

Propuesta de iluminación interior de un local

Alvaro Laurencio Pérez

alvarolaurencio040@gmail.com

Olga Pérez Maliuk

Universidad de Moa

Igor Pérez Maliuk

Empresa Eléctrica Holguín

Resumen: Se realizó una propuesta de iluminación interior de un local de una industria eléctrica para el montaje de aparatos electrónicos. El procedimiento aplicado fue el método de los lúmenes. Se realizó una simulación para verificar los valores de iluminancia del local mediante el software MATLAB. Se tuvo en cuenta la posibilidad de dos variantes de iluminación, una con lámparas LED y otra con lámparas fluorescentes. La propuesta resultó de ubicar 42 lámparas de tipo LED distribuidas en local. Los resultados técnico económicos, llevados a cabo mediante el método de gastos totales anuales o gastos referidos, indicaron que el uso de lámparas de tipo LED resulta más factible que el empleo de tubos fluorescentes.

Palabras clave: flujo luminoso; gastos referidos; iluminancia

Proposal for interior lighting of a local

Abstract: A proposal was made for interior lighting of a local of an electrical industry for the assembly of electronic devices. The procedure applied was the lumens method. A simulation was carried out to verify the illuminance values of the room using the MATLAB software. The possibility of two lighting variants was considered, one with LED lamps and the other with fluorescent lamps. The proposal resulted from locating 42 LED type lamps distributed locally. The technical economic results, carried out using the method of total annual expenses or referred expenses, indicated that the use of LED-type lamps is more feasible than the use of fluorescent tubes.

Key words: luminous flux; referred expenses; illuminance

Introducción

La energía eléctrica empleada en la iluminación, constituye un valor no despreciable del total que se consume en las instalaciones. El incremento en la calidad de los sistemas de iluminación mejora el medio laboral y presenta un impacto significativo en el bienestar y el desarrollo de una nación (Podkowa y Surmacki, 2017; Betancourt, Arencibia y Rodríguez, 2020). Esto conlleva a que científicos de todo el mundo tributen a evaluar y mejorar los sistemas de iluminación mediante técnicas estadísticas, complejos programas computacionales y estudios de nuevas tecnologías Chacón *et al.*, 2017, Nordenfelt, Cooper y Hochstetter, 2018).

En el país, los trabajos realizados se enfocan fundamentalmente en el uso racional de la energía destinada a la iluminación tanto pública como en interiores, prestando atención a la luz natural como una solución eficiente (Castañón *et al.*, 2018; Viego, Gómez y Molina, 2018). Sin embargo, la no disponibilidad de luz natural que en ocasiones se presenta, y la laboriosa tarea de estimar su efecto, hace que no siempre sea una alternativa eficaz en términos prácticos. Por otro lado, el uso de la domótica es otra línea de investigación muy empleada en propuestas de alumbrado (García y González, 2020).

Uno de los problemas que con frecuencia se presentan a la hora de proponer un sistema de iluminación, es el de escoger la mejor variante, ello estimula la introducción de cálculos técnico económicos, donde la solución técnica es obtenida mediante una fundamentación económica. Para la selección de variantes, el uso de herramientas digitales y algoritmos matemáticos es bastante aceptado por los académicos (Moustafa *et al.*, 2017; Madias *et al.*, 2021).

Al igual que otras aplicaciones técnicas, el cálculo del número de lámparas y luminarias para suministrar el nivel de iluminación deseado a una determinada instalación, requiere del uso de técnicas matemáticas complejas, o el empleo de formulaciones más sencillas atendiendo al grado de exactitud solicitado. Uno de los métodos más utilizados es el método de los lúmenes, el cual provee un ahorro de tiempo en el cálculo, así como garantiza los requerimientos de precisión necesarios (Machado *et al.*, 2020; Camelo *et al.*, 2020).

Varios autores manejan aplicaciones computacionales para contrastar sus resultados, entre ellas se encuentran los softwares Dialux y Matlab entre otros, como técnicas de simulación y procesamiento de datos (García y González, 2020).

