

AVANCES SOBRE EFICIENCIA Y SOSTENIBILIDAD EN LA ILUMINACIÓN DE RECINTOS URBANOS Y EDIFICIOS

E. Manzano¹, L. Assaf¹, M. Raitelli¹, A. Cabello¹, F. Deco², J. Tapia Garzón³, R. Brito¹ y M. Carlorosi⁴

¹Dpto. Luminotecnia Luz y Visión, FaCEyT, Universidad Nacional de Tucumán, Av. Independencia 1800 -T4002BLR
Tucumán – Argentina - Tel./Fax: +54 381 4361936 - 4364093 int. 7785 / 7715. emanzano@herrera.unt.edu.ar

²Dirección General de Alumbrado Público, Rosario, Argentina, ferdeco@gmail.com.

³Electrocivil S.A. electrocivil@arnet.com.ar, jatg@arnet.com.ar.

⁴Dpto. de Ingeniería Eléctrica, FaCEyT, Universidad Nacional de Tucumán.

Recibido:23-02-12; Aceptado:26-3-12.

RESUMEN.- El permanente crecimiento del consumo energético que afronta Argentina hacen necesaria, la generación de conocimientos y desarrollo tecnológico enfocados al uso eficiente y racional de la iluminación urbana y de edificios. En dicho sentido se desarrolla un proyecto sobre: Eficiencia y sostenibilidad en la iluminación de recintos urbanos y edificios donde se estudian los siguientes temas:

- Calificación energética e indicadores de eficiencia en edificios y equipos de iluminación.
- Evaluación de la calidad del servicio de la iluminación urbana, mediante indicadores objetivos.
- Efecto sobre el diseño de sistemas de iluminación, eficiencia e impacto ambiental.
- Evaluación del impacto ambiental de la polución lumínica en entornos urbanos.
- Desarrollo de un sistema de procesamiento de imágenes digitales para la medición de la calidad de la iluminación en vías de tránsito vial.

En el presente trabajo, se describen los avances y resultados sobre dichos temas desarrollados en el marco del proyecto.

Palabras claves: Eficiencia energética, alumbrado urbano, impacto ambiental, armónicos en redes.

PROGRESS ON EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN URBAN AND BUILDINGS LIGHTING

ABSTRACT.- The permanent growth in energy consumption faced by Argentina, makes necessary knowledge generation and technology development focused on the efficient and rational use of urban and buildings lighting. In that sense a project called Efficiency and sustainability in urban and buildings lighting is the frame of study the following topics:

- Energy rating and efficiency indicators for buildings and lighting equipment.
- Assessment of quality service of urban lighting .
- Effect of efficiency from lighting design on environmental impact.
- Environmental impact of light pollution in urban lighting installations.
- Development of a digital image processing for measuring the quality of lighting in road traffic routes.

In this paper, we describe the progress and results on these topics developed in the frame of this project.

Keywords: Energy efficiency, Street lighting, environmental impact, network harmonics

1. INTRODUCCIÓN

El potencial impacto en el consumo energético en Argentina por efecto de eficiencia puede estimarse de estadísticos. Del total del consumo de energía eléctrica, el alumbrado urbano representa un 3,5% y el alumbrado residencial un 9,7%

(aproximadamente un 30% de la energía residencial consumida, 32,5%), en total 13,2%, Secretaría de Energía (2008) (ver figura 1). Sólo sobre estos consumidores (faltaría considerar industrial, edificios no residenciales, etc.), por hacer más eficientes las instalaciones, se estima un ahorro potencial del 35%.

Ahorrar un kWh manteniendo la calidad del servicio de la iluminación es más económico que producirlo y ocasiona un menor impacto ambiental.

Bajo esta consigna se elaboró el proyecto “Eficiencia y sostenibilidad de la iluminación de recintos urbanos y de edificios” financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina y por la UNT, institución donde se desarrollan estudios sobre aspectos cuyos avances se exponen en este trabajo.

2. TEMATICAS Y OBJETIVOS

2.1 Calificación energética e indicadores de eficiencia en edificios y equipos de iluminación.

El objetivo de esta línea de investigación es el de identificar las principales causas de ineficiencia energética, estimar su incidencia en términos de costos y proponer estrategias que contribuyan a superar la problemática.

