



ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**EFICIENCIA ENERGÉTICA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE
LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO (LED)
UTILIZADOS PARA ILUMINACIÓN EFICIENTE.**

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE INGENIERO
DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

AUTOR

Cristian Mauricio Landacay Jaramillo

DIRECTOR

Ing. Raúl Castro

Loja-Ecuador

2009

INTRODUCCIÓN

La necesidad de elevar el nivel de eficiencia energética, motiva a implementar una nueva tecnología en el sector de iluminación general. Entre ellas se encuentra la SSL (Solid State Lighting), comúnmente llamada iluminación LED, que afirma un mayor ahorro energético que el resto de tecnologías utilizadas en la actualidad. Para elegir esta tecnología, se debe respaldar en un estudio adecuado, análisis estandarizado que verifique la alta eficiencia de esta nueva tecnología y si además provee mayores o iguales beneficios económicos. En este sentido, en el presente documento se expone los resultados de un análisis comparativo del sistema de iluminación de estado sólido con el sistema fluorescente, tema principal de mi investigación.

El objetivo principal de la investigación fue, analizar el sistema de iluminación de estado sólido (SSL), si es o no factible utilizarlas para la iluminación de interiores como oficinas. La hipótesis en que se apoyo este estudio consistió en que, la tecnología SSL está reemplazando a las fluorescentes en oficinas y otros espacios de edificios, porque reporta beneficios energéticos, económicos y ambientales.

En el desarrollo de la presente investigación se utilizó el método CALIPER BENCHMARK, metodología empleada por el programa CALIPER iniciado por el Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos para la evaluación de productos LED y productos tradicionales de iluminación.

En el cuerpo del trabajo, se presentan los resultados de las pruebas ejecutadas por CALIPER, comparando las fuentes LED lineales con las fluorescentes en formatos T12 y T8, a fin de conocer sus diferencias en sus propiedades colorimétricas, fotométricas, eléctricas y de duración.

El estudio técnico tuvo como objetivo la comparación del sistema SSL y Fluorescente basados en la obtención del mismo nivel de iluminación para un edificio UPSI. Se tomaron dos casos de estudio, es decir, un edificio sin sistema de iluminación y una UPSI con un sistema de iluminación fluorescente implementado. La consecución de este objetivo permitió determinar la potencia instalada, la

iluminancia obtenida, número de luminarias empleadas, para la implementación del sistema de iluminación LED y Fluorescente.

En el análisis técnico se establece la potencia consumida, ahorro energético, número de renovaciones o reemplazos de los dos sistemas de iluminación analizados. Estos datos destacan la eficiencia de cada tecnología.

En el estudio económico se considera todos los rubros necesarios para establecer la inversión inicial y los costos operativos. Con esta información se facilita la elaboración del estado de ingresos y egresos proyectados para cada sistema de iluminación.

Como penúltimo aspecto tenemos la evaluación del proyecto, donde se expone el factor de recuperación de la inversión, cuyos resultados permitieron demostrar la no factibilidad del proyecto y en base a esto no recomendar la inversión.

Por último, se encuentran las conclusiones a las que se ha llegado mediante mi investigación, así como las recomendaciones que creo son las más importantes para llevar a cabo la ejecución del proyecto.

OBJETIVOS

General

- Analizar el sistema de iluminación de estado sólido.

Específicos

- Levantar la información base acerca de los sistemas eficientes de iluminación.
- Determinar la metodología a emplear para comparar los diferentes Sistemas de Iluminación.
- Realizar el análisis comparativo.
- Analizar los resultados obtenidos

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN-----	2
OBJETIVOS-----	4
CONTENIDO-----	5
LISTA DE FIGURAS-----	8
LISTA DE TABLAS-----	9

