que cada alumno administre su tiempo y economía. En la actualidad se utiliza el Aula Virtual como un modo de comunicación y acceso a esa información, como también otros canales de

interactividad considerando los modos que tienen nuestros actuales estudiantes para comunicarse. Como mediadores en este proceso de enseñanza-aprendizaje, se brindan una serie de instrumentos didácticos, como documentos (específicos del Espacio Curricular y otras fuentes bibliográficas), catálogos comerciales, guías de ejercitación práctica y experimentación, todos ellos disponibles en el Aula Virtual.

Por la diversidad de temáticas, la variedad de luminarias y equipos auxiliares, y la permanente renovación de los mismos, se apela a la autogestión de los alumnos con la búsqueda y ampliación de ejemplos (consulta de catálogos, comercios, Internet, etc.) y su debate en clases prácticas.

B. Formación en competencias

Por otra parte, considerando los fines de la educación en el ámbito universitario, como es formar intelectuales comprometidos con su hacer profesional y con su rol en la sociedad, como también generar una actitud reflexiva, cuestionadora, crítica y autocrítica. Por ello, se hace énfasis en la transferencia de contenidos al Proyecto y Técnicas del Equipamiento del nivel 3, y la articulación con Gráfica Digital 2. En este campo rico y complejo en variables, se pretende que los estudiantes las dominen y sean capaces de transferir e integrar con el proyecto. *Ecuaciones*

IV. EVALUACIÓN

Se entiende a la evaluación como un proceso con diferentes instancias, tanto por el grado de complejidad como por la modalidad individual o grupal. El uso de Padlet se propone como una manera de compartir y socializar lo producido, para lograr la interacción y participación de todo el curso en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Las propuestas de evaluación se concretan en el desarrollo de Trabajos Prácticos, uno por cada Unidad Didáctica, como síntesis conceptual, operativa y de transferencia al diseño desde la especificidad de cada unidad temática. Estos trabajos, de carácter grupal, donde se permita individualizar a cada integrante mediante el desarrollo de partes de los mismos. Criterios de evaluación:

- Capacidad de observación, análisis y experimentación.
- Creatividad y abstracción conceptual.
- Nivel de completamiento del trabajo.
- Cumplimiento de las consignas.
- Capacidad de síntesis, análisis y transferencia al proyecto.
- Expresión grafo-conceptual.
- Cumplimiento de las consignas.

V. CONCLUSIONES

Esta experiencia de enseñanza del diseño lumínico en el ámbito universitario (pre-grado) es la síntesis de lo logrado después de algunos ajustes realizados a través de los años, en los contenidos, el orden de los mismos, y las estrategias didácticas implementadas.

Los resultados obtenidos a través del tiempo, evidencian la consolidación de un enfoque que permite visualizar una metodología que aquí se comparte, capaz de replicar para la enseñanza del diseño lumínico en ámbitos similares. Con ella, los estudiantes demuestran habilidades para integrar intuición, experimentación, creatividad y conocimiento técnico.

La iluminación de un espacio es un proceso creativo por lo que la intuición y la imaginación, unidos a conocimientos técnicos necesarios, marcan el camino para conseguir los objetivos de considerar a la iluminación desde la génesis del proyecto.

VI. REFERENCIAS

- [1] Zoppi, Carlos (2023) Diseño Lumínico: Documento Introductorio. Córdoba: FAD-Universidad Provincial de Córdoba.
- [2] Innes, Malcolm (2012). Iluminación en interiorismo. Barcelona: Ed. Blume. ISBN 978-84-9801-620-8
- [3] AA.VV. (2018) Diseño de iluminación en Iberoamérica. Ciudad de México: Revista ILUMINET. Pp. 8
- [4] Villazón Godoy , R. E. y Pinzón, A. y Sánchez, A. y Rodríguez, D. (2018). Luz/materia. Estrategias proyectuales para la iluminación de espacios arquitectónicos. Bogotá: Ediciones Uniandes. ISBN 978-958-774-604-4
- [5] AA.VV. (2018) Diseño de iluminación en Iberoamérica. Ciudad de México: Revista ILUMINET. pp. 9
- [6] AA.VV. (2025) Curso de introducción a los estudios universitarios. Tecnicatura Universitaria en Diseño de Interiores. Córdoba: FAD-UPC. pp. 8-9. <https://fad.upc.edu.ar/carreras/tecnicatura-universitaria-en-diseno-de-interiores/>
- [7] Mazzeo, Cecilia y Romano, Ana María (2007) La Enseñanza de las disciplinas proyectuales: hacia la construcción de una didáctica para la enseñanza superior. Buenos Aires: Nobuko. ISBN 978-987-584-083-6

VII. BIOGRAFIA



Arq. Carlos Augusto Zoppi

Profesor Titular INSTALACIONES III-A Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño -Universidad Nacional de Córdoba. Director de proyectos de Investigador SECyT. Córdoba.
Profesor Titular DISEÑO LUMÍNICO I y II. Facultad de Arte y Diseño - Universidad Provincial de Córdoba.
Miembro de la AADL

TEMA 4

LUZ Y CALIDAD DE VIDA



Láminas de control solar combinadas con cortinas textiles. Análisis del confort visual.

De Gastines, Maureen - Yamín, Julieta - Villalba, Ayelén - Pattini, Andrea

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, CCT-Mendoza, CONICET. Mendoza, Argentina. Email: mgastines@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen: En el contexto argentino, caracterizado por altos niveles de heliofanía, se presenta el desafío de controlar el deslumbramiento sin perder la conexión visual con el exterior. Este trabajo tiene como objetivo evaluar, mediante métricas de precisión, si la combinación de láminas de control solar con cortinas textiles interiores permite alcanzar condiciones de confort visual en climas soleados. La literatura especializada sobre cortinas textiles señala que el control efectivo del deslumbramiento requiere valores de transmitancia visible (TV) inferiores al 13% y factores de apertura (OF) entre 2% y 3%. No obstante, se plantea la hipótesis de que la inclusión de láminas de control solar, al reducir la TV del conjunto, permitiría utilizar cortinas con OF más altos sin comprometer el confort visual. Esta estrategia ofrecería soluciones más flexibles y adaptadas a la disponibilidad local de productos, mejorando no solo la eficiencia energética y el confort térmico en edificios, sino también la calidad visual del ambiente interior para los usuarios.

Abstract: In the Argentine context, characterized by high solar exposure, there is a growing need to explore combined strategies to improve daylight performance without compromising the visual connection to the outside. This study aims to evaluate, using precision metrics, whether the combination of solar control films with interior textile curtains can achieve visual comfort conditions in sunny climates. The specialized literature on textile curtains indicates that effective glare control requires visible transmittance (TV) values below 13% and openness factors (OF) between 2% and 3%. However, this study hypothesizes that the inclusion of solar control films, by reducing the VT of the set, would allow the use of curtains with higher OF values without compromising visual comfort. This approach could lead to more flexible and context-sensitive solutions adapted to locally available products, enhancing not only energy efficiency and thermal comfort in buildings, but also improving the visual

comfort of occupants by ensuring better daylight balance and exterior visibility.

Palabras claves: iluminación natural, sistemas de sombreado, deslumbramiento

I. INTRODUCCIÓN

Las ventanas son apreciadas principalmente por propiciar ambientes interiores luminosos y con vista al exterior [1]. Numerosos estudios han destacado los beneficios que genera la exposición a niveles adecuados de luz natural y la conexión visual con el entorno exterior sobre la salud, el bienestar y el rendimiento cognitivo de los ocupantes [2]–[4]. Sin embargo, estas cualidades se ven frecuentemente comprometidas en la etapa de uso del edificio, cuando los ocupantes, en respuesta al desconfort térmico y/o visual, optan por instalar dispositivos de control solar que obstruyen la entrada de luz natural y la vista al exterior [1], anulando parcialmente el propósito original del diseño de la ventana.

En climas con veranos cálidos, las ventanas sin un sistema de control solar adecuado pueden generar sobrecalentamiento y elevados consumos energéticos en refrigeración [5]. Esta problemática se intensificará bajo los escenarios de cambio climático proyectados, que anticipan veranos más largos y extremos [6]. En este contexto, las láminas de control solar surgen como una medida de rehabilitación viable: son de fácil y rápida instalación, no requieren intervención activa del usuario y permiten conservar la vista al exterior. Además, su implementación genera un 70% menos de emisiones en comparación con la sustitución de ventanas [7].

Diversos estudios han demostrado que las láminas de control solar permiten disminuir la ganancia térmica solar, la iluminancia interior y el consumo energético por refrigeración, especialmente en orientaciones con alta exposición solar como la fachada norte en el hemisferio sur [8]. En contextos de cielo despejado y baja altitud solar, Pereira et al. [9]

concluyeron que las láminas de control solar por sí solas no logran mantener la iluminancia sobre el plano de trabajo dentro del rango útil de 300 a 3000 lux, recomendando la incorporación de sistemas móviles complementarios. En este sentido, las cortinas textiles interiores ofrecen una solución accesible, de operación sencilla y de amplia adopción, que permite modular la entrada de luz y conservar parcialmente la vista al exterior. Investigaciones recientes [10], [11] han demostrado que, si bien las cortinas textiles logran atenuar el deslumbramiento, su eficacia se ve limitada cuando el sol directo ingresa al campo visual del ocupante.

El desempeño visual de las cortinas textiles depende fuertemente de sus propiedades ópticas. Según [12], para evitar condiciones de deslumbramiento, la transmitancia visible (TV) de las telas debería mantenerse por debajo del 13%, y preferentemente por debajo del 5% en posiciones próximas a la ventana. Del mismo modo, los valores óptimos del factor de apertura (OF) oscilan entre el 2% y el 3%.

En el contexto argentino, donde las condiciones de alta heliofanía y las propiedades de las telas que más se comercializan dificultan el control visual efectivo, surge la necesidad de investigar estrategias combinadas que permitan mejorar el desempeño lumínico sin comprometer la conexión visual con el exterior. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar, mediante métricas de precisión, si la combinación de láminas de control solar con cortinas textiles interiores permite controlar adecuadamente el deslumbramiento en climas soleados, suponiendo que otorga a la vez cierto grado de vista al exterior. Si bien la literatura destaca que el control efectivo del deslumbramiento requiere valores de TV inferiores a 13% y factores de apertura OF entre 2% y 3%, se formula la hipótesis de que la incorporación de láminas de control solar, al reducir la TV del conjunto, permitiría ampliar el rango admisible de OF de las cortinas textiles sin comprometer el confort visual. Este abordaje permitiría lograr soluciones más flexibles y adaptadas a los productos disponibles localmente, que no solo mejoren la eficiencia energética y el confort térmico, sino que también optimicen el confort visual de los ocupantes.

II. METODOLOGÍA

A. Selección de láminas y cortinas textiles

Se seleccionaron dos láminas de control solar para ventanas, de uso frecuente en el mercado nacional, de transmisión espectral neutra y con eficacia media a elevada de control de ganancias solares. Las mismas presentan diferentes características espectrales. La primera denominada Prestige 40 (PR40ext), es espectralmente selectiva y de transmitancia

visible intermedia (TV = 0.43). Transmite la radiación principalmente en el rango visible (380 a 780 nm), es reflectante en el rango infrarrojo cercano de 850 a 1150 nm, y absorbe la mayor parte de las longitudes de ondas superiores a 1150 nm. La segunda lámina denominada Affinity 15 (Aff15), muy eficiente para el control de ganancia solar, es altamente reflectante y de baja transmitancia visible (TV = 0.12).

Las cortinas textiles fueron seleccionadas a partir de los resultados obtenidos en [10], [11] con el objetivo de identificar opciones que ofrecieran un nivel intermedio de protección contra el deslumbramiento, capaces de atenuarlo pero sin la capacidad de bloquearlo por completo y, al mismo tiempo, de mantener la conexión visual con el exterior. Para ello, se consideraron textiles con diferentes colores y valores de transmitancia visible. La TABLA I detalla las características de los textiles seleccionados.

TABLA I: Características de los textiles seleccionados.

Código	Color de las fibras	OF	TV
N5	Negro	5	0.07
BG5	Blanco con gris	5	0.17

B. Experimento 1: Evaluación de deslumbramiento

El nivel de deslumbramiento producido por las láminas de control solar se calculó a partir de dos métricas: el modelo predictivo DGP (probabilidad de deslumbramiento con luz natural) [13], [14] y la Iluminancia vertical a nivel de los ojos (Ev). El modelo DGP expresa la probabilidad porcentual de que una persona experimente deslumbramiento en un momento dado. Por ejemplo, un DGP de 0.55 quiere decir que hay un 55% de probabilidad de que las personas experimenten deslumbramiento. Mientras que la Ev no debe superar ciertos valores umbrales. Ver Tabla III.

C. Experimento 2: Disponibilidad de luz natural

Se evaluaron dos combinaciones de láminas y cortinas, en condiciones de luz natural con cielo claro, mediante mediciones a escala reducida (Fig.1).

Se orientó la ventana al oeste, para evaluar el caso en que el disco solar está en el campo visual del usuario (altitud solar inferior a 20°), ya que es cuando mayor probabilidad de deslumbramiento existe.

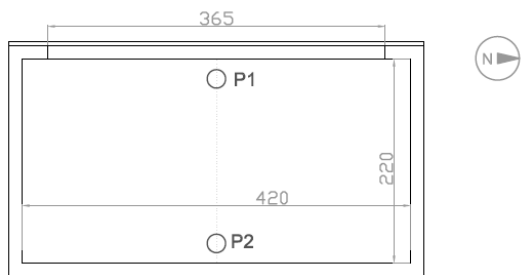


Fig.1: Plano de la maqueta indicando la distribución de los puntos de medición P1 y P2.

El experimento se llevó a cabo entre el 29 de noviembre y el 26 de diciembre de 2023, alrededor del solsticio de verano, en Mendoza, Argentina. Se utilizaron los datos coincidentes con condiciones de cielo despejado, medidos durante el día completo.

Se utilizó la métrica UDI (Iluminancia útil diurna) y particularmente el rango autónomo de UDI, cuyos valores van de 300 a 3000 lux [15] para medir Disponibilidad de luz natural. En ese rango se supone que no sería necesario el uso de luz artificial. Esta métrica es ampliamente utilizada para abarcar un amplio rango de luz natural, satisfaciendo diferentes demandas visuales.

III. RESULTADOS

A. Evaluación del deslumbramiento

En la TABLA II se observan los valores calculados de DGP y Ev (iluminancia vertical a nivel de los ojos) para las dos situaciones evaluadas: con sol directo y con luz directa en el piso. En la TABLA III se encuentran los valores de referencia de dichas métricas.

TABLA II: Valores de deslumbramiento calculados para las láminas

	SOL		SIN SOL	
	Ev (lx)	DGP	Ev (lx)	DGP
Sin lámina	83250	0.90	9920	0.50
PR40EXT	40500	0.76	5380	0.45
Aff 15	10050	0.55	1500	0.35

Error 25%
 Error 10%
 Error 5%

TABLA III: Valores de referencia

métrica	Valores umbrales		
	Imperceptible -notable	Notable-Perturbador	Perturbador-Intolerable
DGP	0.34	0.38	0.45
Ev	2484	3359	4384

A partir de los valores reportados en la TABLA II, podemos decir que, si bien en los momentos más críticos del día con incidencia de sol directo sobre la ventana, las láminas no controlan en su totalidad el deslumbramiento, hay marcadas diferencias entre ellas. Por un lado, la lámina "Aff15" reduce casi en un 50% el nivel de deslumbramiento, pero no lo controla en su totalidad. Sí controla totalmente el deslumbramiento en presencia de sol directo en el piso. Por otro lado, la lámina "PR40EXT" tiene un comportamiento inferior respecto al control del deslumbramiento en comparación con la lámina "Aff15".

Los valores de Ev reportados en la TABLA IV indican que la combinación de Aff15 con la cortina textil BG5 permite controlar el deslumbramiento. Mientras que la combinación PR40ext +BG5 no lo controla. Se calculó el DGP simplificado para el caso de la combinación PR40ext + N5 para verificar si controla o no el deslumbramiento ya que el valor de Ev medido se encuentra cercano al umbral de deslumbramiento imperceptible/notable.

TABLA IV: Valores de Ev en conjunto con textil

	Ev (lx)
Aff15+ BG5	1320
PR40ext + N5	2500
PR40ext + BG5	3880

Si bien la Ev es un indicador de deslumbramiento válido, en situaciones de deslumbramiento cercano al umbral o con altos contrastes, como en el caso de "PR40ext + N5", resulta necesario calcular el modelo DGP. En este escenario, un valor de Ev = 2500 lx corresponde a un DGPs = 0.34, lo que indica que no se percibe deslumbramiento, aunque se encuentra muy próximo al límite entre imperceptible y perceptible.

B. Evaluación de la disponibilidad de luz natural

La fig.2 indica los niveles de iluminancia horizontal (Eh) medidos a proximidad de la pared del fondo (punto P2) en dos configuraciones: una con la lámina PR40ext sola (sin tela), y la otra con la combinación PR40ext + N5. En este caso, se observa que, si bien las condiciones de cielo no despejado en la mañana no permiten saber a partir de qué hora la iluminancia horizontal interior supera los 300 lux – entrando así en el rango útil, se puede observar que supera los 3000 lux alrededor de las 14:30, generando condiciones de iluminancia deslumbrantes durante toda la tarde, donde el cielo estaba despejado. Con la cortina N5, en cambio, recién a partir de las 17:00 entra en el rango útil (300 < Eh < 3000 lux). Por lo tanto,

hay un intervalo en el que no se puede lograr condiciones adecuadas de iluminación horizontal ni con la lámina sin cortina, ni con la combinación de lámina + cortina N5.

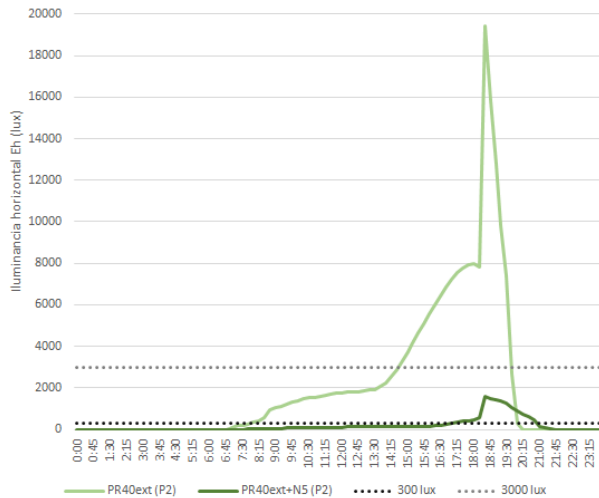


Fig.2: Valores de iluminancia horizontal medidos para la condición sin cortina (PR40ext) y para la combinación PR40ext + N5, en relación con la métrica UDI.

La fig.3 representa los valores de iluminancia horizontal Eh medidos con la lámina Aff15 sola, contrastada con las condiciones de iluminancia horizontal medidas con la combinación Aff15+BG5 en condiciones de cielo perfectamente despejado.

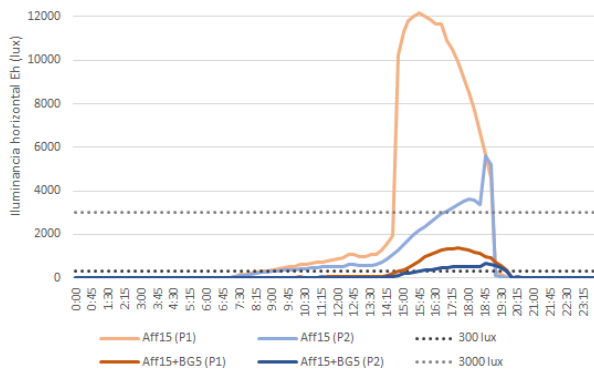


Fig.3: Valores de iluminancia horizontal medidos para la condición sin cortina (Aff15) y para la combinación Aff15+ BG5, en relación con la métrica UDI.

En esta figura se observa que con la lámina Aff15 la iluminancia ingresa en el rango 300-3000 lux desde las 8:24 / 9:00 (según la ubicación del sensor) y supera los 3000 lux a las 14:35 en el caso del sensor próximo a la ventana, y a las 16:55 a proximidad de la pared del fondo.

Con la combinación Aff15 con cortina BG5, se ingresa en el rango útil a las 14:43 a proximidad de la ventana (punto P1), y a las 15:43 en la pared del fondo (punto P2). Esto nos indica que en el fondo del espacio se pueden lograr condiciones de iluminancia horizontal adecuadas durante toda la jornada, mientras que a proximidad de la ventana, existe un pequeño

intervalo fuera del rango útil con cualquiera de las dos opciones (con/sin cortina), desde las 14:35 hasta las 14:43. Dada la poca duración de este intervalo y la reducción a una zona limitada (franja cercana a la ventana), se puede considerar que la combinación de lámina de control solar Aff15 y cortina textil BG5 permite mantener condiciones satisfactorias de iluminación natural durante toda la jornada.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este trabajo están en línea con los hallazgos de Pereira et al. (2020) que indican que las láminas de control solar no controlan por sí solas el deslumbramiento, debiendo ser complementadas con elementos de sombreado móviles.

El análisis de varias combinaciones de láminas de control solar con cortinas textiles puso en evidencia, por un lado, que al combinar lámina de control solar con cortina, se posibilita el uso de telas con mayor factor de apertura sin comprometer el confort visual (adecuado control de deslumbramiento).

Por otro lado, se destaca el desafío de lograr condiciones de iluminancia horizontal adecuadas durante todo el día, siendo que si la transmitancia visible de la cortina es demasiado baja, al superar los 3000 lux, se produce una situación en la que la iluminancia horizontal está fuera del rango útil 300-3000 lux tanto con la cortina como sin ella. Esto indica la importancia de elegir telas con una TV superior a 10% dentro de las combinaciones que controlan el deslumbramiento.

Finalmente, se mostró que la combinación de una lámina de control solar altamente reflectante (Aff15) con una tela de color blanco con gris y factor de apertura OF=5 logra controlar completamente el deslumbramiento y a la vez permite mantener los niveles de iluminancia dentro del rango útil durante toda la jornada laboral.

Este trabajo se ampliará a futuro mediante el estudio de otras combinaciones de láminas de control solar y cortinas textiles, complementando el análisis del confort visual con la evaluación de la claridad de la vista al exterior.

V. AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a Rodin SRL por haber facilitado las muestras de láminas de control solar utilizadas en los ensayos experimentales.