En la presente investigación se realiza una propuesta de instalación de alumbrado en el interior de un local para una pequeña industria eléctrica para el montaje de aparatos electrónicos. Para ello se tiene en cuenta las alternativas de iluminación con lámparas fluorescentes y LED, donde se pretende seleccionar la mejor variante desde el punto de vista técnico económico a través del plazo de compensación en forma de gastos referidos o gastos totales anuales, desarrollada por Feodorov y Rodríguez (1980). Los cálculos de iluminación se basan en el método de los lúmenes. Para el análisis de los indicadores de iluminación se considera la herramienta de cálculo MATLAB R2018b.

Materiales y métodos

El diseño de una instalación eléctrica de alumbrado responde al nivel de iluminación adecuado a la tarea visual que se pretende desarrollar en un lugar específico.

De forma general, para la realización del cálculo de iluminación se siguen los siguientes pasos:

- Determinación del nivel de iluminación requerido, mediante las tablas correspondientes
- Selección del sistema de alumbrado, lo que determina, a su vez, el tipo de luminaria
- Selección del método de iluminación
- Cálculo del número de lámparas y luminarias necesarias
- Distribución de las luminarias

Método de los lúmenes

El método de los lúmenes determina el método de iluminación medio en lux a suministrar a una instalación; la precisión en el cálculo está dada por la correcta valoración de cada uno de los factores que intervienen en su formación analítica (Mazorra y Gironella, 1986).

Para determinar el nivel de iluminación o iluminancia, expresada en lux, se describe la ecuación 1 presentadas por varias investigaciones (Valencia *et al.*, 2016; Pérez, Martínez y Gómez, 2020).

$$E = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Donde F es el flujo luminoso (lm) y S es la superficie en estudio (m^2).

Para una instalación, en condiciones reales de explotación, donde la luz incidente sufre alteraciones durante su trayectoria, la ecuación 1 pudiera considerarse como se presenta en (2), según varios autores (Camacho, Martínez y Juárez, 2016; Valencia *et al.*, 2016; Volkov, Chelyshkov y Brazhnikov, 2019).

$$E = \frac{k_u \cdot k_{ds} \cdot F_l \cdot n}{S} \quad (2)$$

Donde F_l es el flujo luminoso por lámpara, k_u coeficiente de utilización, k_{ds} coeficiente de depreciación por suciedad o coeficiente de mantenimiento (0,6 para un ambiente sucio y 0.8 para un ambiente limpio) y n es el número de lámparas.

Ya que en el proceso de cálculo lo primero que se determina es el nivel de iluminación requerido y, lo deseado, es determinar el número de lámparas necesarias, se llegará a lo siguiente mediante el despeje de la ecuación 2. En este trabajo se considera una lámpara por luminaria.

$$\rightarrow n = \frac{E \cdot S}{F_l \cdot k_u \cdot k_{ds}}$$

Asimismo, el coeficiente de utilización establece la relación entre el flujo luminoso que llega al plano de trabajo (F_p) y el flujo generado por las lámparas (F_{gl}), como se presenta en (3).

$$k_u = \frac{F_p}{F_{gl}} \quad (3)$$

Este coeficiente toma en cuenta la eficiencia y distribución de la luminaria, la altura de montaje, las dimensiones del local, la reflexión de las paredes, techo y suelo. Bajo estos efectos, el coeficiente de utilización es tomado en cuenta mediante el coeficiente k .

Según Zanker (1980) y Camelo, (2020), el coeficiente k puede determinarse mediante la ecuación 4.

$$k = \frac{a \cdot b}{h_{cp} \cdot (a + b)} \quad (4)$$

Donde h_{cp} es la altura de la cavidad del local (m), a es el largo del local (m) y b es el ancho del local (m).

La figura 1 muestra las respectivas cavidades de un local.

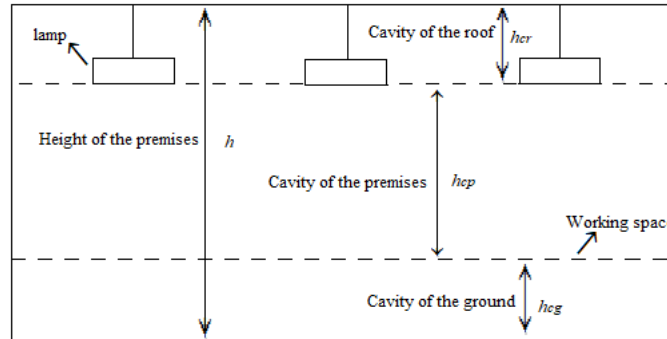


Figura 1. Representación de las cavidades.

