

Optimization of the Electric Consumption of Lighting Systems in Interior Spaces of the Technical University of Ambato

Optimización del Consumo Eléctrico de los Sistemas de Iluminación en Espacios Interiores de la Universidad Técnica de Ambato

Alberto Rios¹Diego Taipe¹Manuel Otorongo¹

¹ Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Ambato, Ecuador
E-mail: a.rios@uta.edu.ec; dtaipe6595@uta.edu.ec; mr.otorongo@uta.edu.ec

Abstract

In this article a study of optimization of the electrical consumption of the system of illumination in interior spaces of the room of investigation of the main building of the Faculty of Engineering in Systems, Electronics and Industrial of the Technical University of Ambato is presented. The study of optimization of electrical consumption is based on the comparative analysis of the design and simulation of two different lighting systems: the currently existing one, made up of fluorescent luminaires, and the one proposed to be installed, made up of LED luminaires. The design of the evaluated lighting systems must comply with the indoor lighting regulations UNE-EN 12464-1, guaranteeing the minimum levels of illuminance. For the design and simulation of the aforementioned lighting systems, the DIALux software was used, which allows to simulate the lighting systems and verify that the specifications and recommendations established in current regulations are met. Finally, is presented a comparative analysis of the electricity consumption and the economic cost of the lighting systems evaluated, scaled to the lighting system of the Faculty of Systems, Electronics and Industrial Engineering, FISEI, of the Technical University of Ambato, UTA.

Index terms— DIALux, LED lighting, maintenance lighting, SSL.

Resumen

En este artículo se presenta un estudio de optimización del consumo eléctrico del sistema de iluminación en espacios interiores de la sala de investigación del edificio principal de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. El estudio de optimización del consumo eléctrico se basa en el análisis comparativo del diseño y simulación de dos diferentes sistemas de iluminación: el actualmente existente, conformado por luminarias fluorescentes, y el propuesto a instalar, conformado por luminarias LED. El diseño de los sistemas de iluminación evaluados debe cumplir la normativa de iluminación en espacios interiores UNE-EN 12464-1, garantizando los niveles mínimos de iluminancia. Para el diseño y simulación de los sistemas de iluminación, anteriormente mencionados, se empleó el software DIALux, que permite simular los sistemas de iluminación y verificar que se cumplan las especificaciones y recomendaciones, establecidos en la normativa vigente. Finalmente, se presenta un análisis comparativo del consumo eléctrico y del coste económico de los sistemas de iluminación evaluados, escalados al sistema de iluminación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, FISEI, de la Universidad Técnica de Ambato, UTA.

Palabras clave— DIALux, iluminación LED, iluminación mantenida, SSL.

Recibido: 03-05-2018, Aprobado tras revisión: 25-07-2018

Forma sugerida de citación: Ríos, A.; Taipe, D.; Otorongo, M. (2018). "Optimización del Consumo Eléctrico de los Sistemas de Iluminación en Espacios Interiores de la Universidad Técnica de Ambato". Revista Técnica "energía". No. 15, Issue I, Pp. 70-79
ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2018 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la sustitución de luminarias convencionales y poco eficientes como las lámparas incandescentes, lámparas halógenas, lámparas fluorescentes compactas y lámparas fluorescentes lineales, por dispositivos de iluminación de estado sólido, entre los que destacan los diodos emisores de luz, más comúnmente conocidos como LEDs, ha experimentado un importante crecimiento, debido a que proporcionan a los sistemas de iluminación un significativo aumento en la eficiencia energética, reducción de costes económicos y menor impacto de emisiones de CO₂ [1].

Los sistemas de iluminación basados en luminarias LED son hasta un 80% más eficientes que las fuentes de iluminación tradicionales, como las lámparas fluorescentes e incandescentes. La tecnología LED ha demostrado una elevada eficacia energética en relación a las fuentes de iluminación convencionales. Asimismo, la constante reducción de los precios de adquisición de las luminarias LED permite una recuperación de la inversión inicial en períodos de tiempo razonables. Se proyecta que los sistemas de iluminación LED reducirán el consumo de energía eléctrica en un 15% hacia el año 2020 y hasta en un 40% en el año 2030 [2].

En los últimos años, la evolución de los niveles de iluminación y de los costes de las lámparas LED ha sido muy significativo. El nivel de iluminación se ha incrementado de 50 a 100 lumens/watt en tanto que los costes por lámpara han experimentado una significativa reducción de 70 a 10 dólares entre los años 2010 y 2014. Asimismo, se espera que la tasa de penetración de las luminarias LED en el mercado mundial de los sistemas de iluminación alcance una cuota del 60% en el año 2020 [3]. Así, al año 2030, la tecnología LED permitiría ahorrar 261 TWh/año, una reducción del 40% del consumo de electricidad, comparado con un escenario sin empleo de los sistemas de iluminación LED. Asimismo, si se mantienen los niveles de investigación y desarrollo en la tecnología LED, una penetración optimista de los sistemas LED podría incrementar el ahorro anual a 395 TWh, en el año 2030. Una reducción del 60% del consumo de electricidad en comparación con un escenario sin un masivo empleo de las luminarias LED en los sistemas de iluminación [1].

En Estados Unidos, el programa de eficacia lumínica pretende superar el rendimiento lumínico de 200 lm/W para el año 2025, reduciendo los costos de fabricación de LED y proporcionando importantes ahorros de energía. En [1], se demostró que las tecnologías LED pueden reducir significativamente el uso de energía en la iluminación y mantener los elevados niveles de rendimiento sin usar grandes cantidades de materiales tóxicos o escasos.