VI. REFERENCIAS

[1] A. Oliveira and A. Pedrini, "Energy & Buildings Thermal performance of highly glazed office buildings in the tropics: Contradicting architects"

- expectations,” *Energy Build.*, vol. 296, no. April, p. 113344, 2023.
- [2] W. H. Ko et al., “Window View Quality: Why It Matters and What We Should Do,” *LEUKOS - J. Illum. Eng. Soc. North Am.*, vol. 18, no. 3, pp. 259–267, 2022.
- [3] E. S. Lee, B. Szybinska, D. Geisler-moroder, S. E. Selkowitz, and L. Hescong, “Energy & Buildings Advocating for view and daylight in buildings : Next steps,” *Energy Build.*, vol. 265, p. 112079, 2022.
- [4] M. G. Figueiro et al., “The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers,” *Sleep Heal.*, vol. 3, no. 3, pp. 204–215, 2017.
- [5] M. de Gastines and A. E. Pattini, “Window energy efficiency in Argentina - Determining factors and energy savings strategies,” *J. Clean. Prod.*, vol. 247, 2020.
- [6] G. Barea, C. Ganem, M. C. Molina, and P. Mateo, “Efectividad a futuro de las estrategias de diseño pasivas en viviendas,” vol. 13, pp. 30–41, 2023.
- [7] C. Rivero Camacho, J. Pereira, M. G. Gómez, and M. Marrero, “Huella de carbono como instrumento de decisión en la rehabilitación energética. Peículas de control solar frente a la sustitución de ventanas,” *Hábitat Sustentable*, vol. 8, no. 2, pp. 20–31, 2018.
- [8] J. Pereira, H. Teixeira, M. da G. Gomes, and A. M. Rodrigues, “Performance of Solar Control Films on Building Glazing: A Literature Review,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 12, 2022.
- [9] J. Pereira, M. Glória Gomes, A. Moret Rodrigues, H. Teixeira, and M. Almeida, “Small-scale field study of window films’ impact on daylight availability under clear sky conditions,” *J. Facade Des. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 65–84, 2020.
- [10] J. Yamín Garretón, A. M. Villalba, R. G. Rodríguez, and A. Pattini, “Roller blinds characterization assessing discomfort glare , view outside and useful daylight illuminance with the sun in the field of view,” vol. 213, pp. 91–101, 2021.
- [11] J. Yamín, A. Villalba, M. De Gastines, R. Rodríguez, and A. Pattini, “Deslumbramiento molesto en textiles : métricas basadas en efecto de saturación y / o contraste,” *Inf. la Construcción*, vol. 75, no. 569, 2023.
- [12] A. Villalba, J. Yamín, and A. Pattini, “Effect of fabric shades optical properties on indoor daylighting conditions : An overview,” vol. 97, no. March, 2024.
- [13] G. Chinazzo, L. Pastore, J. Wienold, and M. Andersen, “A field study investigation on the influence of light level on subjective thermal perception in different seasons,” *Wind. Conf. Rethink. Comf.*, no. April, 2018.
- [14] J. Wienold and J. Christoffersen, “Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras,” vol. 38, pp. 743–757, 2006.
- [15] J. Mardaljevic et al., “Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?,” in *Building simulation and optimization conference BSO12*, 2012.

VI. BIOGRAFIAS

Maureen de Gastines es Ingeniera, egresada de la Escuela Nacional Superior de Técnicas Avanzadas (Francia). Es doctora en Ingeniería mención Civil-Ambiental de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Mendoza (2019). Es investigadora asistente de CONICET en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE, CCT Mendoza).

Julietta Yamín es Diseñadora Industrial, egresada de la Facultad de Artes y Diseño de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo). Es doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán (2017). Es investigadora asistente de CONICET en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía y es docente de la cátedra de Metodología de la Investigación y proyecto final de la UM.

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

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



La enseñanza del diseño lumínico a partir de la arquitectura de los sentidos

Autores:

Mg. Arq. Marta Micaela Gomez
FAD Universidad Católica de Santa Fe

Resumen

La luz tiene un impacto significativo en nuestro estado de ánimo y bienestar psicológico, la arquitectura de los sentidos pretende crear espacios donde las personas puedan sentirse cómodos, a partir de sistemas perceptuales que posibiliten una exploración del espacio arquitectónico cualitativo y relacionado con el ser humano, un trabajo de seducción que hace el arquitecto o diseñador de iluminación.

A partir de la incorporación de distintos recursos proyectuales como la luz, sombra, sólidos, vacíos, tamaño, proporción, color, equilibrio, textura, se puede inducir a una experiencia sensible que dependerá de la elección y combinación de los recursos de diseño, así como del modo e intensidad atribuida a cada uno de los espacios arquitectónicos, un juego de tensiones sensoriales a partir del cual se crean atmósferas, diseñar espacios lumínicos fenomenológicos implica crear ambientes que consideren profundamente cómo las personas perciben y experimentan la luz, permitiendo que la luminotecnia no solo cumpla con los requisitos técnicos y funcionales, sino que también enriquezca la experiencia humana a través de la luz.

La propuesta parte desde el rol docente, inducir la exploración a través de experiencias creativas que enriquezcan y fortalezcan el diseño lumínico.

Palabras claves: Fenomenología – Creatividad-Enseñanza

I. INTRODUCCIÓN

El diseño es un proceso consciente y deliberado en el que se organizan intencionalmente diversos elementos, componentes, tendencias, estilos y gustos en relaciones espaciales, temporales, corporales y afectivas. El objetivo es lograr un resultado deseado que difunda y modele una visión general del mundo y su entorno, adaptándose a los cambios culturales y sociales del siglo XX. En el contexto del diseño, esto implica crear espacios, objetos o experiencias que consideren profundamente cómo las personas interactúan con su entorno de manera sensorial y emocional. La percepción personal. La arquitectura de los sentidos como disciplina pretende crear espacios donde los usuarios puedan sentirse cómodos, a partir de sistemas perceptuales que posibiliten una exploración activa del espacio arquitectónico, que nos rodea.

I. FUNDAMENTACION

La arquitectura siempre se ha apoyado en las ideas de distintas corrientes filosóficas, creando obras impresionantes y de una gran calidad estética, siendo una de sus principales funciones crear espacios y entornos que estimulen los sentidos; sin embargo, durante el siglo XX y gracias a los avances tecnológicos, esta función derivó hacia un desarrollo meramente económico e inmobiliario en la mayoría de las veces. La arquitectura industrial fue una solución económica y eficiente para la vivienda en los períodos de

posguerra, con la crisis del paradigma moderno, estas soluciones inmediatas dejaron de ser viables en otras dimensiones humanas la Bauhaus ejemplificó la mediación entre el arte y la producción industrial, con una estética funcionalista que valoraba el buen oficio. Artistas de la Vanguardia como Johannes Itten, Paul Klee y Vassily Kandinsky hicieron contribuciones significativas a la creatividad.

Después de la posguerra, surgió la necesidad de considerar la dimensión psicológica de las personas, y la concepción fenomenológica se orientó hacia la sensorialidad. El pensamiento de Merleau-Ponty influyó en diversos ámbitos más allá de la filosofía. En la arquitectura de la posmodernidad, el cuerpo y sus percepciones a través de los cinco sentidos ganaron protagonismo, y se comenzó a valorar la sensibilidad y la emoción. En el siglo XXI, se ha reconocido un cambio de paradigma hacia lo fenomenológico, lo que invita a explorar los procesos de diseño en las fronteras donde otras disciplinas contribuyen a esta comprensión. El diseño fenomenológico es un enfoque que busca comprender la esencia de las experiencias humanas a través de las percepciones y vivencias de las personas. Fue gracias al arquitecto e historiador noruego Christian Norberg-Schulz que la fenomenología en la arquitectura se puede extender con mayor facilidad al publicar en 1979 "Genius Loci: Towards a Phenomenology of Architecture", libro que rápidamente se convirtió en referencia obligada gracias a la combinación de textos e imágenes, la cual proporcionaba una explicación sencilla y concreta de cómo un enfoque fenomenológico de la arquitectura podía traducirse en diseños. En el campo de la arquitectura de los sentidos, se redescubre la importancia de los materiales, el contexto físico, cultural y social desde una perspectiva espacial, temporal y memorable. Así, las emociones interactúan con lo construido y dan paso a la percepción de todos los sentidos creando experiencias que trasciendan la realidad que habitamos. A través de la relación entre el cuerpo humano y el espacio que nos rodea podemos tratar de comprender cómo afectan en nuestra experiencia arquitectónica la memoria que está ligada a la imaginación, y a su vez al aprendizaje que es "corporal, síntesis y percepción sensorial". Todo lo que hemos aprendido se basa en nuestra experiencia. Cada sentido identifica distintas cualidades del espacio a percibir. A través de los sentidos los edificios nos transmiten significados,

ya sea porque reconocemos sus formas o porque encontramos símbolos en ellos. La experiencia arquitectónica adquiere diferentes significados para ello, es clave entender como el ser humano percibe su entorno y crea vínculos entre el mundo exterior e interior de las personas. En el campo de la luminotecnia, el diseño fenomenológico se centra en cómo las personas perciben y experimentan la luz en diferentes espacios. Este enfoque busca crear ambientes que no solo sean funcionales y eficientes, sino que también generen experiencias sensoriales y emocionales positivas, resaltando características arquitectónicas, creando una atmósfera que se adapte a las necesidades del usuario que sea flexible y configurable a diferentes situaciones y momentos del día, mejorando la experiencia del usuario en cada contexto.

Este enfoque permite que la luminotecnia no solo cumpla con los requisitos técnicos y funcionales, sino que también enriquezca la experiencia humana a través de la luz, ya sabemos el impacto significativo en nuestro estado de ánimo y bienestar psicológico siendo algunos de los efectos más importantes: la Producción de serotonina: la Regulación del ciclo sueño-vigilia: Estado de alerta y concentración: En entornos laborales, una iluminación adecuada puede mejorar el estado de alerta y la concentración, lo que resulta en un mejor rendimiento y mayor satisfacción laboral^[1] El bienestar emocional en el hogar una iluminación cálida y suave puede crear un ambiente acogedor y relajante, mientras que una iluminación brillante y fría puede mantenernos alerta y estimulados

II. OBJETIVOS PARTICULARES

Utiliza la luz para transmitir significados y simbolismos.
Evocar ciertas emociones o para contar una historia.
Resaltar elementos específicos para enfatizar su importancia cultural.
Capacidad de elaborar y desarrollar, mediante el razonamiento objetivo la envolvente arquitectónica como un dispositivo capaz de captar, transmitir y modificar la luz.

III. LA ESEÑANZA DESDE LA CREATIVIDAD

La arquitectura requiere de pensamientos y haceres creativos y se encuentra en estrecha relación con las concepciones contemporáneas sobre el pensamiento proyectual que manifiesta un saber complejo e integrador. Es complejo e

integrador porque, al decir de Mazzeo y Romano (2007: 67), la proyectualidad atraviesa a las actividades cognitivas del sujeto en su totalidad, pero, además, pone de manifiesto la necesidad de ese sujeto de situarse en la incomodidad de pensar una realidad objetual que aún no existe.

Considerando que el aprendizaje abarca contenidos que son productos culturales enseñables y que también existen experiencias o procesos mentales que conducen a la asimilación de los mismos cuando son comprendidos y pasibles de aplicar a situaciones concretas, es que la cátedra de Instalaciones II, aporta significativamente al área de diseño arquitectónico, donde se resuelven problemas de producción de lugares para el desarrollo pleno del ser humano, donde se plantea al estudiante, conocer en profundidad las herramientas conceptuales que ayudarán a establecer criterios y estrategias de diseño tendientes a resolver la iluminación de espacios desde un punto de vista cualitativo, fundamentando las decisiones proyectuales con el correcto aprovechamiento de los recursos tecnológicos aplicados a lámparas y luminarias, teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad y sustentabilidad, respetando y cuidando el medioambiente.

El tema de la creatividad en relación con la enseñanza nos lleva a preguntarnos sobre la enseñanza en la universidad y nos motiva a despejar algunos interrogantes. ¿Y si aprender fuera olvidar?, es la pregunta de William Ospina (2010 en Camilloni 1997) para pensar la didáctica, pues la didáctica en razón de su naturaleza, en algunos aspectos incierta, está siempre en camino de construcción ya que su objeto está atravesado por dimensiones teóricas, históricas y políticas, y nos preguntamos entonces ¿cómo se puede enseñar a pensar creativamente, como enseñar la creatividad? Estos interrogantes nos llevan a cuestionarnos como docentes si desde nuestras prácticas estamos construyendo los caminos adecuados para lograr o llegar a la meta.

Partiendo de una mirada de la enseñanza orientada a la creatividad, queremos empezar a recorrer algunos caminos para reflexionar sobre la iluminación, los sentidos que se modifican bajo su influencia, para ello se parte de un ejercicio totalmente práctico, donde dentro de las consignas se debe. Experimentar/Observar/Deducir/Vincular

María Acaso y Clara Megías (2017: 177) definen momentos o fases que suceden en la enseñanza y el aprendizaje y que existen como las fichas de un juego, como las de un dominó, donde cada jugador elige la ficha con la que quiere empezar a elaborar su propia secuencia abriendo caminos sobre los que ir y volver. Esta idea de la enseñanza y el aprendizaje como juego nos hace pensar también la enseñanza de la iluminación como un juego en

el que es preciso volver a la infancia para un reencuentro con nuestro niño que inventa y explora sin miedos y que es libre para encontrar su propia creatividad, Nos identificamos también con la palabra construcción que se relaciona con nuestra profesión, la arquitectura, porque la educación también se construye; y pensar la educación como una construcción nos lleva a reflexionar sobre el sentido de la construcción como un hacer crecer algo con otros. Entonces, enseñar es construir jugando, y se construye en momentos y esos momentos construyen caminos. Enseñar es construir, y enseñar es caminar. Construir con el otro, caminar con el otro. Enseñar es dar, es regalar, es un acto de amor. Enseñar es mostrar caminos y mundos posibles. Es iluminar

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

METODOLOGIA

Se instiga a Investigar y se induce a construir conocimientos progresivos con significados más complejos, mediante estrategias metodológicas que incluyen la participación activa del alumno, a través de trabajos prácticos, que permitan evaluar e identificar diferentes problemáticas, considerar el punto de vista abordado, resoluciones concretas, utilizar la ciencias y la tecnología como vías del pensamiento, para aumentar y compartir nuevos conocimientos.

Se centra no solo en el aprendizaje de los contenidos sino en la reflexión sobre el propio proceso de aprendizaje, cómo identifica, analiza y evalúa la información, fundamentalmente para comprender los fenómenos de reflexión, transmisión, difracción, absorción de parte de su incidencia en distintos materiales, dirección, distancias, etc., espacios vivibles a partir de las emociones que transmiten, y vincularla a la física a través de la percepción, generando interrogantes como por ejemplo:

¿Qué fenómenos físicos de transmisión de luz pueden identificar a través de los efectos encontrados en las cajas de luz?

¿Cómo se comporta la luz en los distintos elementos (sólidos, opacos, espejados, rugosos, lisos, translúcidos, transparentes)?

¿Cómo se modifican los reflejos producidos por la luz de acuerdo a la cantidad de fuentes de luz, tamaño, posición, ángulo de incidencia?

¿Cuál creen que es la respuesta física a dichos fenómenos?

¿Reconocen alguna magnitud de la luminotecnia que se pueda aplicar al caso de estudio?

¿Cómo interactúan los colores de luz, filtros, con los pigmentos y las texturas?

Se trata de vivir una experiencia de aprendizaje no acumulativo, sino transformacional, que se desencadena a partir de tres enfoques: la experiencia, la reflexión crítica y el discurso racional.

V. CONCLUSIONES

En resumen, la luz no solo afecta nuestra visibilidad, sino que también juega un papel crucial en nuestro estado de ánimo y bienestar general

Diseñar espacios lumínicos fenomenológicos implica crear ambientes que consideren profundamente cómo las personas perciben y experimentan la luz, van definiendo la condición humana, los deseos, las angustias, los fracasos no se trata sólo de estructura sino de un lenguaje que al organizar el vacío habla de lo que somos, Peter Zumthor lo expresó con claridad al afirmar que la arquitectura es la creación cuidadosa del espacio este cuidado alude a una sensibilidad profunda por lo humano que se manifiesta también en la luz que no sólo ilumina, revela y oculta, consuela y expone, por eso Tadeo Ando sostiene: "la luz es el alma de la arquitectura", le da vida y significado. La arquitectura se vuelve así un medio para expresar lo indecible Siamak Hariri lo confirma: "La arquitectura tiene esa capacidad de conmover.... Uno aspira a la belleza, a la sensualidad, a la atmósfera y a la respuesta emocional. Ese es el reino de lo inefable y lo inconmensurable" Esa atmósfera donde se cruzan los cuerpos, las memorias, los miedos y el tiempo. Louis Kahn advertía que: "Incluso un espacio pensado para ser oscuro debería tener la cantidad de luz necesaria proveniente de alguna apertura misteriosa para decirnos cuán oscuro es en realidad". La arquitectura no impone una forma, propone una relación entre el lugar, el cuerpo y la historia. En palabras de Steven Hall: "La arquitectura no se trata de hacer una declaración sino de crear un diálogo entre el entorno construido y sus habitantes". Así, el espacio arquitectónico se convierte en interlocutor de la existencia, esculpe nuestros movimientos y nuestras emociones, lo afirma Richard Meier: "La arquitectura es el arte de esculpir el espacio y la luz". Lo arraigado en la Tierra es memoria viva, una herencia que respira con cada muro con cada vacío con cada sombra que deja pasar la luz, es lenguaje del alma. Es condición humana anudada a la forma.

VI. REFERENCIAS

[1] Mazzeo, C., & Romano, A. M. (2007). *La enseñanza de las disciplinas proyectuales: Hacia la construcción de una didáctica para la enseñanza superior*. Nobuko. ISBN: 978-987-584-083-6

[2] Acaso María, Megías Clara. (2017) cómo el arte puede transformar la educación. Paidós Ibérica. ISBN 978-84-493-3370-5

[3] Badella, I. (2021) Incorporación de las TIC en las disciplinas proyectuales en FADU UNL. Desafíos para su inclusión genuina en la enseñanza del Diseño de comunicaciones visuales. [Tesis de maestría, UNL]. Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/6284>

VIII. BIOGRAFÍAS



Magíster en Evaluación de Impacto y Gestión Ambiental. Arquitecta. Docente Investigadora. Titular de la cátedra Instalaciones II. Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Católica de Santa Fe. Actualmente titular en Santa Fe, Rosario, Rafaela.



Rutina de calibración para la cuantificación del color a través de cámaras fotográficas calibradas

Gutiérrez Marcelo Agustín^{1,2}, Barrionuevo Pablo Alejandro^{2,3}, Sandoval-Salinas María Leonor^{2,4}

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

2 Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión, UNT-CONICET, Tucumán, Argentina.

3 Sensorimotor Learning Unit, Department of Psychology, University of Marburg, Marburg, Germany.

4 Instituto de Investigaciones de Biodiversidad Argentina (PIDBA), Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

Resumen

El uso de la fotografía digital es un método que ofrece ventajas sobre otras técnicas para medir información cromática, especialmente en términos de costo, portabilidad, velocidad y simplicidad en la adquisición de datos. Sin embargo, para poder usar la fotografía digital como una herramienta colorimétrica, es necesaria una caracterización del hardware y el desarrollo de herramientas de software para su calibración. En una etapa previa, se completó la caracterización de cámaras réflex, abordando niveles de ruido, rango dinámico y respuesta espectral; posteriormente, se evaluó la homogeneidad espacial. Sobre esa base, desarrollamos una rutina de calibración de cámaras réflex, que presentamos en este trabajo.

Para implementar la rutina de calibración, desarrollamos un software interactivo en Python que trabaja directamente con archivos .CR2, de modo que se mantiene la fidelidad original de los datos RAW. La herramienta permite extraer los valores RGB de los parches de una tarjeta de color de referencia y los normaliza usando el parche blanco como estándar. A continuación, corrige la respuesta no lineal del sensor mediante splines y convierte los valores linealizados a coordenadas CIE XYZ, ya sea aplicando una matriz de transformación RGB–XYZ o un modelo polinomial de segundo grado. La interfaz gráfica permite hacer clic sobre cualquier punto de la imagen calibrada para visualizar sus coordenadas cromáticas (x, y) en el diagrama CIE 1931 y registra automáticamente los resultados en una tabla exportable.

La validación preliminar se llevó a cabo con imágenes .CR2 de especímenes naturales de diversas texturas bajo iluminación controlada. Los

valores CIE XYZ predichos se contrastaron con mediciones espectrales de referencia, mostrando diferencias colorimétricas ΔE menores a 4 en distintos escenarios.

Esta metodología, aún en proceso de validación, permite mejorar la precisión y la fiabilidad en la cuantificación cromática digital. Finalmente, el protocolo podrá ser ampliamente utilizado en ámbitos como el de las Ciencias Biológicas, representando un gran avance metodológico en la toma de datos, facilitando estudios que en la actualidad requieren de equipamiento altamente especializado y costoso.

Palabras clave: Caracterización de cámaras, fotografía digital, información cromática.

Abstract

Digital photography is a method that offers several advantages over other techniques for measuring color information, particularly in terms of cost, portability, speed, and simplicity of data acquisition. However, to use digital photography as a colorimetric tool, it is necessary to characterize the hardware and develop calibration software. In a previous stage, we carried out a complete characterization of DSLR cameras, addressing noise levels, dynamic range, and spectral response; subsequently, we evaluated spatial homogeneity. Based on these findings, we developed a DSLR camera calibration routine, which is presented in this study.

To implement the calibration routine, we developed an interactive Python-based software that processes .CR2 files directly, preserving the original fidelity of RAW data. The tool extracts RGB values from a color reference chart and

normalizes them using the white patch as a standard. It then corrects the sensor's nonlinear response using splines and converts the linearized values to CIE XYZ coordinates, either through an RGB-XYZ transformation matrix or a second-degree polynomial model. The graphical interface allows the user to click on any point of the calibrated image to visualize its chromatic coordinates (x, y) in the CIE 1931 diagram, and it automatically records the results in an exportable table.

Preliminary validation was performed using .CR2 images of natural specimens with various textures under controlled lighting. The predicted CIE XYZ values were compared with reference spectroradiometric measurements, showing colorimetric differences ΔE below 4 across different scenarios.

This methodology, still under validation, improves the precision and reliability of digital color quantification. Ultimately, the protocol could be widely applied in fields such as the Biological Sciences, representing a significant methodological advancement in data collection and facilitating studies that currently require highly specialized and costly equipment.

Keywords: camera characterization; digital photography; chromatic information.

I. INTRODUCCIÓN

Medir con precisión los patrones de color es indispensable para contrastar numerosas hipótesis biológicas [1, 2]. Para ello, se requieren sistemas de medición rigurosos, repetibles y exactos. Los métodos tradicionales, como espectrorradiómetros o colorímetros, cumplen con este estándar, pero implican equipos costosos, ofrecen poca portabilidad, y a menudo requieren múltiples mediciones puntuales en distintos puntos de objetos heterogéneos, lo que prolonga el tiempo total de medición, además de demandar un manejo técnicamente exigente [3]. Asimismo, las mediciones deben realizarse bajo iluminación controlada, uniforme y estable; de lo contrario, los resultados pueden verse afectados por variaciones en la iluminación y en los ángulos de observación [3]. Una alternativa a la espectrorradiometría es la fotografía, que amplió su aplicación con la llegada de las cámaras digitales [4–6]. En particular, el uso de cámaras digitales para cuantificar el color tampoco es nuevo [7]. La fotografía digital ofrece ventajas frente a la espectrorradiometría: es más accesible, portátil y permite adquirir imágenes con rapidez. Sin embargo, la apariencia y medición del color en fotografías dependen de las condiciones de iluminación, el nivel de ruido, la apertura, la velocidad de obturación, la sensibilidad ISO y la respuesta espectral del sensor [8, 9], haciendo que los valores RGB capturados sean propios del

dispositivo y no estrictamente colorimétricos. Por lo tanto, antes de aplicar ampliamente la fotografía digital en estudios de color, es necesario evaluar cuidadosamente sus posibilidades y limitaciones, comparando los valores de color obtenidos con los del objeto real [7, 10].