En la presente investigación se tiene en cuenta un valor h_{cr} despreciable, ya que se pretende la instalación de las luminarias ajustadas en el techo del local.

La tabla 1 muestra las características físicas de la instalación.

Tabla 1. Características del local

Elements	Values
a	10 m
b	3 m
h_{cg}	0,7 m
h_{cp}	1,8 m
h	2,5 m

Los factores de reflexión de las paredes y techo dependen de la claridad que presenten dichas partes de la instalación, cuyos valores se encuentran tabulados en la literatura. La tabla 2 muestra los valores de reflectancia que son empleados con mayor frecuencia para el techo y las paredes en función del color (Pérez, Martínez y Gómez, 2020; Camelo *et al.*, 2020).

Tabla 2. Coeficientes de reflectancia

Tonality	Reflectance
White color	0,7
Clear color	0,5
Medium tonality	0,3
Dark color	0,1

Distribución de las luminarias

La distribución de las luminarias está en dependencia de las características estructurales del local y tipo de luminarias, entre otros. Una vez calculado el número de luminarias, se debe distribuir sobre la planta del local. El caso en estudio, se debe realizar en un local rectangular, por lo que las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del mismo según Machado *et al.*, (2020), atendiendo a las ecuaciones 5 para el número de luminarias a lo ancho de la instalación y 6 para la cantidad de luminarias distribuidas a lo largo de la misma.

$$n_{ancho} = \sqrt{\frac{n}{a} \cdot b} \quad (5)$$

$$n_{largo} = n_{ancho} \cdot \frac{a}{b} \quad (6)$$

Para proveer una distribución adecuada de iluminación, se debe considerar el máximo espaciamiento permisible entre luminarias recomendado por el fabricante en función de la altura de montaje. Algunos autores recomiendan una distribución acorde a lo establecido en la tabla 3, donde se refleja una separación entre luminarias en función de la altura a la cual se encuentran localizadas (Mazorra y Gironella, 1986; Machado *et al.*, 2020).

Tabla 3. Distribución de las luminarias en función de la altura

Height of the premises	Separate between lights
> 10 m	$e \leq 1,2 \cdot h$
4 - 6 m	$e \leq 1,5 \cdot h$
≤ 4	$e \leq 1,6 \cdot h$
Distance between the wall and light: $e/2$	

Determinación de la altura de montaje

La altura de montaje de las luminarias se caracteriza, de manera general, por el nivel de iluminación a alcanzar, por la curva de iluminación de la luminaria y por las características estructurales del local, entre otras.

La literatura consultada considera el empleo de los valores presentes en la tabla 4 para determinar la altura de las luminarias respecto al plano de trabajo, para los distintos tipos de alumbrado (Mazorra y Gironella, 1986). Considérese h la altura del local.

Tabla 4. Altura de las luminarias respecto al plano de trabajo

Type of illumination	Height
Direct	$h_{cp}=2/3 \cdot h$
Semidirect	$h_{cp}=3/4 \cdot h$
Diffuse	$h_{cp}=4/5 \cdot h$
Indirect	$h_{cr}=h/4$

El uso del coeficiente de utilización de las lámparas y otras luminarias en una habitación cerrada depende de un grupo de factores (Zanker, 1980). Entre estos se encuentra la distribución de la luz desde la lámpara (difusa, directa o semi-directa), los factores de reflexión del techo, las paredes y el suelo, la forma geométrica de la habitación a iluminar, entre otros.

El trabajo realizado en (Zanker, 1980) divide la morada en 10 clases, designadas por letras desde la *A* hasta la *J*, en función del factor *k* obtenido mediante la ecuación 4. La tabla 5 muestra las categorías según el rango de *k* propuesto por (Zanker, 1980).

Tabla 5. Coeficiente *k* para cada categoría

k	Categoría
Less than 0.70	J
0,7-0,90	I
0,9-1,12	H
1,12-1,38	G
1,38-1,75	F
1,75-2,25	E
2,25-2,75	D
2,75-3,50	C
3,50-4,50	B
More than 4,50	A

La clase *A* es la más favorable, mientras la clase *J* es la menos favorable desde el punto de vista de la utilización de la luz.

