

IMPACT ON ENERGY EFFICIENCY BY TYPE OF PHOTOMETRIC CURVE IN WAREHOUSE LIGHTING PROJECTS

IMPACTO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN EL TIPO DE CURVA FOTOMÉTRICA EN PROYECTOS DE ILUMINACIÓN DE ALMACENES

Luis Chacaliaza-Huapaya¹ , Ernesto Bernaza-Zavala¹ , Edwin Velazco-Fernandez¹ 

¹Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Recibido (Received): 24/02/2020 Publicado (Published): 20/12/2023

RESUMEN

El trabajo tiene por objetivo demostrar la necesidad de realizar estudios de iluminación, para el uso eficiente del consumo de energía mediante la elección adecuada de luminarias, teniendo en cuenta la distribución fotométrica de las mismas; un estudio de alumbrado no solo debe priorizar el incremento del ratio lumen/W, sino también, la búsqueda de curvas fotométricas adecuadas a las condiciones del proyecto. En el análisis se muestran los resultados de simulaciones realizadas en software con lámpara de halogenuro metálico y el equivalente en LED.

Para la iluminación de áreas angostas, situación típica en almacenes, se toma como caso de estudio almacenes con racks y pasillos estrechos. En almacenes que pueden llegar a trabajar 24 horas al día y los 07 días de la semana, la iluminación toma especial relevancia por la rotación continua de maquinarias y personal; la gran mayoría de este tipo de instalaciones mantienen el uso de luminarias de halogenuro metálico, consecuentemente, la propuesta de optimización convencional es el cambio a LED, con el que se llega a tener ahorros significativos de consumo de energía, sin embargo, la industria no ha tomado en cuenta la necesidad de escoger la distribución fotométrica adecuada según el tipo de área a iluminar. Se puede utilizar luminarias de la misma tecnología de fuente de luz, pero con distinto tipo de distribución fotométrica y, con un correcto estudio lumínico se consigue hasta un 84% menos de potencia instalada y hasta un 50% menos en cantidad de luminarias cuando se cambia de tecnología (de lámparas de halogenuro metálico a lámparas LED). En el estudio se presenta tres tipos de distribución fotométrica, realizando cálculos en software Dialux evidenciando como estos resultados impactan en la cantidad de luminarias a utilizar y la potencia instalada, ergo, reduce gastos derivados en instalación, operación y mantenimiento. Esta mejora de recursos atenúa la contaminación por efectos de emisiones de gases de efecto invernadero GEI.

Palabras Clave: iluminación, ahorro energético, curvas fotométricas, diseño de iluminación, luminaria, iluminación industrial, almacenes industriales

ABSTRACT

The work aims to demonstrate the need for lighting studies, for the efficient use of energy consumption through the right choice of luminaires, taking into account their photometric distribution; a lighting study should not only prioritize the increase of the lumen/W ratio, but also, the search for photometric curves appropriate to the conditions of the project. The analysis shows the results of simulations carried out in software with metal halide lamp and the equivalent in LED.

For the lighting of narrow areas, typical situation in warehouses, warehouses with racks and narrow aisles are taken as a case study. In warehouses that can work 24 hours a day, 7 days a week, lighting takes on special relevance due to the continuous rotation of machinery and personnel; the vast majority of this type of installations maintain the use of metal halide luminaires, consequently, the conventional optimization proposal is the change to LED, with which you get to have significant savings in energy consumption, however, The industry has not taken into account the need to choose the appropriate photometric distribution according to the type of area to be illuminated. Luminaires of the same light source technology can be used, but with different types of photometric distribution and, with a correct lighting study, up to 84% less installed power is achieved and up to 50% less luminaires when switching technology (from metal halide lamps to LED lamps). The study presents three types of photometric distribution, performing calculations in Dialux software showing how these results impact on the number of luminaires to be used and the installed power, ergo, reduces expenses derived from installation, operation and maintenance. This improvement of resources attenuates pollution due to the effects of GHG greenhouse gas emissions.

Keywords: lighting, energy saving, photometries curve, lighting design, luminaire, industrial warehouses

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de la tecnología LED ofrece una reducción superior de hasta 50% en el consumo energético en plantas de fabricación [1], y es lo que generalmente se hace para optimizar una instalación antigua.

El problema que se busca abordar; es que la industria no ha tomado en cuenta la importancia de un adecuado diseño de iluminación y los beneficios que aporta en la optimización de recursos, mediante; la elección de la curva fotométrica o fotometría de luminaria.

Utilizando una adecuada fotometría, se consigue a un ahorro significativo en potencia instalada de una instalación con lámparas de halogenuro metálico al migrar a una instalación con luminarias LED.

El caso de estudio es para instalaciones en pasillos en almacenes industriales, los cuales pueden ser al interior o al exterior, este tipo de almacenaje es típico del almacén con racks, industria puede llegar a trabajar 24 horas al día, y dependiendo del tipo de materiales almacenados pueden ser techados y sin posibilidad del ingreso de luz solar, como es el caso de los almacenes de congelados, o almacenes donde los materiales se pueden degradar con los rayos UV.