En una etapa previa, caracterizamos cuatro cámaras (Canon EOS 5D Mark II, EOS Rebel T3i, Blackmagic Cinema 2.5K y QImaging QIC-F-M-12-C), siguiendo el procedimiento descrito en “McGill calibrated colour image database: Details of calibration” [11], manteniendo constantes la apertura, velocidad de obturación, ISO y temperatura de color, y registrando archivos en formato RAW. Se determinaron niveles de ruido, rango dinámico y curvas de respuesta espectral para cada canal [12], además de la homogeneidad espacial de la imagen. Sobre esa base, desarrollamos una rutina de calibración de cámaras réflex, implementada en Python, que permite extraer datos RAW, corregir la no linealidad del sensor cuando es necesario y convertir los valores RGB a coordenadas CIE XYZ mediante una matriz de transformación calibrada.

La herramienta desarrollada permite una cuantificación objetiva del color. Esta herramienta puede aplicarse en investigaciones científicas, particularmente en ámbitos como las Ciencias Biológicas.

II. METODOLOGÍA

Se implementó un procedimiento de cuantificación cromática mediante fotografía digital calibrada, empleando una cámara réflex Canon EOS Rebel T3i (lente 50 mm). Las imágenes se tomaron bajo iluminación controlada en una cabina de luz (fuente D65 con lámparas LED), en paralelo con mediciones de referencia realizadas con un espectrorradiómetro en las mismas condiciones. El procedimiento consta de cinco etapas:

1. Extracción de valores RGB de imágenes RAW:

se seleccionaron manualmente regiones correspondientes a cada uno de los 24 parches de una tarjeta ColorChecker Classic y se calculó la mediana de cada canal en esas áreas, preservando la proporcionalidad con la radiancia.

2. Normalización al blanco de referencia:

se dividieron los valores RGB de cada parche por los del parche blanco; de igual forma, se normalizaron los valores CIE XYZ de referencia medidos con el espectrorradiómetro. Este paso asegura la coherencia de escala entre ambos sistemas y contribuye a robustecer la matriz de transformación ante variaciones de iluminación [14].

3. Cálculo de la matriz de transformación RGB–XYZ: se utilizó regresión lineal por mínimos cuadrados con los valores normalizados de los 24 parches, bajo la misma configuración de captura e iluminación.

4. Generación de imágenes calibradas en el espacio de color CIE XYZ: la matriz de transformación se aplicó a las imágenes RAW, trabajando con la señal lineal (sin curva gamma ni balance de blancos automático). No se aplicó corrección adicional de linealidad, ya que los datos RAW presentan una respuesta prácticamente proporcional a la radiancia. Las imágenes resultantes se exportaron en formato TIFF de 32 bits, listas para el análisis cuantitativo.

5. Extracción de coordenadas cromáticas XYZ y cálculo del índice ΔE_{00} (diferencia colorimétrica perceptual): se compararon los valores XYZ obtenidos a partir de las imágenes con las mediciones espectrales de referencia para validar la precisión del procedimiento. En colorimetría, la diferencia entre dos colores se expresa mediante el parámetro ΔE , una medida de distancia perceptual. La versión más precisa y aceptada actualmente es ΔE_{00} (CIEDE2000) [13]. En todos los casos, se procuró que las regiones seleccionadas coincidieran con las áreas medidas con el espectrorradiómetro, permitiendo así una comparación directa entre ambos métodos.

III. RESULTADOS

Al realizar una validación inicial del procedimiento con la ColorChecker Classic (24 parches; Fig. 1) bajo iluminación controlada, se obtuvo un ΔE_{00} promedio de 1.67 (TABLA I), valor que se ajusta al criterio ≤ 4 para considerar aceptable el ajuste.

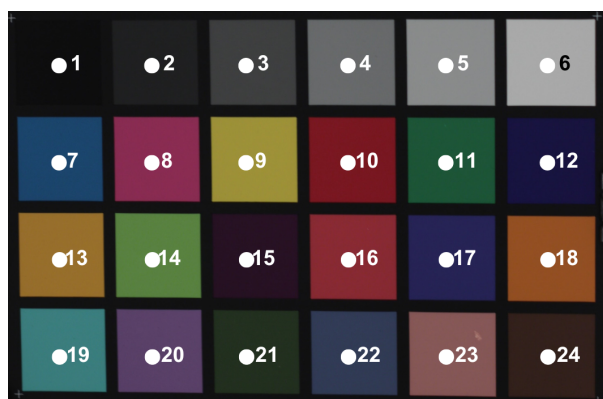



Fig. 1: Tarjeta ColorChecker Classic utilizada. La numeración y el punto blanco en cada parche permiten identificar visualmente la zona medida correspondiente a cada resultado incluido en la tabla 1.

En una segunda instancia de validación, con especímenes naturales de diversas texturas, también se obtuvieron valores de $\Delta E_{00} \leq 4$ (TABLA II).

TABLA I: Valores XYZ calibrados para los 24 parches de la tarjeta ColorChecker Classic y sus respectivos valores de referencia espectrales. ΔE_{00} : diferencia colorimétrica entre valores calibrados y de referencia.

Nº	Calibrados (X-Y-Z)	Referencia (X-Y-Z)	ΔE_{00}
1	4.434 - 4.457 - 4.833	4.821 - 5.071 - 5.889	3.47
2	9.850 - 10.302 - 11.331	10.171 - 10.725 - 12.101	1.28
3	19.367 - 20.365 - 21.576	19.326 - 20.353 - 22.347	0.58
4	34.920 - 37.088 - 40.167	35.486 - 37.568 - 41.762	0.78
5	56.329 - 59.302 - 63.583	56.752 - 59.949 - 66.053	0.77
6	86.276 - 91.615 - 96.631	86.775 - 91.796 - 97.217	0.13
7	17.027 - 22.856 - 43.770	16.051 - 20.992 - 40.543	2.46
8	31.985 - 22.655 - 34.226	30.582 - 20.934 - 32.990	2.04
9	59.428 - 61.128 - 13.443	55.184 - 58.778 - 12.966	1.56
10	21.041 - 13.898 - 9.483	21.225 - 14.011 - 8.195	2.30
11	15.353 - 22.764 - 11.500	15.495 - 23.825 - 12.546	1.73
12	9.414 - 8.320 - 30.083	10.169 - 8.335 - 30.045	1.02
13	50.703 - 46.096 - 13.002	46.374 - 43.823 - 12.203	1.91
14	36.585 - 45.903 - 14.143	33.985 - 44.159 - 14.367	1.22
15	9.344 - 7.753 - 14.753	9.373 - 7.544 - 14.803	0.71
16	30.162 - 21.169 - 18.173	28.239 - 19.677 - 15.623	3.21
17	14.386 - 13.691 - 39.331	14.794 - 13.056 - 39.161	1.29
18	40.944 - 32.161 - 11.535	38.407 - 31.273 - 10.249	1.83
19	34.485 - 46.550 - 49.810	32.097 - 43.375 - 46.960	1.96
20	27.154 - 26.413 - 47.454	26.079 - 24.494 - 44.716	2.12
21	12.074 - 14.352 - 8.690	12.072 - 14.711 - 9.221	1.13
22	18.896 - 20.549 - 35.435	18.297 - 19.291 - 34.217	1.65
23	39.965 - 36.762 - 30.733	36.017 - 33.186 - 26.121	3.72
24	13.252 - 12.180 - 9.577	12.586 - 11.641 - 9.102	1.16
Promedio			1.67

TABLA II: Valores XYZ calibrados para un espécimen de *Hibiscus rosa-sinensis* y sus respectivos valores de referencia espectrales. ΔE_{00} : diferencia colorimétrica entre valores calibrados y de referencia.

Imagen	Muestra	ΔE_{00}
	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> Cal: 26.830 - 16.232 - 9.337 Ref: 27.623 - 17.863 - 8.096	2.65

La interfaz gráfica del software desarrollado permite seleccionar puntos sobre la imagen calibrada y visualizar sus coordenadas cromáticas en el diagrama CIE 1931 (Fig. 2).

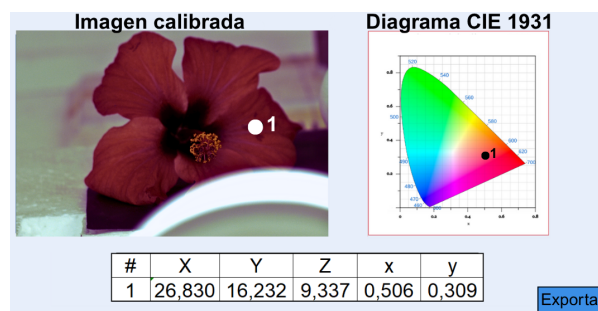


Fig. 2: Interfaz gráfica del software desarrollado. Se representa la selección de un área de medición sobre la imagen del objeto (punto blanco acompañado de

número 1, arriba a la izquierda), los valores colorimétricos correspondientes (abajo) y la posición de dichos valores en el diagrama de color CIE 1931 (arriba a la derecha).

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos hasta el momento validan la rutina de calibración implementada, permitiendo cuantificar el color con diferencias ΔE_{00} aceptables en condiciones controladas. La validación con la tarjeta ColorChecker Classic mostró buena correspondencia en la conversión RGB-XYZ, con valores ΔE_{00} promedio por debajo del umbral aceptable. Asimismo, se incluyó un espécimen natural (*Hibiscus rosa-sinensis*) para una primera evaluación en superficies complejas. En este caso, el valor ΔE_{00} obtenido también se encuentra dentro del rango aceptable. En este tipo de superficies, los resultados pueden verse afectados por reflejos especulares o texturas complejas que introducen errores por reflexión o dispersión de la luz. Esta limitación resalta la importancia de seleccionar cuidadosamente las regiones de interés y controlar la incidencia de la iluminación al momento de la adquisición de imágenes.

Cada condición de iluminación requiere su matriz RGB-XYZ, aunque la normalización al blanco ayuda a mantener la consistencia entre capturas [14]. En conjunto, estos resultados respaldan la utilidad de la metodología y señalan la importancia de continuar evaluando su desempeño en diferentes condiciones experimentales.

V. CONCLUSIONES

Se presenta una rutina de calibración para cuantificación cromática con una cámara fotográfica calibrada, validada con diferencias ΔE_{00} aceptables bajo iluminación controlada. La metodología mejora la precisión y amplía el acceso a herramientas objetivas para estudios de color. Se continuará con su validación en distintos escenarios, fortaleciendo el protocolo como alternativa a sistemas especializados.

VI. RECONOCIMIENTOS

MAG agradece al Lic. José Fanchini por su colaboración en la etapa previa de este trabajo y a sus directores, la Dra. Sandoval Salinas y el Dr. Barrionuevo, por su guía y motivación. Agradecemos a la Dra. Bárbara Silva, por su apoyo y por facilitar el uso del laboratorio. Finalmente, al Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión (DLLyV) por los recursos e instrumentos, y a la Universidad Nacional de Tucumán, por el apoyo a la realización de este trabajo mediante fondos provistos por un proyecto PIUNT.

REFERENCIAS

- [1] Endler, J.A. (1990). On the measurement and classification of colour in studies of animal colour patterns. *Biological Journal of the Linnean Society*, 41, 315–352.
- [2] Zuk, M., Decruyenaere, J.G. (1994). Measuring individual variation in colour: A comparison of two techniques. *Biological Journal of the Linnean Society*, 53, 165–173.
- [3] Johnsen, S. (2016). How to measure color using spectrometers and calibrated photographs. *Journal of Experimental Biology*, 219, 772–778.
- [4] Stevens, M., Párraga, C.A., Cuthill, I.C., Partridge, J.C., Troscianko, T.S. (2007). Using digital photography to study animal coloration. *Biological Journal of the Linnean Society*, 90, 211–237.
- [5] McKay, B.D. (2013). The use of digital photography in systematics. *Biological Journal of the Linnean Society*, 110, 1–13.
- [6] Endler, J.A. (2012). A framework for analysing colour pattern geometry: Adjacent colours. *Biological Journal of the Linnean Society*, 107, 233–253.
- [7] Villafuerte, R., Negro, J.J. (1998). Digital imaging for colour measurement in ecological research. *Ecology Letters*, 1, 151–154.
- [8] Jackowski, M., Goshtasby, A., Bines, S., Roseman, D., Yu, C. (1997). Correcting the geometry and color of digital images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19, 1152–1158.
- [9] Byers, J.A. (2006). Analysis of insect and plant colors in digital images using Java software on the internet. *Annals of the Entomological Society of America*, 99, 865–874.
- [10] Gerald, M.S., Bernstein, J., Hinkson, R., Fosbury, R.A.E. (2001). Formal method for objective assessment of primate color. *American Journal of Primatology*, 53, 79–85.
- [11] McGill Calibrated colour image database: Details of calibration. <https://colorscenedatabase.com/Extras/McGillCameraCalibration.pdf>
- [12] Fanchini, J.M., Gutiérrez, A., Silva, B., Sandoval-Salinas, M.L., Barrionuevo, P.A. (2022). Comparación de parámetros de dos cámaras DSLR para la obtención de características colorimétricas de una escena visual. Libro de resúmenes ArgenColor 2022, Tucumán, Argentina.
- [13] Schanda, J. (Ed.). (2007). *Colorimetry: Understanding the CIE System*. Wiley-Interscience.
- [14] Molada-Tebar, A., Verhoeven, G.J., Hernández-López, D., González-Aguilera, D. (2024). Practical RGB-to-XYZ color transformation matrix estimation under different lighting conditions for graffiti documentation. *Sensors*, 24, 1743.

VII. BIOGRAFÍAS



Marcelo Agustín Gutiérrez es estudiante avanzado de Diseño de Iluminación en la UNT y becario BEI (Becas Estudiantiles de Investigación de la UNT), con interés en colorimetría y procesamiento de imágenes.



Pablo A. Barrionuevo es Ingeniero Electrónico y Doctor en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (Universidad Nacional de Tucumán, UNT). Investigador Adjunto del CONICET en el Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV, UNT - CONICET), Investigador Visitante en la Universidad de Marburgo (Alemania).



María Leonor Sandoval Salinas es Licenciada y Doctora en Ciencias Biológicas (Universidad Nacional de Tucumán, UNT). Investigadora Adjunta del CONICET en el Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV, UNT - CONICET). Profesora de Biología y Especialista en Educación y TIC. Docente en la Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo (UNT).



Uso del LED en agricultura sustentable. Experiencias en el LAL

Pablo Ixtaina, Agustín Pucheta, Carlos Colonna, Nicolás Bufo

Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – Comisión de Investigaciones Científicas – Gonnet, Argentina – pixtaina@gmail.com

Celina Líbano, Facundo Fernández, Virginia Martínez Alcántara Pedro Balatti

Facultad Ciencia Agrarias y Forestales – Universidad Nacional de La Plata – La Plata, Argentina

Resumen: Este trabajo está enmarcado en el Proyecto “Horticultura Dinámica”, ganador del concurso Ciencia y Tecnología en Energías Bonaerenses (Buenos Aires, Argentina, 2023). El Plan tiene como objetivo mejorar la sustentabilidad de la producción agrícola mediante el desarrollo de sistemas alternativos de cultivo con aporte de radiaciones LED, tanto en forma exclusiva o como complemento a la luz solar. La etapa actual se encuentra centrada en el desarrollo de un iluminador LED de bajo costo, accesible a los productores de la región, cuyo espectro de luz sea el adecuado para obtener el mayor crecimiento y sanidad vegetal.

La experiencia comentada en el presente trabajo está orientada a la producción de lechuga. En un invernáculo experimental se ha simulado la producción de esta especie en un ciclo completo: desde plántulas hasta un producto en condiciones de comercialización.

La irradiación con la luminaria agro experimental desarrollada en el LAL, durante un tiempo acotado y con bajo uso de energía, generó una producción que superó en más de un 30% a las muestras de referencia, demostrando la viabilidad de esta técnica para mejorar la producción de verduras de hoja.

Palabras claves: Cultivos, Estimulación, LED.

Abstract: This work is part of the project 'Dynamic Horticulture', which was supported financially by the Science and Technology Contest in Bonaerense Energies (Buenos Aires, Argentina, 2023). The plan is aimed at improving the sustainability of agricultural production by developing alternative cultivation systems with the addition of LED radiation, either exclusively or as a complement to sunlight. The current stage is focused on the development of a low-cost LED light source, accessible to producers in the region,

whose light spectrum is suitable for achieving maximum plant growth and health.

The experience discussed in this work is focused on the production of lettuce. In an experimental greenhouse, the production of this species has been simulated in a complete cycle: from seedlings to a product ready for commercialization. The irradiation with the experimental agro luminaire developed at LAL, during a limited time and with low energy use, generated a production that exceeded control samples (non illuminated) by more than 30%, demonstrating the viability of this technique to improve the production of leaf vegetables.

Palabras claves: Crops, Stimulation, LED.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de la iluminación artificial, ya sea como complemento o sustituyendo totalmente al alumbrado natural, no es novedoso. La idea de suplir la escasez de luz natural, que puede originarse temporalmente en regiones con latitudes extremas o en cultivos de interior, es anterior al LED. Lámparas incandescentes, fluorescentes (lámpara de mercurio de baja presión, LPM), mercurio (mercurio alta presión HPM) o sodio (HPS) se han usado con esta idea [1]. Como obviamente el consumo de energía es un tema central en el balance de estas aplicaciones, las lámparas HPS continúan siendo usadas pese a que su espectro de emisión, con máximos entre 580 y 600 nm, posee poca relación con el espectro de absorción de los pigmentos que tienen los vegetales [2,3].

El uso de LEDs incorpora como elemento novedoso la posibilidad de modelar el espectro aplicado al cultivo, reduciendo así la emisión en rangos espectrales con poco aporte al crecimiento

y desarrollo vegetal. Pero es también importante considerar las ventajas propias de ser un dispositivo electrónico: flexibilidad de uso, menor fragilidad y mayores posibilidades para el control.

II. LUMINARIA AGRO DESARROLLADA EN EL LAL

En la etapa actual de desarrollo del proyecto, se está experimentando con una luminaria agro de diseño propio, surgida como una mejora de los primeros emisores usados en pruebas indoor. La idea central en este tipo de fuentes es emitir en las zonas de mayor absorción de los pigmentos de las clorofilas: banda 400 – 500 nm y 650 – 700 nm aproximadamente [5,6]. El nuevo diseño se orientó a la factibilidad de aplicación por productores de la zona del Gran La Plata. En esta área se concentran los mayores abastecedores de hortalizas para CABA y la región capital de la provincia, con especialización en pimientos, tomate y vegetales de hoja. La alta disponibilidad de luz natural, torna viable la irradiación solo como suplemento. De este modo, el diseño redujo potencia e incorporó Leds blancos, en busca de menores costos iniciales. Asimismo, tomando como base las experiencias anteriores, se ajustó la relación entre azul y rojo para evitar la etiolación. Se reguló también el contenido en rojo lejano (750 nm) con efectos en la morfología de la planta. La fig. 1 muestra el espectro del iluminador y la fig.2 da una imagen de la luminaria [4].



Fig. 1: Espectro del iluminador LED usado en la experiencia.

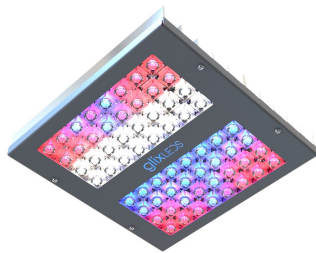


Fig. 2: Iluminador LED usado en la experiencia.

III. LA EXPERIENCIA

El experimento se realizó con lechuga (*Lactuca sativa L.*), realizando un ciclo completo de crecimiento, desde su primer estadio como plántula, hasta un tamaño apto para el consumo. A diferencia de experimentos anteriores [7], se buscó evaluar el posible aumento de la producción mediante iluminación suplementaria.

El cultivo se realizó en un invernáculo experimental, implementado en el predio CIC de Gonnet (La Plata, Buenos Aires). El espacio de cultivo se dividió en dos zonas. En una de ellas se situó un grupo con 10 ejemplares (referencia) y se siguió un proceso de crecimiento similar a la producción tradicional: iluminación natural ingresando a través de paredes y techos traslúcidos del invernáculo, riego automático diario y fertilización semanal.

La segunda zona albergó al conjunto en experimentación, también de 10 plantas, donde se mantuvo las condiciones de la muestra de referencia, adicionando iluminación LED. Las fig. 3 y 4 muestran imágenes del esquema experimental.



Fig. 3: Invernáculo experimental, se observa la zona de referencia y la con suplementación LED.



Fig. 4: Aspecto del primer trasplante (der.) y etapa media del crecimiento (izq.)

El experimento se programó para mantener las 20 plantas bajo un mismo fotoperíodo igual al natural, con 14 horas de luz promedio para la duración de

la prueba (diciembre 2024 – enero 2025). El grupo experimental recibió la energía extra durante las dos primeras horas de luz por la mañana y las últimas dos al anochecer. El flujo (Photosynthetic Photon Flux Density, PPF) suplementario que recibieron en estas cuatro horas fue (promedio) 245 $\mu\text{m}^2\text{s}$, ligeramente menor al promedio natural a lo largo del día, estimado en 300 $\mu\text{m}^2\text{s}$. Las mediciones se realizaron con un medidor portátil ILT 350 [8], al nivel de la hoja del cultivo inicial. La fig. 5 muestra lecturas de espectro sobre los cultivos.

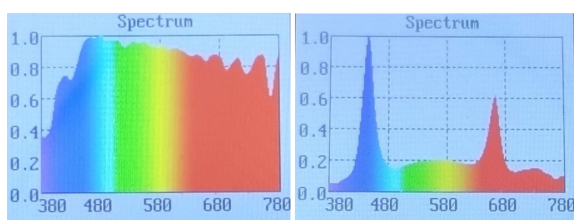


Fig. 5: Espectro relativo para la muestra de referencia (der.) y en la zona experimental en horario de suplementación (izq.)

El sector del invernáculo con irradiación LED (aproximadamente la mitad de su superficie) contó con seis luminarias agro, 150 W nominal, 126 W reales (leds más driver). En la zona de referencia se instalaron pantallas, con áreas equivalentes a la de las luminarias, a efecto de producir una sombra similar a la que generan las luces en la parte experimental con suplementación.

Debe aclararse que la zona irradiada es excesiva para las diez plantas que se experimentaron. Esto es así debido a que el invernáculo fue construido para estudios a diversas escalas y con múltiples cultivos. En términos reales, el PPF usado en la suplementación puede lograrse con aproximadamente una luminaria cada 2,5 m^2 .

IV. Resultados

El período de experimentación fue de 40 días, tiempo en el que las plantas crecieron y adquirieron el tamaño de consumo. Se realizaron dos evaluaciones. Por un lado, un control morfológico y de aspecto, que evidenció para los dos grupos, plantas sanas y con una estructura y morfología de plantas típicas de la especie. Las muestras que recibieron irradiación suplementaria, desarrollaron una o dos capas adicionales de hojas.

Por otro lado, se analizó el peso seco, dato que permite comparar cuantitativamente el crecimiento del vegetal, en forma independiente del estado particular de hidratación del momento de cosecha. Los resultados se muestran en la TABLA I.

