

## Propuesta de eficiencia en el consumo energético aplicado a luminarias del edificio “C” de la Universidad Católica de El Salvador

**Alexander Adolfo Juárez Osorio**

Master of Business Administration

Docente investigador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad Católica de El Salvador, El Salvador

alexander.juarez@catolica.edu.sv

Fecha de recepción: 14-09-2016 / Fecha de aceptación: 19-02-2017

### Resumen

Un análisis de la correcta iluminación de los espacios arquitectónicos es fundamental para todo diseñador, si lo que quiere es lograr que estos ambientes cuenten con la calidad de luz adecuada para su función. La luz interior en los espacios durante el día proviene de la combinación de una fuente natural que es el sol y de la iluminación artificial; y durante la noche, se emplea solo luz artificial, que puede provenir de distintos tipos de lámparas como pueden ser incandescentes, fluorescentes, halógenos o led entre otras. Este tipo de iluminación también puede variar de acuerdo al tipo de emisión del flujo y de su ubicación acorde al uso del espacio.

Un procedimiento para analizar la iluminación artificial es el método de los lúmenes, el cual toma en cuenta la calidad de la luz con base en el tipo de luminaria, el flujo y su ubicación entre otros factores, para obtener una luz uniforme según precise el espacio. El caso de estudio es el edificio “C” de la Universidad Católica de El Salvador, el cual está compuesto por ambientes en que se desarrollan actividades de enseñanza-aprendizaje, administrativas, prácticas de dibujo, diseño arquitectónico, y otras actividades académicas en general.

La elección de una buena luminaria para estas instalaciones es importante y debe basarse en normativas que resalten la calidad y cantidad de luz que se necesite en las superficies de trabajo, para que las actividades se desarrollen de la mejor manera; tomando en cuenta que para este uso, el tipo de luminaria debe ser de incidencia directa. En la actualidad se debe tomar en cuenta la cualidad de ser eficiente en el consumo energético, sin sacrificar la calidad o intensidad de la luz.

**Palabras clave:** luminaria, edificio, eficacia energética, bombillas, calidad de luz

### Abstract

An analysis of the correct lighting of architectural spaces is fundamental for every designer, if what he wants is to ensure that these environments have the right light quality for their function. The interior light in the spaces during the day comes from the combination of a natural source that is the sun and the artificial illumination and at night, only artificial light is used, which can come from different types of lamps such as incandescent, fluorescent, halogen or led among others. This type of illumination can also vary according to the type of emission of the flow and its location according to the use of the space.

A procedure for analyzing artificial lighting is the method of lumens, which takes into account the quality of light based on the type of luminaire, the flow and its location among other factors, to obtain a uniform light according to the space required. The study case is the building “C” of the Universidad Católica de El Salvador, which is composed by environments in which teaching-learning activities, administrative, drawing practices, architectural design, and other academic activities in general are developed.

The choice of a good luminaire for these installations is important, and it should be based on regulations that highlight the quality and quantity of light that is needed on the work surfaces, so that the activities are developed in the best way; Taking into account that for this use, the type of luminaire must be of direct incidence. At present the quality of being efficient in the energy consumption must be taken into account without sacrificing the quality or intensity of the light.

**Key words:** luminaire, building, energy efficiency, light bulbs, light quality

## 1. Introducción

En el edificio “C” de la Universidad Católica de El Salvador, sede Santa Ana, la iluminación interior depende de dos fuentes de luz disponibles: la luz natural y la luz artificial. El énfasis de la investigación estuvo dirigido hacia la segunda, respecto a la cual se hizo un estudio implementando el método de los lúmenes para el análisis de eficiencia energética, partiendo del uso de luminarias de tipo fluorescente en tubo T8 y bombillas con base E27, cuya eficiencia y rendimiento del color varían considerablemente con el uso; perdiendo intensidad en la luz, además de que sus componentes son poco resistentes a los impactos.

El sistema de bombillas en espiral tiene una base modelo E27 de 900 lúmenes, que consume 15 watts, mientras que otro sistema utiliza tubos T8 con base bipin tipo G13 con una intensidad de 2100 lúmenes. Ambos sistemas poseen un consumo tipo “B”, tomando como referencia comparativa que “A++” es la clasificación más reciente de más alta eficiencia; y “E” es el de mayor consumo energético para luminarias (Unión Europea, 2012). Estas lámparas y balastos son muy eficientes, por lo que es posible reducir el consumo de energía comparada con la bombilla incandescente (desde un 65% hasta un 75%), según datos promedios obtenidos de fabricantes como Phillips y OSRAM. Sin embargo, su tiempo de vida útil no es suficiente según los requisitos de las normas

LEED<sup>1</sup> (acrónimo de *Leadership in Energy & Environmental Design*, que es un sistema de certificación de edificios sostenibles).