CAPITULO 1

SISTEMAS EFICIENTES DE ILUMINACIÓN-----	11
1.1. SISTEMA EFICIENTE DE ILUMINACIÓN-----	11
1.1.1. Eficiencia Energética-----	11
1.2. SISTEMA DE ILUMINACIÓN FLUORESCENTE-----	11
1.2.1. Lámparas Fluorescentes T8 Y T12 En Troffer-----	11
1.2.1.1. Atributos Y Construcción de la Lámpara-----	12
1.2.1.2. Operación De Lámpara-----	12
1.2.1.3. Luminaria Troffer Fluorescente-----	14
1.3. SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE ESTADO SOLIDO-----	16
1.3.1. Lámparas LED Lineales de Lámparas Fluorescentes T12 Y T8 en Luminarias Troffer-----	16

CAPITULO 2

METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA COMPARACIÓN DE SISTEMAS EFICIENTES DE ILUMINACIÓN-----	20
2.1. METODOLOGÍA TRADICIONAL-----	20
2.2. METODOLOGÍA CALIPER BENCHMARK-----	20
2.2.1. Procedimiento CALIPER BENCHMARK-----	21
2.2.1.1. Secciones un Reporte CALIPER-----	22
2.2.1.2. Fotometría utilizada por CALIPER-----	24
2.2.1.3. Configuraciones utilizadas por CALIPER-----	25

CAPITULO 3

COMPARACIÓN DE LÁMPARAS FLUORESCENTES Y LÁMPARAS LED

3.1. COMPARATIVA DE LÁMPARAS LED LINEALES CON LÁMPARAS FLUORESCENTES T12 Y T8	27
3.1.1. Rendimiento de Lámparas Fluorescentes T12 Y T8 en Troffers	27
3.1.2. Rendimiento de Lámparas LED Lineales	30
3.1.2.1. Flujo Luminoso	31
3.1.2.2. Eficacia de la Lámpara	31
3.1.2.3. Direccionalidad de la Lámpara y Eficiencia del Sistema	33
3.1.2.4. Eficacia de la Luminaria	33
3.1.2.5. Distribución de luz de la Luminaria y Resultado de Iluminación	35
3.1.2.6. Características de Color	38
3.1.2.7. Potencia	40
3.2. ACLARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LAS LÁMPARAS LED LINEALES ---	41
3.3. RESUMEN COMPARATIVO DE LÁMPARAS LED CON LÁMPARAS TRADICIONALES PARA ILUMINACIÓN EN INTERIORES	42

CAPITULO 4

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS EFICIENTES (FLUORESCENTE Y RED) DE ILUMINACIÓN PARA EL EDIFICIO UPSI 44 |

4.1. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN (FLUORESCENTE Y LED) DEL NUEVO EDIFICIO UPSI.	45
4.1.1. Sistema Fluorescente	46
4.1.1.1. Análisis Técnico	47
4.1.1.2. Análisis Económico	50
4.1.2. Sistema LED	53
4.1.2.1. Análisis Técnico	53
4.1.2.2. Análisis Económico	55
4.1.3. Resumen del Análisis Técnico Económico	60
4.1.4. Recuperación de la Inversión	63

4.2. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS EFICIENTES (LED Y FL) DE ILUMINACIÓN PARA EL EDIFICIO PROYECTADO UPSI	64
4.2.1. Sistema Fluorescente	65
4.2.1.1. Análisis Técnico	65
4.2.1.2. Análisis Económico	67
4.2.2. Sistema LED	71
4.2.2.1. Análisis Técnico	71
4.2.2.2. Análisis Económico	73
4.2.3. Resumen Del Análisis Técnico Económico	78
4.2.4 Recuperación De La Inversión	81
CAPITULO 5	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
5.1. CONCLUSIONES	83
5.2. RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFIA	86
GLOSARIO	88
ANEXOS	94