Existen en la literatura científica especializada varios estudios relacionados con experiencias de optimización en sistemas de iluminación interior para establecimientos de educación superior [4, 5, 6].

La implementación de luminarias LED en el edificio ESIME Zacatenco de la ciudad de México permitió obtener un considerable ahorro en el consumo de energía eléctrica, alrededor de 66%, en comparación al sistema de iluminación con luminarias fluorescentes anteriormente existente [4]. Asimismo, en el laboratorio de iluminación de la Universidad Técnica de Riga, se realizó un estudio de integración de luminarias LED, con ayuda del software DIALux. Los resultados de la simulación realizada demostraron que el uso de la tecnología LED permite reducir significativamente el consumo de energía en los sistemas de iluminación, en un 67% en el caso descrito. Además, se determinó que los niveles de iluminación artificial con mediciones manuales y los valores obtenidos por simulación en DIALux fueron muy similares. Esto indica que las simulaciones con ayuda de software especializado asistidas por computadora se emplean como una herramienta efectiva en el diseño de sistemas de iluminación interior [5].

En diferentes investigaciones previas se ha demostrado que el tipo y nivel de iluminación influye en la productividad y el estado de ánimo de las personas en el entorno de trabajo. Así, en un estudio realizado, en los Estados Unidos, en varias escuelas de niños de nivel inicial se demostró que los niños presentan comportamientos más animados y alegres bajo condiciones de iluminación LED en comparación con las luminarias fluorescentes [6].

En Ecuador, la inclusión de un programa de sustitución de luminarias por luminarias LED en el sector residencial, comercial e industrial representaría una significativa reducción del consumo eléctrico y un menor costo económico tanto para consumidores como para el Estado. Los sistemas de iluminación LED presentan consumos de energía reducidos y una vida útil superior a las luminarias convencionales [7]. En comparación con la iluminación fluorescente, las lámparas LED tienen un consumo de energía aproximadamente 50% inferior y una vida útil más prolongada [8].

En el presente trabajo se pretende optimizar el consumo eléctrico de los sistemas de iluminación, planteando varios diseños en espacios interiores de la Universidad Técnica de Ambato, con la finalidad de analizar los resultados de los niveles de iluminación del sistema fluorescente existente, que no cumple con las especificaciones técnicas de la normativa vigente de iluminación, frente a un sistema de iluminación LED.

En el presente artículo, las simulaciones realizadas cumplen los requerimientos de iluminación en espacios interiores, especificados en la Norma de iluminación en espacios interiores UNE-EN 12464-1, que establece los niveles máximos y mínimos de iluminancia y el índice de deslumbramiento unificado, UGR, entendido como la condición de visión, asociada a la incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, que deben garantizar los sistemas de iluminación en espacios interiores de establecimientos educativos [9].

El diseño y la simulación de las luminarias se realizó con ayuda del software DIALux, que permite simular las características del espacio interior y calcular los niveles de iluminación de los espacios interiores evaluados. DIALux es un software gratuito que se utiliza para el diseño, cálculo y visualización de la luz de forma profesional, orientado a iluminación en espacios interiores, espacios exteriores, iluminación de la calzada, espacios simples, luz natural e iluminación de emergencia [10].

En este artículo se presenta el diseño y simulación del sistema de iluminación interior de un establecimiento de educación superior, basado en luminarias fluorescentes y en luminarias LED, con ayuda del software DIALux. El objetivo del presente estudio es realizar un análisis comparativo de los niveles de iluminación, que proporcionan las luminarias fluorescentes existentes y luminarias LED, en una sala de investigación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, FISEI, de la Universidad Técnica de Ambato, UTA. El software DIALux permite calcular si la iluminancia mantenida, E_m , en los planos útiles de trabajo, y el índice de deslumbramiento unificado, UGR, Unified Glare Rating, se encuentran dentro del rango establecido en la Norma de iluminación en espacios interiores UNE-EN 12464-1 [3].

Inicialmente, se adquirió la información del espacio interior evaluado, considerando características físicas como la altura, dimensiones del lugar, posición de las luminarias, posición de los planos de trabajo, tipo de luminaria y los rangos de reflectancia útil para las principales superficies interiores, permitiendo introducir todas las características del diseño para su respectiva simulación en el software DIALux.

Posteriormente, se procedió a la selección de luminarias LED para el diseño y simulación del sistema de iluminación, considerando la eficiencia lumínica, potencia eléctrica y precio de las luminarias. Asimismo, se realizaron diferentes simulaciones del sistema de iluminación fluorescente existente, adaptando sus características técnicas para que garanticen los niveles de iluminación dentro del rango establecido en la Norma UNE-EN 12464-1. Por ejemplo, incrementando la potencia instalada de las luminarias fluorescentes.

Finalmente, los resultados obtenidos de las simulaciones permitieron realizar un análisis comparativo de los dos tipos de luminarias empleados. El análisis propuesto permite comparar el consumo eléctrico y el coste económico de la instalación, reposición de luminaria y factura de consumo eléctrico de los dos sistemas de iluminación evaluados, escalados a un edificio de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, en un horizonte temporal de 15 años.