Se realizó una comparación de costos con la implementación de un sistema de iluminación más eficiente como el sistema LED (sigla de la expresión inglesa light-emitting diode, ‘diodo emisor de luz’), el cual se caracteriza por tener una vida útil prolongada con alta resistencia a los impactos accidentales, su calidad de luz es constante con el tiempo; y sobre todo, por tener más bajo consumo energético con una clasificación A+.

Tomando como apoyo las indicaciones de eficiencia en iluminación de las normas LEED Ver.4.0 O+M, publicadas el 1 julio de 2016, enfocadas directamente para operación y mantenimiento en edificios existentes de tipo educativos, se tomaron las bases para la implementación de un sistema de tipo LED por sus características principales: sistema de iluminación de superior eficacia (mínimo consumo de energía medido en Watts), máxima vida útil en horas, calidad de la luz o rendimiento del color IRC (colores definidos y agradables); encendido e intensidad instantánea y ausencia de zumbidos o parpadeos. Todos estos criterios son fundamentales para saber elegir la iluminación adecuada para el lugar que se está proyectando su uso, según las normas LEED. Finalmente, es importante aclarar que el cambio de un sistema de iluminación fluorescente a uno led no es

1. LEED es un programa de certificación independiente para el diseño, la construcción y la operación de construcciones y edificios sustentables de alto rendimiento. Desarrollado en el año 2000 por el U.S. Green Building Council (USGBC).

fácil; pues no es correcto sustituir las lámparas simplemente una a una, ya que se requiere un análisis de calidad de la luz, eficiencia e incidencia en la superficie de trabajo para encontrar la correcta propuesta a implementar.

Para la aplicación del método de los lúmenes fue necesario definir los aspectos más importantes para la obtención de información de las luminarias:

#### **a. Iluminación de los espacios de trabajo en interior**

La norma europea sobre iluminación de los lugares de trabajo (UNE-EN 12464-1:2012), respecto a la iluminación de estos espacios en interior, define los parámetros recomendados para los distintos tipos de áreas, tareas y actividades. Las recomendaciones de esta norma, en términos de cantidad y calidad del alumbrado, contribuyen a diseñar sistemas de iluminación que cumplan con las condiciones de calidad y confort visual, permitiendo crear ambientes agradables para los usuarios de las instalaciones. El valor a utilizar de esta normativa es en luxes.

#### **b. Aplicación de tipos de luminarias**

Dependerá del lugar a iluminar y de la tarea a desarrollar, tomando en cuenta parámetros de flujo luminoso, iluminancia, rendimiento, índice de reproducción cromática (IRC)<sup>2</sup> y características especiales de funcionamiento (tiempos de encendido, reencendido y posición de funcionamiento).

- Flujo luminoso: cantidad de luz emitida por una fuente luminosa, medida en lúmenes.

- Iluminancia: flujo luminoso que incide sobre una superficie. Se representa en luxes.
- Índice de reproducción cromática: la capacidad de una fuente de luz de resaltar fielmente los colores. Estos juegan un papel importante en el reflejo de la luz en una superficie. (Dato a tomar en cuenta por las normas LEED V4).

#### **c. Clasificación de la iluminación según fuentes**

- Natural: La fuente más importante es el sol y es uno de los factores más difíciles de modificar o adaptar.
- Artificial: Se basa fundamentalmente en la generación controlada de la luz, aprovechando algunos fenómenos de termoradiación y luminiscencia que pueden lograrse dentro de las unidades de iluminación conocidas como lámparas.

El tipo de alumbrado se puede clasificar en distintos grupo según su función y ubicación con respecto a las áreas de trabajo. Los que aplican para el estudio del edificio “C” son los siguientes:

- Alumbrado general: proporciona una iluminación uniforme sobre toda el área iluminada.
- Alumbrado general localizado: proporciona una distribución no uniforme de la luz, de manera que esta se concentra sobre las áreas de trabajo o algunas áreas en pasillos.
- Alumbrados especiales: emergencia, señalización, decorativo, etc.

2. El autor también se referirá a este término dentro del artículo mediante sus siglas.

Los sistemas de iluminación general se clasifican según el porcentaje de luz total emitida arriba y debajo del plano horizontal que pasa por la lámpara, visualmente se pueden apreciar en la figura 1.



**Figura 1.** Clasificación de luminarias según el tipo de distribución fotométrica.

**Fuente:** Escan S.A. (2006). Guía Técnica de Iluminación Eficiente; p. 22

Inicialmente se deben tomar las medidas de seguridad que esta práctica exige y verificar el buen estado y funcionamiento del equipo a utilizar para el proceso. El equipo básico reco-

mendado es un luxómetro, utilizando la escala de medición en lux, instrumento de medición preferiblemente en metros, tabla para toma de datos, tabla informativa de iluminación recomendada y tabla de coeficientes de reflexión.

La información básica para cada espacio es el nombre para identificarlo, sus dimensiones: largo, ancho y alto; uso o función del mismo, medir la altura de las superficies de trabajo (mesa, mostrador o escritorio); identificar el color y texturizado en las superficies de techo, paredes y suelo para el cálculo del coeficiente de reflexión; y el análisis del ambiente para identificar el coeficiente de mantenimiento del espacio.