El objetivo es poder optimizar los sistemas de alumbrado en las zonas de pasillos.

Se deben considerar especificaciones técnicas necesarias que permitan la optimización del sistema de alumbrado y su sostenibilidad en tiempo.

2. ANTECEDENTES

Los estudios y propuestas de mejora en la eficiencia de la energía durante los últimos años se han basado en cambio tecnológico de la fuente de iluminación, es decir, cambiar el uso de luminarias que usen lámparas de halogenuro metálico, sodio en alta presión, halógenas, o fluorescentes entre otros por el uso de LED donde se puede llegar a tener un ahorro aproximado de un 50% [1][2][3]. Sin embargo, no se ha tomado en cuenta la importancia de utilizar adecuadamente la distribución fotométrica de las luminarias, es decir, el impacto en la eficiencia energética y usos de recursos según el tipo de curva fotométrica utilizada en proyectos de iluminación.

Debido al desarrollo en tecnología en iluminación, las características de los equipos de alumbrado se encuentran en actualización constante, siendo los fabricantes que realizan trabajos de investigación para tener cada vez una mayor competitividad en sus luminarias, ofreciendo diversas características de los

equipos de iluminación [4]. Con el uso del LED el desarrollo de distintos tipos de ópticas permite tener una variedad de distribuciones fotométricas disponibles, colocando más recursos tecnológicos en la industria de la iluminación por consiguiente una mayor posibilidad de alternativas.

La Huella de Carbono - Efectos del GEI, se pueden cuantificar de acuerdo al consumo de energía del sistema de alumbrado [5], la comparativa será mediante el ahorro de energía entre dos sistemas de alumbrado para una misma instalación.

Se tiene exigencia de niveles de alumbrado [6], o exigencia de realizar cálculos de alumbrado [7], sin embargo, las normas o regulaciones no son manuales de diseño, por lo que no indican que se debe tener una adecuada elección de fotometrías entre todas las alternativas disponibles.

Los tipos de fotometrías o distribución fotométrica, la cual es la forma que la luminaria distribuye la luz de forma espacial, se representa en curvas fotométricas en curvas polares que se muestran en las figuras 1, 2 y 3.

Se tienen diversas clasificaciones de distribución de curvas fotométricas, en este caso se analizan tres tipos de distribuciones fotométricas, una muy utilizada es el tipo simétrico extensivo el cual se representa en la figura 1.

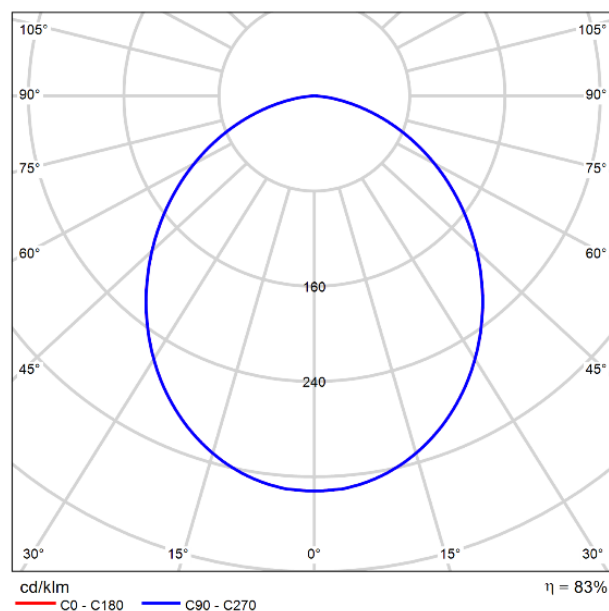


Fig. 1. Distribución fotométrica extensiva.

Fuente: <https://sp.schreder.com/es/productos/iluminacion-industrial-led-indu-bay>

Otra curva representativa es la simétrica intensiva, la cual concentra la luz que emite la luminaria, como se representa en la figura 2.

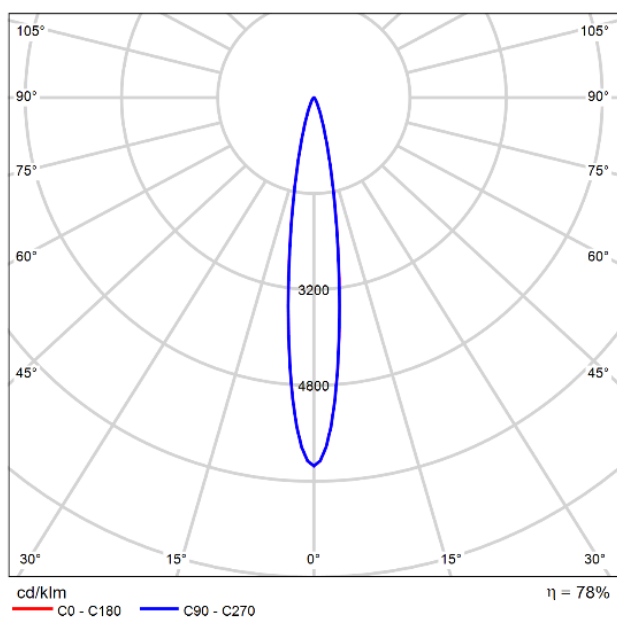


Fig. 2. Distribución fotométrica intensiva.
Fuente: <https://sp.schreder.com/es/productos/valinta-curve-iluminacion-arquitectonica-urbana>