TABLA I: Pesos seco de las muestras

Con suplementación		Sin suplementación	
Planta	Peso seco planta [gr]	Planta	Peso seco planta [gr]
1	5,32	1	4,31
2	4,89	2	2,94
3	3,35	3	3,10
4	5,01	4	5,68
5	4,50	5	2,90
6	5,96	6	2,98
7	5,80	7	3,80
8	5,99	8	5,25
9	5,85	9	3,11
10	4,98	10	3,66
PROMEDIO	5,17		3,77

En promedio, se obtuvo un incremento del 37% en el peso seco del material cosechado que, si bien no puede extrapolarse directamente a la producción, habla de un incremento significativo.

Para valorar correctamente la experiencia debemos considerar además que se realizó entre diciembre y enero, meses con la más alta disponibilidad de luz natural no permite visualizar el efecto aditivo de la suplementación lumínica. Por otro lado, ciertos indicadores morfológicos de estrés vegetal, parecieran sugerir que el PPF suplementario pudo haber sido alto, elementos a considerar para la segunda etapa de experimentación.

V. Análisis ulterior y conclusiones.

Resulta obvio que la técnica de suplementación con luz artificial solo tendrá sentido en nuestras latitudes si el costo del sistema es compensado con los mayores ingresos producto del incremento de la producción. Lo anterior no será válido para latitudes o climas extremos, pudiendo incluso ser la única alternativa para obtener hortalizas frescas.

El balance económico resulta complejo por la multitud de factores intervinientes y por la variabilidad del precio de venta del producto, fuertemente estacional. Sin embargo, podemos intentar algunos cálculos.

Si nos regimos por el consumo, para un invernáculo medio (12 m x 6 m) necesitaremos 72/2,5 x 0,126 x 4 KWh, aprox 15 KWh diario, 450 KWh al mes. Esta energía es comparable a la

usada mensualmente por un hogar de baja demanda.

Analizando los consumos habituales en una productora, tendremos al menos una o dos oficinas con iluminación, equipos de riego (bombas), ventilación, una mínima calefacción, iluminación exterior y en accesos, heladera y algún equipamiento de confort (estufas en oficinas, elementos de cocina, etc.). Lo anterior indica que el incremento en el consumo de energía producto del uso de las luminarias agro no será despreciable, pero tampoco limitante. El balance definitivo solo puede obtenerse con el análisis de cada caso particular.

El segundo punto a considerar es el costo inicial. El precio de cada luminaria agro es comparable al de una luminaria de alumbrado público, por lo que montar la instalación implica un gasto importante, quizá algo mayor que un alumbrado exterior a causa de la mayor densidad de luminarias. Usando materiales de calidad, y considerando además el bajo tiempo de utilización, el sistema tendrá una vida útil muy larga, superior a los 10 años. Aparece aquí un punto central a analizar, ya que se presenta como una traba a su implementación el hecho de realizar una inversión por un producto con largo tiempo esperable de uso y en fase experimental.

El balance del gasto inicial, sumado a la existencia de equipos de bajo costo y sin respaldo experimental destinados al agro, es la barrera que limita por el momento la aplicación de esta técnica en la producción.

VI. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la CIC PBA, donde P.I. y PB son miembro de la Carrera de Investigador, C.C, A.P y NB. son miembros de la carrera de Apoyo a la Investigación.

VII. REFERENCIAS

- [1] Dutta Gupta, S., Agarwal, A. (2017). Artificial Lighting System for Plant Growth and Development: Chronological Advancement, Working Principles, and Comparative Assessment. In: Dutta Gupta, S. (eds) Light Emitting Diodes for Agriculture. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3_1
- [2] Dueck, T.A., Janse, J., Eveleens, B.A., Kempkes, F.L.K. and Marcelis, L.F.M. (2012). GROWTH OF TOMATOES UNDER HYBRID LED AND HPS LIGHTING. Acta Hort. 952, 335-342 DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.952.42
- [3] Dyško J., Kaniszewski S. (2021): Effects of LED and HPS lighting on the growth, seedling morphology and yield of greenhouse tomatoes and cucumbers. Hort. Sci. (Prague), 48: 22–29.
- [4] Ixtaina et al. (2024). Iluminación LED en horticultura. Trabajos presentados. XVII Congreso

Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA 2024 (México) (en prensa).

- [5] Jørgensen, C. (1962). Absorption spectra and chemical bonding in complexes. 1st ed. Oxford: Pergamon Press.
- [6] Karp, G. and Pruitt, N. (2008). Cell and molecular biology. 1st ed. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons.
- [7] Marín, G. H., Ixtaina, P. R., & Ruscitti, M. F. (2017). Quick growth of lettuce plants using purple led illumination devices. DOI: 10.3923/ja.2017.87.93
- [8] International Light Technologies ILT <https://www.internationallight.com/products/>

VIII. BIOGRAFÍAS



Pablo R. Ixtaina (1965, La Plata, Bs. As., Argentina). Mg en Ingeniería, UNLP. Docente en carreras de grado y posgrado en UNLP y UTN. Investigador CIC y Director del Laboratorio de Acústica y Luminotecnia - LAL CIC.



Agustín A. Pucheta (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 Laboratorio de Acústica y Luminotecnia – LAL CIC



Carlos Lionel Colonna (1991, Oriente, Bs. As., Argentina). Ing. Electrónico UNLP. Profesional de la CIC. Ha realizado cursos de postgrado en la UNLP, visitas a los laboratorios de LMT (Berlín, Alemania) y Avantes (Apeldoorn, Países Bajos), participado en la realización de trabajos de investigación. Actualmente desarrolla sus actividades y su doctorado en el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia - CIC



Análisis de recomendaciones internacionales de iluminación integradora: resultados de un estudio de campo

Valeria D. Paviglianiti, Roberto G. Rodríguez, Emanuel R. Schumacher, Verónica J. Ruiz, Andrea E. Pattini

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía – CONICET – Mendoza, Argentina
vpaviglianiti@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen: La luz, a través de los fotorreceptores de la retina, influye tanto en la percepción visual como en las respuestas circadianas, neuroendocrinas y neuroconductuales. Para sincronizar los relojes biológicos internos con el ciclo natural de luz y oscuridad, es necesaria una exposición lumínica adecuada en el momento adecuado. En este sentido, la Comisión Internacional de Iluminación definió el concepto de iluminación integradora, que contempla tanto los efectos visuales como no visuales de la radiación óptica. Dado que el estilo de vida actual implica pasar gran parte del tiempo en espacios interiores, es importante disponer de recomendaciones de iluminación que favorezcan los efectos no visuales. Este estudio analiza recomendaciones de iluminación integradora para trabajadores diurnos mediante la búsqueda de antecedentes publicados entre 2015-2025, incluyendo normas, consensos, informes técnicos y artículos científicos. Se elaboró un compendio con las principales recomendaciones sobre el tema y se compararon valores de referencia seleccionados con mediciones de m-EDI (D65) realizadas en un consultorio de ginecología y obstetricia de emergencia de un hospital del Área Metropolitana de Mendoza. Los resultados indican que solo en un puesto de trabajo, en marzo y diciembre a las 9:00 horas, los valores de m-EDI superan el mínimo recomendado.

Palabras claves: ritmo circadiano, iluminación integradora, recomendaciones.

Abstract: Light, through the photoreceptors in the retina, influences not only visual perception but also circadian, neuroendocrine, and neurobehavioral responses. Adequate light exposure at the appropriate time is necessary to synchronize internal biological clocks with the natural light-dark cycle. In this regard, the International Commission on Illumination (CIE)

defined the concept of integrative lighting, which considers both visual and non-visual effects of optical radiation. Given that modern lifestyles involve spending a large portion of time indoors, it is important to have lighting recommendations that support non-visual effects. This study reviews integrative lighting recommendations for daytime workers by examining published materials between 2015 and 2025, including standards, consensus documents, technical reports, and scientific articles. A compendium of key recommendations was developed and selected reference values were compared with m-EDI (D65) measurements taken in an emergency gynecology and obstetrics clinic at a hospital from the Metropolitan Area of Mendoza. The results indicate that only at one workstation, in March and December at 9:00 a.m., m-EDI values met the recommended value.

Keywords: circadian rhythm, integrative lighting, recommendations

I. INTRODUCCIÓN

La radiación óptica, a través de su espectro, intensidad, momento de incidencia y duración, influye en las respuestas circadianas, neuroendocrinas y neuroconductuales de los seres humanos. Este proceso se inicia en la retina, donde los fotorreceptores -conos, bastones y células ganglionares retinianas intrínsecamente fotosensibles (ipRGC)- captan la luz y la transmiten al núcleo supraquiasmático del hipotálamo, donde se convierte en señales eléctricas que luego se transmiten a la glándula pineal. Esta glándula es la encargada de segregar melatonina, hormona que controla el ciclo del sueño [1].

El sistema circadiano, a partir del fotorreceptor melanopsina concentrado en las ipRGC, tiene su pico de sensibilidad espectral alrededor de los

480 nm (luz azul) [2]. La exposición a la luz fría durante la mañana ayuda a suprimir la hormona melatonina, lo que nos mantiene despiertos y alertas, pero su exposición durante la noche inhibe su producción afectando el sueño.

La luz diurna es la fuente ideal para sincronizar el sistema circadiano humano. Por otro lado, los avances tecnológicos y las innovaciones en los sistemas de iluminación artificial LED permiten variar la temperatura de color e intensidad de la iluminación artificial a lo largo del día para adecuarse a nuestras necesidades.

En 2019, la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), con el propósito de mejorar el bienestar y la salud de las personas, introdujo el concepto de iluminación integradora [3]. Este se define como "iluminación que integra de manera específica los efectos visuales y no visuales, produciendo beneficios fisiológicos y/o psicológicos en los seres humanos". Con el interés de cuantificar la luz para predecir los efectos no visuales se han desarrollado diferentes métricas, entre ellas Circadian Stimulus (CS), Equivalent Melanopic Lux (EML) y Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (m-EDI), tal como mencionan [4]. El crecimiento de esta problemática y los avances científicos, subrayan la necesidad de que los especialistas en iluminación se mantengan actualizados respecto a las directrices y recomendaciones emitidas por organismos de referencia y expertos en el tema.

Dado que el estilo de vida actual lleva a los trabajadores que realizan tareas en interiores a pasar menos horas al aire libre en los días laborales [5], esto puede alterar los ritmos circadianos y repercutir en la salud [6]. En entornos hospitalarios, conocer el estímulo circadiano es crucial ya que la iluminación no solo favorece la recuperación de los pacientes [7] sino que mejora el estado de alerta y las funciones cognitivas del personal [8].

El objetivo de este trabajo es analizar las recomendaciones internacionales más recientes sobre iluminación integradora, provenientes de normas, organismos y estudios científicos, y comparar una de estas recomendaciones con los valores de m-EDI, medidos y calculados durante el horario diurno, en la posición habitual de los profesionales de la salud en un consultorio de ginecología y obstetricia de emergencia de un hospital del Área Metropolitana de Mendoza.

II. METODOLOGÍA

La metodología del presente trabajo se divide en dos etapas: (i) análisis de recomendaciones internacionales de iluminación integradora para trabajadores diurnos (con ciclo de sueño – vigilia regular): valores de referencia y especificaciones

(ii) Comparación de los valores de referencia seleccionados con los datos medidos en un estudio de campo.

A. Etapa 1

Esta etapa consistió en la búsqueda de recomendaciones internacionales de iluminación integradora, entre 2015-2025, que incluyó normas y estándares, consensos, informes técnicos, y artículos científicos con referato. La exploración se realizó a través de Google Académico, utilizando las siguientes palabras claves y sus combinaciones (en inglés): circadian rhythm, light, circadian light effects, integrative lighting, standards, recommendations, expert consensus. A partir de la información recolectada y analizada se realizó un compendio con las recomendaciones encontradas.

B. Etapa 2

En la segunda etapa se realizó el cálculo de las métricas EML y m-EDI, a partir de las mediciones diurnas realizadas en los puestos de trabajo de un consultorio de ginecología y obstetricia de emergencia de un hospital del Área Metropolitana de Mendoza. Estos valores se compararon con los recomendados por [9], debido a que estas recomendaciones son reconocidas por la CIE [10]. Las mediciones se realizaron en los puestos de trabajo, escritorio y camilla, en la dirección de observación frecuente de los profesionales de la salud.

C. Caso de estudio

El caso de estudio pertenece a un hospital privado del Área Metropolitana de Mendoza, inaugurado en el año 2015. Por razones de confidencialidad, no se menciona su nombre.

El edificio, orientado 21° respecto al Norte geográfico, se organiza en dos plantas, y fue construido a partir de bloques que rodean a jardines interiores. El consultorio analizado se encuentra en la planta baja y ventila e ilumina a un patio lateral. El espacio tiene una superficie de 16.30 m² (3.15x5.00x2.95 m – ancho, largo, altura) y presenta dos zonas funcionales divididas por un biombo: un área de entrevista y un área de revisión médica, como muestra la figura 1.

En cuanto a las características ópticas de los materiales, una de las paredes presenta una reflectancia de 0.61, mientras que las demás tienen un valor de 0.89. El piso posee una reflectancia de 0.76 y el cielorraso de 0.89.

El aporte de la luz natural proviene de una ventana de 1.35x1.60 m (alto por ancho), orientada al Este, que representa el 23.25 % de la superficie de pared. El vidrio tiene una transmitancia visible de 0.88. La ventana no cuenta con elementos de control solar exterior, pero en el interior dispone de un sistema de

cortinas tipo roller: una translúcida y otra opaca de color beige.

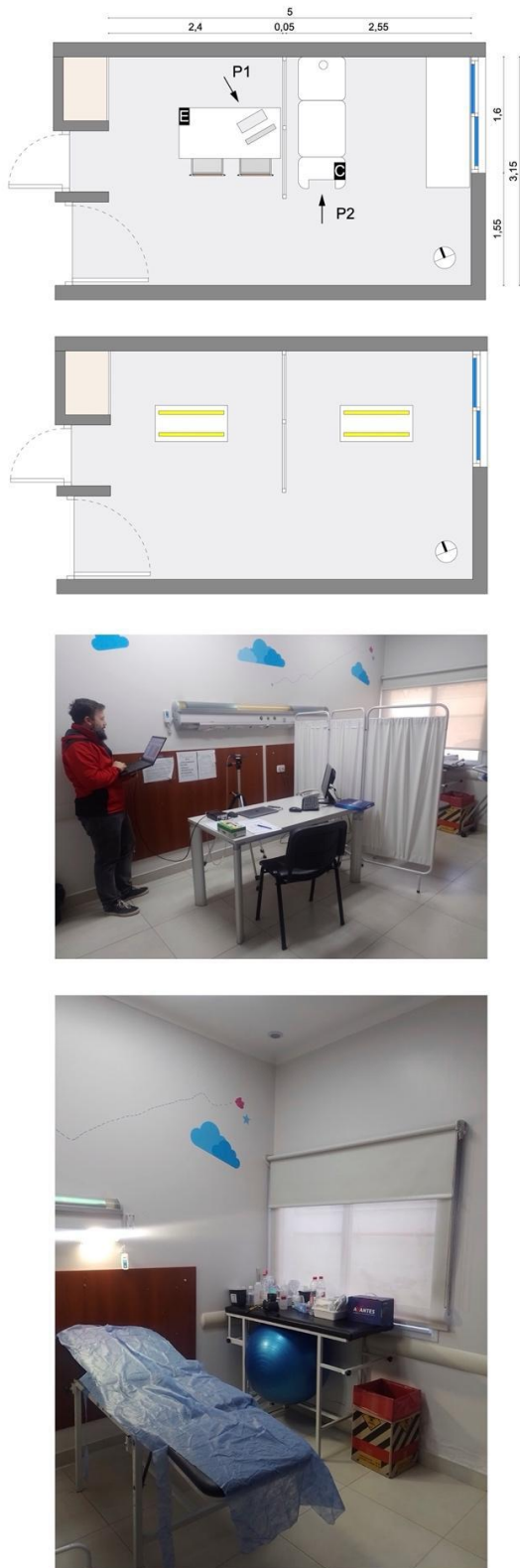


Fig. 1: Planta de arquitectura, planta de distribución de artefactos de iluminación y fotos del interior del consultorio.

La iluminación artificial es de tipo general, conformada por dos artefactos embutidos en el cielorraso, controlados por un único interruptor de encendido-apagado. Cada artefacto contiene dos tubos LED marca OSRAM, modelo T8, de 16 W y una Temperatura de Color Correlacionada (TCC) de 6500 K.

Las mediciones se realizaron en cuatro jornadas de cielo despejado, próximas a equinoccios y solsticios, durante los meses de septiembre (2023), diciembre (2023), marzo y diciembre (2024), a las 9:00 y 18:00 horas. Estos horarios fueron seleccionados para registrar el estímulo circadiano al inicio y final de la guardia durante las horas diurnas, considerando que el personal de salud cumple turnos de 12 horas continuas de 8:00 a 20:00 horas.

Durante el relevamiento, la iluminación artificial estaba encendida y las cortinas permanecieron posicionadas según su uso al momento de la medición. Se registraron la iluminancia vertical (E_v) y la distribución de potencia espectral (SPD) a la altura de los ojos (1.20m), en la dirección de visión mas frecuente. Las mediciones se realizaron en el escritorio y a los pies de la camilla, tal como se indica en la figura 1 con la letra "P".

Los equipos utilizados fueron un espectrómetro modelo AvaSpec- ULS2048CL-EVO-RS-UA, una notebook Lenovo T15 G1 con el software Avasoft-full y un luxómetro LMT Pocket-2.

Posteriormente se calcularon las métricas EML y m-EDI de las mediciones realizadas de acuerdo a las pautas dadas por [11].

III. RESULTADOS

A. Resumen de recomendaciones internacionales de iluminación integradora para trabajadores diurnos.

En la TABLA I. se presentan las recomendaciones encontradas a partir de la búsqueda bibliográfica, dirigidas a adultos sanos (18-55 años) con horarios diurnos regulares. Los niveles indicados deben alcanzarse en el plano vertical, a la altura de los ojos, a 1.2 m del suelo. Los puntos de medición deberán ser representativos de la posición habitual del ocupante en el espacio.

Cuando el criterio a evaluar corresponda a un espacio iluminado únicamente por luz artificial, las mediciones deben realizarse por la noche [12].

Como recomiendan [9,13], durante el día debe darse prioridad la luz natural para alcanzar los niveles recomendados. Si es necesario adicionar iluminación artificial, una fuente de luz blanca policromática con mayor irradiancia en longitudes

de onda corta cercanas al pico de acción melanópico es un buen complemento a la luz natural. En cambio, por la tarde y la noche se deben disminuir los niveles de luz y tener un espectro reducido en ondas cortas [9].

TABLA I: Valores del estímulo recomendados por diferentes fuentes bibliográficas.

Norma/ Guía / Fuente	Métrica	Tiempo de exposición	Duración	Valor recomendado
WELL v2.0 (requisitos para 1 punto)	EML/ m-EDI	9:00 a 13:00 (Los niveles pueden reducirse después de las 20:00)	4 horas	≥ 150 EML (136 m-EDI) solo para iluminación artificial ^a
				≥ 120 EML (136 m-EDI) si se cumplen determinados criterios de iluminación natural ^a
WELL v2.0 (requisitos para 3 puntos)	EML/ m-EDI	9:00 a 13:00 (Los niveles pueden reducirse después de las 20:00 hs)	4 horas	≥ 275 EML (250 m-EDI) si solo hay iluminación artificial ^a
				≥ 180 EML (163 m-EDI) si se cumplen determinados criterios de iluminación natural ^a
UL Design Guideline 24480	CS	7:00 a 16:00	min 2 horas por la mañana ^b	$CS \geq 0,30$ ^c
		17:00 a 19:00	2 horas	$CS \leq 0,20$
		desde 20:00	durante todo el tiempo	$CS \leq 0,1$
CIE S 026 ^d	m-EDI	Durante el día		≥ 250 m-EDI
		3 horas antes de dormir		≤ 10 m-EDI
		Entorno de sueño		1 m-EDI ^e
DIN SPEC 67600:2013-04 ^f	Ev	8:00 a 12:00	4 horas	≥ 250 lx a CCT=8000 K
		8:00 a 12:00	4 horas	≥ 290 lx a CCT=6500 K
		18:00 a 21:00	3 horas	≥ 200 lx a CCT=3000 K
		Por la noche		≤ 50 lx a CCT=2700 K

^a. La exposición debe lograrse todos los días del año [12]. Además, los niveles de luz medios deben cumplir el umbral EML y el valor más bajo debe ser al menos la mitad del umbral.

^b. Para garantizar el éxito de la sincronización circadiana mediante exposiciones a la luz diurna, es una buena práctica ampliar la duración de la exposición a la luz más allá de las dos horas mínimas, en lugar de añadir una mayor cantidad de luz al espacio [13].

^c. CS de 0,30 equivale a una Ev de 350 lx (CCT < 3000 K) o 200 lx (CCT > 5000 K) [15].

^d. Valores obtenidos por consenso de expertos de [9] y adoptados por CIE S 026.

^e. En caso de que ciertas actividades nocturnas requieran visión, el nivel máximo recomendado es de 10 m-EDI.

^f. Valores obtenidos del artículo [14] y [15].

Además, se sugiere variar los niveles y el espectro de forma gradual para evitar molestias en los ocupantes, con un tasa de cambio de $\leq 5\%$ por segundo [13].

B. Resultados del estudio de campo y comparación con los valores de referencia.

En la TABLA II. se observan los resultados de las mediciones realizadas en el consultorio de ginecología y obstetricia de emergencia. Únicamente en el punto P2, ubicado a los pies de

la camilla de atención médica, a las 9:00 horas en los meses de marzo y diciembre, los valores superan los 250 m-EDI (D65) recomendados durante el día por [9]. Esto evidencia que el personal de salud trabaja gran parte del tiempo con un estímulo insuficiente, y que el aporte lumínico proviene principalmente de la luz natural, dado que los valores adecuados se registran en el puesto de trabajo cercano a la ventana.

TABLA II: Indicadores medidos en el caso de campo - en negrita valores m-EDI que cumplen con las recomendaciones de [9].

Mes	Hora	Punto	E_v (lx)	EML	m-EDI (D65)
Mar	09:00	P1	156	126.8	114.8
	09:00	P2	490.6	284.8	258.0
	18:00	P1	82.2	61.0	55.2
	18:00	P2	109.0	87.8	79.5
Jun	09:00	P1	74.6	58.9	53.3
	09:00	P2	86.3	78.45	71.1
	18:00	P1	80.2	57.3	51.9
	18:00	P2	82.7	66.5	60.3
Sep	09:00	P1	121.4	91.4	82.8
	09:00	P2	317.4	185.1	167.7
	18:00	P1	91.1	72.7	65.8
	18:00	P2	119.4	104.0	94.2
Dic	09:00	P1	195.2	157.6	142.7
	09:00	P2	576.4	585.6	530.5
	18:00	P1	73.9	57.7	52.1
	18:00	P2	99.3	83.1	75.2

IV. CONCLUSIONES

En los últimas décadas, el interés por los efectos no visuales de la iluminación en la salud ha crecido entre la comunidad científica, las organizaciones y los especialistas en iluminación. Este estudio recopiló recomendaciones internacionales sobre iluminación integradora para trabajadores diurnos, un campo en constante evolución, y verificó el estímulo circadiano, conforme a las recomendaciones, en los puestos de trabajo de un consultorio de ginecología y obstetricia de emergencia de un hospital de Mendoza, Argentina.