#### d. Costo Promedio de kilowatt hora

Según datos obtenidos del sitio web de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET), el costo por kilowatt (kWh) ha variado desde el año 2002, según se resume en la tabla 1.

**Tabla 1.** Precios de kilowatt hora durante los años 2002 - 2016

Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Precio kilowatts en dólares	0.08	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09	0.10	0.12	0.16	0.13	0.16	0.20	0.18	0.14	0.11

**Fuente:** Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (s.f.)

En los últimos catorce años, el precio del kilowatt ha variado desde un mínimo de \$0.07 hasta \$0.20. Debido a que no presenta una tendencia fija en sus precios, es difícil hacer una proyección de aumento o reducción para los

próximos quince años, por lo que como dato de partida para los primeros cinco años, se tomó el valor actual de \$0.11. Para los próximos diez años, se trabajó con un aumento propuesto del 30%, proyectando un valor de

\$0.14; y para quince años, otro aumento propuesto del 30% a fin de tener un valor aproximado de \$0.18 por kilowatt .

#### e. Vida de la lámpara

Las lámparas incandescentes dejan de funcionar de manera brusca, aunque mantienen prácticamente constante el flujo luminoso a lo largo de toda su vida. Sin embargo, en el resto de fuentes de luz se produce una depreciación del flujo luminoso, emitido a lo largo de su vida útil, por lo que es importante determinar cuándo deja de ser funcional, pues este lapso suele ser en un tiempo antes de dejar de funcionar.

Teniendo en cuenta lo anterior se establecen dos conceptos:

- **Vida media:** indica el número de horas de funcionamiento a las cuales la mortalidad de un lote representativo de fuentes de luz del mismo tipo alcanza el 50% en condiciones estandarizadas.
- **Vida útil (económica):** indica el tiempo de funcionamiento en el cual el flujo luminoso de la instalación ha descendido a un valor tal, que la fuente de luz no es rentable y es recomendable su sustitución, teniendo en cuenta el coste de la lámpara, el precio de la energía consumida y el coste de mantenimiento.

Lámpara	Vida Media (horas)	Vida Útil (horas)
Incandescencia	1.000	1.000
Incandescencia Halógena	2.000	2.000
Fluorescencia Tubular	12.500	7.500
Fluorescencia Compacta	8.000	6.000
Vapor de Mercurio a Alta Presión	24.000	12.000
Luz Mezcla	9.000	6.000
Vapor de Sodio a Baja Presión	22.000	12.000
Vapor de Sodio a Alta Presión	20.000	15.000

**Figura 2.** Tabla de vida de la lámpara.

**Fuente:** Escan S.A. (2006). Guía Técnica de Iluminación Eficiente; p.14

## 2. Metodología

Para el estudio de iluminación de cada espacio se tomaron las medidas con cinta métrica. Se hizo la toma de medidas por un total de 56 espacios del edificio “C”, utilizando un luxó-

metro marca EXTECH instruments, modelo EasyView 30. Las dimensiones fueron medidas en metros, tomando en cuenta el largo, ancho y alto de cada espacio (información que es de utilidad para el cálculo del índice del local k).

Se tomó nota del color y texturizado del piso, paredes y techo para poder hacer el cálculo de porcentajes de reflectancias; además, se identificó el tipo de iluminación actual, que resultó ser la misma en todos los espacios: la luminaria tipo es la fluorescente con base E23 y la fluorescente electrónica de 2x32watts o 4x32watts, con candelas tipo T8 con base bipin tipo G13, instaladas en cajas superficiales al techo de 2ft x4ft con difusor acrílico. Finalmente, para el coeficiente de mantenimiento ( $C_m$ ), el predominante resultó ser para un ambiente limpio, con un valor de 0.8 $C_m$ . (Chapa, 1990; p. 197).

Los colores institucionales utilizados para paredes son el café claro y beige claro con acabado liso; el piso es color gris claro con acabado liso y el techo, color blanco texturizado. Haciendo uso de la tabla de reflectancias de acabados (figura 3), se obtienen los porcentajes necesarios para el cálculo de coeficiente de utilización  $C_u$ .

Color o acabado	Porcentaje de luz reflejada
Blanco	85
Beige claro	75
Gris claro	75
Amarillo claro	75
Café claro	70

**Figura 3.** Tabla de reflectancias de acabados.

**Fuente:** Niebel, B.W.; Freivalds, A. (2004).

Ingeniería, Métodos, Tiempos y Movimientos; 12° Ed. Alfaomega; p.185.

El proceso de toma de lecturas de la iluminación se desarrolló ubicando el luxómetro sobre tres puntos diferentes de la superficie de trabajo o lo más cerca posible de esta; y durante dos minutos se tomaron la mayor cantidad de lecturas indicadas por el aparato de medición en cada una de las tres ubicaciones. De estas lecturas, se obtuvo un promedio como dato indicador para cada espacio.