Para ello se estudiaron edificios educacionales, oficinas e industriales.

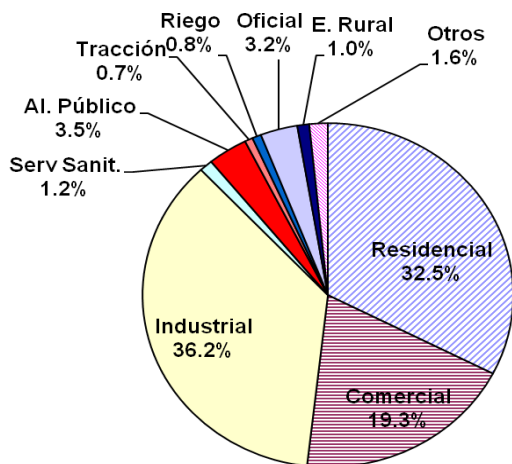


Fig. 1: Consumo energético en Argentina según el tipo de consumidor, total 93.381.615 MWh, año 2008.

Edificio de oficinas pública. Se efectuó un estudio de aplicación de tecnologías de eficiencia, orientado a edificios públicos seleccionados por la Secretaría de Energía de la Nación, en el marco del Programa de Ahorro y Eficiencia Energética en Edificios.

Se trata del edificio de la Dirección de Arquitectura y Urbanismo, perteneciente al gobierno de la provincia de Tucumán y cuyo estudio fuera adjudicado, mediante concurso público realizado en Agosto de 2007, a un equipo consultor interdisciplinario integrado por docentes de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán y de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires.

Posteriormente, el edificio fue seleccionado por la Secretaría de Energía para la ejecución de la reconversión en eficiencia del equipo consultor, realizándose la licitación de compra de equipamiento en Diciembre de 2009.

Aunque aún no han concluido las obras de remodelación, hay muchos indicadores que permiten hacer una apreciación de la efectividad de las propuestas que se plantearon oportunamente, mostrándose la capacidad predictiva del modelo utilizado, junto con las dificultades para la materialización de la eficiencia, mayoritariamente originadas en el escaso mercado de productos eficientes de la Argentina.

Con este fin se desarrolló un procedimiento de relevamiento del edilicio, evaluando los sistemas de energía actuales y se propuso una reconversión eficiente. La figura 2 muestra la predicción de los ahorros en kWh que pueden lograrse en cada una de las fuentes de consumo.

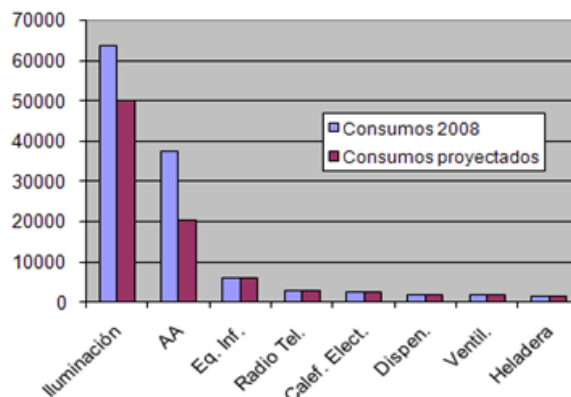


Fig. 2: Consumos relevados y proyectados con la propuesta eficiente en los sistemas de iluminación, aire acondicionado, calefacción, ventilación, equipos ofimáticos y otros.

Edificio educacional: En otro estudio efectuado sobre relevamientos realizados en una muestra de alrededor de 30 locales, correspondientes al ámbito educativo, Raitelli M., Benito M. (2008), indican que las principales causas de ineficiencia energética en iluminación son:

- Falta de mantenimiento, con niveles de depreciación de hasta 46%.
- Bajo aprovechamiento de la luz natural con contribuciones inferiores al 10% de la iluminación general, en ambientes con un alto potencial de uso de alumbrado natural.
- Diseño inapropiado, incluyendo el sistema de comando de luces, y la obsolescencia de la tecnología con un potencial de ahorro de energía y reducción de costos del orden del 25%.