Los resultados muestran que, durante gran parte del año, los puestos de trabajo analizados

presentan valores de m-EDI (D65) por debajo de lo recomendado en el horario diurno. Asimismo, las recomendaciones internacionales enfatizan la importancia de considerar la luz natural como principal fuente de exposición y de optimizar su aprovechamiento en espacios interiores. Sin embargo, se reconoce la necesidad de continuar con las investigaciones para fortalecer las recomendaciones basadas en evidencia, de modo que los especialistas puedan cuantificar fácilmente el estímulo circadiano y aplicar este conocimiento de manera práctica en entornos interiores.

V. REFERENCIAS

- [1] Scheer, F. A., & Czeisler, C. A. (2005). Melatonin, sleep, and circadian rhythms. *Sleep medicine reviews*, 1(9), (5-9).
- [2] Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557), 1070-1073.
- [3] Schlangen, L. J. (2019). CIE position statement on non-visual effects of light: recommending proper light at the proper time. 2nd edition, Vienna, Austria: CIE, 2019.
- [4] Hosseini, S. N., Walton, J. C., SheikhAnsari, I., Kreidler, N., & Nelson, R. J. (2024). An architectural solution to a biological problem: a systematic review of lighting designs in healthcare environments. *Applied Sciences*, 14(7), 2945.
- [5] Baczynska KA, Khazova M, O'Hagan JB. Sun exposure of in-door workers in the UK – survey on the time spent outdoors. *Photochem Photobiol Sci* 2019;18:120–28.
- [6] Boyce, P. R. (2022). Light, lighting and human health. *Lighting Research & Technology*, 54(2), 101-144.
- [7] Canazei, M., Weninger, J., Pohl, W., Marksteiner, J., & Weiss, E. M. (2022). Effects of dynamic bedroom lighting on measures of sleep and circadian rest-activity rhythm in inpatients with major depressive disorder. *Scientific reports*, 12(1), 6137.
- [8] Chen, Y., Broman, A. T., Priest, G., Landrigan, C. P., Rahman, S. A., & Lockley, S. W. (2021). The effect of blue-enriched lighting on medical error rate in a university hospital ICU. *The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety*, 47(3), 165-175.
- [9] Brown, T. M., Brainard, G. C., Cajochen, C., Czeisler, C. A., Hanifin, J. P., Lockley, S. W., ... & Wright Jr, K. P. (2022). Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLoS biology*, 20(3), e3001571.
- [10] CIE 2023a. CIE TN 015:2023. Second international workshop on circadian and neurophysiological photoreception. Vienna: CIE. <https://doi.org/10.25039/TN.015.2023>
- [11] Paviglianiti, V., Rodriguez, R. G., & Pattini, A. E. (2023). Cálculo de la luz circadiana efectiva en el personal médico durante una guardia gineco-obstétrica: estudio de campo.
- [12] Well Building Standard (<https://www.wellcertified.com/>)

[13] UL Design Guideline 24480 (<https://www.ul.com/news/ul-publishes-lighting-design-guideline-circadian-entrainment>)

[14] Stefani, O., & Cajochen, C. (2021). Should we re-think regulations and standards for lighting at workplaces? A practice review on existing lighting recommendations. *Frontiers in Psychiatry*, 12, 652161.

[15] Ticleanu, C., Flores-Villa, L., Littlefair, P., & Howlett, G. (2025). Assessing melanopic equivalent daylight illuminance in office spaces using a simplified approach for predominantly cloudy climates. *Lighting Research & Technology*, 14771535251317740

VI. BIOGRAFIAS



Arq. Valeria D. Paviglianiti.
Becaria Doctoral, INAHE,
CONICET, Mendoza,
Argentina.



Dr. Roberto G. Rodríguez.
Investigador Adjunto, INAHE,
CONICET, Mendoza,
Argentina.



Ing. Emanuel R.
Schumacher. Personal de
Apoyo, INAHE, CONICET,
Mendoza, Argentina.



Dra. Verónica Ruiz. Becaria.
Doctoral, INAHE, CONICET,
Mendoza, Argentina.



Dra. Andrea Elvira Pattini.
Investigador Principal, INAHE.
CONICET, Mendoza,
Argentina.



“Proyectar Luz, habitar sentidos: reflexiones entre el diseño y la realidad de obra”

Autor: Ing. Esp. Silvia Susana Prosdocimo

Proyectos Prolux iluminaciones - CP. 4000 San Miguel de Tucuman - Tucuman - Argentina

Autor: Dis. Ana Beatriz Saguir

Estudio Ana B. Luz y Diseño -CP4107 Yerba Buena - Tucuman - Argentina

Resumen: El interiorismo es mucho más que estética: es una disciplina que articula espacio, luz y usuario para generar experiencias profundas. Habitar un lugar implica apropiarse de él, y es en esa apropiación donde se juega la calidad de vida que buscamos en nuestro día a día.

La tecnología en iluminación aporta precisión, pero no garantiza emoción. Por eso, en nuestros proyectos analizamos a fondo a los usuarios, sus actividades y las sensaciones que se desean potenciar. Utilizamos recursos como moodboards y croquis que nos permiten “pintar con luz” y comunicar las intenciones lumínicas más allá de los planos técnicos.

El gran desafío es traducir ideas con emociones compartidas con el cliente. Luego, llega la etapa práctica: selección de luminarias, instalación, y puestas en marcha, donde muchas veces intervienen otros criterios que hay que armonizar.

La docencia lumínica es constante. Enseñar desde la sensibilidad, la coherencia y la sustentabilidad es parte del proceso. Y en la inauguración, cuando todo está encendido, aceptamos que los espacios también hablan a través de sus imperfecciones.

Ser interioristas es facilitar el encuentro entre las personas y la luz. Y en ese encuentro, hacer visible su propia luz interior.

Abstract: Interior design is much more than aesthetics: it is a discipline that articulates space, light, and the user to create profound experiences. To inhabit a place is to make it your own, and in that act lies the quality of life we seek in our everyday lives.

Lighting technology offers precision but does not guarantee emotion. That’s why, in our projects, we deeply analyze users, their activities, and the feelings they wish to enhance. We use tools like

moodboards and sketches that allow us to “paint with light” and convey lighting intentions beyond technical plans.

The great challenge is to translate ideas into emotions shared with the client. Then comes the practical stage: selecting luminaires, installation, and commissioning—where other criteria often emerge and must be harmonized.

Lighting education is a constant part of our process. Teaching through sensitivity, coherence, and sustainability is essential. And at the inauguration, when everything is lit, we accept that spaces also speak through their imperfections.

Being an interior designer means facilitating the encounter between people and light. And in that encounter, making visible each person’s own inner light.

Palabras claves: luz, emociones, habitabilidad, idoneidad

I. INTRODUCCIÓN

En esta oportunidad presentamos la experiencia del Estudio Ana B y de su proveedor oficial PROLUX iluminaciones, de dos obras realizadas en nuestra ciudad. En ellas se utilizaron metodologías diferentes, una se abordó desde un punto subjetivo y perceptual; y el otro se proyectó desde una perspectiva técnica con verificaciones en programas de cálculo. En el desarrollo de los proyectos quedaron evidenciadas ciertas características habituales de nuestro metier profesional que queremos compartir con los colegas de la luz, con el objetivo de llamar a la reflexión de nuestros propios sentimientos respecto a las obras que realizamos.

II. PRESENTACIÓN DE PROYECTOS

A. PROYECTO SUBJETIVO Y PERCEPTUAL: LABORATORIO BIOQUÍMICO - Sala de espera, recepción, boxes de extracción de sangre.

EL proyecto tuvo como objetivo plantear un cambio a nivel macro de la empresa, actualizar la imagen total de la sucursal central como puntapié inicial. El desafío incluía una nueva propuesta interiorista, jerarquizada por la iluminación, es decir, un enfoque integral que abarcara todas las facetas visuales de un espacio.

Se trata de un cliente que vió el laboratorio terminado de un colega, un local proyectado por el estudio y solicitó nuestros servicios, lo cual favoreció a generar un vínculo muy fluido entre ambas partes.

Los espacios que concentraba este proyecto requerían de una ambientación de relax, en donde los pacientes sientan la transmisión de tranquilidad ante la situación de estrés y tensión que puede generar su paso por un laboratorio bioquímico. En la zona de recepción e interior de boxes de extracción sí se respetaron los requerimientos técnicos para la ejecución de tareas críticas visuales del personal. Es decir, había que combinar diferentes sensaciones visuales para armonizar la experiencia de los diferentes usuarios.

El proyecto tuvo su proceso creativo correspondiente hasta llegar a la etapa de su materialización. Es aquí donde entran en juego algunas condicionantes que llevaron a ajustar las decisiones de obra: instalaciones existentes en losa, tiempo muy acotado de ejecución, asesoría de los proveedores, disponibilidad de los materiales, precisión de la mano de obra, etc. En lo referente a la iluminación se programó una reunión para definir calidad, modelo, potencia, color, temperatura de color, tipo de encendido (ON-OFF o dimmerizable) y marca de luminaria para cada punto de luz. Solo una coordinación muy minuciosa aseguraría el éxito, y muchas veces por más esfuerzo que ponga el profesional, no todo sale exactamente según lo proyectado

La obra vive y cambia con sus habitantes, todos responden de manera diferente a los estímulos presentados según las recomendaciones de niveles de iluminación y de las buenas prácticas del diseño. Por lo tanto, en esta oportunidad, en presencia de esa gran variedad de percepciones espaciales, lo válido es que sean positivas y mejoren la convivencia de los sentimientos al ingresar a un espacio en donde la salud física y mental de los pacientes están en juego, donde lo importante es reducir la ansiedad de ellos, humanizar los espacios. La iluminación cumple un rol fundamental en este logro, y si el interiorismo acompaña muy de cerca se potencian mutuamente a pesar de las imperfecciones detectadas por el ojo objetivo del profesional que

no descansa jamás. La aceptación y la imperfección también forman parte del proceso.

B.PROYECTO TÉCNICO. HALL CENTRAL YERBA BUENA SHOPPING

El proyecto tuvo como foco exclusivo el patio central del shopping, un espacio con gran valor humano e histórico. Se trata de un punto de encuentro social emblemático en Yerba Buena, reconocido por ser el primer shopping de la zona. A diferencia de otros centros comerciales del entorno, atrae a un público mayoritariamente compuesto por personas de más de 50 años y familias completas, que lo eligen como lugar de reunión y mantienen su dinamismo hasta la actualidad.



Las primeras mediciones de la iluminación nos arrojó valores por debajo de los exigidos por el Decreto 351/79, Anexo IV según la intensidad media de iluminación, teniendo en cuenta la tarea visual que más se asemeje a la desarrollada en el espacio en cuestión.

Las mediciones se tomaron nivel piso, con las luminarias existentes a una altura de 7.40mts, además el aporte de iluminación indirecta de los reflectores ubicados en el perímetro que enmarca el espacio, situados prácticamente a la misma

altura. La iluminancia (E) promedio del sector del patio central era de **75 lux**.

Las condiciones del entorno al momento de la medición fueron las siguientes.

Fecha de medición: 23/10/2023

Horario de medición: 20.30h

Condiciones ambientales: mediciones interiores del sector, con la iluminación artificial existente en su totalidad encendida. Sin aporte de iluminación exterior intrusa.

ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO

El factor de Uniformidad de la Iluminancia era aceptable, no así los valores de Iluminancia media, según Norma IRAM. Sin embargo, hay otros factores a considerar para determinar el nivel de iluminación "necesario" para el patio central del paseo comercial, y es el humano.

La actividad principal del sector es una cafetería, y se debía asegurar una estadía confortable del cliente. Se analizó, por lo tanto, la posible respuesta conductual de los usuarios habituales en relación al aumento de iluminación. Con un análisis ocular de la situación, se pudo percibir que con los **75 lux existentes** creaban una ambientación tenue, tranquila y de relax. Incrementando la iluminación se modificaría el público también. Por lo tanto, la recomendación era lograr incrementar el nivel de iluminación a valores que no superen los **300 lux**, con la intención de generar un cambio cuantitativo pero que el impacto visual inicial para el habitual consumidor no sea agresivo. Se concretó una reunión con nuestro proveedor de iluminación en la cual se le transmitió todo lo anterior, se intercambiaron propuestas, sugerencias y se realizó la propuesta de luminarias a utilizar para materializar el proyecto.

Se planteó enriquecer el espacio con iluminación de destaque en los elementos estructurales de fuerte presencia en el espacio y que lo delimitan: las 4 columnas. Dar lugar a generar puntos focales en los que se sugiere incorporar macetones con vegetación que siempre aportan estéticamente y en sensaciones positivas.

Se proyectó incorporar en las columnas reflectores dobles, de encendidos separados y en RGBW solo los que iluminan hacia arriba. De esta forma se podía incorporar color de manera sutil y elegante para lucir en fechas especiales y enfatizar el sentimiento festivo del día. El encendido por separado permite contar con diferentes escenas lumínicas con posibilidad de combinarse entre sí, de modo de crear ambientaciones distintas según el calendario comercial. Los que iluminan en forma indirecta hacia arriba (3) resaltan el nacimiento de las estructuras metálicas blancas del techo y la cúpula misma, y los que iluminan de forma directa

hacia abajo (3) remarcan altura y volumen de las columnas. (Planos verticales que marcan la dimensión del espacio). LUMINARIAS POINTER RGB (BAEL) hacia arriba. LUMINARIA GUARDARE ADAPTADO CON LAMPARA 30W 12°. Se sugirió la colocación de una estructura metálica, tipo una cinta que envuelve 60 cm de la parte superior de las columnas con el fin de ocultar las luminarias por cuestiones estéticas.

Para la iluminación general del patio central se propuso la colocación de colgantes de 78w de luz neutra. Su diseño se integra por completo a la estética del espacio, no solo asegurando los niveles de luminancia sobre plano de trabajo sino también su vista desde las diferentes perspectivas de planta baja y alta. LUMINARIAS LUMIX (METALUZ). La iluminación general indirecta desde el perímetro del patio original, generaba una sensación de amplitud espacial a pesar de bañar solo el primer tercio de la cúpula. El color de los elementos constitutivos de la cúpula no es beneficioso para la eficiencia lumínica, absorben luz por su color y textura. Se sugirió pintarlos de blanco. Se respetó la posición de las luminarias, haciendo un cambio de modelo para mejorar la eficiencia de los mismos. Las luminarias propuestas son de mayor potencia y con ángulos de apertura 70/125° en luz neutra. LUMINARIAS WASHER (BAEL)

El cliente decidió tomar las sugerencias del proyecto, pero la compra de artefactos de iluminación y colocación lo hicieron por su cuenta, sin tomar el servicio de supervisión técnica del estudio. Son condicionantes que automáticamente nos dejan fuera del control del último tramo, de la materialización de un proyecto que fue pensado desde lo técnico, desde lo cuantitativo y cualitativo.

Fuimos invitadas una vez que el montaje se realizó, y pudimos constatar que la compra no respetada modelos, cantidades y ubicaciones de las luminarias. Los niveles resultantes subieron apenas a 130 lux promedio, los resultados no fueron los esperados, no se logró generar las ambientaciones proyectadas.

III. CONCLUSIONES

1. El diseño interior es una experiencia emocional, no solo técnica. El verdadero valor del interiorismo está en su capacidad para generar emociones y bienestar. La luz, en particular, es vista como un medio para lograr una conexión profunda entre el espacio y quien lo habita.

2. El mayor desafío es la comunicación con el cliente. Transferir las ideas lumínicas del diseñador al cliente requiere sensibilidad, lenguaje visual (como moodboards, croquis) y empatía. No alcanza con saber diseñar: hay que saber explicar, traducir e inspirar.

3. La tecnología es útil, pero no suficiente. Los estudios fotométricos y las herramientas digitales son importantes, pero no sustituyen la intención ni la sensibilidad del diseñador. Lo emocional y lo humano siguen siendo irremplazables.

4. El rol docente del diseñador es fundamental. Cada proyecto es una oportunidad para educar al cliente sobre la luz como lenguaje. Se destaca una docencia sutil, basada en la coherencia, la sustentabilidad y la experiencia cotidiana.

5. La aceptación y la imperfección también forman parte del proceso. Reconocer que algunas intervenciones o errores forman parte de la apropiación del espacio por parte del usuario es un acto de madurez profesional

IV.RECOMENDACIONES

Agradecemos profundamente a nuestros clientes actuales por la confianza depositada en nuestro trabajo, por abrirnos las puertas de sus espacios y permitirnos acompañarlos en el proceso de proyectar con luz.

También queremos reconocer a nuestros clientes anteriores, quienes, al quedar conformes con los resultados, nos recomendaron y ayudaron a que nuevos proyectos llegaran a nuestras manos. En algunos casos, fue una obra realizada la que habló por nosotras y despertó el interés de futuros clientes.

Por último, agradezco especialmente a mi compañera de equipo por su compromiso, su sensibilidad proyectual y la confianza compartida a lo largo de cada obra.

Agradecimientos también a Marcos Julián Lavergne, estudiante de arquitectura (USP-T), quien con colaboración responsable demuestra su potencial como futuro profesional.

V. REFERENCIAS

1. IESNA Lighting Handbook – Illuminating Engineering Society (IESNA)

Manual de referencia internacional en iluminación, con fundamentos técnicos y niveles recomendados para diferentes espacios.

2. IRAM-AADL J 2022-1 – Norma Argentina para niveles de iluminación interior

Específica para nuestro contexto. Define niveles mínimos de iluminancia en función del tipo de espacio.

3. CIE 29:1986 - Guide on Interior Lighting – International Commission on Illumination (CIE) Normativa internacional que orienta sobre niveles, confort visual y percepción espacial.

4. EN 12464-1:2021 – Lighting of Workplaces – Indoor Workplaces – European Committee for Standardization (CEN) Detalla

requisitos para oficinas, comercios y espacios públicos interiores.

VI. BIOGRAFIAS



Silvia Susana Prosdocimo (1973, Santiago del Estero, Argentina) Ing. Electrónica UNT. Estudios de postgrado en la UNT Esp. MAVILE (Especialista en Medio Visual e Iluminación Eficiente). Actualmente ocupa la gerencia de PROLUX iluminaciones, empresa creada para la comercialización de artefactos de iluminación en gral. y proyectos.



Ana Beatriz Saguir (1981, Tucuman, Argentina). Diseñadora de Interiores (UNT). Estudios de postgrado en la UNT Esp. MAVILE (Especialista en Medio Visual e Iluminación Eficiente). Actualmente lidera Ana B.-Estudio de Luz y Diseño, donde se desarrollan proyectos integrales de interiorismo e iluminación tanto residencial como comercial. Profesora titular de las materias de Vidrierismo (2do año) e Iluminación (3er año) de la carrera de Diseño de Interiores UNSTA.



Calibración de actígrafos para la medición de Iluminancia Melanópica Equivalente.

Rodriguez, Roberto Germán¹, Paviglianiti Valeria¹, Schumacher Emanuel¹, Ruiz Verónica¹, Pattini Andrea¹

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

Resumen: Con la identificación en 2002 de las células ganglionares retinales intrínsecamente fotosensitivas (ipRGCs), se avivó el interés por las respuestas a la luz originadas en la retina, pero separadas de otros aspectos de la visión. Esto planteó el desafío de desarrollar una nueva fotometría circadiana, destacándose entre las métricas emergentes, el Lux Melanópico Equivalente (EML). Esta métrica se basa en la sensibilidad espectral específica de las ipRGCs, y por lo tanto requiere de instrumentos específicos de medición, como los actígrafos. En este estudio, se describe la calibración de actígrafos marca ACTtrust 2.0, cuyos sensores de espectro azul, tienen buena correlación con la respuesta espectral melanopsina, lo que constituye una ventaja para la medición directa, portable, y continua de EML. En las instalaciones del LuzLab-360 del INAHE se realizaron dos sesiones de calibración, sin aporte de luz artificial, en orientaciones de ventana Norte–Este y Este–Sur, en simultáneo con mediciones puntuales con un espectrómetro AvaSpec-ULS2048CL-EVO para calcular EML con la Lucas Toolbox. A partir de los registros del sensor azul de los actígrafos y de los EML calculados, se determinó una función de calibración con un error relativo promedio de 1,5% (DS=19,8). Esta función se validó en una oficina real con orientación Este, con un error medio de 1,5% (DS=3,6). Se discuten los alcances y limitaciones de esta calibración.

Palabras clave: iluminación integrativa, calibración, EML

Abstract: The identification in 2002 of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs) sparked renewed interest in light responses originating in the retina but separate from other aspects of vision. This posed the challenge of developing a new circadian photometry, with the Equivalent Melanopic Lux (EML) standing out among the emerging metrics. This metric is based on the specific spectral sensitivity of ipRGCs and therefore requires specific measuring instruments, such as actigraphs. This study describes the calibration of ACTtrust 2.0 actigraphs, whose blue spectrum sensors correlate well with the melanopsin spectral response, providing an advantage for the direct, portable, and continuous measurement of EML. Two calibration sessions were conducted at the INAHE LuzLab-360 facilities, without artificial light, in north-east and east-south window orientations. These sessions were conducted simultaneously with spot measurements using an AvaSpec-ULS2048CL-EVO spectrometer to calculate EML by means of the Lucas Toolbox. From the actigraphs' blue sensor readings and the calculated EML, a calibration function was determined with an average relative error of 1.5% (SD=19.8). This function was validated in a real office with an east orientation, achieving a mean error of 1.5% (SD=3.6). The scope and limitations of this calibration are discussed.

Keywords: integrative lighting, calibration, EML

I. INTRODUCCIÓN

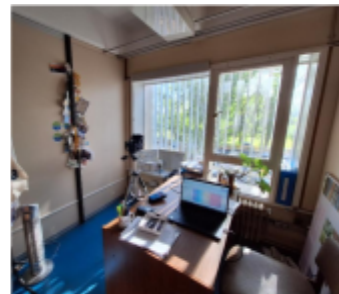
Los objetivos tradicionales de la iluminación arquitectónica incluyen la provisión de luz que: i)

sea óptima para el rendimiento visual; ii) sea visualmente confortable; iii) permita la apreciación estética del espacio; y iv) conserve energía [1]. Sin embargo, evidencia empírica ha demostrado que muchos aspectos de la fisiología humana y el comportamiento son influenciados por la iluminación que impacta en la retina [2]. Tales respuestas se originan en el ojo pero están separadas de otros aspectos de la visión. A este conjunto de respuestas a la luz se han denominado efectos no visuales de la luz. La iluminación que satisface tanto las demandas visuales y no visuales humanas en condiciones de confort se denomina iluminación integrativa [3].

Con el interés de cuantificar la luz para predecir los efectos no visuales se han desarrollado diferentes métricas [4], entre ellas Circadian Stimulus (CS), Equivalent Melanopic Lux (EML) y Melanopic Equivalent Daylight Illuminance (m-EDI). El EML se basa en la sensibilidad espectral específica de las ipRGCs, y por lo tanto requiere de instrumentos específicos de medición, como los actígrafos. En este estudio, se describe la calibración de actígrafos marca ACTtrust 2.0, cuyos sensores de espectro azul, tienen buena correlación con la respuesta espectral melanopsina, lo que constituye una ventaja para la medición directa, portable, y continua de EML.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En las instalaciones del LuzLab 360 del INAHE se realizaron dos sesiones de calibración, sin aporte de luz artificial, una en orientación de ventana: Norte–Este y otra en orientación Este-Sur. Se posicionaron cuatro actígrafos en posición vertical, en el centro del local, en direcciones opuestas cada 90°, en simultáneo con mediciones puntuales con un espectrómetro AvaSpec-ULS2048CL-EVO, que permitió calcular los EML con la LucasToolbox. Se realizaron mediciones cada dos horas entre las 7 AM y las 19 PM durante el mes de noviembre en condiciones de cielo despejado.