LISTA DE FIGURAS

Fig. I.1 Estructura de la luminaria troffer de óptica normal (izquierda) y parabólica (derecha)	14
Fig. I.2 Distribución de luz de la luminaria troffer de óptica normal y persianas parabólicas	15
Fig. I.3 Esquema de un sistema de iluminación de estado sólido	16
Fig. I.4 Lámparas LED Lineales Normales	17
Fig. I.5 Direccionalidad de las fluorescentes lineales (A), Lámparas LED (B y C) con relación a una estructura troffer de persianas parabólicas	18
Fig. III.1 Comparación del Flujo Luminoso de lámparas LED con las lámparas fluorescentes lineales de cuatro pies	31
Fig. III.2 Comparación del flujo luminoso medido y el dado por el fabricante de Lámparas LED y Fluorescentes de cuatro pies	32
Fig. III.3 Comparación entre la eficacia medida y valores de eficacia del fabricante de lámparas LED y Lámparas Fluorescentes lineales de cuatro pies	32
Fig. III.4 Flujo Luminoso Vs Eficacia de Luminaria del Troffer de louver parabólico y lentes con Lámparas LED y Fluorescentes Lineales de cuatro pies	35
Fig. III.5 Mediciones de la Distribución de intensidad luminosa y porcentajes de la densidad de lúmenes por zonas de una troffer de lentes con lámparas fluorescentes T12 de cuatro pies (curva 1) y LED (curva 2)	36
Fig. III.6 Mediciones de Distribución de Intensidad Luminosa y Densidad de lúmenes por zonas para una troffer de louver parabólico con dos lámparas fluorescentes T8 de cuatro pies (curva 1) y LED (curva 2)	37
Fig. III.7 Comparación valores CCT entre lámparas FL y LED lineales	38
Fig. III.8 Trazado cromaticidad de lámparas LED lineales (mostradas en diamante) Vs las especificaciones cromáticas de ANSI	40

LISTA DE TABLAS

TABLA III.1. DATOS DEL FABRICANTE Y BENCHMARK DE UNA TROFFER DE LOUVER PARABÓLICO CON DOS LÁMPARAS FLUORESCENTES	29
TABLA III.2. RESUMEN DEL PROMEDIO DE LÚMENES POR ZONAS PARA UNA TROFFER PARABÓLICA Y DE ÓPTICA NORMAL	29
TABLA III.3. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN CALIPER EN “RENDIMIENTO DE LÁMPARA SOLA” PARA LÁMPARAS FL Y LED LINEALES	30
TABLA III.4. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN CALIPER EN “RENDIMIENTO IN SITU” PARA LÁMPARAS FLUORESCENTES Y LED LINEALES EN TROFFER DE LENTES (T12) Y EN TROFFER PARABÓLICO (T8).	34
TABLA III.5. CRITERIOS DE ESPACIAMIENTO DE LÁMPARAS FLUORESCENTES VERSUS LÁMPARAS RED	38
TABLA III.6 RESUMEN COMPARATIVO DE LÁMPARAS LED CON LÁMPARAS FLUORESCENTES PARA ILUMINACIÓN EN INTERIORES.....	43
TABLA IV.1. COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN DE LA LUMINARIA	46
TABLA IV.2 LÁMPARAS FLUORESCENTES T8 QUE ESTÁN ENCENDIDAS Y APAGADAS EN DIFERENTES HORAS DEL CUARTO PISO DE LA UPSI	49
TABLA IV.3 COSTO DE CABLEADO DE LUMINARIAS ADICIONALES	57
TABLA IV.4 COBROS DE UN BANCO DE UN SISTEMA LED PARA EEXISTENTE EDIFICIO UPSI.....	57
TABLA IV.5 RESUMEN DEL ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS EFICIENTES (FLUORESCENTE Y LED) EN ILUMINACIÓN PARA EL ACTUAL EDIFICIO UPSI.....	60
TABLA IV.6 NIVELES DE EFICIENCIA	62