En la figura 3 se muestra 3 tipos de luminarias para lámpara fluorescente tubular.

La primera corresponde al tipo encontrada en la mayoría de las instalaciones relevadas: se trata de una luminaria abierta tipo pantalla metálica.

Las restantes en cambio, están equipados con louveres para controlar el deslumbramiento y son los que se proponen como alternativa de reemplazo.

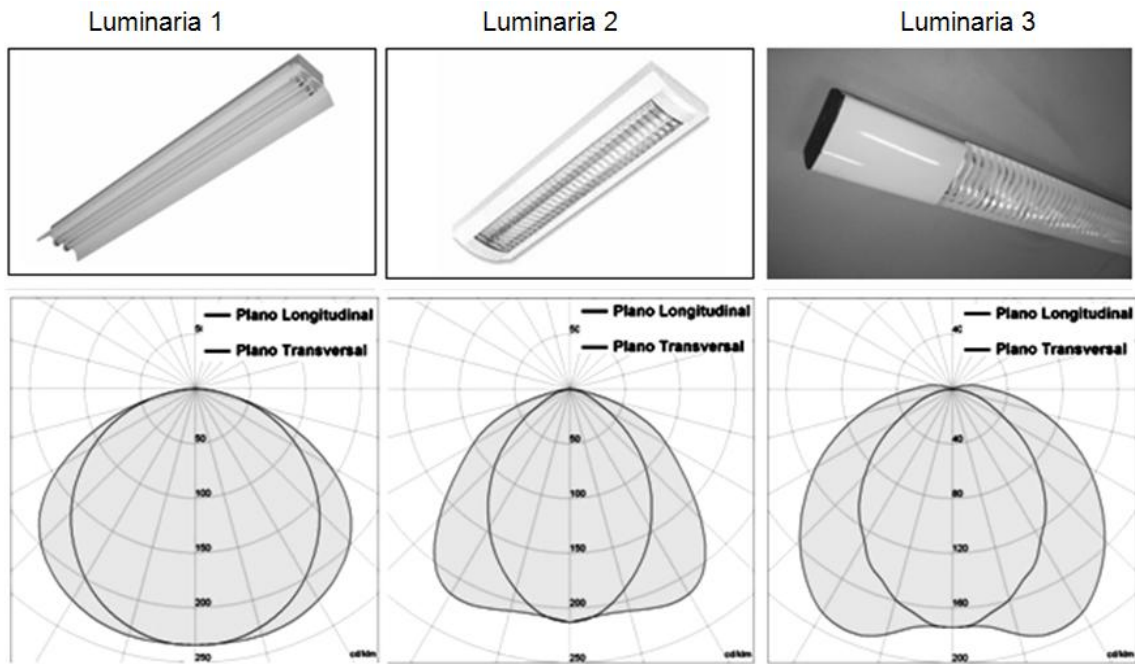


Fig. 3: Luminarias para LFT tipo pantalla abierta (izquierda) y con louver antideslumbramiento (centro y derecha). En las imágenes inferiores se muestra la fotometría de cada una.

En la tabla 1 se indica el rendimiento luminoso de cada luminaria y los valores de iluminancia y de densidad de potencia de iluminación registrados en una de las instalaciones relevadas mediante mediciones para el caso de la luminaria 1 y a través de cálculos con un software de diseño de iluminación para las luminarias 2 y 3. Se puede apreciar que los parámetros similares con los tres tipos de artefactos, a pasar que la luminaria 1 tiene mayor rendimiento luminoso. Esto se explica por el estado de depreciación y obsolescencia observado en la luminaria 1.

Tabla 1: Parámetros calculados para los locales con cada

Luminaria	1	2	3
Iluminancia media [lux]	989	984	973
Densidad de potencia [W/m ²]	22	20	20
Rendimiento luminoso [%]	76.5	52	56.7

tipo de luminaria.