En la Fig. 1, se muestra el diagrama de flujo de la metodología de investigación empleada en el estudio. El diagrama describe el proceso general de las actividades realizadas en la elaboración de la presente investigación. Inicialmente, se adquiere la información previa necesaria, normativas y datos iniciales de los sistemas de iluminación. La información es introducida en el software DIALux para proceder al diseño y simulación de los sistemas de iluminación evaluados. Finalmente, a partir de los resultados obtenidos se realiza el análisis comparativo de los parámetros eléctricos y económicos.

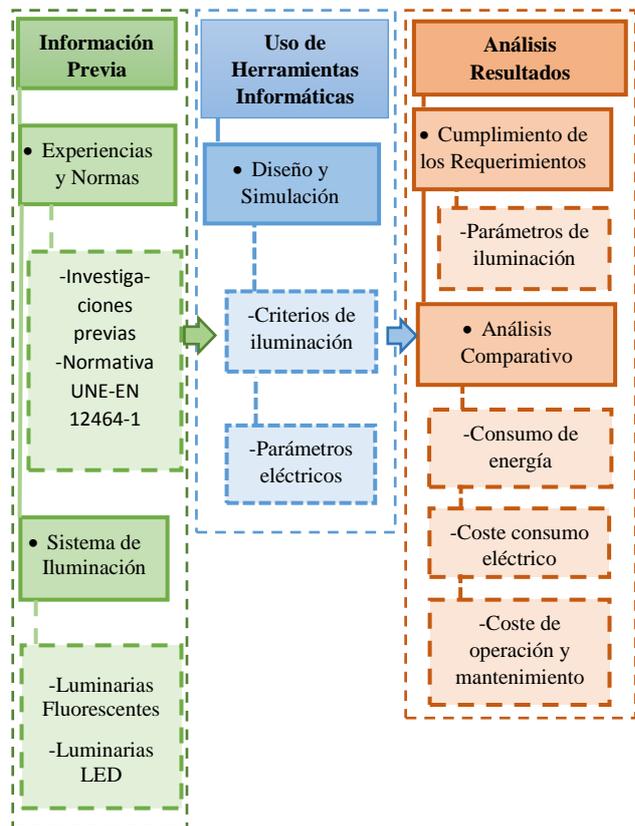


Figura 1: Diagrama de flujo de la metodología de investigación

2. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FLUORESCENTE

2.1. Descripción del Espacio Interior Analizado

Los parámetros geométricos del espacio interior de la



sala de investigación de la FISEI a considerar en el diseño se presentan en la Fig. 2, las características geométricas consideradas son:

- Altura de la oficina: 2.8 metros
- Plano útil: 0,8 metros
- Superficies de trabajo. 0,8 metros
- Área: 41 m²

La norma UNE-EN 12464-1 establece los rangos de reflectancia útil para las principales superficies interiores, Tabla 1, es decir, paredes, piso y techo en espacios de trabajo interiores. Asimismo, establece los requerimientos de iluminación en edificios educativos, entre los que destacan, la iluminancia mantenida, E_m , y la iluminancia en áreas circundantes inmediatas, así como, el índice de deslumbramiento unificado, UGR, y el índice de rendimiento de colores general, Ra, Tabla 2.

Tabla 1: Márgenes de reflexión de superficies interiores

Datos del espacio interior a simular		Norma EN 12464-1
Superficies	Grado de reflexión	Márgenes de reflexión
Techo	80%	0,6 – 0,9
Paredes	50%	0,3 – 0,8
Suelo	20%	0,1 – 0,5
Planos de trabajo	--	0,2 – 0,6

Tabla 2: Requerimientos de iluminación en establecimientos educativos [3]

Establecimientos Educativos				
Tipo de interior, tarea y actividad	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas Lux	Iluminancia de tarea, E_m Lux	U G R	R _a
Aulas, aulas de tutoría	200	300	19	80
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	300	500	19	80
Pizarra	300	500	19	80
Aulas de prácticas y laboratorios	300	500	19	80
Salas de conferencia y reuniones	300	500	19	80
Oficinas de personal	300	500	19	80

Frecuentemente, los sistemas de iluminación de centros educativos son antiguos y no han sido adaptadas a las nuevas tecnologías y, además, no cumplen con los niveles de iluminación requeridos y establecidos en las normas de iluminación vigentes en espacios interiores.

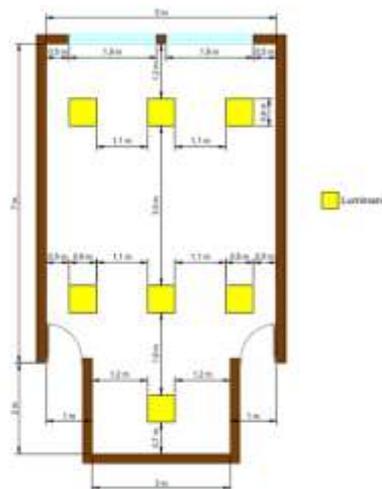


Figura 2: Parámetros geométricos del espacio interior evaluado

2.2. Mediciones de Iluminancia

Para determinar los niveles de iluminación del sistema de iluminación fluorescente existente se realizaron mediciones, con ayuda del luxómetro DIGI-SENSE modelo 20250-00 [11]. Se registraron las mediciones de luz en luxes en diferentes puntos del espacio interior evaluado, Fig. 3. El número de puntos de medición se determinó con ayuda del método de la cuadrícula.