TABLA IV.7. RESUMEN COMPARATIVO CATEGÓRICO DEL SISTEMA FLUORESCENTE (FL) Y SISTEMA LED PARA EL ACTUAL EDIFICIO UPSI	62
TABLA IV.8 COSTO DEL CABLEADO DE UN SISTEMA FLUORESCENTE (PUNTO DE INSTALACIÓN)	68
TABLA IV.9 COBROS DE UN BANCO DEL SISTEMA FLUORESCENTE	69
TABLA IV.10 COSTO DE CABLEADO DE UN SISTEMA LED	75
TABLA IV.11 COBROS DE UN BANCO DEL SISTEMA LED	75
TABLA IV.12 RESUMEN DEL ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EFICIENTES (FLUORESCENTE Y LED) PARA EL NUEVO EDIFICIO UPSI.....	78
TABLA IV.13. RESUMEN COMPARATIVO CATEGÓRICO DEL SISTEMA FL Y SISTEMA LED PARA EL EDIFICIO PROYECTADO UPSI	80

CAPITULO I

SISTEMAS EFICIENTES DE ILUMINACIÓN

1.1. SISTEMA EFICIENTE DE ILUMINACIÓN

Es un sistema de iluminación que tiene como objetivo proveer de condiciones de visión, de seguridad y de confort a los ambientes. En la medida que se puedan lograr estas metas minimizando los costos tanto iniciales como operativos, el sistema es eficiente.

1.1.1. Eficiencia Energética

La eficiencia energética del sistema de iluminación depende tanto de la eficiencia de la instalación como de su uso.

a) Eficiencia de la Instalación

Implica el uso de lámparas, equipos auxiliares y luminarias de alto rendimiento, para lograr las condiciones de iluminación deseadas. Dicha eficiencia depende también depende del diseño de la instalación, y del espacio donde este colocado.

b) Eficiencia en el Uso

Depende de la posibilidad de reducir el consumo energético de las instalaciones, mediante el aprovechamiento de la luz natural y también, utilizando un sistema de control que apague las luces cuando el espacio se encuentra desocupado.

1.2. SISTEMA DE ILUMINACIÓN FLUORESCENTE

La iluminación fluorescente es un sistema de iluminación eficiente y popular en el mundo. Es más complejo y largo que el sistema incandescente, además está disponible en colores fríos, que lo limita para algunas aplicaciones.

EL costo inicial del sistema fluorescente es otra barrera para ampliar su uso, aunque está disminuyendo lentamente. Las lámparas fluorescentes son más costosas de instalar que el sistema incandescente, pero su vida útil es mayor, en consecuencia el costo de operación es menor al incandescente (ineficiente).

1.2.1. Lámparas Fluorescentes T8 Y T12 en Troffers

Hasta la década de 1980, gran parte de las instalaciones utilizan lámparas T12 con balastos magnéticos. Sin embargo, esta antigua tecnología ha sido en gran parte desplazada por la delgada lámpara T8 con balastos electrónicos de mayor eficiencia. Fabricantes de lámparas y balastos continúan mejorando el flujo

luminoso, eficacia, vida útil y calidad de color de las fluorescentes lineales. En este sentido, los fabricantes han logrado avances significativos en eficiencia y control óptico del sistema fluorescente.

1.2.1.1. Atributos Y Construcción De La Lámpara

Una lámpara fluorescente lineal es una fuente de descarga de vapor de mercurio a baja presión, que consta de un tubo de vidrio sellado y electrodos en cada extremo. Los electrodos (también llamados cátodos) están cubiertos con un material, que se calienta y comienza a emitir electrones estableciendo una corriente (de arco) a través de la lámpara. La energía ultravioleta (UV) generada por el arco de mercurio se irradia sobre el recubrimiento de fósforo en la pared interior del tubo, que a su vez convierte la radiación UV en rayos en el espectro visible. Las lámparas fluorescentes lineales son fuentes omnidireccionales.