En este caso de estudio al ser el objetivo el alumbrar pasillos, los cuales son angostos, se debe pensar en una distribución que optimice el uso, buscando separar lo más posible las luminarias en el sentido longitudinal del pasillo, y que sea concentrada en el sentido transversal, una proyección elíptica sería lo adecuado en esta instalación, en la figura 3 se muestra una curva fotométrica elíptica.

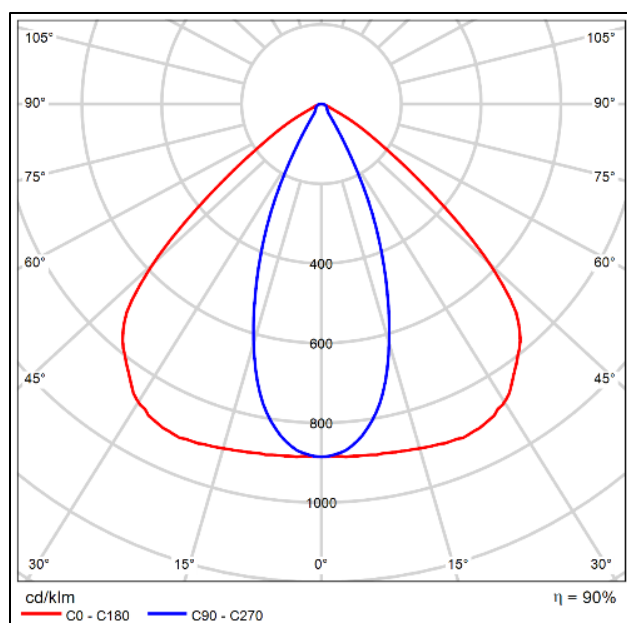


Fig. 3. Distribución fotométrica elíptica.

Fuente: <https://sp.schreder.com/es/productos/iluminacion-industrial-led-indu-bay>

3. METODOLOGÍA

El método es cálculo y comparación entre dos tipos de distribución fotométrica con una misma tecnología,

utilizando inicialmente como referencia el halogenuro metálico al estar presente en gran cantidad de instalaciones en la actualidad, luego se realiza la comparación con equipos con tecnología LED.

Se analiza el alumbrado de almacenes industriales y por temas de confidencialidad no se indica el nombre de correspondiente a la empresa A, la empresa B corresponde a DINET y la empresa C corresponde a TERPEL PLANTA CALLAO.

La empresa A y empresa B corresponde a almacenes al interior, la instalación típica con luminarias tipo campana industrial con lámpara de 400 W de halogenuro metálico ubicadas con una separación de 5 m – 6m, la cual tiene una fotometría simétrica extensiva.

La empresa C corresponde a almacén al exterior con almacenamiento de cilindros tipo paletizado, el almacén no tenía alumbrado, se realizan los cálculos en software Dialux 4.13, las mediciones de alumbrado luego de instalados los equipos se comparan con lo proyectado.

Para el diseño de nuevos almacenes se utiliza LED, sin embargo, se sigue utilizando la fotometría simétrica extensiva.

En el desarrollo de la investigación se analiza la arquitectura típica de almacenes, donde el alumbrado requerido es en pasillos o áreas angostas y de gran longitud, la metodología es la siguiente:

- Simulación con el mismo tipo de fuente de luz y distinta distribución fotométrica.
- Simulación y análisis de instalación existente o en proyecto.

De las visitas se confirma que las instalaciones actuales en su mayoría cuentan con luminarias de tecnología tradicional tipo High Bay con lámparas de descarga y fotometría simétrica extensiva. Algunas están implementando para el alumbrado de sus almacenes luminarias con tecnología LED, con fotometría convencional tipo simétrica extensiva, en el caso de led los fabricantes lo clasifican además como grados de apertura teniendo en el mercado luminarias de 115° a 150° de apertura, por la versatilidad del LED, se pueden tener otros tipos de apertura.

Realizando una elección de la luminaria con distribución fotométrica que pueda iluminar los pasillos de forma eficiente, se elige una distribución fotométrica que se adecue al área o espacio a iluminar.

Los almacenes con racks fijos, donde la distribución típica de arquitectura será de pasillos entre racks con

altura de 10 a 17 metros con un ancho de pasillo de 2 a 3 metros, con longitudes variable de pasillo. La instalación típica de luminarias encontradas en los almacenes visitados es de 5m - 6m de distancia entre luminarias, utilizando halogenuro metálico de 400W.