El rango del coeficiente de utilización para las distintas clases se presenta en la figura 2.

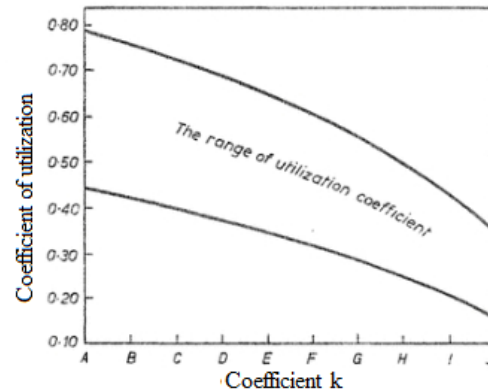


Figura 2. Rango del coeficiente de utilización en función del coeficiente k. Fuente Zanker, 1980).

El límite inferior de los rangos mostrados en la figura 2 relaciona la difusión de la luz para un 30 % de factor de reflexión del techo y 10 % de reflexión de las paredes. Por otro lado, el límite superior de la curva la luz directa para un 80 y un 50 % de reflexión del techo y las paredes, respectivamente.

Simulación en MATLAB

La simulación realizada en el software MATLAB se basa en el código *contourf*, el cual crea un *filled contour plot* conteniendo las líneas de contorno de la matriz determinada, donde la matriz contiene valores de altura en el plano x-y. El software, automáticamente selecciona las líneas de contorno para mostrar. Los índices de fila y columna de la matriz son las coordenadas x y y en el plano, respectivamente.

Características técnicas de las lámparas

Las características técnicas de las lámparas se presentan en los catálogos que ofrecen los fabricantes. En base a estas se realiza el análisis técnico de la instalación. En la tabla 6 se presentan algunas de las características técnicas para cada tipo de luminaria propuesta en el estudio.

Tabla 6. Características técnicas de cada tipo de lámpara empleada en el trabajo

Type of light	Characteristics
Fluorescent	Luminous flux: 1200 lm
	P: 20 W
	Service life: 5000
	Tension: 110 V
	Frequency: 60 Hz
LED	Luminous flux: 1700 lm
	P: 18 W
	Service life: 50000
	Tension: 110-277 V
	Frequency: 60 Hz

Evaluación técnico económica para la selección de la mejor variante

En la actualidad, el criterio fundamental de selección de una solución técnica lo constituye su utilidad económica.

El rendimiento económico de una variante deberá ser evaluado tomando en cuenta tanto las inversiones capitales como los gastos corrientes (Feodorov y Rodríguez, 1980).

El método aplicado a la presente investigación es el método de plazo de compensación en forma de gastos referidos o gastos totales anuales mediante la ecuación 7.

$$G = p_N K + C \quad (7)$$

Donde C son los gastos de explotación anual y p_N es el coeficiente normativo del rendimiento del capital, el cual se corresponde con el tiempo normativo de compensación T_N y K es la inversión capital. Para estudios en el área de la energética, este valor se considera igual 0,15, esto tiene en cuenta un plazo de compensación de 6 a 7 años.

La magnitud de los gastos anuales, para el caso particular, se determinan fundamentalmente en el gasto de energía eléctrica y en descuentos de amortización (descuentos de renovación).

Los gastos en salarios del personal y reparaciones corrientes y los gastos auxiliares son muy cercanos, por lo que no se incluyen en la comparación.

Resultados

En este apartado se ofrecen los resultados obtenidos para cada propuesta de cada tipo luminaria. Se describen, además, los efectos técnico económicos en base a las características de los elementos técnicos involucrados y se determina la distribución final del local.

Como el fin de la propuesta es establecer el número de luminarias necesarios, bajo condiciones intermedias, en los cálculos se tienen en cuenta valores no tan aceptables, dado que esto ofrece mejores resultados, corrigiéndose, de este modo, cualquier error que pudiera atentar contra la baja calidad de la iluminación.