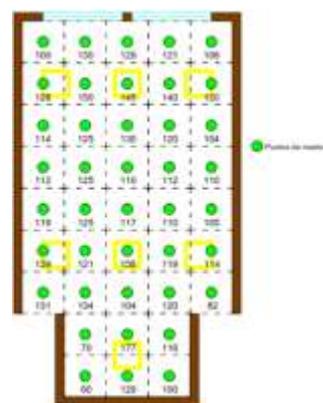


Figura 3: Medición de iluminación del sistema de iluminación fluorescente

2.3. Descripción y Simulación del Sistema de Iluminación Fluorescente

La posición de las superficies de cálculo de la iluminancia y la orientación de los puntos de cálculo del índice UGR se ubicarán en el mismo lugar para todas



las simulaciones, tanto para las luminarias fluorescentes como para las luminarias LED, Fig. 4, garantizando una comparación en igualdad de condiciones respecto al espacio interior.

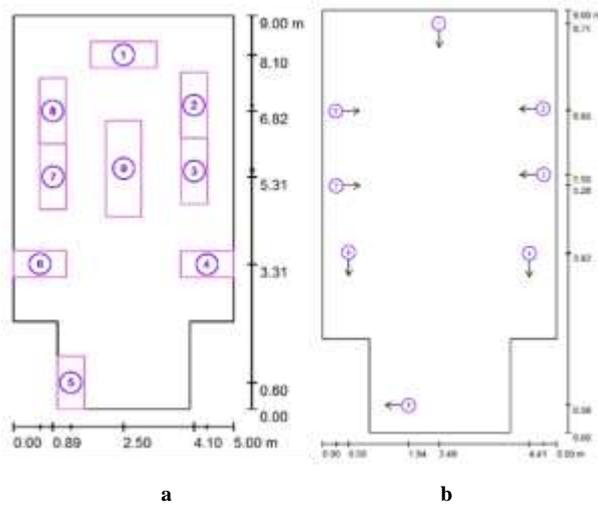


Figura 4: a) Superficies de cálculo, b) Puntos de cálculo UGR

Los datos técnicos y la distribución de las luminarias del sistema de iluminación fluorescente, actualmente existente, se introdujeron en el software DIALux para simular su comportamiento, Fig. 5.

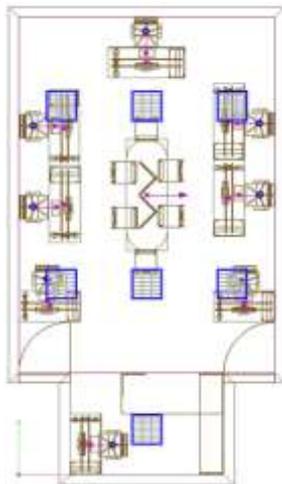


Figura 5: Diseño y distribución del sistema fluorescente.

En la Fig. 6, se muestra una fotografía del espacio interior a evaluar en este estudio. Las luminarias del sistema de iluminación fluorescente son de la marca Osram del tipo Modular 3x18W. Las características técnicas de las luminarias fluorescentes están disponibles en el catálogo de luminarias Osram. En la Fig. 7, se presenta el diseño en 3D del sistema de iluminación fluorescente existente proporcionado por el software DIALux.



Figura 6: Fotografía del espacio interior evaluado



Figura 7: Imagen 3D en DIALux del espacio interior evaluado

De acuerdo a los resultados presentados en DIALux, la iluminancia, E_m , obtenida en el entorno de trabajo es de 207 lux. En las 9 superficies de cálculo evaluadas no se cumple con el rango establecido en la Norma UNE-EN 12464-1. El índice de deslumbramiento unificado, UGR, se encuentra por debajo del valor de 19, cumpliendo lo establecido en la Norma UNE-EN 12464-1.

2.4. Sistema de Iluminación Fluorescente Repotenciado

En la Fig. 8, se presenta el diseño del sistema iluminación fluorescentes repotenciado. Se incrementa la potencia instalada de las luminarias Osram del tipo Modular a 4x18W. El aumento de la potencia de las luminarias fluorescentes permite garantizar un nivel de iluminancia, E_m , dentro del rango establecido en la Norma UNE-EN 12464-1.

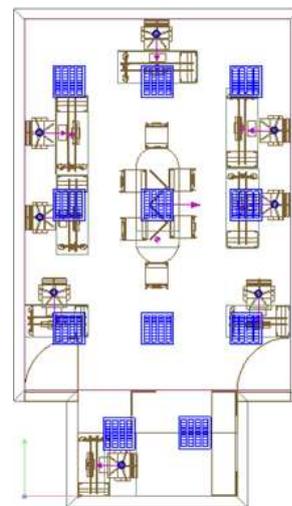


Figura 8: Diseño y distribución repotenciado de la iluminación existente



Para cumplir con el rango de iluminancia mantenida de acuerdo a la Norma de iluminación en espacios interiores se aumentó de 7 a 11 luminarias Osram del tipo Modular 4X18W T8 Fluorescente, Fig. 9.



Figura 9: Imagen 3D en DIALux del sistema de iluminación repotenciado

El aumento del número de luminarias fluorescentes garantiza que el nivel de iluminancia, E_m , y el índice de deslumbramiento unificado, UGR, cumplan las especificaciones establecidas en las superficies de trabajo. Las características técnicas de las luminarias y los resultados obtenidos en DIALux para el sistema de iluminación fluorescente existente y repotenciado, se presentan en la Tabla 3 y 4. En la Tabla 4 y 5, la barra inclinada “/” indica la inexistencia de deslumbramiento.

3. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN LED

3.1. Criterios de Selección de las Luminarias LED

La selección de las luminarias LED se basó en los siguientes criterios técnicos: voltaje de entrada, flujo luminoso, potencia, temperatura de color, eficacia lumínica y vida útil. Las luminarias LED seleccionadas, pertenecen a las marcas Sylvania, Osram, Microplus Germany y Lithonia.

Las características de las luminarias LED se presentan en la Tabla 5. Las características y precios de cada tipo de luminaria se han obtenido de los catálogos disponibles en internet.

3.2. Descripción del Diseño con Luminarias LED

La distribución de las luminarias LED Sylvania, Osram y Microplus Germany en el espacio interior evaluado son similares. En la Fig. 10a se muestra el diseño de distribución de las luminarias LED en DIALux con las diferentes marcas seleccionadas: Sylvania 40W, Osram 40W, Microplus Germany 30W. Por otro lado, la distribución de las luminarias Lithonia 36W, Fig. 10b, difiere sustancialmente de la distribución de las luminarias de la Fig. 10a. Las características de la distribución de las luminarias se presentan en la Tabla 6.

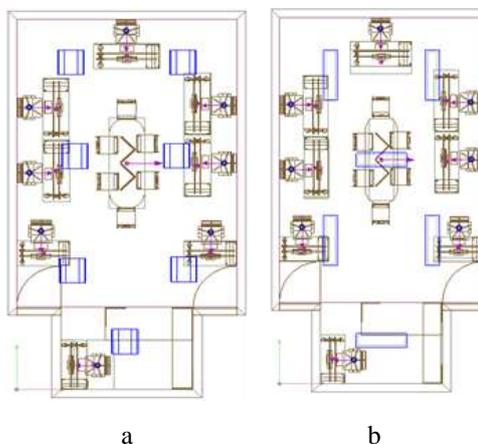


Figura 10: Diseño y distribución de las luminarias LED con DIALux

Tabla 3: Características técnicas de las luminarias fluorescentes

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
Sistema de Iluminación	Tipo Luminaria	Potencia Luminarias W	Lm	lm/W	Horas útiles	Luminarias Cantidad	Potencia Total W
Existente	Modular 3X18W T8	54	3150	58	5000	7	378
Repotenciado	Modular 4X18W T8	72	4200	58	5000	11	792

Tabla 4: Resultados de la simulación en DIALux del sistema de iluminación fluorescente

Sistema de Iluminación	E_m (lux)	UGR max	Lista de superficies de cálculo									Lista de Puntos de cálculo UGR								
			E_m [lux]									Observador UGR								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Existente	207	12	229	222	162	199	154	199	164	219	227	12	/	/	/	/	/	/	/	/
Repotenciado	404	17	474	421	468	431	439	432	471	419	500	17	<10	<10	11	<10	11	<10	<10	<10



Tabla 5: Características técnicas de las luminarias LED

Panel LED	Voltaje de entrada 50/60Hz	Flujo Luminoso Lm	Potencia W	Temperatura de Color K	lm/W	Vida útil Horas	Protección/Certificación	Dimensiones LxWxH cm
Sylvania MYL741	100-277V~	3200	40	6000	80	35000	IP20	60x60x1
LEDvance Osram	120-240V~	4000	40	6500	100	30000	IP20	60x60x1.05
Microplus Germany PN-060060	90-265V~	3450	30	5500	125	50000	IP65	59.5x59.5x3.2
Lithonia 2GTL4	120 V~	4222	36	4000	117.3	60000	CSA, LM79	122x61x8.2

Tabla 6: Datos de entrada para el Software especializado DIALux

Tipo Luminaria	Potencia Luminarias W	Marca Comercial	Lm	lm/W	Horas útiles	Luminarias Cantidad	Potencia total W
Panel LED MYL741	40	Sylvania	3200	80	35000	7	280
LEDvance Panel	40	Osram	4000	100	30000	7	280
Panel LED PN-060060	30	Microplus Germany	3450	115	50000	7	210
Panel LED 2GTL4	36	Lithonia	4222	117.3	60000	6	216
Lithonia $E_{m \min}$	36	Lithonia	4222	117.3	60000	5	180

3.3. Simulaciones de los Sistemas de Iluminación LED

El software DIALux permite obtener la imagen en 3D de la distribución de las luminarias. Así, en la Fig. 11a y 11b se presenta la imagen procesada en 3D de la distribución de las luminarias de las Fig. 10a y 10b, respectivamente. Las simulaciones realizadas de los cuatro sistemas de distribución de luminarias propuestas corroboran que los niveles de iluminancia se encuentran dentro del rango establecido en la Norma UNE-EN 12464-1, Tabla 7.



Figura 11: Imagen procesada en 3D en el software DIALux

El uso de luminarias LED Osram proporciona el mayor nivel de iluminancia, E_m , de las simulaciones realizadas, 451 lux. Por otra parte, Sylvania es la luminaria LED que ofrece menor nivel de iluminancia, E_m , 397 lux. Las luminarias LED de Microplus Germany y Lithonia, proporcionan niveles de iluminación de 419 lux y 430 lux, respectivamente.