En la figura 4 se puede observar un pasillo típico, el sistema de iluminación principal y de mayor potencia será para el área entre racks; pasillos.



Fig. 4. Foto del tipo de instalación analizada.

Las instalaciones deben cumplir con las normas de iluminación, regulaciones locales específicas, y con el estándar del usuario el cual puede ser mayor al exigido en la reglamentación.

En los diversos reglamentos se tiene la exigencia de realizar cálculos de alumbrado como es el caso del Perú [7], estos reglamentos o normas no indican que se debe utilizar una adecuada elección de curva fotométrica.

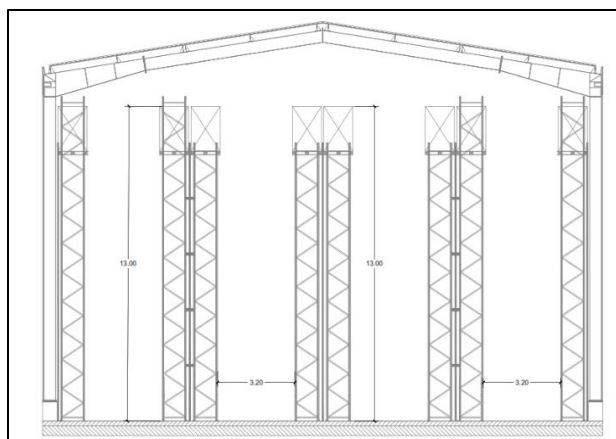


Fig. 5. Plano de corte de una instalación típica de almacenes.

Dependiendo del uso del almacén se puede tener un constante flujo de personal, mantenerlo iluminado en todo momento o en su defecto de manera intermitente debido a un flujo bajo de personal, es parte de la gestión del alumbrado, los beneficios que genera el reencendido instantáneo y control de niveles de alumbrado con la tecnología LED, resulta un potencial

ahorro de energía aún mayor al análisis del presente estudio.

A. ANÁLISIS TEÓRICO.

Se realiza un análisis teórico de la instalación realizando el cálculo de iluminación en software Dialux 4.13 para una instalación típica referencial con las siguientes dimensiones:

- Ancho pasillo: 3 m
- Altura montaje: 15 m
- Distancia entre luminarias: 5 m con fotometría extensiva
- Distancia entre luminarias: 11 m con fotometría elíptica

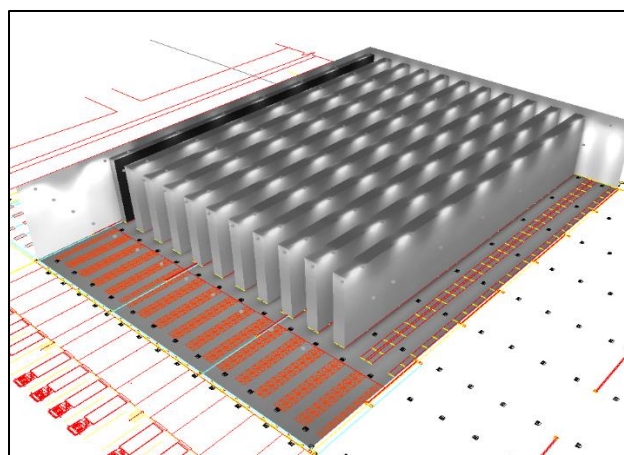


Fig. 6. Vista isométrica del tipo de almacen con Racks

Con fotometrías disponibles de fabricantes se ha elaborado la simulación en software DIALux 4.13, en el área de pasillos de almacenes comparando dos tipos de curva fotométrica y con un mismo tipo de tecnología de fuente de luz, fotometría simétrica extensiva que se muestra en la figura 1 y figura 7 la que es la mayormente usada y curva fotométrica elíptica que se muestra en la figura 3 y figura 8.

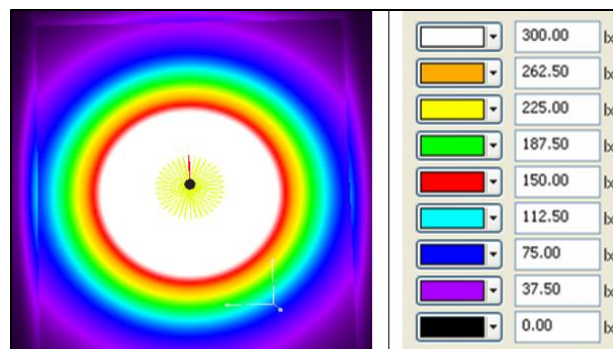


Fig. 7: Niveles de alumbrado de una fotometría simétrica extensiva a una altura del piso representado en colores.