Sobre la base de los valores presentes en la tabla 1 y a través de la ecuación 4 se determina el coeficiente k . Dicho coeficiente responde, con un valor de 1,28, a un local de la clase G , según el rango presentado en la tabla 5. Para este valor de k , se determina el coeficiente de utilización k_u mediante el gráfico mostrado en la figura 2, tomando, en el caso particular, el valor intermedio de las dos curvas. Esto arroja un coeficiente de utilización de 0,4 aproximadamente.

El coeficiente de mantenimiento se considera para un ambiente sucio (0,6).

Distribución del local con lámparas LED

Sobre la base de los resultados obtenidos, los cuales responden a las características de la instalación y criterios de selección de parámetros y la correspondiente sustitución de los valores en la ecuación 2, se obtiene una distribución de 11 lámparas colocadas a lo largo de la instalación por cuatro orientadas a lo largo, como se muestra en la figura 3.

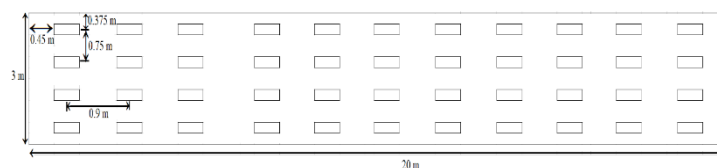


Figura 3. Distribución de las luminarias en el local.

Para verificar la efectividad de los resultados obtenidos en la distribución, se simula el arreglo del local en el software MATLAB, cuyos resultados se presentan en la figura 4. Los valores obtenidos corresponden a niveles de iluminancia.

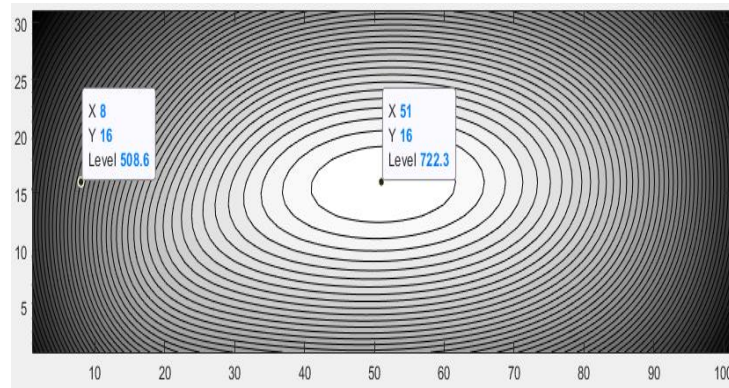


Figura 4. Niveles de iluminación.

Obsérvese que, desde el punto de vista técnico, los resultados ofrecen valores satisfactorios, ya que presentan índices de iluminación o iluminancia por encima de lo establecido en las normas (500 lux), en cuyo caso, según (Machado *et al.*, 2020 Pérez, Martínez y Gómez, 2020), los resultados son aceptables. Sin embargo, los niveles alcanzados en el centro de la habitación son bastante superiores a la norma, por lo que en aras de minimizar los costos de la instalación, se pudiera considerar el extraer algunas luminarias del centro. La disposición final de las luminarias del local, sin que se afecten los índices deseados queda como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Distribución final del local con lámparas LED.

De este modo, la morada presenta 42 lámparas distribuidas en su totalidad.

La figura 6 muestra los valores de iluminancia de la distribución final del local. De aquí se observa cómo la luz se separa del centro de la habitación.

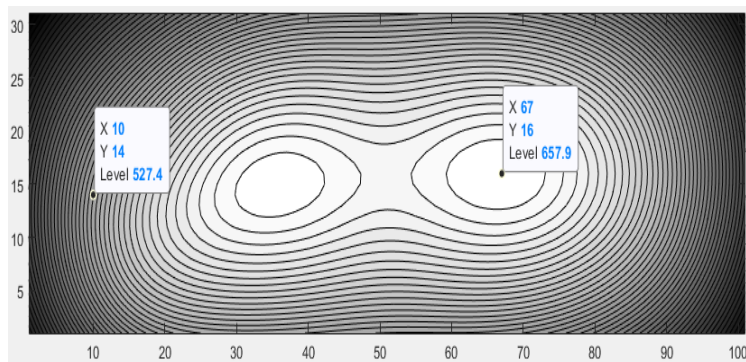


Figura 6. Distribución final de la luz en la superficie del local con lámparas LED.