En comparación con el sistema de iluminación fluorescente repotenciado, que cumple con los niveles de iluminación de la normativa, la sustitución por

tecnología LED permite reducir la cantidad de luminarias necesarias. Los diferentes valores de iluminación de cada superficie de cálculo para las diferentes propuestas de distribución LED se presentan en la Tabla 7. Asimismo, en la Fig. 12, se observa el nivel de iluminación por colores de las superficies de cálculo dentro del espacio interior evaluado para las diferentes configuraciones de luminarias LED, Sylvania 40W, Fig. 12a; Osram 40W, Fig. 12b; Microplus 30W, Fig. 12c; y Lithonia 36 W, Fig. 12d.

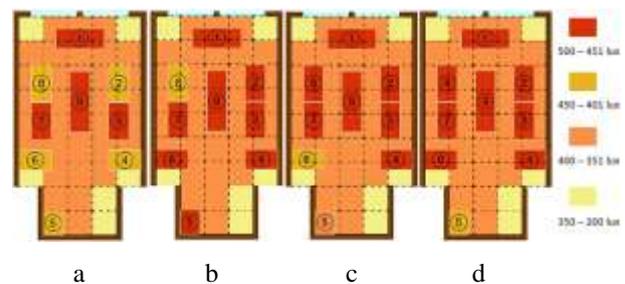


Figura 12: Nivel de iluminación por colores de las superficies de cálculo de las simulaciones del sistema de iluminación LED

3.4. Diseño y Simulación con Niveles Mínimos de Iluminación

Se realizó una simulación adicional, garantizando que el sistema de iluminación LED cumpla con los niveles mínimos, Tabla 7. Se empleó la luminaria LED Lithonia por su mayor eficacia lumínica, precio y vida útil. En la Fig. 13a se presenta la distribución de las luminarias, mientras que la imagen procesada en 3D en DIALux se presenta en la Fig. 13b.

Tabla 7: Resultados de la simulación del sistema de iluminación LED en DIALux

Tipo Luminaria	E_m [lx]	UGR max	Lista de superficies de cálculo E_m [lx]									Lista de Puntos de cálculo UGR Observador UGR								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sylvania	397	19	484	440	488	405	415	405	490	434	491	16	17	19	<10	/	<10	19	17	18
LEDvance Osram	451	19	490	476	495	499	484	492	499	441	484	16	16	19	<10	/	<10	19	16	19
Microplus Germany	419	19	498	496	498	451	396	427	493	497	498	11	16	19	18	/	17	19	16	19
Lithonia	430	19	498	482	473	487	419	485	461	470	500	16	18	15	<10	/	<10	15	18	19
Lithonia $E_{m\min}$	365	19	394	362	353	336	337	341	365	367	387	15	18	14	<10	/	<10	15	18	18

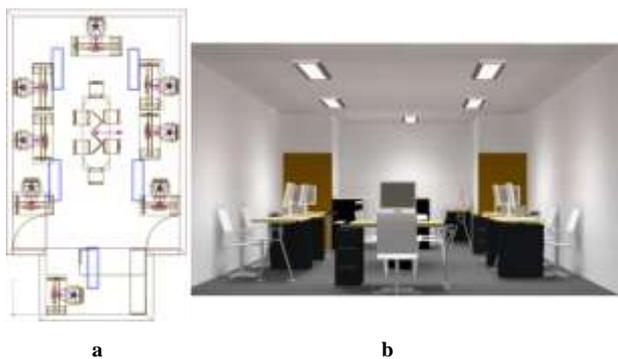


Figura 13: Distribución e imagen 3D procesada en DIALux con niveles mínimos de iluminación

4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN SIMULADOS

En este apartado se presenta el análisis comparativo del consumo eléctrico y coste económico de los sistemas de iluminación fluorescente y LED simulados. Inicialmente, se analizó el sistema de iluminación fluorescente existente y los propuestos, con luminarias LED, en la sala de investigación de la FISEI. Posteriormente, se escaló el análisis comparativo para uno de los edificios de la Facultad, comparando el sistema de iluminación fluorescente existente y repotenciado con el sistema de iluminación LED, compuesto por luminarias Lithonia 36W, distribuidos de tal forma que garantizan el mínimo nivel de iluminación dentro de lo establecido en la normativa vigente.

4.1. Análisis Eléctrico y Económico de la Sala de Investigación en la FISEI

En la Tabla 8 se muestra el costo de instalación de los sistemas de iluminación para las diferentes simulaciones realizadas del espacio interior evaluado. Además, se presentan los cálculos del consumo eléctrico, así como, el costo económico del consumo eléctrico anual y en un horizonte estimado de 15 años.

El uso promedio de las luminarias es de 14 horas al día dentro de la institución, con un costo 6,3 c\$/kWh, según lo estipulado en el Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas, Servicio Público de Energía Eléctrica de Ecuador [12].

De acuerdo a los resultados obtenidos de la Tabla 8, se deduce que, en un horizonte de 15 años, el coste económico total – instalación, reposición de luminarias y factura de consumo - de los sistemas de iluminación LED, a excepción de las luminarias Osram y Microplus Germany, se encuentran por debajo del coste económico total de los sistemas fluorescentes, tanto existente, que no cumple con los niveles de iluminación, como el sistema fluorescente repotenciado. Asimismo, en el horizonte evaluado de 15 años, el coste económico total del funcionamiento del sistema de iluminación LED, con el uso de luminarias Lithonia 36W, cumpliendo los requisitos mínimos de iluminación, es inferior a los sistemas fluorescentes evaluados. En este caso, el ahorro obtenido sólo por la sustitución de luminarias fluorescentes por luminarias LED Lithonia, en tan sólo una sala de investigación, es de \$2 223,22 en un horizonte de análisis de 15 años. La reducción anual del consumo eléctrico es de 52,38%.