Se identificaron las principales funciones que se desarrollan en los espacios analizados, así como la iluminación recomendada para cada uno. Conforme a esta información, los datos fueron los siguientes: sala de lectura, escritura, proceso de datos (500lux), dibujo técnico (750lux), Sala de reuniones (500lux), bodega (200lux), pasillos (100lux), servicios y aseo (100lux); aulas (500lux), escaleras (150lux), oficina y cubículos de docentes (500lux) y puesto de recepción (300lux). La iluminación en luxes indicada para cada espacio ha sido tomada de la Norma Europea sobre iluminación de los lugares de trabajo (UNE-EN 12464-1:2012).

### Cálculo de días laborables al año

Como punto de partida se tomaron los 5.5 días de trabajo en una semana (tiempo comprendido desde el día lunes hasta el día sábado a mediodía); y la cantidad de semanas que hay en un año (52 semanas). Al total de semanas se le restan tres, que son las equivalentes a Semana Santa, vacaciones Agustinas y vacaciones de fin de año, obteniendo así un total de 49 sema-

nas de utilización de luminarias para las diferentes tareas en el edificio.

Las 49 semanas resultantes se multiplican por los 5.5 días laborales, y se obtiene un total de  $265.5 \approx 266$  días laborables por año.

### **Mano de obra calificada para instalaciones y/o mantenimiento**

Este dato está reflejado en dólares americanos, y se obtuvo del laudo arbitral (2016), tomando como referencia el sueldo catorcenal de \$193.53 para personal capacitado; para un ayudante, un pago de \$157.84, y con un rendimiento promedio de diez instalaciones al día, trabajando las dos personas.

La suma de ambos sueldos es de \$351.37, repartido entre los catorce días laborables, se obtiene un costo diario de \$25.09; lo cual, dividido entre las diez instalaciones promediadas, se obtuvo un costo de \$2.51 de mano de obra de instalación para cada luminaria.

El documento también plantea un aumento del 3% anual sobre el salario base, el cual fue aplicado a la mano de obra durante las proyecciones hasta los quince años del análisis. A partir de estos datos se obtuvo una proyección de mano de obra por luminaria de \$2.83 para cinco años; de \$3.27 para diez años, y \$3.80 para el lapso de quince años.

Después de la toma de mediciones y tabulación de los datos, se analizaron los resultados para adquirir la información respecto al costo de mantenimiento y uso del tipo de luminaria

actual. Finalmente se establece una propuesta basada en un nuevo sistema para cada espacio, en sustitución del sistema fluorescente actual.

### **3. Resultados**

#### **Cálculo del uso de las luminarias en un año**

La unidad de medida para este cálculo es en horas. La luminaria para edificios de uso educativo y en general tiene una aplicación promedio de 10 horas al día; por lo que para calcular la cantidad de horas de utilización de las luminarias dentro de la Universidad, específicamente en el edificio "C", para el lapso de un año, se deben multiplicar los 266 días laborales por 10 horas. De esta operación se obtuvo un dato promedio de 2 660 horas de utilización.

También se tomó en cuenta el valor de la vida útil de la lámpara fluorescente, ya que al deteriorarse la calidad de la luz, afecta directamente el estándar de luxes de iluminación que debe tener el espacio. Por lo anterior, se decide cambiar el tubo aunque no se haya dañado en su totalidad; asimismo, se recomienda sustituir también el balastro para mantener una calidad de luz adecuada y uniforme proveniente de la lámpara. Como resultado de esta práctica, el tiempo de vida útil de un tubo fluorescente T8 es de 7 500 horas, con un tiempo de uso diario de 10 horas durante los 266 días laborales del año. Es decir, el tubo puede durar dos años con siete meses. Por otro lado, la vida útil de la bombilla fluorescente compacta es de 6 000 horas, equivalentes a dos años con tres meses.

La luminaria LED tipo T8 puede lograr una vida útil de 40 000 horas, manteniendo un rendimiento luminoso a un tiempo de uso diario de 10 horas, durante los 266 días laborales del año. Este tipo de luminaria puede durar 15 años. Pero para fines investigativos se utilizó un porcentaje de error en el tiempo: se proyectó que en cinco años podrían fallar el 2.5% de las luminarias instaladas; en una proyección a diez años, un posible 5% en fallas, y en una proyección a quince años, un 10% de fallas. Se estipuló como límite un lapso de quince años, previendo que no se puede contar con que se cumplan perfectamente el tiempo de uso indicado por el fabricante. Este tipo de luminaria ofrece mantener la calidad de la luz durante su tiempo de uso. Por otro lado, la luminaria con base E23 ofrece una vida útil de 15 000 horas, con una duración aproximada de cinco años con seis meses. La información de rendimiento utilizada fue tomada de la ficha técnica de las luminarias fabricadas por la empresa Philips.