Aunque las lámparas fluorescentes son disponibles en numerosas longitudes, diámetros y configuraciones, este análisis se centra en lámparas tubulares de cuatro pies de largo con diámetros de 12/8 pulgadas (T12) y 8/8 pulgadas (T8). Las lámparas fluorescentes también son clasificadas por el tipo de fósforo y apariencia de color. Las lámparas tradicionales T12 usan un único revestimiento halofósforo, formulado para producir una apariencia de color deseada, por ejemplo, blanco frío (CCT = 4100 K) o blanco cálido (CCT = 3000 K). En cambio, las lámparas T8 usan fósforos raros en una mezcla trifósforo, que combinan la luz de los colores primarios (es decir rojo, azul y verde) en la obtención de la luz blanca, en una amplia gama de valores CCT nominales. Aunque son más costosas, las lámparas trifósforo ofrecen una mayor eficacia luminosa, mejor flujo luminoso, y mejor reproducción de color que las lámparas tradicionales halophosphor.

1.2.1.2. Operación de la Lámpara

Las lámparas fluorescentes requieren un balastro para el suministro adecuado del voltaje inicial como también del control de corriente operativa de la lámpara. Los sistemas fluorescentes T12 más antiguos generalmente tienen balastros magnéticos, que usan simplemente componentes metálicos pesados para regular la corriente de la lámpara, y un mínimo de componentes electrónicos para ajustar la calidad de potencia. Los balastros magnéticos operan en las lámparas fluorescentes a una frecuencia de línea (es decir 60 Hz), que puede resultar en un parpadeo de luz visible y una vibración audible del balastro.

Las lámparas T8 están diseñadas para balastos electrónicos, los mismos que usan componentes de estado sólido, más pequeños, más ligeros, silenciosos y con un enfriamiento más rápido que los del balastro magnético. Es importante, destacar que los balastos electrónicos funcionan a una frecuencia muy alta (>20 KHz), permitiendo un incremento en el tiempo de encendido, y por ende, incremento del flujo luminoso y eficacia luminosa que las T12.

Los sistemas Lámpara – balastro son además caracterizados por el tipo de circuito de la lámpara, que describe el método de inicio de la lámpara. El método y frecuencia de inicio de la lámpara son importantes, porque el revestimiento de emisión en los cátodos es disminuido con cada ciclo de inicio, resultando eventualmente en fallas de la lámpara. Para la iluminación general de interiores, los dos tipos de circuito/balastro más comunes son:

- Rápida puesta en marcha.- El balastro de rápido arranque proporciona una baja tensión en los cátodos de la lámpara que emiten calor, antes de aplicar una tensión inicial mayor, y continúa la calefacción del cátodo hasta dar un voltaje para la operación normal de la lámpara. La continuación de calefacción del cátodo no es necesario para la operación normal de la lámpara, por eso la potencia extraída del balastro es considerada una pérdida. Sin embargo, precalentando los cátodos de la lámpara disminuye el voltaje de inicio necesario y el desgaste del cátodo, permitiendo más ciclos de inicio y más duración de la lámpara. Los fabricantes además ofrecen balastos de rápido arranque programados, que optimizan el precalentado del cátodo para extender especialmente la vida de la lámpara en aplicaciones de conmutación frecuente (por ejemplo, con sensores de ocupación).
- Inicio Instantáneo.- El balastro de inicio instantáneo ofrecen un voltaje inicial alto para encender la lámpara sin precalentamiento de los cátodos. Este método de arranque de las lámparas degradan los cátodos de las lámparas más pronto; sin embargo, eliminando la potencia perdida en el precalentamiento del cátodo normalmente hace sistemas de arranque instantáneo más eficientes.

Los sistemas fluorescentes lámpara-balastro pueden ser sintonizados para un flujo luminoso y potencia utilizada a través de la especificación de un factor de balastro

apropiado (FB), que en términos sencillos es el porcentaje de entrega de lúmenes nominales de la lámpara (lm) producidos por un sistema lámpara-balastro.