Parte del código desarrollado en MATLAB se presenta en la figura 7, donde aparecen reflejadas las distancias entre cada luminaria, así como la altura del local. La simulación considera el flujo luminoso de cada lámpara por unidad de superficie, esta última considera una distribución de la luz de forma esférica.

```

1 - light2 = @(x,y,d) 1700./(4*pi*(x - d).^2 + (y - (3/8)).^2 + 1.8^2));
2 - light3 = @(x,y,d) 1700./(4*pi*(x - d).^2 + (y - (3/8+3/4)).^2 + 1.8^2));
3 - light4 = @(x,y,d) 1700./(4*pi*(x - d).^2 + (y - (3/8+3/4+3/4)).^2 + 1.8^2));
4 - light5 = @(x,y,d) 1700./(4*pi*(x - d).^2 + (y - (3/8+3/4+3/4+3/4)).^2 + 1.8^2));
5 - [X,Y] = meshgrid(0:0.1:10, 0:0.1:3);
6 - contourf(light2(X, Y, 10/22)+light2(X, Y, 10/22+10/11)+light2(X, Y, 10/22+10/11+10/11)+light2(X, Y, 10/22+10/11+10/11+10/11)
7 +light3(X, Y, 10/22)+light3(X, Y, 10/22+10/11)+light3(X, Y, 10/22+10/11+10/11)+light3(X, Y, 10/22+10/11+10/11+10/11)
8 +light4(X, Y, 10/22)+light2(X, Y, 10/22+10/11)+light4(X, Y, 10/22+10/11+10/11)+light4(X, Y, 10/22+10/11+10/11+10/11)
9 +light5(X, Y, 10/22)+light2(X, Y, 10/22+10/11)+light5(X, Y, 10/22+10/11+10/11)+light5(X, Y, 10/22+10/11+10/11+10/11)
10- colormap('gray'); axis equal tight
    
```

Figura 7. Fragmento del código desarrollado en MATLAB.

Distribución del local con lámparas fluorescentes

De manera similar se procede con las lámparas del tipo fluorescentes, en la que se eliminan algunas luminarias para reducir los costos, sin que esto afecte los índices de iluminación de manera significativa.

De este modo, la distribución de las lámparas del tipo fluorescentes queda representada en la figura 8.

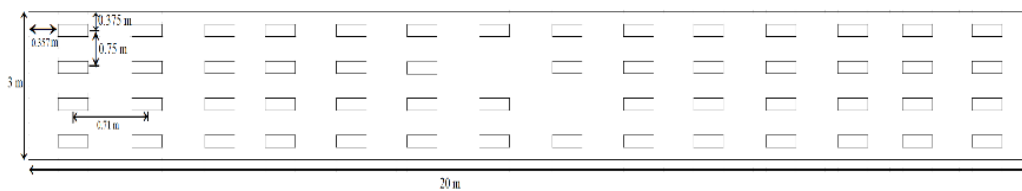


Figura 8. Distribución final de las lámparas fluorescentes.

Al eliminar otras lámparas, la iluminancia queda por debajo de lo deseado, por lo que se debe adoptar de este modo. Como se aprecia, se distribuyen 54 lámparas en su totalidad.

En la figura 9 se muestra como la iluminancia queda dentro de los límites requeridos.

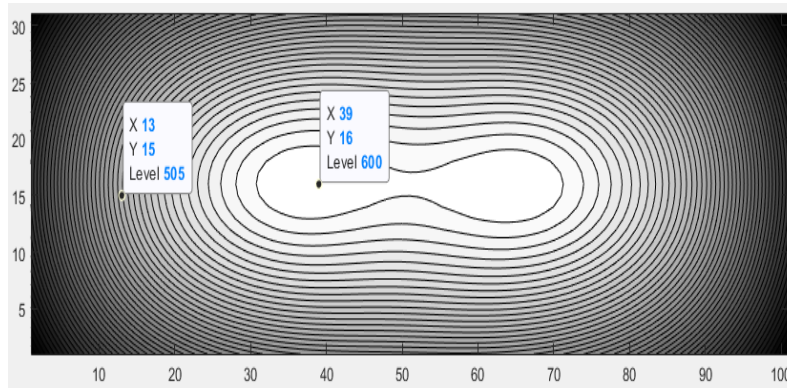


Figura 9. Distribución de la luz en la superficie del local con lámparas fluorescentes.