A partir de los registros del sensor azul de los actígrafos y de los EML, se analizó el comportamiento de cada actígrafo según su posición y los niveles de iluminancia vertical ambientales, se determinó una función de calibración comparando ambos valores. Luego, esta función se validó en una oficina real con orientación Este, realizando comparaciones entre los valores registrados cada dos horas entre las 7 AM y las 19 PM, de los actígrafos calibrados y los EML calculados con la Lucas Toolbox.

III. RESULTADOS

La tabla 1 muestra las lecturas promedio de los sensores de espectro azul de los cuatro actígrafos utilizados, entre las 7 AM y las 19 PM, para las dos orientaciones relevadas. Además se muestran los valores de EML tomados en simultáneo en los mismos horarios y orientaciones, desde la misma posición que los actígrafos.

Hora	Norest e		Surest e	
	AC _(mean)	EML _(mean)	AC _(mean)	EML _(mean)
07:00	180,3	1623,0	1561,5	18486,3
09:00	310,8	4306,6	673,1	8925,2
11:00	302,6	3945,9	257,6	3172,9
13:00	265,6	3778,2	202,9	2653,5
15:00	214,3	3105,0	242,6	2822,7
17:00	126,9	2021,1	203,0	2609,7
19:00	106,3	927,5	85,3	1362,6

Tabla 1. Lecturas promedio de los 4 actígrafos y de EML calculados a partir de las mediciones espectrales para las orientaciones NE y SE

A partir de estos datos se calcularon funciones de calibración para ajustar las lecturas del sensor azul a las mediciones de EML (Figura 2). Se exploraron funciones lineales,

exponenciales, de potencia, y polinómicas. De todas ellas, el mejor ajuste se logró con la función lineal:

$$y = 11,874x + 253, \text{ con un } R^2 = 0,992$$

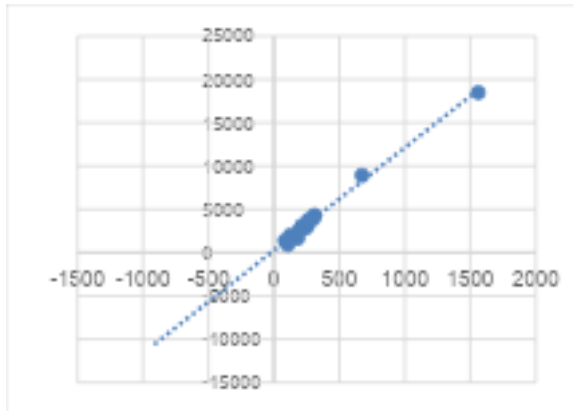


Figura 2. Función lineal de calibración propuesta.

A partir de esta función se ajustaron las lecturas del sensor azul de los actígrafos (tabla 2). Se observan errores relativos entre 38,8% y -14,88%, con un promedio de 1,76% y una desviación estándar de 15,9.

Blue	EML	Corrección	Error
180,33	1622,95	2394,24	32,21
310,85	4306,56	3944,00	-9,19
302,61	3945,93	3846,19	-2,59
265,55	3778,23	3406,14	-10,92
214,32	3104,97	2797,87	-10,98
126,86	2021,08	1759,31	-14,88
106,33	927,53	1515,59	38,80
1561,47	18486,25	18793,89	1,64
673,08	8925,17	8245,09	-8,25
257,58	3172,87	3311,53	4,19
202,87	2653,54	2661,91	0,31
242,60	2822,74	3133,60	9,92
203,04	2609,73	2663,84	2,03
85,30	1362,64	1265,79	-7,65
		Promedio	1,76
		DS	15,94

Figura 2. Errores relativos de EML ajustada según la función de calibración obtenida.

A modo de validación, se reporta el resultado global de la jornada de medición realizada en una oficina del CCT Mendoza -CONICET. El error

promedio obtenido fue de medio de 1,5% (DS=3,6).

IV. CONCLUSIONES

Se presentaron los resultados de una propuesta de conversión, por medio de una función matemática, y se logró validar en un escenario real la calibración propuesta con un error aceptable. Esto simplifica la toma de datos continua en campo. Asimismo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los sensores.

Se recomienda calcular calibraciones diferenciadas para iluminancias mayores y menores de 10000 lx. A partir de los datos obtenidos, se observó que las manchas de luz afectaron al proceso de calibración, siendo recomendable evitar escenarios con presencia de patrones de luz solar directa y sombras.

Las conclusiones obtenidas solo son válidas para escenarios sin aportes de luz artificial. Se requiere validar la función de calibración en escenarios mixtos (luz natural y artificial)

V. REFERENCIAS

- [1] DiLaura D, Houser K, Mistrick R & Steffy G (2011). The lighting Handbook 10th edition: Reference and application. Illuminating Engineering Society of North America, 120. ISBN#978-0-87995-241-9.
- [2] Lucas RJ, Peirson SN, Berson DM, Brown TM, Cooper HM, Czeisler CA,... & Price LL (2014). Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in neurosciences*, 37(1), 1-9.
- [3] CIE 2023a. CIE TN 015:2023. Second international workshop on circadian and neurophysiological photoreception. Vienna: CIE. <https://doi.org/10.25039/TN.015.2023>.
- [4] Hosseini, S. N., Walton, J. C., SheikhAnsari, I., Kreidler, N., & Nelson, R. J. (2024). An architectural solution to a biological problem: a systematic review of lighting designs in healthcare environments. *Applied Sciences*, 14(7), 2945.

VI. BIOGRAFIAS



Roberto G. Rodriguez:
Es Diseñador Industrial (UNCuyo) y Doctor en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente. Es Investigador Adjunto en el INAHE CONICET



Valeria D. Paviglianiti:
Es Arquitecta (UM). Es Becaria Doctoral en el INAHE CONICET



Emanuel R. Schumacher:
Es Ingeniero Electrónico y Profesional Adjunto en el INAHE CONICET



Verónica J. Ruiz:
Es Arquitecta (UM) y Doctora en Desarrollo Sustentable del Hábitat Humano (UNT). Es becaria Doctoral en el INAHE CONICET



Andrea E. Pattini:
Es Diseñadora Industrial (UNCuyo) y Doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente (UNT). Es Investigadora Principal en el INAHE CONICET.



Evaluación de Métodos para la Medición de Cambios Relativos en el Diámetro Pupilar

Paula Saide Chaya

Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Tucumán, Argentina – paulachaya04@gmail.com

Andrés Martín

Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV), CONICET-UNT, Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Tucumán, Argentina – amartin@herrera.unt.edu.ar

José F. Barraza

Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV), CONICET-UNT, Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Tucumán, Argentina – jbarraza@herrera.unt.edu.ar

Resumen: Este estudio compara dos métodos para medir cambios en el tamaño pupilar: (1) ajuste de contorno elíptico (DiámetroH/DiámetroV) y (2) conteo de píxeles en imágenes binarizadas. Los resultados muestran alta correlación ($r = 0.988$), pero el método elíptico sobrestima el área pupilar en un 7% en promedio. El análisis de Bland-Altman confirma que los métodos no son intercambiables, especialmente para pupilas dilatadas. Se concluye que el conteo de píxeles es más adecuado para cambios relativos, mientras que el ajuste de contorno requiere correcciones para medidas absolutas.

Palabras claves: Pupilometría, procesamiento de imágenes, sensibilidad, reflejo pupilar.

Abstract: This study compares two methods for measuring changes in pupil size: (1) elliptical contour fitting (DiameterH/DiameterV) and (2) pixel counting in binarized images. Results show a high correlation ($r = 0.988$), but the elliptical method overestimates pupil area by 7% on average. Bland-Altman analysis confirms the methods are not interchangeable, especially for dilated pupils. We conclude that pixel counting is more suitable for relative changes, while contour fitting requires corrections for absolute measurements.

Key Words: Pupillometry, image processing, sensitivity, pupillary reflex.

I. INTRODUCCION

La medición precisa del tamaño pupilar es relevante para el diseño de iluminación, ya que la pupila actúa como un diafragma natural que regula la entrada de luz al ojo, influyendo en la percepción visual, el deslumbramiento y la eficiencia energética de los sistemas lumínicos. Estudios previos han demostrado que el diámetro pupilar varía según la iluminancia y la distribución espectral de la luz [1], así como por la adaptación a estímulos luminosos dinámicos [2], lo que lo posiciona como un potencial biomarcador del confort visual.

Dada su importancia, la cuantificación del tamaño pupilar requiere metodologías robustas. Estas se basan típicamente en la captura de imágenes oculares, a partir de las cuales se extrae el diámetro pupilar. Sin embargo, el enfoque analítico depende del tipo de medida requerida: si se necesita una medida absoluta (ej. en milímetros), el sistema debe calibrarse para garantizar exactitud; en cambio, si solo interesan cambios relativos —como en estudios de respuesta pupilar a variaciones de luminancia [3]—, la calibración no es estrictamente necesaria. En cualquier caso, la elección de la metodología afecta la robustez, sensibilidad y confiabilidad de los resultados.

En este trabajo, orientado al desarrollo de un dispositivo medidor de pupila, comparamos dos metodologías de cuantificación, con el fin de evaluar sus ventajas y limitaciones para su

implementación práctica en el contexto de sistemas de iluminación controlada.

II. METODOLOGÍA

A. Adquisición y preprocesamiento de imágenes pupilares

Se utilizó una cámara de infrarrojos (IR) con una frecuencia de muestreo de 30 Hz para capturar imágenes del ojo. Cada fotograma se binarizó aplicando un umbral fijo, determinado experimentalmente en función de la sensibilidad de la cámara y la intensidad del iluminante IR ($\lambda = 850$ nm), siguiendo protocolos estandarizados para imágenes oculares en IR [4]. Posteriormente, se definió manualmente una región de interés (ROI) que contenía la pupila.

B. Metodologías de estimación del tamaño pupilar

a) Conteo de píxeles. El área pupilar se cuantificó mediante el conteo directo de píxeles clasificados como "negro" (valor 0) en la imagen binarizada. Este método proporcionó una medida relativa del tamaño pupilar en unidades de píxeles, similar a enfoques utilizados en estudios de dinámica pupilar básica [5].

b) Ajuste de contorno y cálculo de ejes principales. Para obtener una medida independiente de la anterior, se aplicó un enfoque basado en el contorno pupilar:

Detección del contorno: se utilizó la función `findContours` de OpenCV (Python) en modo `RETR_EXTERNAL` para extraer el perímetro pupilar [6].

Cálculo de ejes mayor y menor: se desarrolló un algoritmo para trazar las rectas horizontal (DiámetroH) y vertical (DiámetroV) más largas que atravesaran el contorno, midiendo su longitud en píxeles.

C. Post-procesamiento

Los datos brutos se procesaron para mejorar su calidad:

Filtrado de parpadeos: Se marcaron y eliminaron de los cálculos las medidas en que el área pupilar fue 0. Lo mismo se hizo con los fotogramas en los cuales la relación entre los ejes mayor/menor fue superior a 2.5, criterios establecidos para excluir artefactos [7].

Suavizado: se elaboró un filtro para marcar

medidas como ruido y outliers, agrupando los datos según los observadores, la sesión, y el tipo de estímulo. Para cada uno de estos grupos se calculó la media y se marcaron los datos que estuvieran por fuera del rango determinado por 1,5 veces la desviación estándar de cada grupo [8]. Estas marcas se utilizaron para no incorporar los datos dentro de los cálculos.

D. Criterios de comparación

Para la comparación de las dos metodologías se siguió el siguiente procesamiento de los datos:

- 1) Cálculo del área a partir de los diámetros devueltos.
- 2) Análisis de la correlación entre las dos medidas.
- 3) Análisis de Bland – Altman entre las medidas
- 4) Tendencias temporales.
- 5) Diferencias porcentuales.

E. Diseño experimental

Los observadores se posicionaron en frente de un monitor, sosteniendo su cabeza apoyada en una mentonera. El dispositivo conteniendo la mentonera, servía también de soporte para la cámara que registró las imágenes del ojo como para el iluminante infrarrojo (figura 1). En el monitor se sucedieron los estímulos siguiendo el esquema de la figura 2. La tarea del observador fue pasiva: observar la pantalla y evitar pestañear durante la aparición de las marcas de fijación y el estímulo luminoso. Se registraron 500 segundos de fotogramas producidos por la cámara (a 30Hz) en cada sesión. Se hicieron dos sesiones para cada observador. En total se recabaron 111278 datos de tamaño pupilar que luego fueron filtrados según los criterios descritos en el punto C.

Los estímulos luminosos comprendieron una combinación de cambios de luminancia y tamaño. En conjunto definieron 9 condiciones de "energía luminosa" (Luminancia (cd/m^2) X tamaño (ángulo visual subtendido)). En función de lo descrito en la figura 2, la secuencia de estimulación comprendió: pantalla negra (estímulo 0, 2 segundos); cruz de fijación (estímulo 1, 2 segundos); alguna de las 9 condiciones de tamaño y luminosidad definida aleatoriamente, (estímulo 3, 1 segundo); estímulo 1; estímulo 0...

Los observadores se adaptaron a la pantalla negra por al menos 5 segundos antes de empezar la secuencia de estimulación.

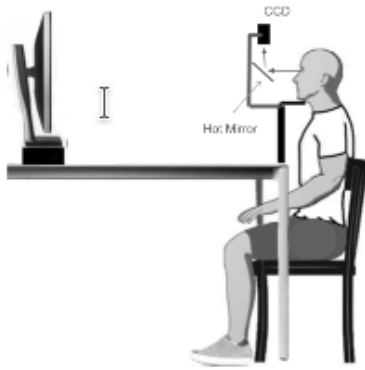


Figura 1: esquema representando la configuración del experimento.



Figura 2: diagrama descriptivo de la sucesión de estímulos.

F. Participantes

Tres estudiantes (dos mujeres y un varón) participaron del experimento. Todos fueron evaluados para garantizar que tuvieran visión normal y una vez seleccionados para formar parte del experimento, fueron informados acerca de los detalles técnicos. Sobre todo la ausencia de riesgos para su salud. Finalmente manifestaron su consentimiento a formar parte del estudio por escrito.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo del trabajo es la comparación de dos metodologías diferentes para cuantificar el tamaño pupilar. La Figura 3 muestra con datos sin filtrar, la cantidad de píxeles contenidos en el área pupilar (eje Y) durante 10 segundos para cada observador. Pueden apreciarse diferencias significativas entre las dos sesiones, sobre todo en los Observadores 1 y 2, posiblemente debido a (1) cambios naturales en el tamaño pupilar [9] o (2) variaciones en la definición de la Región de Interés (Rel) entre sesiones. Un 15% de los datos fueron identificados como anómalos (valores de 0 píxeles) y descartados según el criterio metodológico (Sección C). Además, estos valores ocurrieron principalmente durante los estímulos 0 (rojo/descanso) y 1 (verde/fijación), pese a las instrucciones de no parpadear en los momentos de fijación.

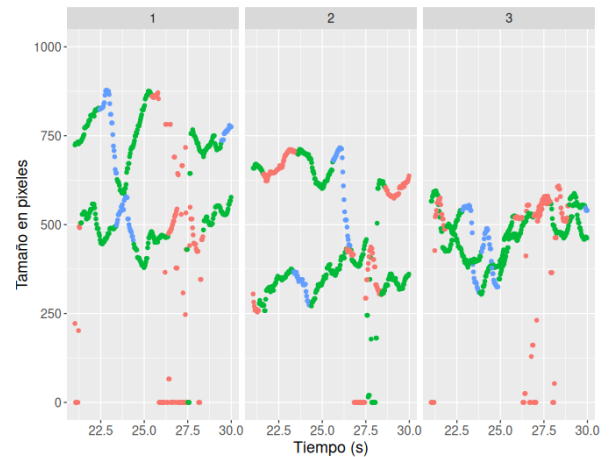


Figura 3: Tamaños pupilares cuantificados mediante cantidad de píxeles contenidos en el área pupilar (eje Y), a lo largo del tiempo (eje X). El código de colores de los datos refiere a la secuencia de estimulación: pantalla de descanso (rojos); de fijación, (verdes) y luminosos (azules). Cada panel corresponde a un observador.

Luego del filtrado (C), se obtuvieron los siguientes resultados para los análisis descriptos en D:

a) Correlación entre medidas

Para el cálculo del área de la elipse definida por los ejes estimados, se utilizó la fórmula:

$$\text{Elipse} = (\pi * \text{DiametroH} * \text{DiametroV}) / 4$$

Se realizó un cálculo de la correlación mediante el método de Pearson. El resultado fue 0.988 indicando una relación lineal fuerte. En la figura 4 se representa esta información, donde se manifiestan dos patrones clave: (1) datos anómalos (pocos pero con alta discrepancia), y (2) desviación sistemática de la línea de tendencia (roja) respecto a la correlación ideal (verde, pendiente = 1), lo que sugiere que el método de elipse amplifica las irregularidades del contorno pupilar en áreas grandes, coincidiendo con observaciones previas [10].

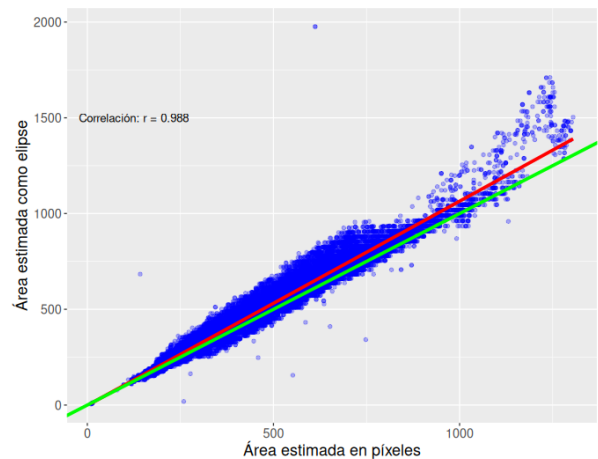


Figura 4: Correlación entre los tamaños estimados en píxeles (eje X) y estimados mediante elipses (eje Y). La línea roja

representa la tendencia de los datos, mientras que la verde es la recta que pasa por el origen y tiene pendiente 1.

b) Análisis de Bland – Altman

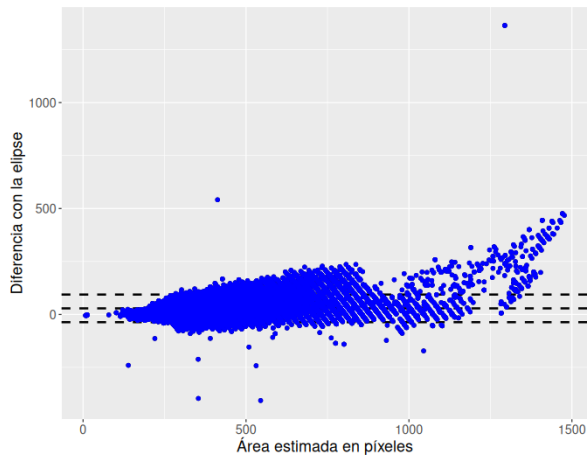


Figura 5: gráfico de Bland-Altman. El eje X representa la cantidad de píxeles en el área pupilar, mientras el Y representa la diferencia con el área calculada para la elipse. Las líneas horizontales reflejan la media y los límites de acuerdo.

El gráfico de Bland-Altman (Figura 5) revela que muchos de los puntos exceden los límites de acuerdo (± 1.96 DE), confirmando que los métodos no son intercambiables. La dispersión aumenta con el área pupilar, reforzando la necesidad de un patrón de referencia (ej. pupila artificial calibrada) para determinar cuál método es más preciso.

c) Tendencias temporales

La Figura 6 muestra que ambas metodologías capturan tendencias similares, pero con sobreestimación consistente del método de elipse (áreas magenta vs. rojo/azul). Esto concuerda con los análisis previos y resalta la importancia de corregir este sesgo en aplicaciones que requieran precisión absoluta.

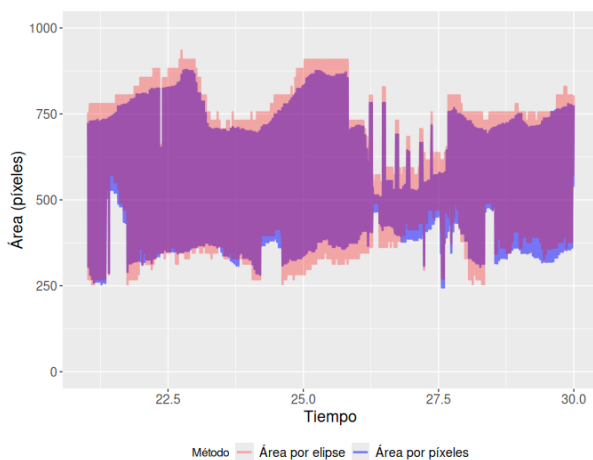


Figura 6: registros de áreas pupilares en el tiempo. En el eje Y se representan con diferentes colores, las estimaciones del tamaño pupilar mediante los dos métodos. Las zonas de solapamiento se representan en color magenta.

d) Diferencias porcentuales

La diferencia porcentual media entre la medida mediante la elipse y el área del contorno es de ~7%. Esta información se refleja en la figura 7, donde la línea verde representa esta media y las líneas verticales cuantifican la diferencia para cada momento en que se tomaron los datos.

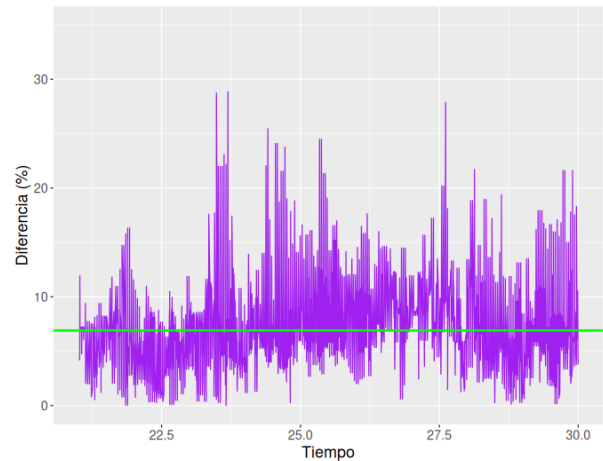


Figura 7: diferencias entre la medida del área de la pupila en píxeles y la calculada mediante la elipse, a lo largo del tiempo. La línea verde representa la media general.

En la tabla 1 se puede apreciar la frecuencia de diferentes rangos de diferencias entre las medidas. Casi el 80% de los datos contienen diferencias entre 0 y 10%.

Tabla 1

Rango	Datos	Porcentaje
0-5%	39894	42,2
5-10%	35274	37,3
10-20%	16298	17,2
>20%	3120	3,3

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que existe una alta correlación entre las medidas efectuadas mediante los dos métodos. Sin embargo, son apreciables discrepancias significativas, lo cual sugiere que puede haber sesgos en la estimación del tamaño mediante alguno de los métodos.