### Método de los lúmenes para el cálculo iluminación óptima por espacio

El método de los lúmenes es una forma de calcular el nivel medio de iluminación en una instalación de alumbrado para interiores, de forma individual espacio por espacio. La misma proporciona una medida con un margen de error de  $\pm 5\%$ , obteniendo como resultado un dato en lúmenes para cumplir con las necesidades de iluminación de un lugar específico.

Para hacer el cálculo del flujo luminoso total necesario se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

En donde:

$\Phi_T$  = Es el flujo luminoso que un espacio necesita. Se obtiene en lúmenes, facilitando así el estudio.

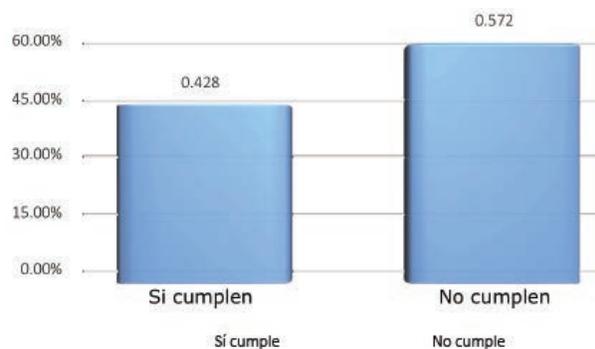
$E_m$ : Es el nivel de iluminación medido en luxes recomendado para cada espacio. Para el caso de estudio se utilizó la normativa UNE-EN 12464-1:2012.

$S$ : Es el área del espacio a analizar; se obtiene de la multiplicación del ancho por el largo del local que se estudia y de preferencia se representa en m<sup>2</sup>.

$C_u$ : Es el coeficiente de uso; indica la relación entre el número de lúmenes emitidos por la lámpara y los que llegan efectivamente al plano ideal de trabajo. En este coeficiente influye el área del local que se está analizando, la altura de superficie de trabajo y los coeficientes de reflexión de las superficies. También se deben tomar en cuenta las indicaciones de las normas LEED.

$C_m$ : Es el coeficiente de mantenimiento del local, relacionado a la limpieza del mismo. Si el lugar se mantiene en constante limpieza, su coeficiente es de 0.8; si no está muy limpio su coeficiente será de 0.6.

Tomando como referencia la tabla de iluminación propuesta en la Norma Europea sobre iluminación de los lugares de trabajo (UNE-EN 12464-1:2012), se realizó la toma de medidas por cada espacio del edificio “C”, utilizando un luxómetro. De 56 espacios estudiados dentro del edificio “C”, el 42.8% sí cumple con la cantidad de iluminación adecuada para su función, pero un 57.2% de los espacios no poseen la iluminación recomendada para su uso según normativa (ver figura 4).



**Figura 4.** Resultado de medida de iluminación de luxes por espacio.

Para analizar el cumplimiento de la estrategia cuatro, se utilizó como base la tabla de reflectancias de acabados, tomada del libro: Ingeniería. Métodos, Tiempos y Movimientos (2004); y los colores con que están pintadas las superficies de los espacios del edificio. Estos cálculos se detallan a continuación:

Características del edificio	Porcentaje de reflexión
Techo color blanco con superficie texturizada	85%
Paredes con superficie lisa (beige claro)	75%
Suelo de superficie lisa (gris claro)	75%

**Figura 5.** Cuadro resumen de datos sobre reflexión de luminarias.

Los datos resultantes del estudio se encuentran en un rango mayor al 25% indicado por la teoría consultada, por lo que las especificaciones del edificio “C” cumplen adecuadamente con las estrategias de las normas LEED.

### Análisis y mejoras del sistema actual de iluminación

El sistema actual de iluminación está compuesto, en su mayoría, por lámparas fluorescentes modelo T8 con base G13 bipin, de 2100 lúmenes, que consumen 32watts cada tubo. En algunos espacios la iluminación proviene de bombillas fluorescentes compactas tipo espiral, con base E23 de 900 lúmenes de 15watts cada una. El resultado del estudio de lúmenes indicó que los espacios en que se necesitan mejorar su iluminación son especialmente las oficinas y los salones de clases, en los cuales se utiliza instrumental y equipo para el desarrollo de dibujo técnico y arquitectónico.

### Inversión inicial para el proyecto

Como resultado del estudio utilizando el método de los lúmenes, la primera recomendación es no caer en el error de proponer un nuevo sistema de iluminación que genere una sustitución de “una a una” de las luminarias. Primero se debe hacer un adecuado análisis de la necesidad de iluminación de cada espacio, y posteriormente elegir la adecuada luminaria que se puede aplicar.

Para esta propuesta, la luminaria seleccionada iguala la cantidad de lúmenes a la que actual-

mente se posee; la cual puede adquirirse fácilmente en el mercado local por la cantidad de \$13.50 cada una. El modelo es eficiente, ya que consume 18watts a comparación de los 32watts del sistema actual; cumple con normativas, y es de fácil instalación en el equipamiento que la institución posee actualmente.