Resultados técnico económicos

Durante la proyección de cualquier instalación, se debe seleccionar la variante más adecuada sobre la base del análisis que se realiza, desde los índices técnicos y económicos.

Los índices técnicos pueden estar constituidos por la durabilidad de la instalación, volumen de las reparaciones corrientes y capitales, comodidad de explotación, entre otros. Mientras que, los índices económicos se presentan fundamentalmente por las inversiones capitales y los gastos anuales.

En la tabla 7 se muestran los gastos de explotación anual y la inversión capital característico de cada propuesta presentada.

Table 7. Gastos de explotación anual e inversión capital para cada propuesta

Type of lamp	LED	Fluorescent
Consumption of yearly energy (\$)	0,2376	0,264
Capital investment (\$)	588	1614,6

Por otro lado, los gastos referidos anuales para cada propuesta realizada, obtenidos mediante la expresión 7, se representan en la figura 10.

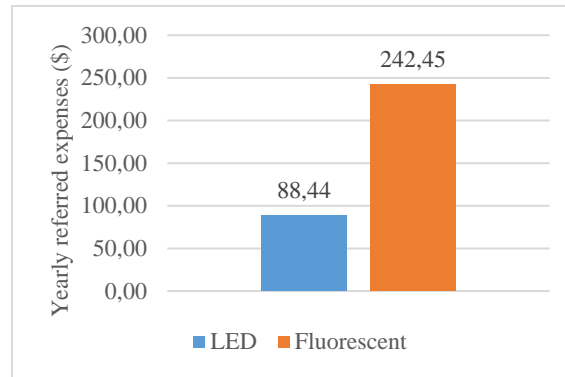


Figura 10. Gastos referidos anuales.

De la figura 10 se deduce que, aunque los gastos referidos anuales presentan un valor pequeño, la diferencia entre ambas propuestas es considerable, siendo la iluminación LED económicamente más asequible.

Por otro lado, desde el punto de vista técnico, la vida útil de las lámparas LED es superior respecto a las lámparas fluorescentes, por lo que desde esta perspectiva también es más atractiva la alternativa con iluminación LED.

Conclusiones

La propuesta de instalación de iluminación mediante el método de los lúmenes resulta de ubicar 42 lámparas LED distribuidas en local.

La simulación revela que los valores obtenidos para ambas propuestas se enmarcan en el rango establecido por la literatura consultada.

Desde el punto de vista técnico económico se indica que, aunque ambas propuestas garantizan niveles aceptables de iluminación, el uso de luminarias LED en la instalación resulta más aliciente.

Referencias bibliográficas

BETANCOURT, U. M.; ARENCIBIA, G. F. Y RODRÍGUEZ, Y. S. 2020. *Evaluación del sistema de iluminación del área de producción del Centro de Elaboración de la Unidad Administrativa Comercial CENTRO. Monografías 2020*. Universidad de Matanzas, ISBN 978-959-16-4472-5.