2.2 Evaluación de la calidad del servicio de la iluminación urbana.

El objetivo de este estudio fue el de disponer de indicadores para evaluar la calidad del servicio de la iluminación urbana mediante indicadores objetivos. El tipo de operaciones de mantenimiento y la evolución en el tiempo es estudiada en una población de 78.000 puntos de luz para establecer pautas para mejorar la calidad del servicio. Como resultado, 16.000 operaciones de mantenimiento fueron registradas durante un año.

Los tipos de operaciones, su distribución porcentual y la evolución en el tiempo fueron estudiadas, Deco F. (2010). En la figura 5 se indica como ejemplo la operación de

reconexión de luminarias durante un año para tres zonas de la ciudad.

En la figura 4 se indica la distribución de operaciones de mantenimiento efectuadas según el tipo, en la ciudad de Rosario, Argentina. En la figura 4 se indica la evolución anual de las operaciones de mantenimiento debido a terminales cortados de las luminarias en la red de alumbrado en 3 zonas de la ciudad de Rosario. Se observa que en el periodo de lluvias las operaciones se cuadruplican respecto de la media anual. La información obtenida de estos estudios permitirá establecer criterios de calidad para el servicio de alumbrado en los pliegos de licitación para la contratación

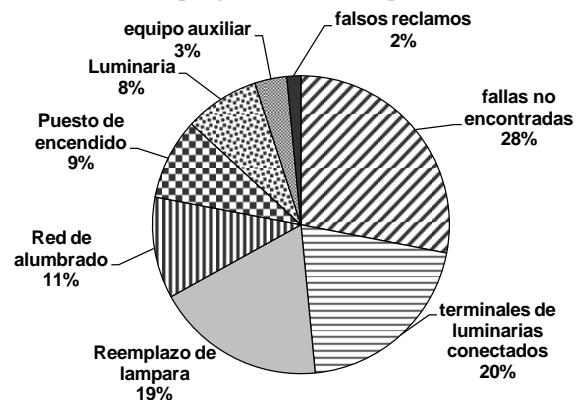


Fig. 4: Operaciones de mantenimiento en el sistema de alumbrado de la ciudad.

2.3 Efecto sobre el diseño de sistemas de iluminación, eficiencia e impacto ambiental.

Resultados de un estudio evaluando consumos de energía sobre 273 puntos de luz indican que reemplazando células

fotoeléctricas por relojes astronómicos en los sistemas de encendido se reduce un 11% el consumo de energía, reemplazando balastos electromagnéticos por balastos electrónicos con escalonamiento de flujo luminoso se reduce en un 28% el consumo y reemplazando las luminarias instaladas con LSAP 150W por luminarias más eficientes con LSAP 100W se reduce el consumo en un 43%, Tapia Garzón J., Manzano E., Gao S., Rojas M., De Nobrega M. (2009). El estudio sobre los sistemas de alumbrado actualmente en uso con balastos electromagnéticos ha permitido determinar la dificultad de cumplir con las normativas vigentes en Argentina debido al contenido de armónicos en la corriente. Las normativas vigentes para las empresas distribuidoras de energía y para los consumidores (similares a las indicadas en IEC) son utilizadas para evaluar los resultados. El uso de balastos electrónicos con filtros adecuados demuestra ser una solución viable, Manzano E.R., Carlorosi M., Tapia Garzón M. (2009).

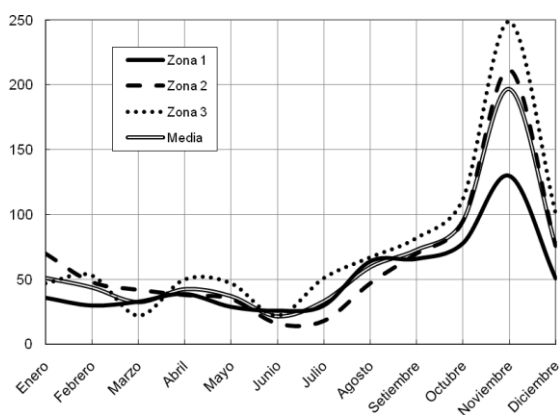


Fig. 5: Operaciones de mantenimiento por averías tipo reconexión de luminarias por terminales cortados debido al arbolado.