El gráfico de Blend Altman da cuenta de esta discrepancia y advierte que no son intercambiables las medidas. Las diferencias porcentuales y las tendencias temporales permiten concluir que en general, el método de

estimación calculando el área de la elipse a partir de la estimación de los ejes, arroja valores mayores que el conteo de píxeles dentro del contorno definido como la pupila. Esta información por sí misma no nos dice cuál medida es más confiable, ya que no se cuenta con un patrón o algún elemento de referencia.

Ante estos comportamientos, si lo que se busca es solamente analizar la dinámica de los cambios pupilares, es recomendable usar ambas métricas y evaluar cuál responde mejor a los métodos implementados para el análisis de los cambios relativos de la pupila.

V. REFERENCIAS

- [1] CIE 13.3:1995. Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources. International Commission on Illumination.
- [2] Park, J. C., & McAnany, J. J. (2015). Effect of stimulus size and luminance on the rod-, cone-, and melanopsin-mediated pupillary light reflex. *Journal of Vision*, 15(3), 13. <https://doi.org/10.1167/15.3.13>
- [3] McDougal, D. H., & Gamlin, P. D. (2010). The influence of intrinsically-photosensitive retinal ganglion cells on the spectral sensitivity and response dynamics of the human pupillary light reflex. *Vision Research*, 50(1), 72-87. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.10.012>
- [4] Duchowski, A. T. (2017). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice* (3rd ed.). Springer.
- [5] Kret, M. E., & Sjak-Shie, E. E. (2019). Preprocessing pupil size data. *Behavior Research Methods*, 51, 1336-1342. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1075-y>
- [6] Bradski, G. (2000). The OpenCV Library. *Dr. Dobbs' Journal of Software Tools*.
- [7] Hershman, R., Henik, A., & Cohen, N. (2018). A novel blink detection method based on pupillometry noise. *Behavior Research Methods*, 50, 107-114.
- [8] Mathôt, S. (2018). Pupillometry: Psychology, physiology, and function. *Journal of Cognition*, 1(1), 16.
- [9] Laeng, B., Sirois, S., & Gredebäck, G. (2012). Pupillometry: A window to the preconscious? *Perspectives on Psychological Science*, 7(1), 18-27.
- [10] Dalmajer, E. S., Mathôt, S., & Van der Stigchel, S. (2014). PyGaze: An open-source toolbox for eye-tracking. *Behavior Research Methods*, 46(3), 913-921.

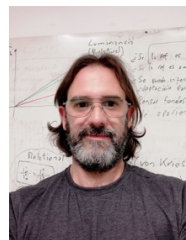
BIOGRAFIAS



Ing. Paula Saide Chaya.

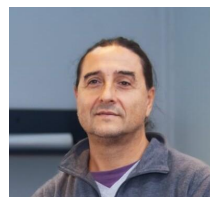
EEstudiante de posgrado del ILAV – UNT. Áreas de interés en investigación: Evaluación de la respuesta pupilar en procesos cognitivos y perceptuales, desarrollo de herramientas computacionales para el análisis

de datos psicofísicos, y aplicaciones de la luminotecnia en estudios de percepción visual.



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.



Dr. Ing. José F. Barraza. Prof. Asociado de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT e Investigador Independiente del CONICET (ILAV, CONICET-UNT). Áreas de interés en investigación:

Pupilmografía infrarroja aplicada a visión y cognición visual. La Visión Funcional en la actividad deportiva. Percepción Visual.



Iluminación en avicultura: un compromiso entre economía y bienestar animal

Rodrigo Schierloh, Fabio Vincitorio

Grupo de Investigación en Física Aplicada en Ingeniería - UTN FRP. Paraná Entre Ríos -
fabiovincitorio@frp.utn.edu.ar
rodrigorschierloh@frp.utn.edu.ar

Resumen: En la producción avícola intensiva, la iluminación artificial constituye un factor de influencia directa sobre los ciclos de alimentación y el comportamiento de las aves. La modulación del fotoperíodo, tanto en intensidad como en duración, incide en el consumo de alimento y en la velocidad de crecimiento. Del relevamiento realizado sobre una granja modelo de tecnología base, se identificó la utilización de sistemas de iluminación rudimentarios, basados en lámparas LED E27 sin ningún tipo de criterio en la selección de potencias o temperaturas de color. Simplemente la compra se realiza según disponibilidad.

Por otra parte, un alto grado de reemplazo se registra entre crianzas lo que implica un alto costo de mantenimiento. El relevamiento de las causas de descarte muestra múltiples factores donde predomina el daño en LED individuales.

Las condiciones ambientales dentro de los galpones, incluyendo el uso de rociadores para control térmico y la presencia de material orgánico en suspensión, generan un entorno que compromete la durabilidad de estos dispositivos.

Por otra parte existen parámetros de funcionamiento asociados a esta tecnología de base que no han sido contemplados y que influyen en el bienestar animal.

Abstract: In intensive poultry production, artificial lighting is a factor that directly influences feeding cycles and bird behavior. The modulation of the photoperiod, in both intensity and duration, affects feed intake and growth rate. A survey conducted on a baseline technology model farm identified the use of rudimentary lighting systems based on E27 LED lamps, with no specific criteria regarding power ratings or color temperatures. Purchases are made based solely on availability.

Additionally, a high replacement rate of lighting units is observed between production cycles, leading to elevated maintenance costs. An

analysis of failure causes indicates multiple contributing factors, with damage to individual LED being the most frequent.

Environmental conditions within the poultry houses, including the use of misting systems for thermal control and the presence of suspended organic matter, create a setting that reduces the durability of these devices.

Furthermore, certain operational parameters associated with the baseline lighting technology have not been addressed, despite their potential impact on animal welfare.

Palabras claves: Iluminación avícola, bienestar animal, productividad.

I. INTRODUCCIÓN

En la producción avícola intensiva, la iluminación artificial constituye un factor de influencia directa sobre los ciclos de alimentación y el comportamiento de las aves. La modulación del fotoperíodo, tanto en intensidad como en duración, incide en el consumo de alimento y en la velocidad de crecimiento [1]. Existen actualmente sistemas de control automatizado que permiten generar secuencias de amanecer y anochecer artificial hasta tres veces por día, lo que induce un incremento en la frecuencia de ingesta. Este tipo de equipamiento está presente en un número limitado de establecimientos con alto grado de tecnificación.

En Argentina, la provincia de Entre Ríos concentra aproximadamente el 66 % de la producción nacional, con más de 4.000 establecimientos registrados [2]. En la mayoría de estos se utilizan artefactos de iluminación con base E27, que han migrado progresivamente desde lámparas incandescentes hacia tecnologías fluorescentes compactas y, más recientemente, LED. Este último reemplazo ha sido promovido por la evolución tecnológica, aunque su aplicación en ambientes avícolas presenta limitaciones. Las condiciones ambientales dentro de los galpones,

incluyendo el uso de rociadores de agua para control térmico y la presencia de material orgánico en suspensión, generan un entorno que compromete la durabilidad de estos dispositivos.

En general, en los establecimientos de producción se usan entre 80 y 100 lámparas por galpón, normalmente divididas en dos líneas de iluminación ubicadas a una altura que va desde los 180 cm a los 260 cm, y con potencias de lámparas variables. No existen por parte de los asesores de las empresas integradoras indicaciones particulares respecto del nivel de iluminancia, siendo el único requisito la utilización de lámparas frías sin indicar la temperatura de color adecuada.

El bienestar animal en sistemas avícolas intensivos es una preocupación creciente debido al elevado número de individuos, frecuentemente mayor a 25.000 por galpón, en adición a las condiciones ambientales restringidas en las que se desarrollan las aves

A nivel general, el bienestar se define como el estado físico y mental de un animal en relación a las condiciones en las que vive, e incluye aspectos como salud, comportamientos naturales, ausencia de estrés y condiciones óptimas de alojamiento. Particularmente, en aves de corral se han identificado indicadores claves como la condición física incluyendo las patologías en garras, patologías del sistema cardiovascular y la expresión conductual, que reflejan su estado de bienestar.

Dentro del ambiente avícola intensivo, donde las aves conviven en densidades elevadas y bajo condiciones físicas controladas, la iluminación emerge como un factor ambiental crítico [3]. La luz artificial regula los ciclos circadianos, la actividad, el comportamiento y la fisiología de las aves, por lo que influye directamente en su bienestar.

Estudios recientes [4,5] muestran que la intensidad, duración, espectro, tasa de cambio y distribución de la luz afectan el comportamiento de las aves. Para evaluar estos cambios conductuales se utilizan indicadores asociados a niveles de actividad, picoteo entre pollos e indicadores de la salud física afectando el sistema visual o las garras, además de las respuestas al estrés. Asimismo, el uso de espectros específicos (e.g., luz LED adaptada a pollos) ha sugerido beneficios en el peso corporal y uniformidad sin impacto negativo en el eje hipotálamo - pituitaria - adrenal [4].

No obstante, la mayoría de los estudios se han llevado a cabo en tamaños experimentales limitados o con galpones segmentados (e.g., 4.800 aves por unidad). Por lo tanto, la extrapolación a sistemas reales de escala intensiva, con poblaciones superiores a 25.000

aves, aún requiere de evaluación para determinar la eficacia de estrategias de iluminación y su impacto en diferentes fases del ciclo productivo, así como en condiciones ambientales, densidad y diseño estructural.

En cuanto a los aspectos económicos, la iluminación demanda por galpón unos 1980 kWh/año, una parte menor del consumo energético total de un establecimiento. En la granja relevada se consideran unos 16.000 kWh/año con un costo económico promedio de \$1.150.000 al año (contemplando solo el gasto de energía y sin considerar el gasto de potencia contratada). A esto hay que sumar una tasa de recambio promedio de 180 lámparas anuales, con una erogación promedio de \$216.000, debiendo adicionarse el costo de horas del granjero destinadas al reemplazo de las lámparas.

Este trabajo presenta resultados preliminares de una evaluación realizada en una granja modelo, en la que se analiza el sistema de iluminación actualmente en uso. Se identificó que el reemplazo frecuente de lámparas LED quemadas constituye un desafío operativo, con implicancias en el mantenimiento y en los costos asociados. Se cuantificó el rendimiento energético del sistema y se estudiaron alternativas para su mejora, considerando tanto la eficiencia lumínica como la adaptabilidad al entorno.

Asimismo, se evaluó el impacto del sistema de iluminación sobre el bienestar animal, con especial atención al fenómeno de parpadeo (*flicker*), el cual ha sido vinculado con alteraciones en el comportamiento y posibles incrementos en los niveles de estrés de las aves [6]. Se contrastaron las condiciones lumínicas actuales con los parámetros recomendados para minimizar estos efectos.

II. METODOLOGÍA

A. RELEVAMIENTO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN UNA GRANJA TESTIGO.

En las granjas avícolas de producción de carne, denominadas en Argentina como granjas de parrilleros, los niveles de iluminación deberían ser variables y con longitudes de onda definidas. En la granja modelo relevada se encontró que la iluminación se sustenta fundamentalmente en lámparas de tipo E27 LED, con potencias comprendidas entre 9 W y 15 W, distribuidas en forma simétrica dentro de los galpones. En este caso en dos líneas definidas y separadas 8 metros. La selección de las lámparas no obedece criterios definidos, ya que solo se indican lámpara de tipo blanco frío, sin aclaración de la temperatura de color seleccionada.

Las lámparas están instaladas directamente en un portalámparas sin ningún tipo de protección, siendo que estas se encuentran sometidas a condiciones de funcionamiento desfavorable. Por otra parte, el portalámparas E27 pende de un cable empalmado en forma manual de una línea de alimentación troncal. Se presupone que los circuitos se encuentran sectorizados y distribuidos en un sistema de alimentación trifásico dado que se accionan por sectores mediante interruptores tipo llave de protección térmica.



Fig. 1: Imagen que muestra la distribución del sistema de iluminación dentro del galpón de cría.

Las lámparas operan en un entorno desfavorable dado que en el galpón existen ventiladores forzadores de aire que impulsan una mezcla de aire y agua particularmente en los meses de verano, cuando es necesario mantener la temperatura controlada. Esto lleva a que las lámparas estén sometidas a condiciones ambientales con alto nivel de humedad, incluso con exposición directa a la niebla artificial generada por los rociadores de refrigeración. Por otra la sola actividad de los pollos dentro del criadero genera la elevación de polvos con contenido microbiológico que circula por el galpón y se deposita sobre las lámparas, generando una acumulación de materia orgánica y minerales

sobre estas. En algunos casos disminuyendo notablemente el nivel de emisión.



Fig. 2: Imagen que muestra el estado de las lámparas al momento de ser retiradas luego de periodos de uso prolongados.

No ha sido posible realizar un relevamiento del estado de los portalámparas, pero es esperable que estos se encuentren en malas condiciones debido a la corrosión impuesta por el agua y los ácidos orgánicos.

B. RELEVAMIENTO DE LAS CAUSAS DE REEMPLAZO.

Se realizaron dos ensayos sobre un lote de 118 lámparas retiradas de la granja. Por un lado, un ensayo directo de tipo "pasa no pasa", controlando el encendido de las lámparas; por otro lado, un ensayo basado en el muestreo aleatorio de 28 lámparas sobre las cuales se realizó un análisis del tipo de daño registrado. Además, se verificó el estado exterior del total de las lámparas que integran la muestra con el fin de individualizar el nivel de contaminación. Por otro lado, detectar lámparas que hayan sido descartadas en forma prematura, esto es que se encuentren libres de contaminantes y simultáneamente en funcionamiento.

C. EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LÁMPARAS USADAS EN LA GRANJA.

Para determinar las características de operación de las lámparas, se tomaron muestras de un lote sin uso disponible en el depósito de la granja. Sobre estas muestras, se llevaron a cabo mediciones para identificar características eléctricas, de temperatura de color y de nivel de parpadeo en condiciones normales de operación.

Para esto se utilizó un osciloscopio Tektronix TDS1002B con punta de tensión X100 y punta de corriente Fluke 5100. Además, un espectrómetro Sekonic C-7000 para la determinación de la temperatura de color y una punta especial para la determinación del parpadeo adaptable al osciloscopio.

III. RESULTADOS

A. RELEVAMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS LÁMPARAS Y DEL GRADO DE SUCIEDAD DEPOSITADA.

Sobre un total de 118 lámparas evaluadas se encontró que: cuatro de ellas no mostraban niveles elevados de suciedad, mientras que una presentaba un nivel extremo de suciedad y dos poseían efectos notables de corrosión sobre la rosca E27. Una de ellas muestra una perforación, atribuible al contacto deficiente entre la lámpara y su portalámpara.



Fig. 3: Imagen que muestra una lámpara con exceso de contaminación en contraste con una descartada sin uso.

Del ensayo de encendido de las lámparas se detectó que un total de 16 unidades fueron descartadas en estado de funcionamiento, con diferentes grados de suciedad; esto es un descarte prematuro del 13,5% del total de las reemplazadas.



Fig. 4: Imagen que muestra lámparas con niveles de corrosión elevados sobre el casquillo de latón.

Respecto a la corrosión, todas las lámparas con signos evidentes de exposición a las condiciones de funcionamiento de la granja, presentaron algún tipo de evidencia. Se detectaron dos con procesos avanzados de corrosión, de las que una poseía una perforación en el casquillo de latón.

Por otra parte, en la muestra extraída de 28 unidades sobre las que se le realizó un análisis de funcionamiento y la determinación de fallas, se detectó un alto porcentaje de lámparas en las que uno o más LED se encontraban dañados con evidencia de rotura de la pastilla semiconductor [7]. Esto puede atribuirse a un daño por uso normal y por lo tanto un descarte adecuado.

TABLA I: Daños detectados sobre la muestra evaluada.

Planilla de Testeo de lamparas.		
Estado	Tipo de Falla	obs.
No Funcionando	Cable Desconectado	
Funcionando		
Funcionando		
No Funcionando	Cable Desconectado	
No Funcionando	Led Quemado	
No Funcionando	Led Quemado	Reparado
No Funcionando	Led Quemado	
No Funcionando	Led Quemado	Reparado
No Funcionando	Cable Desconectado	
No Funcionando	Cable Desconectado	
Funcionando		Reparado
No Funcionando	Led Quemado	
No Funcionando	Led Quemado	
No Funcionando	Led Quemado	Reparado
No Funcionando	Led Quemado	Reparado
Funcionando		Reparado
No Funcionando	Led Quemado	
No Funcionando	Led Quemado	Miscelaneo
No Funcionando	Cable Desconectado	Reparado
No Funcionando	Cable Desconectado	
No Funcionando	Led Quemado	
No Funcionando	Led Quemado	
No Funcionando	Led Quemado	
No Funcionando	Led Quemado	Reparado
No Funcionando	Led Quemado	Reparado
No Funcionando	Led Quemado	
No Funcionando	Led Quemado	Reparado
No Funcionando	Led Quemado	

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla I son las que se indican como LED quemado que en algunos casos con la realización de un puente sobre el LED es posible volverlas al funcionamiento. Aquellas que no pudieron ser reparadas son además por un daño en el driver.

La patología indicada como cable desconectado corresponde a lámparas en las que en el proceso de desmontaje se separó el cable conductor entre el driver y el casquillo. De la tabla se observa que, nuevamente, del total de la muestra, se encontraron 4 lámparas en condiciones operativas.

Fallas detectadas

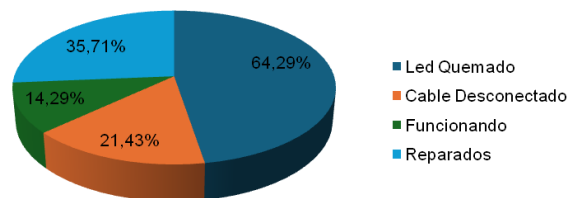


Fig. 5: Grafico indicativo de la distribución de fallas y el porcentaje que pudo ser reparado, equivalente al número de lámparas que no sufrió daño del driver.

B. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LÁMPARAS USADAS EN GRANJA.

Se evaluaron un total de tres marcas diferentes con potencias de 9 W, 12 W y 15 W. En cada una de ellas se realizaron mediciones de formas de onda y parámetros de consumo así como la medición del nivel de parpadeo.

Respecto de la señal de corriente, en las tres muestras se registraron formas de onda similares con alto nivel de distorsión armónica. Esto es compatible con circuitos rectificadores acoplados a capacitores sin control de factor de potencia, diferenciándose esta tecnología de lámparas correspondientes a los modelos comercializados antes del 2020 [8].

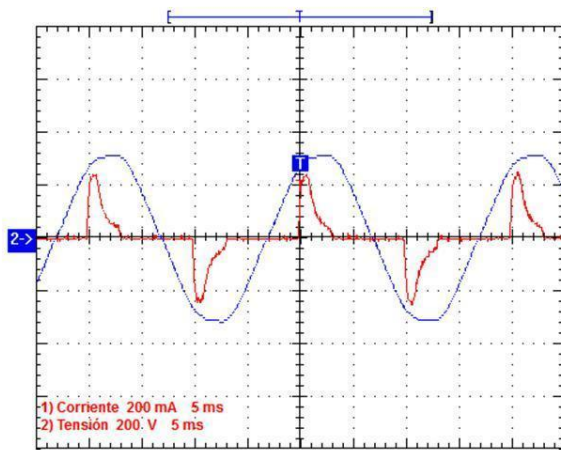


Fig. 6: Oscilograma correspondiente a las formas de tensión y corriente de una lámpara LED E27 de 12W.

TABLA II: Valores característicos de consumo eléctrico.

Medida	Valor
Tensión de línea	226 [V]
Corriente consumida	81 [mA]
Potencia activa	11,84 [W]
Potencia reactiva	14,02 [VAr]
Potencia aparente	18,4 [VA]
THDv	2,42 %
THDi	109,27 %
FP	0,65
FD	-15 °

Respecto de la determinación de parpadeo o *flicker* de las lámparas, en ninguno de los modelos evaluados tomados de depósito, como en ninguno de los modelos descartados pero operativos, se detectó parpadeo, siendo el nivel de iluminación totalmente constante.

En lo referente a la temperatura de color y el contenido espectral de la emisión se encontró que las lámparas se ubican entre 5700 K y 6500 K de acuerdo con las mediciones realizadas. El espectro de emisión muestra una línea particularmente intensa en longitudes de onda

comprendidas entre los 420 y 450 nm y con una distribución normal con centro en 560 nm.

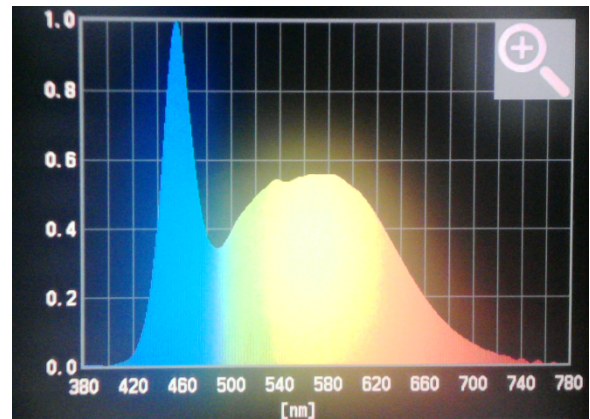
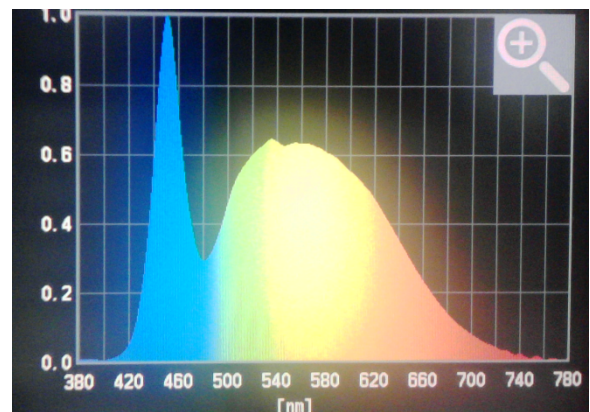
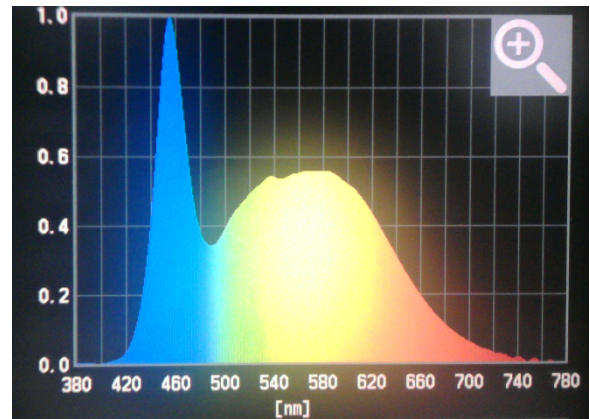


Fig. 7: Espectros de emisión de tres lámparas con temperaturas de color de 6500 K, 6050 K y 5700 K.

IV. DISCUSIÓN

Si bien este trabajo se encuentra en la etapa inicial de investigación, los avances parciales realizados muestran diferentes tipos de defectos en la instalación. En primer lugar, y de acuerdo con la bibliografía consultada, el sistema de iluminación utilizado se encuentra fuera de las especificaciones para un criadero avícola eficiente y compatible con las necesidades del bienestar animal. El sistema relevado no posee controles de los niveles de iluminación, siendo estos de emisión constante durante todo el período de

crianza. Los niveles de iluminación medidos a nivel de la cama resultan fuera del rango establecido, al igual que los niveles de uniformidad en la distribución de luz.