Debido a que se debe sustituir todo el sistema de iluminación, la inversión inicial ronda los \$6,917.29. Para llevarlo a cabo se necesitan comprar 456 luminarias tipo T8 y 27 focos con base E27. Tomando en cuenta la inversión inicial para sustituir el sistema, el mantenimiento, instalación y consumo de energía eléctrica que se necesitará para su funcionamiento, se muestran a continuación los resultados proyectados del estudio:

#### **a. Uso del sistema LED proyectado a 5 años**

La inversión total proyectada para los próximos cinco años es de \$19 629.84, distribuidos de la siguiente forma: una inversión inicial de mejora y gastos de mantenimiento correctivo durante este tiempo de \$7,266.03, y el consumo de electricidad proyectado de \$12,363.81.

#### **b. Uso del sistema LED proyectado a 10 años**

La inversión total proyectada para los próximos diez años es de \$41,908.76, distribuidos de la siguiente forma: una inversión inicial de mejora y gastos de mantenimiento correctivo durante este tiempo de \$10 437.24, y el

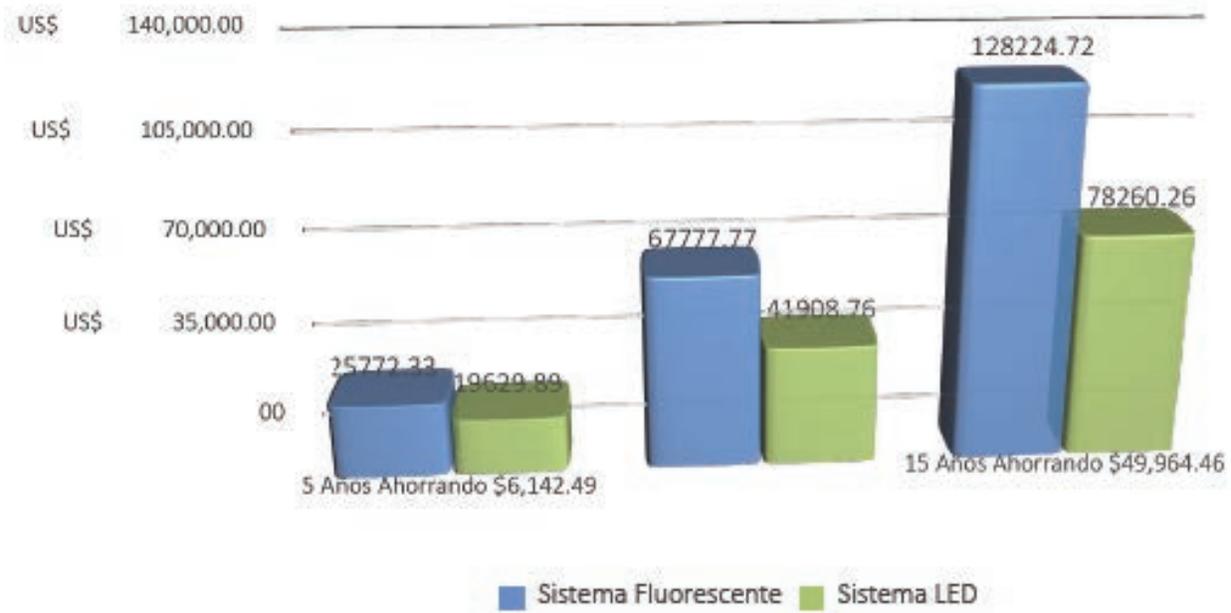
consumo de electricidad (tomando en cuenta cambios en el costo de los kilowatt) podría ser de \$31 471.52.

#### **c. Uso del sistema LED proyectado a 15 años**

La inversión total proyectada para los próximos quince años es de \$78,260.26, distribuidos de la siguiente forma: una inversión inicial de mejora y gastos de mantenimiento correctivo durante todo este tiempo de \$17 565.18, y la factura de consumo de electricidad proyectado que puede rondar los \$60 695.08.

#### **Análisis comparativo de sistemas fluorescente versus sistema led**

En la figura 6 se puede apreciar la comparación en el consumo de electricidad proyectados para ambos sistemas para cinco, diez y quince años. Queda demostrado en el cálculo y proyección a futuro, tomando en cuenta otros factores que pueden variar con el tiempo como la mano de obra y electricidad, que el sistema LED es factible y de beneficio para ser implementado en el edificio “C” de la Universidad Católica de El Salvador.



**Figura 6.** Proyección de consumo energético por sistema.

En la proyección de cinco años, tomando en cuenta gastos de mantenimiento y consumo energético para ambos sistemas, con el uso del sistema LED, la institución lograría recuperar la inversión inicial y ahorrar la cantidad de \$6 142.99 en la factura eléctrica. Por su parte, en el análisis realizado para diez años de uso del sistema, se hace una proyección de ahorro aproximado de \$25 869.01 en gastos de electricidad, equivalentes a 184 778.64 kilowatts de reducción en el consumo; mientras que en la proyección a quince años, la cantidad estimada de ahorro es de \$49 964.46, traducidos en 277,580.33 kilowatts menos, tomando en cuenta el precio proyectado para el lapso de quince años para el kilowatt.