2.4 Evaluación del impacto ambiental de la contaminación lumínica en entornos urbanos.

El objetivo de esta línea de trabajo es el de poder cuantificar el derroche energético y económico en alumbrado público en áreas rurales y urbanas, partiendo de relevamientos de instalaciones de alumbrado público e inventarios, estimando el flujo luminoso que es dirigido hacia el cielo. El procedimiento consiste en determinar la cantidad de luminarias de cada tipo en el municipio, teniendo en cuenta la posición de instalación en base a la inclinación de pescante y el tipo de lámpara presente con su correspondiente flujo nominal en lúmenes [lm], lo cual nos indica el porcentaje de flujo que efectivamente llega a las superficies que deben ser iluminadas, como así también el flujo luminoso por encima del plano horizontal de la posición definitiva de instalación de cada tipo de luminaria, Cabello A., Kirschbaum C. (2010).

Se estima el derroche de energía anual en kWh/año con su correspondiente costo anual en base a la tarifa que cobra la empresa proveedora de energía. Se cuantifica la cantidad de dinero y su relevancia dentro del presupuesto municipal, como un ahorro que el municipio podría generar, si hubiese aplicado políticas más eficientes de planificación y diseño del alumbrado público. Este derroche de energía y dinero

público tiene dispar significado en los lugares elegidos para el análisis, si es que analizamos los resultados en función de la cantidad de habitantes por ejemplo. Resulta que si dividimos ya sea el derroche de energía o bien el equivalente en pesos por el número de habitantes obtenemos un indicador de calidad en [\$/hab.año]. Para una ciudad de 700.000 habitantes se estimó un derroche anual de 0,14 u\$/año/habitante como energía adicional consumida, mientras que para una población rural de 500hab es 2 u\$/año/hab.

Como referencia, el costo de PL en USA se estima en 52 u\$/habitante/año, Barry Johnson (2006). La solución a este despilfarro es sencilla y de aplicación inmediata. Consiste en la adecuación de las luminarias más ineficaces, que podrían repotenciarse con lámpara de descarga de 100W en vez de 150W con el simple agregado de una pantalla metálica, lo que permitiría mantener los mismos niveles de iluminación sobre la calzada con un 50% menos de potencia instalada.

Por otra parte, luminarias ineficientes del tipo globos y farolas, para ser reconvertidas con lámparas de menor potencia requieren del cambio total de luminaria por otro modelo que posea elementos ópticos que redirijan el flujo luminoso hacia superficies útiles para la visión y percepción del usuario.

También se estudia el impacto ambiental de la contaminación lumínica mediante sus efectos en la salud humana, animales y vegetación. Con respecto a la salud humana, investigadores de EEUU han determinado que la luz nocturna, cuando es de suficiente luminosidad (intensidad) y de la longitud de onda apropiada, es transducida a una señal eléctrica que viaja al sistema nervioso central. Esta señal altera la función del reloj biológico y en última instancia, la producción de melatonina en la glándula pineal. La melatonina, que se secreta fundamentalmente de forma exclusiva durante la noche, presenta una serie de importantes funciones que se pierden en el momento en el que existe exposición nocturna a la luz. Algunas de estas acciones incluyen la modulación del ciclo sueño/vigilia, la regulación de los ritmos circadianos, la sincronización, etc. El grado de supresión de la producción de melatonina por la exposición a luz durante la noche depende tanto de la luminosidad como de la longitud de onda; se cree que las longitudes de onda que producen mayor inhibición son las que se encuentran en el rango de los 470-475 nm (es decir, la luz azul), CONAMA 9 (2008). Desafortunadamente, evitar la luz nocturna es poco factible en el mundo actual. Por lo tanto, algunas alternativas más prácticas serían el desarrollo de fuentes lumínicas que excluyan las longitudes de onda específicas que inhiben la síntesis de melatonina, la producción de gafas o lentes de contacto que filtren estas longitudes de onda y la fabricación de pantallas para lámparas que reduzcan la luz que las traspasa.