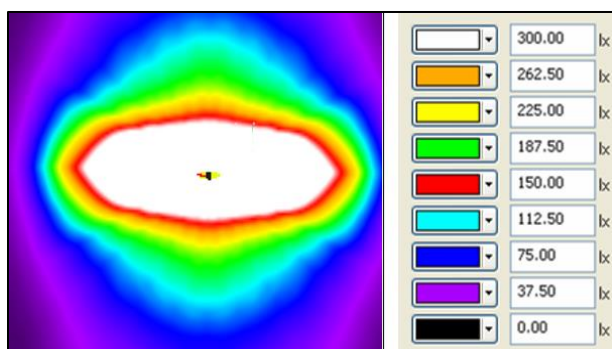


Figura 8: Niveles de alumbrado de una fotometría elíptica a una altura del piso representado en colores.

En la tabla I se muestran los resultados para una instalación de luminarias con distribución fotométrica extensiva con una distancia de 5,5 m entre luminarias en comparación con una distancia de 10,0 m entre luminarias con fotometría elíptica, con valores cercanos de niveles de alumbrado.

TABLA I

Niveles de alumbrado para luminaria con lámpara de halogenuro

Curva fotométrica	d (m)	Altura de montaje (m)	Iluminancia media (Lux)	Uniformidad media de iluminancia (%)
Extensiva	5.5	15	120	60
Elíptica	10.0	15	130	57

Fotometría simétrica extensiva: se usa lámpara de 400W – HM.

Fotometría elíptica: se usa lámpara de 250W – HM.

Los valores son para la iluminancia horizontal.

En la figura 09 se muestra esquemáticamente en vista de planta la distribución fotométrica de cada tipo de luminaria en una misma instalación; se aprecia que si se tiene una distribución simétrica extensiva (lado izquierdo de la figura), comparada con una distribución fotométrica elíptica (lado derecho de la figura), se puede tener una mayor distancia entre luminarias, el sombreado amarillo representa la distribución fotométrica en cada caso.

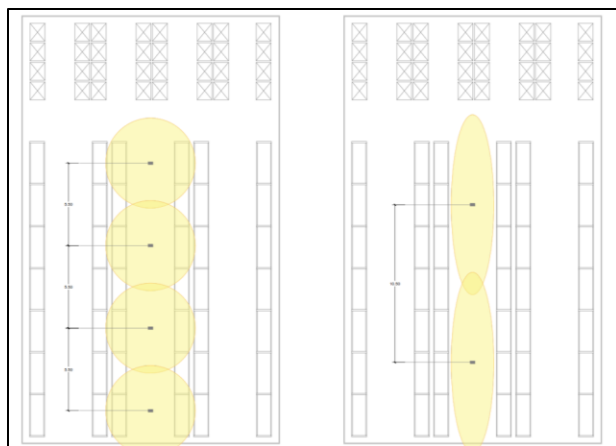


Fig. 9. Esquema de distribución fotométrica con vista de planta.

En la figura 7 se muestra esquemáticamente en vista de corte cómo es que actúa la distribución fotométrica de cada tipo de luminaria en una misma instalación: se aprecia que si se tiene una distribución simétrica extensiva (lado izquierdo de la figura), comparada con una distribución fotométrica elíptica (lado derecho de la figura), el alumbrado de la luminaria no llegará con la misma intensidad debido a ello el separar las luminarias a una mayor distancia no disminuirá el nivel de alumbrado, el sombreado amarillo representa la distribución fotométrica en cada caso.

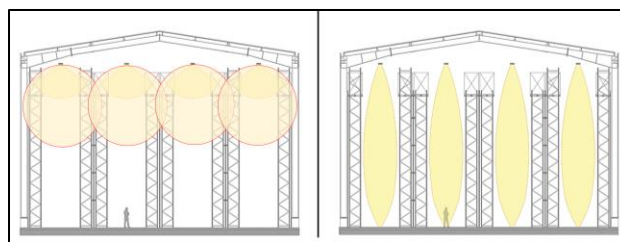


Fig. 10. Esquema de distribución fotométrica con vista de corte.

La combinación de ambas fotometrías extensiva e intensiva resulta en una elíptica la cual se representa en la figura 3.

Una mayor distancia entre luminarias, uso de menor potencia en cada luminarias y mayores niveles de alumbrado se muestran en la Tabla I, con estos resultados se hace una simulación en programa dialux 4.13 en uno de los almacenes con una distribución de 12 pasillos de 76m de longitud utilizando luminarias con halogenuro metálico comparando luminarias con fotometría simétrica extensiva y fotometría elíptica, los resultados de potencia instalada se muestran en la tabla II:

TABLA II

Comparación de potencia instalada considerando halogenuro con distinto tipo de fotometría

Distribución fotométrica	Ud.	Simétrica Extensiva	Elíptica
Cantidad de luminarias	Ud.	360	180
Potencia de lámpara	W	400	250
Pérdida por balasto	W	40	30
Potencia total por luminaria	W	440	280
Potencia total	kW	158.40	50.40

De las tablas I y II se observa que el ahorro de energía puede llegar a ser hasta de un 68 %, aplicando el uso de halogenuro metálico, pero con diferente fotometría, por lo tanto la optimización en el sistema de alumbrado no solamente se debe basar en un cambio tecnológico como se viene abordando constantemente, se debe realizar un adecuado estudio de alumbrado correspondiente a la arquitectura del lugar, esta misma solución no es aplicable a almacenes sin racks, o áreas donde el alumbrado debe ser general, debido a que no se tendría un alumbrado uniforme.