#### 4. Discusión

Como resultado de la información obtenida por el estudio, y tomando en cuenta que se debe

cumplir con la necesidad de luz adecuada para las tareas que se desarrollan en el espacio del edificio “C” de la Universidad Católica de El Salvador, se trabajó una propuesta de mejora; aun cuando esto requiere colocar una mayor cantidad de luminarias de las ya existentes, pero siempre tomando en cuenta las indicaciones de las normativas LEED.

#### Propuesta del sistema LED en seguimiento a estrategias de normativa LEED

Cumpliendo con las primeras tres estrategias seleccionadas de las normativas LEED, el tipo de luminaria propuesta para el estudio tiene las siguientes características: es fabricada por la reconocida marca Philips, tipo T8 con base G13 bipin de 2100 lúmenes; 6500 kelvin, con un CRI de 80. Esta luminaria consume 18 watts/hora y tiene una vida útil de 40 000 horas, tomando en cuenta que la misma se ins-

tala perfectamente en las cajas de 4'x 8' que actualmente están ya ubicadas en el edificio. Ante este panorama, solo se requiere modificar la instalación eléctrica ya existente, e instalar más de ellas según la necesidad de iluminación para cada espacio; utilizando el método de los lúmenes para hacer una correcta distribución de la misma y cumplir con la normativa de iluminación para espacios interiores.

Para que el sistema de luz fluorescente cumpla con la normativa de iluminación de espacios interiores en todo el edificio, y basado en el método de lo lúmenes, actualmente debe hacerse una inversión de \$302.02 para mejorar las luminarias en los lugares que no han alcanzado el nivel óptimo de luxes para su función. Esta mejora consiste en comprar 33 lámparas fluorescentes T8 y 17 balastos, más el costo de la mano de obra para la instalación.

### **Estudio de eficiencia del sistema fluorescente**

Si en la institución se continúa con el uso del sistema de iluminación fluorescente, se tendría que hacer una inversión aproximadamente cada tres años para actualizarlo en su totalidad. De acuerdo a lo propuesto dentro de la metodología de este artículo, en cuanto al estudio de eficiencia de este sistema se hicieron cálculos para los próximos cinco, diez y quince años de uso, tomando en cuenta la inversión inicial de mejora, el mantenimiento del sistema y el consumo de energía eléctrica que se necesitará para su función. Los datos de las proyecciones son los siguientes:

#### **a. Uso del sistema fluorescente proyectado a 5 años**

La inversión total proyectada para los próximos cinco años es de \$25,772.33, distribuidos de la siguiente forma: una inversión de mejora para el primer año de \$302.02; gastos de mantenimiento correctivo durante este tiempo de \$3 834.71, y un consumo de electricidad proyectado de \$21 937.62.

#### **b. Uso del sistema fluorescente proyectado a 10 años**

La inversión total proyectada para los próximos diez años es de \$67 777.77, distribuidos de la siguiente forma: una inversión de mejora para el primer año de \$302.02; gastos de mantenimiento correctivo durante este lapso de tiempo de \$12 022.56; y un consumo de electricidad, tomando en cuenta cambios en el costo de los kilowatt, que podría ascender a la cantidad de \$55 755.21.

#### **c. Uso del sistema fluorescente proyectado a 15 años**

La inversión total proyectada para los próximos quince años es de \$128 224.72, distribuidos de la siguiente forma: una inversión de mejora en el primer año de \$302.02, gastos de mantenimiento correctivo durante todo este tiempo por \$20 516.27, y la factura de consumo de electricidad proyectado puede rondar los \$107 708.45.

### **Análisis para implementación del sistema de iluminación LED**

Se recomienda que a futuro, la universidad se oriente a cumplir en sus instalaciones con normativas de eficiencia en sus actividades; y en este caso en el consumo energético, y en la propuesta de luminarias LED. Para ello, se propone el seguimiento de indicaciones del sistema de certificación LEED (acrónimo de *Leadership in Energy & Environmental Design*) para edificios sostenibles BO&M Educativos, desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos, el cual para iluminación interior recomienda ocho estrategias a implementar (2016), de las cuales propone elegir cuatro de ellas de forma opcional.

Para el estudio e implementación del nuevo sistema se ha propuesto cumplir con las siguientes cuatro estrategias citadas textualmente de las normas LEED:

1. Para todos los espacios ocupados regularmente, utilizar lámparas con una luminancia de menos de 2500 Cd/m<sup>2</sup> (1Cd/m<sup>2</sup> = 1Lux), entre 45 y 90 grados desde el nadir (si hubiesen luminarias desde el piso).
2. Para todo el proyecto, utilizar fuentes de luz con un CRI de 80 o superior. Las excepciones incluyen lámparas o accesorios, específicamente diseñados para proporcionar la iluminación de color para crear efectos; la iluminación del sitio, o cualquier otro uso especial.