Es importante el desarrollo de métodos consistentes en pruebas de campo para cuantificar el impacto sobre la fauna, lo que comúnmente se conoce como bioindicadores. En el caso del análisis del impacto ambiental de la PL en especies animales, se ha determinado que los insectos son los más afectados por la luz artificial. Los insectos se sitúan en la parte más baja de la cadena trófica y de ellos dependen numerosas especies de aves, mamíferos, anfibios, etc. Son,

por decirlo de algún modo, la despensa de la Naturaleza y cualquier afección sobre sus poblaciones se traslada con dramáticos resultados al resto del ecosistema, Barry Johnson (2006).

De investigaciones efectuadas por Mattivi M. en la Universidad Nacional de Misiones consistentes de experimentos con trampas luminosas para insectos que buscan determinar la cantidad de insectos atrapados por efectos de fuentes luminosas de diferentes Temperatura Color, se obtienen conclusiones preliminares, Mattivi M., Cabello A., Kirschbaum C.(2008). Observamos que las fuentes luminosas cuya $T_c > 4000K$, atraen hasta un 50% más de insectos. Se verifica, a modo de primera aproximación, que las lámparas de luz fría atraen aproximadamente el doble de insectos que las de luz cálida CONAMA 9 (2008).

En el caso de la influencia de la luz artificial en vegetales, se analizan sus procesos fotobiológicos tales como la fotosíntesis y el fotoperíodo y cómo éstos se ven afectados por luz que no proviene de fuentes naturales Manzano E. (2009). En base a esto las especies vegetales se clasifican de acuerdo a la respuesta a la duración del día, como de días cortos, días largos o neutros. Esto permite conocer que en la mayoría de los casos el alumbrado nocturno no tiene la intensidad necesaria para afectar la fotosíntesis, pero podría afectar a los árboles que son sensibles a la longitud del día.

La iluminación artificial, sobre todo aquella que emite en la zona del rojo e infrarrojos del espectro, amplía la duración del día del árbol, que pueden cambiar las pautas para la floración y lo que es más importante, inducir el continuo crecimiento lo que impide letargo que les permite sobrevivir a los rigores del invierno. Con el uso de lámparas de sodio de AP con alta emisión en el rojo e IR se incremento el daño reportado en plantas. El análisis de estos factores nos permite seleccionar las fuentes de luz más adecuadas para minimizar el impacto en árboles por un lado, y por el otro podemos seleccionar las especies de árboles más adecuadas y resistentes a la luz artificial para ser recomendadas para incorporar al arbolado de calles, parques, plazas y espacios públicos.

2.5 Desarrollo de un sistema de procesamiento de imágenes digitales para la medición de la calidad de la iluminación en vías de tránsito vial.

Un equipo compuesto por una cámara fotográfica digital Canon EOS 30D es empleado para la captura de imágenes en formato RAW. El empleo de filtros ópticos junto al procesamiento de la imagen utilizando la información de la sensibilidad espectral RGB (ver figura 6) permite el ajuste próximo a la curva de sensibilidad espectral del ojo humano $V(\lambda)$ (ver figura 7). Las diferencias porcentuales en el ajuste empleando una combinación lineal de factores involucrando las respuestas RGB son actualmente objeto de estudio alcanzando hasta el presente valores por debajo del 10%, Brito M.R., Manzano E.R., Cabello A.J (2009)..

3. CONCLUSIONES

El trabajo describe los avances de un proyecto para el tratamiento de aspectos específicos de la problemática de la eficiencia y sostenibilidad en la iluminación de recintos

urbanos y edificios. Se exploran temas de actualidad, con un enfoque original e innovativo, orientado a la transferencia de conocimientos y el desarrollo de tecnología propia. Se espera que tenga un impacto sobre el sector socio-económico y/o el sector productivo con quien la institución que lo desarrolla mantiene una fuerte articulación. El proyecto contribuye además al fortalecimiento y consolidación del grupo de trabajo formando investigadores para la institución y para la región.