Al análisis anterior se hace las simulaciones con tecnología LED, en el programa Dialux 4.13 los resultados se muestran en la tabla III.

Utilizando una fotometría adecuada para el caso analizado se puede llegar a tener un ahorro de un 84% en potencia instalada y casi un 50% de menor cantidad de equipos a instalar.

TABLA III

Comparación de resultados considerando luminarias con halogenuro metálico y LED con distinto tipo de fotometría

Distribución Fotométrica	Unidad	SIMETRICA EXTENSIVA	ELÍPTICA	SIMETRICA EXTENSIVA	ELÍPTICA
Fuente de luz		HALOGENURO METÁLICO		LED	
Distancia entre luminarias	m	5.50	10.0	5.50	10.0
Cantidad de luminarias	Ud.	168	84	168	84
Potencia de lámpara	W	400	250	139	139
Pérdida por balasto	W	40	30	0	0
Potencia total por luminaria	W	440	280	139	139
Potencia total de instalación	kW	73.92	23.52	28.40	11.67
Illuminancia media	Lux	120	130	120	132
Ahorro con respecto a halogenuro y distribución fotométrica simétrica extensiva	%	0%	68%	61%	84%
Ahorro entre luminarias LED distribución fotométrica elíptica con simétrica extensiva	%			0%	60%

Si analizamos una instalación proyectada con equipos LED, el comparar la fotometría extensiva con respecto a una elíptica los resultados muestran que se puede llegar a tener un ahorro de hasta un 60%, en los parámetros indicados anteriormente.

Ahorro en instalación, mantenimiento y operación del sistema de alumbrado son consecuencia del análisis realizando la elección de la fotometría.

En la actualidad se tienen equipos de alumbrado cada vez más versátiles que permiten ser controlados mediante diversos sistemas, ya sea con cableado o inalámbrico. No se incorpora al presente estudio los resultados que se obtienen de la gestión de la iluminación.

B. Análisis de instalaciones existentes.

Se realizaron visitas a almacenes con racks a fin de verificar sus instalaciones.



Fig. 11. Foto de almacén de empresa DINET.

En las visitas se comprobó que la instalación típica es con luminarias tipo campana industrial con lámpara de halogenuro metálico de 400 W y fotometría simétrica extensiva, dependiendo del horario de trabajo pueden estar apagadas en la noche, algunas empresas que trabajan durante las 24 horas, y por un tema de operatividad estos equipos deben estar encendidos siempre, debido a que en las luminarias de halogenuro metálico, el encendido y el reencendido demora entre 10 a 15 minutos para que la luminaria funcione correctamente, esto debido a que es necesario el calentamiento del equipo en el encendido, y para el reencendido luego de apagar se debe esperar a que enfríe y luego caliente la lámpara para su funcionamiento, la opción de mejora es:

- Mejora del sistema de alumbrado con fotometría elíptica que permite una mayor distancia entre equipos.
- Utilización de equipos LED, que permite menor potencia instalada y posibilidad de gestión de luz al tener disponible un reencendido instantáneo.
- Posibilidad de dimerizar los niveles de luz.
- Gestión de los encendidos y apagados con sensores de movimiento.

De las instalaciones existentes en la tabla IV, se muestra información, realizando el cambio de fotometría simétrica extensiva y uso de luminarias con halogenuro metálico a luminarias con tecnología LED y uso de fotometría elíptica.

TABLA IV
Instalación típica en almacenes con pasillos

Empresa	Distribución fotométrica	Luminaria	Potencia Luminaria (W)	Distancia entre luminarias (m)
Empresa A	Extensiva	High Bay 400 W HM	440	5.00
Empresa B	Extensiva	High Bay 400 W HM	440	6.00

B.1 EMPRESA A.

Se analiza el Almacén de Accesorios Terminados se muestran los datos en la tabla V:

TABLA V
Cuadro de cargas instaladas de “Almacén de Accesorios Terminados”

Zona	Luminaria	Potencia (W)	Cantidad	Potencia total (kW)
Pasillos de almacenaje	High Bay 400 W HM	440	30	13.200
Pasillo principal	High Bay 400 W HM	440	3	1.320
Potencia total				14.520

La instalación cuenta con equipos tradicionales comúnmente usados de distribución fotométrica simétrica extensiva, se había utilizado este tipo de luminaria por ser la más comercial en el mercado, con un bajo costo de compra, cuando se realiza el cambio de luminarias se han utilizado luminarias con fotometría elíptica, lo cual ha generado que se tenga un ahorro energía además que ha elevado el nivel de alumbrado hacia el nivel requerido lo que se demuestra en la tabla V y tabla VI.

Se llega a obtener un ahorro de 80% de energía, al comparar la Tabla V y la Tabla VI.