Actualmente, los balastros electrónicos de T8 están disponibles con valores FB desde 0.72 hasta 1.20. Como un ejemplo, una lámpara de flujo nominal 2800 lm (inicial) operada en un balastro con un FB de 0.88 producirá 2464 lm, o 88% de su flujo luminoso nominal, con una reducción proporcional del uso de energía. Si los niveles de luz aumentan, la misma lámpara puede ser operada en un balastro con un mayor FB y un aumento de la energía gastada del sistema. Las lámparas fluorescentes pueden ser además atenuables tan bajo como el 1% de su flujo luminoso total usando balastros electrónicos atenuables y controles asociados. Las lámparas fluorescentes son sensibles a la temperatura ambiente, que afecta a la temperatura límite y presión interna de funcionamiento de la bombilla. Generalmente, las lámparas T12 y T8 son diseñadas para un flujo luminoso máximo a una temperatura ambiente de 25°C (77°F), y los valores nominales de los fabricantes son basados en esta condición. Las temperaturas debajo o por encima de la óptima 25°C puede significativamente disminuir el flujo luminoso de la lámpara. En muchos casos, la temperatura del aire cerca de la lámpara dentro de una luminaria es mayor a los 25 °C, resultando un flujo luminoso y eficacia menor a los valores nominales del fabricante para un sistema lámpara – balastro. Con menos frecuencia, las corrientes de aire pueden enfriar la lámpara, disminuir su flujo luminoso, e interferir en el arranque y operación normal de la lámpara.

1.2.1.3. Luminaria Troffer Fluorescente

Una troffer fluorescente es un canal invertido de metal que encaja y sirve como reflector de un sistema fluorescente lámpara-balastro, tomando la luz omnidireccional de la lámpara y reflejándola en un hemisferio. Las dimensiones estándar de los troffers incluyen 1x4-pies y 2x4-pies para lámparas nominales de 4-

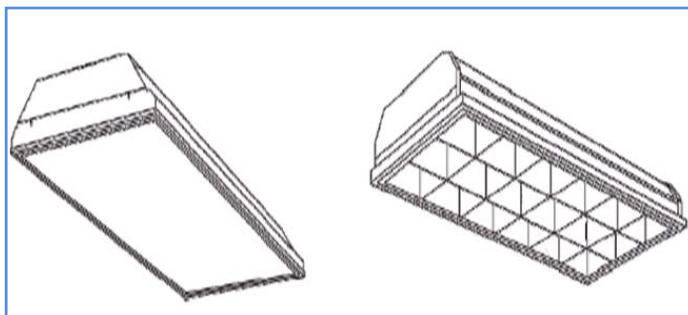


Fig. 1.1 Estructura de la luminaria troffer de óptica normal (izquierda) y parabólica (derecha) [11]

pies (lámparas T12, T8 Y T5); y las troffers de 2x2-pies para lámparas fluorescentes en forma de U y LFCs biaxiales. La luz es dirigida fuera del troffer por los lentes o por el louver parabólico (Fig. I.1).

Los lentes en los troffers fluorescentes son lentes acrílicos para difundir la luz de la lámpara y reducir el deslumbramiento. El flujo luminoso del troffer tiene generalmente una distribución en forma de coseno, similar a una lágrima (Fig. I.2). Porque los lentes actúan como difusores.