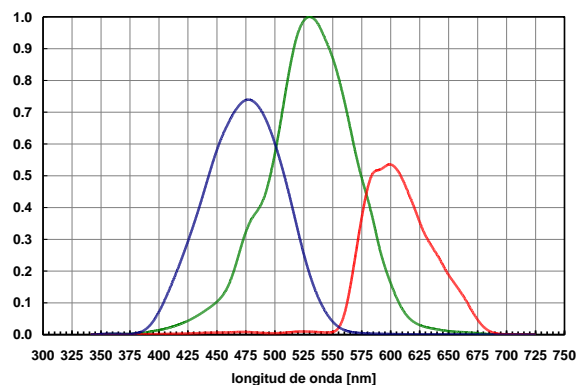


Fig.6: Curvas de sensibilidad espectral RGB de una cámara CMOS.

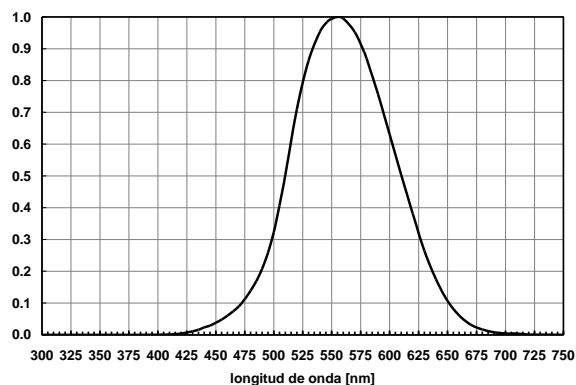


Fig.7: Curva de sensibilidad espectral del ojo humano cuya respuesta se espera obtener con filtrado óptico y mediante combinaciones lineales.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo fue subsidiado con fondos de los proyectos CIUNT 26/E430 y de la Agencia de Promoción Científica y Técnica PICT 1447/06. Los autores agradecen al DLYV-UNT/ILAV CONICET por permitir el desarrollo de las actividades en dicha institución.

REFERENCIAS

- Barry Johnson (2006), "The Costs of Light Pollution", Newsletter of the International Dark-sky Association, Issue #67.
- Brito M.R., Manzano E.R., Cabello A.J (2009). Sistema de adquisición y procesamiento de imágenes para la medición de luminancias, bases del desarrollo. Actas de

- las V Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA. Tomo 2, Capítulo V, pag. 384 a 389. ISBN 978-987-633-042-8. Septiembre 2009.
- Cabello A., Kirschbaum C. (2010) Estimation of Wasted Energy by Light Pollution in Urban and Rural Areas. Póster presentado en CIE 2010 - Lighting Quality & Energy Efficiency" Conference, Vienna, Austria.
- CONAMA 9 (2008). Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible. Documento Final Grupo de Trabajo Contaminación Lumínica. Madrid España.
http://www.conama9.org/conama9/download/files/GTs/GT_LUZ//LUZ_final.pdf.
- Deco F. (2010) Gestión de la información para la evaluación del mantenimiento del alumbrado público. Tesis de Magister en Luminotecnia, Depto. de Luminotecnia Luz y Visión, UNT. Noviembre 2010.
- Manzano E. (2009). „La iluminación de los espacios públicos urbanos II, consideraciones sobre el entorno visual y el Impacto Ambiental”. Revista Luminotecnia N° 96, pp.34-40. ed. AADL., Sept./Octubre 2009.
- Manzano E.R., Carlorosi M., Tapia Garzón M. (2009). Performance and measurement of power quality due to harmonics from street lighting networks. Actas del International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09) ISBN: 978 84 612 8010 8. April, 2009.
- Mattivi M., Cabello A., Kirschbaum C.(2008) ,Impacto del Alumbrado Público en la Atracción de Insectos en Áreas Subtropicales, Luminotecnia N° 89, ed. AADL.,ISSN 0325 – 2558, 2008.
- Raitelli M., Benito M. (2008) Eficiencia del espacio iluminado: el diseño como estrategia básica para la racionalización energética. IX Congreso Panamericano de Iluminación. Lux América 2008. Rosario, Argentina.
- Secretaría de Energía (2008). Informe estadístico del sector eléctrico.
<http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=322>
- Tapia Garzón J., Manzano E., Gao S., Rojas M., De Nobrega M.(2009). Eficiencia energética en el alumbrado público. Revista: Energías Renovables y Medio Ambiente, Impreso en la Argentina. ISSN 0328-932X Vol. 23, pp. 35 - 39, Julio 2009.