- CAMACHO, U.; MARTÍNEZ, I. Y JUÁREZ, C. 2016. Regulación luminosa mediante sensores fotoreceptores para su uso en la domótica. *Pistas Educativas* 38(121): 48-60.
- CAMELO, E; NOVELO, E.; MAY-CEN, I.; MEZQUITA, R. & TAMAYO, E. 2020. Optimización de la iluminación interior para una nave industrial. *Revista del Centro de Graduados e Investigación* 35(81): 46-50.
- CASTAÑÓN, M. C.; RAVELO, A.; SALMERÓN, F.; CISNEROS, C.; VIVAR, R. & VILLANUEVA, E. 2018. Eficiencia Energética en Iluminación. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 5: 2-10.
- CHACÓN, R. A.; MEZA, C. B.; BRAGA, H.; ALEMIDA, P. & CASAGRANDE, C. 2017. Proceso de diseño de sistemas de iluminación LED energéticamente autónomos. *Tecnología en Marcha* 30(4): 52-65. Disponible en: DOI <https://DOI:10.18845/tm.v30i4.3411>.
- FEODOROV, A. A. Y RODRÍGUEZ, E. L. 1980. *Suministro eléctrico de empresas industriales*. Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana.
- GARCÍA, E. V. Y GONZÁLEZ, A. I. 2020. Solución de iluminación eficiente energéticamente para una vivienda sustentable. *Ingeniería Energética* 41(2): 1-11.
- MACHADO, E.; NUELA, S.; LÓPEZ, A. & MOSQUERA, D. 2020. Evaluación niveles de iluminación en interiores y cálculo para instalaciones de alumbrado. En: Proceedings of the VI Congreso Internacional de La Ciencia y la Tecnología. *Emprendimiento e Innovación* 13-36.
- MADIAS, E.; DOULOS, L. T.; KONTAXIS, P. & TOPALIS, F. 2021. A decision support system for techno-economic evaluation of indoor lighting systems with LED luminaires. *Operational Research* 21(2): 1403-1422. Disponible en: <https://10.1007/s12351-019-00485-1>.
- MAZORRA, J. S. Y GIRONELLA, J. F. 1986. *Suministro eléctrico industrial*. ISPJAE, La Habana.
- MOUSTAFA, F. S.; EL-RAFEI, A.; BADRA, N. & ABDELAZIZ, A. 2017. Application and performance comparison of variants of the firefly algorithm to the Economic Load Dispatch problem. En: *Proceedings of the 2017 Third International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB)*: 147-151. Disponible en: <https://10.1109/AEEICB.2017.7972401>.

- NORDENFELT, P.; COOPER, J. M. Y HOCHSTETTER, A. 2018. Matrix-masking to balance nonuniform illumination in microscopy. *Optics EXPRESS* 26(13):17279-17288. Disponible en: DOI <https://doi.org/10.1364/OE.26.017279>.
- PÉREZ, J. F.; MARTÍNEZ, F. M. Y GÓMEZ, J. A. 2020. Sistema de control de iluminación para los galpones avícolas en la granja experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander-Ocaña (UFPSO). *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* 3(Especial): 1-10.
- PODKOWA, P. Y SURMACKI, A. 2017. The importance of illumination in nest site choice and nest characteristics of cavity nesting birds, *Informes científicos* 7(1): 1-9.
- SONG, J. Y ZHAO, J. 2018. Application of heliostat in interior sunlight illumination for large building. *Science Direct* 1121: 19-27. Disponible en: DOI <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.011>.
- UCHIDA, A. Y OHTANI, Y. 2006. Attempt to predict utilization factors on working plane within shadow under task ambient lighting. *Journal of Light & Visual Environmet* 30(3): 148-155.
- ULLAH, I.; LV, H.; WHANG, A. & SU, Y. 2017. Analysis of a novel design of uniformly illumination for Fresnel lens-based optical fiber daylighting system. *Energy and Buildings* 154: 19-29. Disponible en: DOI <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.066>.
- VALENCIA, H. S.; GARCÍA, R.; CERVANTES, O.; PÉREZ, G. & NAVA, I. 2016. Contador de bacterias de fermentación basados en métodos numéricos. *Revista Tecnología Digital* 6(1): 11-20.
- VIEGO, P. R.; GÓMEZ, J. R. Y MOLINA, D. C. 2017. Mejoramiento del sistema de iluminación e incremento de su eficiencia. *Eco Solar* p. 15-21. ISSN 1028-6004.
- VOLKOV, A.; CHELYSHKOV, P. Y BRAZHNIKOV, P. 2019. Features of BIM-modeling of engineering systems of the construction object. *E3S Web de Conferences* 97: 1-7. Disponible en: DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199701010>.

ZANKER, A. 1980. Calculation of room index and estimation of coefficient of utilization of luminaries by means of nomograph. *Lighting Research & Technology* 12(2): 107-109.

ZEMTSOV, V. A.; SOLOVYOV, A. K. Y SHMAROV, I. A. 2017. Illuminance parameters of the standard cie sky within natural room illumination calculations and their applications under various light climate conditions in Russia. *Light y Engineering* 25(1): 106-114.