3. Para el 75% de la carga total de iluminación conectado, utilizar fuentes de luz que tienen una vida nominal (o L70 para las fuentes LED) de al menos 24 000 horas.
4. Para al menos el 90% de la superficie bruta construida habitualmente ocupada, cumplir o exceder los siguientes umbrales para la reflectancia media de las superficies, ponderada con sus áreas: 85% para techos, 60% para paredes y 25% para suelos.

### **Tiempo de retorno de la inversión comparado con el consumo de electricidad**

Para analizar el cálculo de retorno de la inversión, se ha tomado como referencia el ahorro en el consumo de electricidad que el sistema LED ofrece a comparación del sistema fluorescente. Si en este último cada luminaria consume 32 watts y el sistema LED consume 18 watts cada una, la diferencia de 14 watts es un parámetro de referencia para proyectar el ahorro en kilowatt al año y reflejarlo en dólares americanos.

Si se deben tener 456 luminarias funcionando, en un promedio de 10 horas al día por 266 días funcionales al año en la institución, con un costo de \$0.11 por kilowatt, las cifras son las siguientes:

El sistema fluorescente en el edificio "C" consume 38 814.72kW al año, generando una factura proyectada de \$4 269.62 anuales; por otro lado, el sistema LED consumiría 21 833.28kW al año, equivalentes a \$2 401.66.

La diferencia entre ambas proyecciones en el lapso de un año es de \$1 867.96, que significaría un ahorro para la institución por implementar un sistema más eficiente de iluminación. Tomando como referencia este ahorro, la inversión inicial del sistema LED que incluye mano de obra para la instalación, se recuperaría en el lapso de tres años, ocho meses y dos semanas. Se recomienda instalar sensores de movimiento en cada espacio, por cada circuito de

luminarias LED, para poder reducir aún más el consumo de electricidad a nivel general.

En conclusión, en un ambiente limpio y en constante mantenimiento, el sistema LED sería de utilidad para la institución, cumpliendo con normativas de eficiencia e iluminación, reduciendo el consumo de electricidad y ayudando a recuperar a corto plazo la inversión inicial necesaria para su implementación.

## 5. Referencias

Chapa, J. (1990). Manual de instalaciones de alumbrado y fotometría. 1er. Edición. Ed. Limusa. Diferentes sistemas de iluminación: tipos de lámparas y luminarias (s.f.). Recuperado de [http://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/blog/docentes/trabajos/3301\\_7767.pdf](http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/docentes/trabajos/3301_7767.pdf)

ERCO (2016). Espacios interiores /Espacios exteriores. Programa. Cálculo de Coeficiente de Utilización; p. 620. Recuperado de <http://www.erco.com/download/content/10-catalogues/1-complete/erco-catalogue-2016-es.pdf>

España, Asociación Española de Normalización y Certificación (2012). UNE-EN 12464-1:2012 Lighting. Iluminación de los lugares de trabajo. Recuperado de [http://www.en.aenor.es/aenor/actualidad/actualidad/noticias.asp?campo=4&codigo=21845&tipon=2#.V9La\\_ph95qN](http://www.en.aenor.es/aenor/actualidad/actualidad/noticias.asp?campo=4&codigo=21845&tipon=2#.V9La_ph95qN)

España, Comité Español de Iluminación e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2001). Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Recuperado de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_5573\\_GT\\_iluminacion\\_oficinas\\_01\\_dacd0f81.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5573_GT_iluminacion_oficinas_01_dacd0f81.pdf)

España, Comunidad de Madrid (2006). Guía Técnica de Iluminación Eficiente: Sector Residencial y Terciario. Recuperado de <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM005639.pdf>

Estados Unidos, Green Building Council (2009). Interior Lighting-Quality. Recuperado de <http://www.usgbc.org/credits/new-construction-core-and-shell-schools-new-construction-retail-new-construction-healthca-36>

Estados Unidos, Green Building Council (2016). LEED v4 for building operations and maintenance. Recuperado de [http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20v4%20EBOM\\_07.01.16\\_current.pdf](http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20v4%20EBOM_07.01.16_current.pdf)

Hinojosa, L. y Olgúin, J. (2010). Estudio de Tecnologías: Sistemas de iluminación. Recuperado de <http://docplayer.es/15850073-Estudio-de-tecnologias-sistemas-de-iluminacion.html>

Niebel, B.W. y Freivalds, A. (2004). Ingeniería Industrial. Métodos, Tiempos y Movimientos. 12<sup>o</sup> Edición. Ed. Alfaomega: México

Unión Europea, Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales (2012). Reglamento Delegado (UE) No. 874/2012 de la Comisión de 12 de julio de 2012 por lo que se complementa la Directiva de 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de las lámparas eléctrica y las luminarias. Recuperado de [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=DOUE-L-2012-81732](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=DOUE-L-2012-81732)