4.2. Análisis Eléctrico y Económico del Edificio de la FISEI

El edificio principal de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial cuenta con un total de 256 luminarias fluorescentes con una potencia de 96W cada una. De acuerdo a los resultados obtenidos de la Tabla 8, se concluye que, el remplazo por luminarias LED Lithonia con niveles mínimos de iluminación permite reducir 64 luminarias, dejando un total de 192 luminarias. El análisis económico y eléctrico de los sistemas de iluminación existente y propuesto para el edificio de la FISEI se presenta en la Tabla 9.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la Tabla 9, se deduce que, en un horizonte de 15 años, la sustitución de los sistemas de iluminación fluorescentes existentes en el edificio por luminarias LED Lithonia ofrecen un menor coste económico total, instalación y operación. El ahorro que representa el uso de luminarias LED Lithonia, con niveles de iluminación mínimos dentro del rango de la normativa de iluminación vigente en espacios interiores, es de \$42 966,74 dólares. En un horizonte de 15 años se obtendría un ahorro anual equivalente de \$35 80,56 dólares para la FISEI y una reducción del consumo energético del 52,38%.



Tabla 8: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación de la sala de investigación

Sistema de Iluminación	Coste Instalación, \$			Consumo Eléctrico, kWh			Costo Consumo Eléctrico, \$			Coste Operación y Mantenimiento, \$		Coste Total \$ 15 años
	Módulo de Soporte	Luminaria	Total Sistema	Mes	Año	15 años	Mes	Año	15 años	Recambio		
										15 años	Total	
Existente	50	4,5	381,5	105,84	1270,08	19051,2	6,67	80,02	1200,23	9	283,5	1865,23
Repotenciado	50	4,5	599,5	221,76	2661,12	39916,8	13,97	167,65	2514,76	9	445,5	3559,76
LED Sylvania	—	42,99	300,93	78,4	940,8	14112	4,94	59,27	889,06	1	300,93	1490,92
LED Osram	—	69,99	489,93	78,4	940,8	14112	4,94	59,27	889,06	2	979,86	2358,85
LED Microplus Germany	—	273,78	1916,46	58,8	705,6	10584	3,70	44,45	666,79	1	1916,46	4499,71
LED Lithonia	—	76,5	459	60,48	725,76	10886,4	3,81	45,72	685,84	1	459	1603,84
LED Lithonia $E_{m\ min}$	—	76,5	382,5	50,4	604,8	9072	3,18	38,10	571,54	1	382,5	1336,54

Tabla 9: Consumo de energía y coste económico de diferentes sistemas de iluminación del edificio principal de la FISEI

Sistema de Iluminación	Coste Instalación, \$			Consumo Eléctrico, kWh			Costo Consumo Eléctrico, \$			Coste Operación y Mantenimiento, \$		Gasto Total \$ 15 años
	Módulo de Soporte	Luminaria	Total Sistema	Mes	Año	15 años	Mes	Año	15 años	Recambio		
										15 años	Total	
Fluorescente existente	50	4,5	13952	6881,28	82575,36	1238630,4	433,52	5202,25	78033,72	2	2304	94289,72
Lithonia $E_{m\ min}$	—	76,5	14688	1935,36	23224,32	348364,8	121,93	1463,13	21946,98	1	14688	51322,98

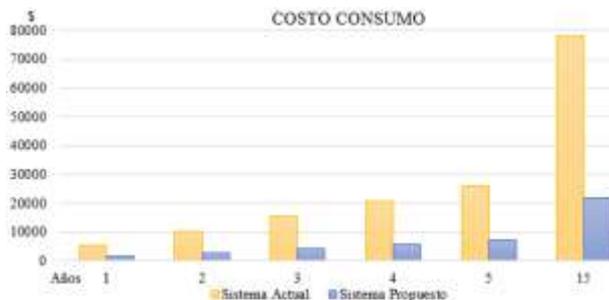


Figura 14: Comparativa del costo económico del consumo eléctrico de los sistemas de iluminación

En la Fig. 14 se presenta una comparativa del coste económico del consumo eléctrico en el sistema de iluminación fluorescente existente frente al LED propuesto para la FISEI. En el horizonte evaluado de 15 años, el consumo eléctrico del sistema fluorescente supera los \$78 033,72 dólares, en tanto que para el sistema LED es de \$21 946,98 dólares. En un horizonte de 15 años, el ahorro económico, gracias a la reducción del consumo eléctrico por sustitución de luminarias fluorescentes ineficientes, en el edificio principal de la FISEI, sería de aproximadamente \$56 086,20 dólares. El coste de inversión inicial del sistema fluorescente existente es igual a \$ 13 952, en tanto que para el sistema de iluminación LED propuesto sería igual a \$ 14 688. La diferencia de la inversión inicial entre ambos sistemas es insignificante, sin embargo, los beneficios

en la reducción de consumo energético y gasto en la facturación eléctrica son muy significativas para la FISEI. Si se incluye la inversión inicial y los recambios de lámparas a realizar en el horizonte evaluado de 15 años, para el sistema de iluminación fluorescente y LED, Tabla 9, el ahorro correspondiente sería igual a \$ 42 966,74.