TABLA VI
Cuadro de cargas instaladas de “Almacén de Accesorios Terminados”

Zona	Luminaria	Potencia (W)	Cantidad	Potencia total (kW)
Pasillos de almacenaje	LED 119 W HM NB	119	20	2.380
Pasillo principal	LED 119 W HM NB	119	5	0.595
Potencia total				2.975

En el almacén de productos terminados el usuario indica que el estandar corporativo en dicho momento era de 200 lux, lo cual se llegó a obtener con la nueva instalación como se muestra en la tabla VII.

Antes del cambio había una iluminancia de 130 lux medidos antes de la mejora del sistema de alumbrado.

TABLA VII
Niveles obtenidos de alumbrado

Zona	Iluminancia (Lux)
Pasillo	216
Pasillo principal	245
Los niveles de alumbrado son calculados y medidos a 1m de altura del nivel de piso terminado a nivel horizontal	

El nombre de la empresa a solicitud se mantiene en reserva.

B.2 EMPRESA B.

| Visita a las instalaciones del almacén de DINET (Operador logístico), dentro de la planta se visitó dos naves industriales de almacenamiento.



Fig. 12. Equipo de trabajo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería en almacenes de la empresa DINET.

En cada nave industrial se tomaron mediciones de alumbrado, se le nombra pasillo a la superficie resaltada en amarillo en la Figura 13.

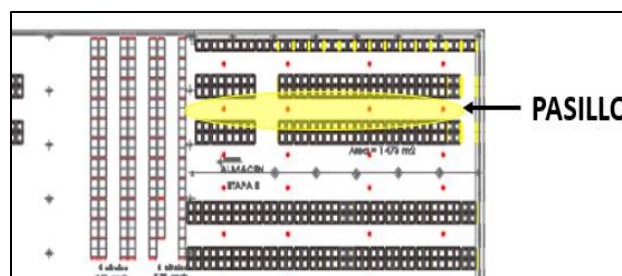


Fig. 13. Vista de planta del pasillo 1 del local.

El cálculo del consumo de energía y potencia instalada de las luminarias se hace para los pasillos, estos son alumbrados con luminarias de tipo High Bay con lámparas de Halogenuro Metálico (HM) de 400 W a lo largo de cada pasillo, las luminarias se representan con puntos de color rojo en la Figura 13, se muestra en la tabla VIII la cantidad de luminarias instalada.

TABLA VIII

Potencia total instalada en los 4 pasillos, usando luminarias de HM.

Tipo de Luminaria	Potencia incluyendo pérdida por balasto (W)	Cantidad de luminarias por fila	Cantidad de filas	Potencia total (kW)
High Bay 400 W HM	440	4	12	21.12
Fotometría elíptica	119	4	12	5.712

Para la propuesta de mejora se propuso luminaria con fotometría elíptica de 119 W LED instalados a lo largo de cada pasillo con una mayor distancia entre equipo obteniendo una menor cantidad de equipos como se muestra en la tabla IX, los resultados mostrados en la tabla X muestran un ahorro del 73% de potencia instalada y por consiguiente del consumo de energía.

B.2 EMPRESA C.

Se analiza una instalación nueva para la empresa Terpel Planta Callao en el patio de almacenaje de cilindros el cual es una instalación al exterior, el tipo de iluminación convencional es con postes con distribución fotométrica tipo simétrica rotacional extensiva o con fotometría asimétrica.

Se define el uso de fotometrías que dirijan únicamente la luz a los pasillos, toda vez que estos se encuentran definidos y no van a cambiar, la configuración es de pasillos angostos, en este caso con promedio de 4 m de ancho de pasillo y longitud de 50 m de longitud, debido a la ausencia de techo se analiza la menor cantidad de postes, colocando 2 postes por pasillo y soportes de luminaria que permitan a las luminarias estar casi al centro del pasillo.

El requisito de alumbrado para esta aplicación es de 200 lux en promedio a una altura de 0.8m del piso. Se utilizó el tipo de fotometría elíptica, en la simulación se obtiene que el nivel de alumbrado más bajo en los pasillos se encuentra a la mitad de la distancia entre postes, y no cumple con los niveles de alumbrado exigidos, se agrega otra luminaria de fotometría intensiva, instalada en el mismo poste y orientada al centro del pasillo de esta manera se llega a la parte más lejana de las luminarias.

En la figura 14 se muestra una foto de las mediciones de alumbrado realizados luego de la instalación, la distancia entre postes fue de 35 m en promedio y a una altura de montaje de 10m, cada poste en pasillo tenía una luminaria de fotometría elíptica de 210W y una luminaria con fotometría intensiva de 190W.



Fig. 14. Mediciones de iluminancia realizadas en el pasillo del patio de almacenaje de cilindros luego de la instalación de luminarias.

En la tabla X se muestran; los valores calculados, valores medidos y valor medido multiplicado por el factor de mantenimiento. El factor de mantenimiento es un parámetro que ajusta los valores de nivel de iluminación obtenidos por el software a los valores que se obtendrán de la medición en el pasillo transcurrido determinado tiempo, ya que la suciedad y el polvo menguan el flujo luminoso saliente de las lámparas. El factor de mantenimiento en este proyecto es 0.9.