La instalación eléctrica asociada al sistema de iluminación posee una sectorización parcial, lo que no permite un correcto manejo de la iluminación en los períodos de crianza inicial y retiro de los animales. En consecuencia, durante el proceso de extracción, la desconexión de las lámparas se realiza de forma manual mediante el desenrosque de las mismas.

La utilización de lámparas E27, de acuerdo con las mediciones realizadas, tiene como principal virtud la ausencia total de parpadeo o *flicker*, factor fundamental en el nivel de estrés de las aves. Sin embargo, la seguridad eléctrica y el mantenimiento del sistema resultan críticos por las condiciones de operación. Los altos niveles de humedad ambiente inducido mediante el riego, así como también el nivel de polución orgánica que existe dentro del criadero, someten al conjunto portalámparas - lámparas a condiciones para las cuales no fueron diseñadas. Esto se manifiesta particularmente en el alto porcentaje de lámparas descartadas que se encuentran operativas. En este sentido, es de suponer que el contacto entre las roscas resulta inadecuado debido a los niveles de corrosión o suciedad que pueda existir en los portalámparas.

La distribución de daños de las lámparas relevadas resulta de una incidencia normal y compatible con estudios precedentes sobre lámparas de uso domiciliario.

Respecto del consumo eléctrico, se detecta que en las lámparas evaluadas la distorsión armónica de corriente es elevada. Como consecuencia, el factor de potencia es bajo lo que podría ocasionar penalidades por factor de desplazamiento fuera de norma. Esto toma notoriedad particularmente durante las noches del período invernal, donde la carga eléctrica fundamental, asociada a la climatización, no se encuentra operativa.

V. CONCLUSIONES

Del análisis inicial del sistema de iluminación de una granja modelo destinada a la crianza de pollos parrilleros se concluye que existen deficiencias de importancia que deben ser corregidas. Estas deficiencias redundan en pérdidas de eficiencia y costos que deben ser absorbidos por el propietario de la granja. Además, no se cumplirían con requisitos de bienestar animal que implican una mejora notable en los rendimientos de producción.

En función de esto es que se sugiere una profunda revisión de los sistemas de iluminación, mejorando la seguridad eléctrica y los niveles de

tecnología para una operación más eficiente, reduciendo costos y mejorando la productividad.

VI. Agradecimiento.

A propietarios y granjeros de los establecimientos GEISER SRL y BS. Gestión por colaborar con las tareas de campo y permitir el acceso a las instalaciones.

VII. REFERENCIAS

- [1] Edgar O. Oviedo-Rondón. El efecto de la luz en los pollos de engorde. Sitio Argentino de Producción Animal. 2012. <http://www.produccion-animal.com.ar>
- [2] "Informe Del Sector Avícola", Dirección General De Estadística Y Censos – Ministerio De Economía Hacienda Y Finanzas Provincia De Entre Ríos, 2020.
- [3] Tekeba Eshetie Nega, Tadesse Assefa, Dereje Bekele and Aklilu Tesema. Influence of Daylength, Light Color, Light Intensity, and Sources on the Performance of Growers, and Layers of Different Strains of Chicken: A Review. Received: EC Nutrition 19.2 (2024): 01-17.
- [4] Terrones-Pinedo, Jherson Jhianfranco, Roque-Alcarraz, Roberto Edgardo. Exposición de dos tipos de color de luz y su intensidad lumínica sobre el desempeño productivo del pollo de engorde. Revista de Veterinaria y Zootecnia Amazónica, 4(1), e572. <https://doi.org/10.51252/revza.v4i1.572>
- [5] Allex J. Sakata, Jair A. C. Siqueira. Poultry farming and lighting: a review on the importance Of lighting in broiler chicken aviaries. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.43, n.4, e20230023, 2023. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v43n4e20230023/2023>
- [6] Raabe, J., Raveendran, G., Otten, W., Homeyer, K., & Bartels, T. (2024). Research Note: Irritating flashing light or poultry-friendly lighting are flicker frequencies of LED luminaires a potential stress factor in the husbandry of male fattening turkeys. Poultry Science, 103(1), 103214.
- [7] A. Götte, R. Alarcón Lasagno, C. Beltrame, G. Romero, F. Vincitorio, A. Ramil y A. J.López. Visualización de procesos de microdilatación inducidos por láser mediante el uso de interferometría holográfica digital. Anales AFA Vol. 34 Nro. 1 (Marzo 2023 - Junio 2023)
- [8] N. Berns, M. Krenz, A. Chort, J.L. Frund, F. Vincitorio. Relevamiento de causas de descarte en lámparas LED E27. XIV Congreso Argentino de Luminotecnia, 2019.

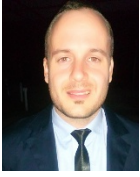
BIOGRAFIAS



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 Universidade Da Coruña 2014.

Profesor Titular de la cátedra de Física y Director del Grupo de Investigación en Física Aplicada a la

Ingeniería. Director de la maestría en Energías Renovables que se dicta en la Facultad Regional Paraná de la Universidad Tecnológica Nacional.



Rodrigo Manuel Schierloh se graduó de Ingeniero Electrónico en la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná (UTN FRP) en el año 2017. En el año 2024 obtuvo el título de Doctor en Ingeniería – mención Industrial por la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF). Es docente e investigador de la UTN FRP desde el año 2021. Actualmente es Jefe de Trabajos Prácticos en la cátedra Física II y pertenece al Grupo de Investigación en Física Aplicada a la Ingeniería.



Guía de iluminación natural para selección de cortinas roller.

Villalba, Ayelén; Yamín, Julieta; Martí, Miguel; Pattini, Andrea.

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, CCT-Mendoza, CONICET. Mendoza, Argentina. Email: avillalba@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen: En Argentina la mayor parte de los sistemas de sombreado o control solar que se utilizan no han sido caracterizados en su comportamiento óptico. En este marco, y con el objetivo de superar esta barrera, el presente trabajo expone detalladamente los conceptos y el uso de una Guía de Iluminación Natural para selección de Cortinas Roller. La misma es una herramienta simplificada de selección de cortinas textiles basada en los estudios realizados por investigadores del INAHE-CCT Mendoza, CONICET sobre la caracterización de las prestaciones de iluminación natural de las cortinas textiles. Los tejidos se clasifican en función de su transmitancia visible y su color y se valoran en función de su efecto sobre los principales parámetros de iluminación natural considerados en este documento: control del deslumbramiento, visión exterior, reproducción cromática y disponibilidad de luz natural. La idea principal que orientó este desarrollo es el diseño de una herramienta simplificada que permita a los comerciantes y diseñadores locales seleccionar las telas para cortinas enrollables considerando las condiciones de iluminación deseadas y no sólo criterios estéticos.

Abstract: In Argentina, most of the shading or solar control systems currently in use have not been characterized regarding their optical performance. To address this gap, this paper details the concepts and use of a Natural Lighting Guide for Roller Blind Selection. This guide is a simplified tool for selecting textile curtains, based on studies conducted by researchers at INAHE-CCT Mendoza, CONICET, focusing on the characterization of textile curtains' natural lighting performance. The fabrics are classified based on their visible transmittance and color. They are evaluated according to their effect on the main natural lighting parameters considered in this document: glare control, exterior view, color rendering, and natural light availability. The primary goal behind this development is to design

a simplified tool that allows local retailers and designers to select roller blind fabrics based on desired lighting conditions, rather than solely on aesthetic criteria.

Palabras claves: iluminación natural, sistemas de sombreado, cortinas roller.

INTRODUCCIÓN

La Agencia Internacional de Energía en su informe sobre perspectivas energéticas, respecto a fachadas energéticamente eficientes, posiciona a los elementos de sombreado como una de las cinco estrategias fundamentales para disminuir los consumos de energía y alcanzar espacios interiores con confort térmico y lumínico [1]. La creciente importancia que han adquirido los sistemas de sombreado y redirección de radiación solar en el desempeño energético de los edificios ha conducido al desarrollo de diversos componentes. Los novedosos sistemas de control solar y sombreado deben aumentar los niveles de iluminación natural y mejorar la uniformidad de la luz en los espacios interiores mientras que controlan la luz solar directa y reducen el deslumbramiento y el malestar visual de los ocupantes. Sin embargo, muchos de estos sistemas se han insertado en el mercado sin una adecuada caracterización lumínica-energética que permita su correcta aplicación en relación al clima regional. En Argentina la mayor parte de los sistemas de sombreado o control solar que se utilizan no han sido caracterizados en su comportamiento óptico [2].

En este marco, y con el objetivo de superar esta barrera, el presente trabajo expone detalladamente los conceptos y el uso de una Guía de Iluminación Natural para selección de Cortinas Roller. La misma es una herramienta simplificada de selección de cortinas textiles basada en los estudios realizados por investigadores del INAHE-CCT Mendoza, CONICET sobre la caracterización de las

prestaciones de iluminación natural de las cortinas textiles.

METODOLOGÍA

Tomando como punto de partida la revisión sistemática desarrollada por los autores de este trabajo titulada "Efecto de las propiedades ópticas de los tejidos de sombreado en las condiciones de iluminación natural interior: una revisión" [3] se confecciona la Guía de Iluminación Natural para selección de Cortinas Roller. En la misma se describen, analizan y discuten exhaustivamente un conjunto de estudios que examinan el impacto de las propiedades ópticas de los tejidos de cortinas roller (OF , τ_v , ρ_v) en varios parámetros de la luz natural entre los que se incluyen: el deslumbramiento, la vista al exterior, la disponibilidad de luz natural, la cromaticidad y la reproducción del color.

En términos generales el mencionado estudio concluye que la T_v y el OF son las dos propiedades ópticas de los tejidos roller que mayor impacto tienen en las condiciones de iluminación natural de los espacios interiores que presentan cortinas roller en sus aberturas. De manera particular el estudio sostiene que: a- para evitar condiciones de deslumbramiento la T_v de la tela debe ser inferior al 13%. Algunos estudios incluso afirman que, para posiciones cercanas a las aberturas, la T_v debe ser inferior al 5%. En cuanto al OF , la mayoría de los trabajos analizados indican que los valores recomendados están entre el 2% y el 3%, en posiciones más alejadas de las ventanas, el OF puede ser de hasta el 5%; b- respecto a la visión exterior, concluye que las telas oscuras con valores altos de OF exhiben el mejor rendimiento para este parámetro; c- en relación a la disponibilidad de iluminación natural si se consideran métricas que miden un rango de iluminancias que promueven el confort visual (por ejemplo, UDI), los textiles con valores de τ_v entre 0,07 y 0,14 parecen tener un mejor rendimiento; d- respecto al impacto de estos sistemas en el color -distribución espectral- de la luz transmitida, el estudio determina que los textiles analizados hasta el momento, en su mayoría blanco, gris y negro, no influyen significativamente en este parámetro.

A. Definición de los parámetros analizados y de los rangos

-Control de deslumbramiento: la capacidad del dispositivo de sombreado (cortina) para controlar el nivel de luz que emite la ventana cuando este es excesivo; reducir el contraste de luz entre las distintas zonas del campo de visión; evitar reflejos molestos en las pantallas visuales debidos a la luz que emite la ventana y las superficies circundantes. Rango: bueno (T_v : < 5%, OF : <

3%), moderado ($\geq 5\% T_v \leq 13\%$, $\geq 3\% OF \leq 5\%$), malo (T_v : > 13%, OF : > 5%).

-Visión al exterior: la capacidad del dispositivo de sombreado (cortina) para permitir la visión hacia al exterior cuando está completamente cerrado. Para la clasificación de este parámetro se empleó el Índice de Claridad Visual (VCI) [4] que relaciona el T_v del textil el OF para determinar el desempeño del mismo respecto a la visión al exterior. Rango: malo $VCI < 0.3$; intermedio $VCI \geq 0.3$ y ≤ 0.7 ; bueno > 0.7 .

-Disponibilidad de luz natural: la capacidad del sistema de sombreado para reducir el número de horas en que debe emplearse el sistema de iluminación artificial y optimizar el uso de la luz diurna disponible. Rango: bueno ($\geq 7\% T_v \leq 20\%$, OF : < 3%), moderado ($\geq 0\% T_v > 30\%$, $\geq 3\% OF \leq 11\%$ / $20\% > T_v < 30\%$, $OF < 3\%$); malo ($\geq 0\% T_v > 7\%$, $OF < 3\%$ / $T_v \geq 0\%$, $11\% > OF < 14\%$).

-Reproducción cromática: la capacidad de la luz natural que atraviesa el sistema de sombreado (cortina) de reproducir fielmente los colores de los objetos del espacio interior. Rango: bueno, moderado, malo. Siguiendo los criterios fijados por Royer et al. [5].

B. Propiedades ópticas consideradas

La transmitancia luminosa (τ_v) describe el porcentaje de luz visible transmitida a través de la tela, y la reflectancia luminosa (ρ_v) es la fracción de la luz incidente que es reflejada por la tela [6]. La transmitancia luminosa normal/hemisférica ($\tau_{v,n-h}$) es la suma de la transmitancia luminosa normal/normal ($\tau_{v,n-n}$) (porción transmitida sin perturbar), y la transmitancia luminosa normal/difusa ($\tau_{v,n-dif}$) (radiación interceptada) [7].

RESULTADOS

De acuerdo a lo anteriormente expuesto en la guía de selección desarrollada los tejidos se clasifican en función de su transmitancia visible y su color y se valoran en función de su efecto sobre los principales parámetros de iluminación natural. En el eje superior de la guía se ubica el gradiente de T_v de los tejidos de 0 a 30%, y en el eje lateral derecho el gradiente de color de blanco a negro (Figura 1). De acuerdo a sus valores de T_v y color se disponen los tejidos en el plano conformado por los ejes. Físicamente la guía se materializa en un tríptico con disposición horizontal (Figura 4).

Cada tejido presenta una muestra textil del mismo, sus propiedades ópticas correspondientes (T_v , R_v y FA), el color, el peso (g/m^2) y mediante íconos que están definidos en la parte derecha superior de la guía comunican su desempeño respecto de cada una de los parámetros analizados (Figura 2 y 3).

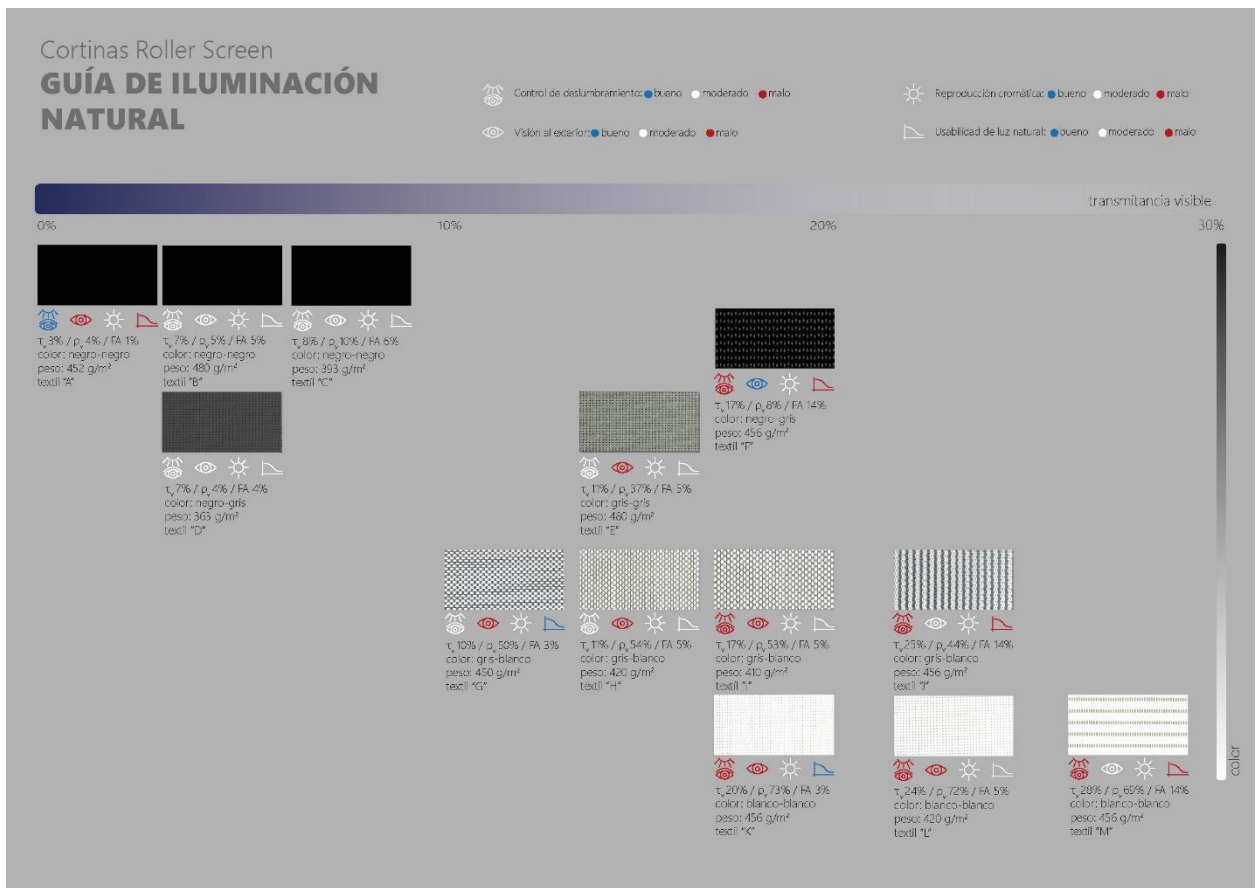


Fig. 1: Guía de selección de cortinas roller (cara interna del tríptico).

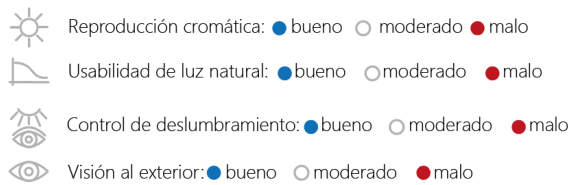


Fig. 2: Detalle de los íconos que representan cada parámetro analizado y la identificación de color para cada uno de los rangos.

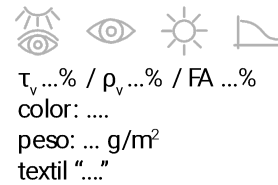


Fig. 3: detalle de la información que se coloca debajo de cada una de las muestras.



Fig. 4: Versión impresa de la guía y muestras textiles.

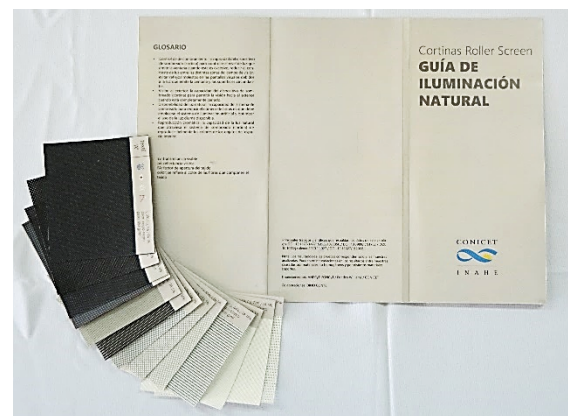


Fig. 5: Cara posterior de la guía.

Además, en la esquina izquierda inferior del tríptico en un sobre se dispone de muestras de mayor dimensión de cada uno de los tejidos. El propósito de estas muestras es permitir al usuario aproximar el tejido a una abertura para poder visualizar de manera directa las propiedades de cada uno de los tejidos (Figura 4). Asimismo, la herramienta incluye la definición del vocabulario específico de iluminación natural necesario para la interpretación de la guía (Glosario) (Figura 5).

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta una herramienta simplificada que permite a comerciantes y proyectistas seleccionar los tejidos para cortinas enrollables considerando las condiciones de iluminación deseadas y no sólo criterios estéticos. La selección se basa en tres propiedades que los comerciantes de este tipo de tejidos disponen: factor de apertura, transmitancia visible y color (reflectancia visible). Esto faculta a los arquitectos y diseñadores a tomar decisiones informadas con respecto a la selección este tipo de sistemas de sombreado que mejoren la calidad de la iluminación natural y el confort en espacios interiores.

Finalmente, identificamos tres áreas claves de investigación futura que se deben abordar para mejorar los criterios de selección: 1) ampliar la gama de colores de las telas evaluadas, ya que esto podría tener un impacto en todos los parámetros analizados, principalmente la cromaticidad y la reproducción cromática; 2) considerar el impacto de estos sistemas sobre las vías no visuales de las personas; 3) analizar el impacto de estos sistemas en el rango infrarrojo próximo al visible.

RECONOCIMIENTOS

ANPCYT: PICT 2019-04356; PICT 2018-2080 / -Fundación Williams: Fondos Complementarios para la Investigación / -CONICET: PIBBA 0915 CONICET / -CONICET: PUE 22920170100013CO

REFERENCIAS

- [1] International Energy Agency (IEA). Buildings, <https://www.iea.org/energy-system/buildings> (2023, accessed 21 November, 2023)
- [2] Villalba, A. (2014). Control de luz solar directa en la envolvente edilicia en climas soleados. Su impacto en el consumo diurno de energía eléctrica para iluminación en edificios no residenciales de ciudad oasis. Tesis Doctoral. FACET, UNT.

- [3] Villalba, A., Yamín Garretón, J., Pattini, A. (2024). Effect of fabric shades optical properties on indoor daylighting conditions: An overview, *Journal of Building Engineering*, 97.
- [4] Konstantzos I, Chan YC, Seibold JC, et al. View clarity index: A new metric to evaluate clarity of view through window shades. *Build Environ* 2015; 90:206–214. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.005>
- [5] Royer MP, Wei M, Wilkerson A, et al. Experimental validation of colour rendition specification criteria based on ANSI/IES TM-30-18. *Lighting Research and Technology* 2020; 52(3):323–49.
- [6] Chan YC, Tzempelikos A, Protzman B. Solar optical properties of roller shades: modeling approaches, measured results and impact on energy use and visual comfort. In: 3rd International High Performance Buildings Conference, West Lafayette, Indiana, USA. 14-17 julio 2014, 124.
- [7] Kotey NA, Wright JL, Collins MR. Determining off-normal solar optical properties of roller blind materials. *ASHRAE Trans* 2009; 115:145–154.

BIOGRAFIAS

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

Julieta Yamín es Diseñadora Industrial, egresada de la Facultad de Artes y Diseño de la UNCuyo. Es doctora en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente por la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán (2019). Es investigadora asistente de CONICET en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía y es docente de la cátedra de Metodología de la Investigación y proyecto final de la UM.

Miguel Martí es Arquitecto, egresado de la Universidad de Mendoza (2005). Especialista en Proyectos de Arquitectura Sustentable por la Universidad de Congreso (2018). Profesional Asistente de la Carrera del Personal de Apoyo de CONICET en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía.

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

Maestría en Desarrollo Sustentable del Hábitat
Humano (UTN-FRM).

JURADO DEL CONCURSO DEL PÓSTER CIENTÍFICO

Federico Riveros

GANADOR DEL CONCURSO POR DISEÑO

Juan Pablo Cuevas | Hotel del Bono Central

GANADOR DEL CONCURSO POR CONTENIDO

Rodrigo Schirloh | Fabio Vincitorio
Iluminación en avicultura: un compromiso entre economía y bienestar animal