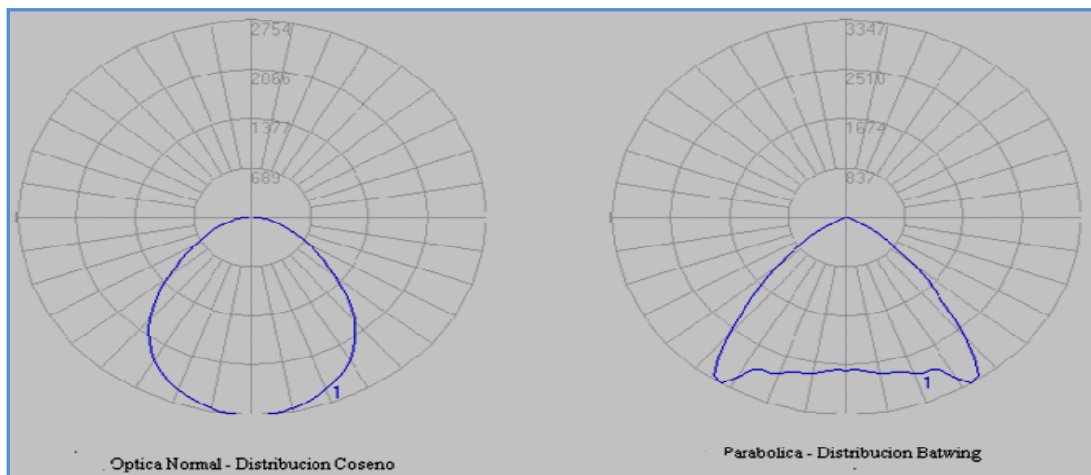


Fig. I.2 Distribución de luz de la luminaria troffer de óptica normal y persianas parabólicas. [11]

En una troffer de louver parabólico, el louver al mismo tiempo que distribuyen la luz y ayudan a proteger las lámparas de la visión directa, reduce el deslumbramiento. El louver previene la visión directa de la lámpara, y mientras permite que la luz deje la luminaria, va reduciendo el área superficial luminosa total, lo cual ayuda a controlar las reflexiones opacas en ambientes de uso intensivo de equipamientos de video (como por ejemplo salas de cómputo). Recomendada por su nombre, las louvers actúan como reflectores parabólicos, cuya característica única es reunir la luz de una fuente omnidireccional y redirigir esta en rayos paralelos. Las troffers de louver parabólico frecuentemente son conocidas por tener una distribución batwing (Fig. I.2), ideal para proveer iluminación uniforme en aplicaciones de iluminación general.

1.3. SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO (SSL)

La iluminación con dispositivos LED, tiende a ser la luz del mañana por la convergencia que representan a través de varias mejoras, las cuales están consiguiendo realizar un cambio espectacular en la industria del sector. Es más fácil controlar un arreglo de LED que cualquier otro tipo de lámparas. Sin embargo tienen su propio conjunto de requerimientos y cambios. No necesitan calentamiento, ni altos voltajes de alimentación para encenderlos, pero estos dispositivos requieren de una fuente de corriente constante y regulada para asegurar una salida de iluminación consistente y desarrollar una vida larga. En la Figura I.3 se muestra un diagrama a bloques de un sistema de iluminación de estos dispositivos alimentados desde la línea de ca, por lo tanto requieren de un filtro para eliminar interferencias electromagnéticas, un circuito rectificador, un convertidor cd/cd puesto que se requiere de un voltaje de cd para alimentar estos dispositivos y su correspondiente circuito de control.

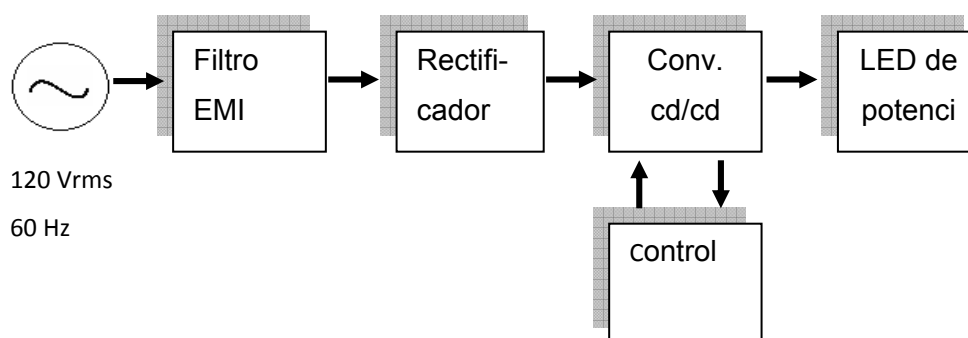


Figura I.3 Esquema de un sistema de iluminación de estado sólido [14]