5. CONCLUSIONES

Los sistemas de iluminación fluorescentes de la Universidad Técnica de Ambato son tecnologías ineficientes y con un elevado consumo eléctrico. Asimismo, los sistemas de iluminación fluorescentes existentes no garantizan los parámetros técnicos mínimos que establecen las normativas vigentes de iluminación interior.

De acuerdo al análisis comparativo realizado entre luminarias fluorescentes y LED, con ayuda del software de diseño y simulación DIALux, permitió determinar que las luminarias LED ofrecen una mayor eficiencia lumínica y energética en comparación a las luminarias fluorescentes. Las luminarias LED permiten garantizar el nivel de iluminancia mantenida en las diferentes superficies de trabajo dentro de los rangos establecidos en la normativa de iluminación para espacios interiores UNE-EN 12464-1.

En el presente estudio se han realizado el cálculo del consumo eléctrico asociado tanto al sistema de iluminación fluorescente existente, así como, al sistema



de iluminación LED propuesto para la sustitución de luminarias fluorescentes. Se realiza la simulación de luminarias LED de diferentes fabricantes en una sala de investigación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, FISEI.

Los estudios comparativos realizados del ahorro en consumo eléctrico y coste económico para las diferentes propuestas de sustitución de luminarias de la sala de investigación evaluada confirman el importante ahorro económico a obtener por la sustitución de luminarias ineficientes por luminarias LED. En la sala de investigación evaluada, el ahorro obtenido sólo por la sustitución de luminarias fluorescentes por luminarias LED Lithonia, en tan sólo una sala de investigación, es de \$2 223,22 en un horizonte de análisis de 15 años.

Finalmente, se ha escalado el análisis comparativo de consumo eléctrico y coste económico realizado al edificio principal de la FISEI. En un horizonte de 15 años, el ahorro económico, gracias a la reducción del consumo eléctrico por sustitución de luminarias fluorescentes ineficientes en el edificio principal de la FISEI, sería de aproximadamente \$56 086,20 dólares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Bardsley et al., “Solid-State Lighting R&D Plan”, EERE Publication and Product Library, Jun. 2016.
- [2] P. Primiceri and P. Visconti, “Solar-Powered Led-Based Lighting Facilities: An Overview on Recent Technologies and Embedded IoT Devices to Obtain Wireless Control, Energy Savings and Quick Maintenance”, Journal of Engineering and Applied Sciences, Jan. 2017.
- [3] S. Kim, W. Kang, and H. Ku, “Networked smart LED lighting system and its application using Bluetooth beacon communication”, presented at the IEEE Int. Conf. Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia), Oct. 2016.
- [4] J. L. Castillo, B. R. Muñoz, and G. R. Álvarez., “Propuesta de un Sistema Solar Fotovoltaico e Iluminación tipo LED en el Edificio 2 de la ESIME Zacatenco”, tesis, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México, jun. 2016.
- [5] K. Zalatis and K. Berzina., “Effective and Optimal Simulation of Light Design in Riga Technical University’s Lighting Laboratory from the Point of View of Energy Efficiency”, presented at the IEEE 4th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), Nov. 2016.
- [6] A. Pulay and A. Williamson, “A case study comparing the influence of LED and fluorescent lighting on early childhood student engagement in a classroom setting”, Learning Environments Research, Jan. 2018.

- [7] J. Almeida, “Eficiencia energética e implementación de focos LED en el sistema residencial ecuatoriano”, B.S. tesis, PUCE, mar. 2016.
- [8] M.-C. Dubois et al., “Retrofitting the Electric Lighting and Daylighting Systems to Reduce Energy Use in Buildings: A Literature Review”, Energy Res. J., vol. 6, pp. 25-41, Jan. 2015.
- [9] Norma Española: Iluminación de Espacios de Trabajo en interiores EN 12464-1, AENOR, 2003.
- [10] D. GmbH, «DIALux», DIAL GmbH.
- [11] Digi-Sense Data Logging Light Meter Model 20250-00 User Manual.
- [12] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL, “Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas, Servicio Público de Energía Eléctrica,” 2017.



Alberto Ríos Villacorta.- Dr. Ingeniero Eléctrico por Universidad Carlos III de Madrid, 2007. Master en Energías Renovables por la Universidad Europea de Madrid, 2004. Ingeniero Eléctrico en Sistemas y Redes Eléctricas por el Instituto Politécnico de Bielorrusia, 1993. Profesor Ayudante de la Universidad Carlos III de Madrid, 1998-2001. Profesor Adjunto de la Universidad Europea de Madrid, 2001- 2014. Actualmente es Profesor Titular Principal de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.



Manuel Otorongo Cornejo.- Es Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Escuela Politécnica Nacional. Fue Jefe de Área y Jefe de Sección en Empresa Eléctrica Ambato S.A., Especialista, Director y Gerente de Distribución en Empresa Eléctrica Quito. Ha sido Presidente del Comité técnico nacional de normalización para transformadores de distribución. Es Profesor Contratado en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.



Diego Abraham Taipe.- Nació en Pujilí, Ecuador, el 28 de abril de 1992. Se graduó como bachiller en el Colegio “Nacional Experimental Provincia de Cotopaxi” en el 2010. Egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.