Para realizar una comparación entre el valor proyectado y el valor obtenido en la medición se tiene que, al ser una instalación nueva, se compara el valor medido multiplicado por el factor de mantenimiento con el valor simulado en software, en la tabla IX estos resultados tienen una variación de -1.7% a 8%.

TABLA IX
Niveles de iluminancia en lux en empresa C.

Instalación	Pasillo A	Pasillo B	Pasillo C	Pasillo D
Medido	270	238	252	261
Medido x FM	243	214	227	235
Calculado	224	219	240	239

FM: factor de mantenimiento.

Se consideró para el estudio un FM=0.9

De esta manera se puede comparar los resultados proyectados en software Dialux 4.13. con los valores obtenidos en la medición luego de la instalación.

Se obtuvo un valor promedio mayor a 200 Lux con uniformidades mayores a 45%, el uso de luminarias con distintos tipos de fotometría permitió manejar correctamente los planos horizontales indicados en la tabla IX, obteniendo los valores requeridos por este tipo de instalación.

El luxómetro utilizado fue el modelo CL70-F de la marca KONICA.

4. HUELLA DE CARBONO

Se puede llegar a estimar las emisiones indirectas del GEI, por consumo de electricidad en alumbrado [5], realizando una multiplicación directa según:

Inventario GEI=Actividades GEI x Factor de Emisión

Es decir, el impacto es directamente proporcional a la potencia eléctrica instalada, y la contaminación ambiental por GEI será menor por los mismos porcentajes indicados en la Tabla III.

CONCLUSIONES

- Este trabajo muestra la importancia de realizar un correcto análisis de las curvas fotométricas al momento de elaborar proyectos de alumbrado.
- La eficiencia energética en iluminación no solo debe tener como premisa; una mayor eficacia lumen/W o el cambio de tecnología.
- Para iluminar áreas angostas y a gran altura como el caso de los almacenes con racks, se debe utilizar fotometría elíptica, logrando un ahorro importante en potencia instalada.
- Se llega a duplicar la distancia entre equipos y disminuir la potencia de cada luminaria consiguiendo los mismos o mejores valores de iluminación, mediante la adecuada elección de la fotometría de la luminaria a utilizar.
- El estudio lumínico y uso de las nuevas tecnologías, llega a realizar una mejora en los niveles de alumbrado, y por consiguiente los beneficios que se obtienen en ahorro instalación, operación y mantenimiento de las instalaciones de alumbrado, mediante una menor potencia instalada y una menor cantidad de equipos de alumbrado utilizados.
- Con el LED se puede realizar encendidos y reencendidos instantáneos o control de niveles de luz, con lo cual el ahorro en energía y sus beneficios llega a ser mayor a los valores mostrados en el presente estudio, en el cual no se analiza la gestión de alumbrado.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional de Ingeniería por el apoyo brindado a este grupo de trabajo para la realización del trabajo de investigación, a la empresa B: DINET por permitir las visitas a las instalaciones y la empresa C: TERPEL PLATA CALLAO por permitir publicar los resultados de los estudios y mediciones realizados.

REFERENCIAS

- [1] E. Uyan, et al., "Improving the energy efficiency of lighting systems for a marine equipment manufacturing plant through retrofitting, daylighting, and behaviour change," *Journal of Cleaner Production*, vol. 413, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137216
- [2] A. Martínez, et al., "Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un análisis de caso," *Dyna*, vol. 82, no. 191, pp. 231-239, Jun. 2015. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49639089029>
- [3] M. Lee and N. Zulkafli, "A Case of Study on Energy Saving Through Lighting System for Building: An Internal Energy Review," in 2016 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), 2016 pp. 575-579, doi: 10.1109/PECON.2016.7951626
- [4] V. Maier, G. Pavel and A. Filip, "Optimal analytical identification of the photometric curves for de indoor direct lighting luminaires," in 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2012, pp. 67-72, doi: 10.1109/OPTIM.2012.6231961
- [5] E. Saavedra, "Huella de Carbono- Emisiones de GEI por uso del Sistema de Iluminación de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería," *TECNIA*, vol. 30, no. 1, 2020pp. 121-138, doi: 10.21754/tecnia.v30i1.827
- [6] Ministerio de Energía y Minas, "Norma de alumbrado de interiores y campos deportivos," 1982. [Online]. Available: https://www.minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=6&idLegislacion=6835
- [7] Ministerio de Vivienda y Construcción, "Reglamento Nacional de Edificaciones - EM010," 2019. [Online]. Available: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686413/EM.010%20Instalaciones%20El%C3%A9ctricas%20Interiores.pdf>



Los artículos publicados por TECNIA pueden ser compartidos a través de la licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND 2.5 Perú. Permisos leídos de este alcance pueden ser consultados a través del correo revistas@uni.edu.pe