1.3.1. Lámparas LED Lineales s de Lámparas Fluorescentes T12 Y T8 en Luminarias Troffer

Las fuentes LED que reemplazan a las lámparas fluorescentes lineales son básicamente un arreglo rectilíneo de LED, montados en un formato tubular, normalmente con bases bin-pin que son compatibles con las portalámparas fluorescentes estándar. A diferencia de las lámparas fluorescentes lineales, que emiten luz en un patrón omnidireccional, las LED lineales son fuentes direccionales destinadas a emitir luz del sistema más directamente (hacia abajo en el caso de

una troffer). La información del fabricante para estos productos generalmente enfoca un ahorro energético, larga vida, bajo mantenimiento, y composición libre de mercurio.

Todas las lámparas LED lineales de cuatro pies de longitud evaluadas por CALIPER se han caracterizado por ser arreglos lineales de LED blancos por conversión con fosforo (una cantidad de 36 a 300 LED por lámpara), con un driver y disipador de calor integrados. La Fig. I.4 muestra imágenes de lámparas LED lineales s. Como se ha ilustrado en estas imágenes, algunas de estas lámparas s tienen una cubierta tubular transparente de plástico y algunas tienen lentes que sirven como difusores. Todas excepto una de las lámparas LED lineales s evaluadas por CALIPER hasta ahora tienen el tamaño, forma, y conector bi-pin similar al de una lámpara fluorescente T8 normal.

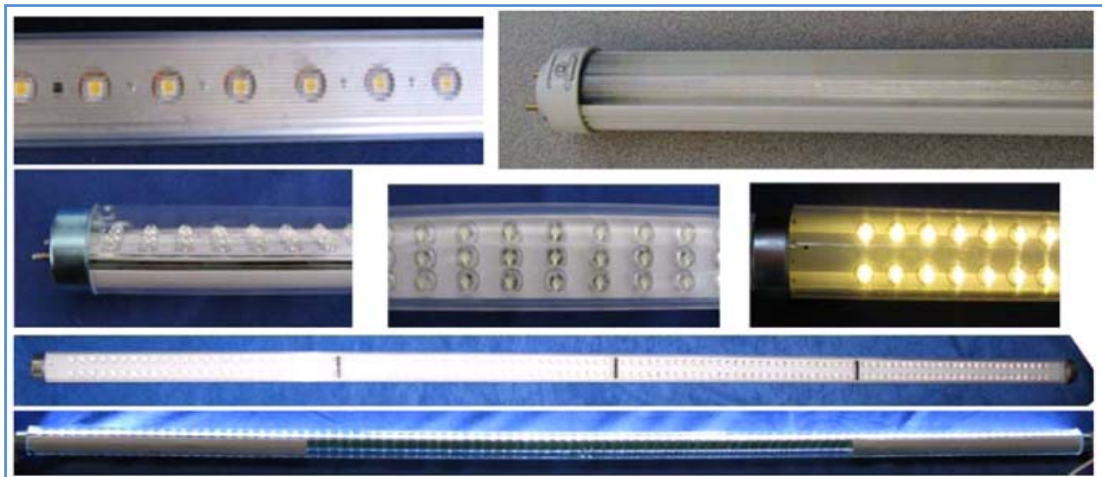


Fig. I.4 Lámparas LED Lineales Normales. [11]

Con la excepción de un producto con balastro (CALIPER prueba ID 07-56), Las lámparas LED s no necesitan el balastro fluorescente para conectarse a un voltaje lineal (120V o 227V). A pesar de la relativa facilidad de instalar apropiadamente el tamaño de las LED en las portalámparas fluorescentes, la labor para las conexiones eléctricas (debido a los componentes electrónicos de control) podría implicar gastos significativos, dependiendo de la escala del proyecto de readaptación.

Aunque comercializados para reemplazar a las lámparas fluorescentes en aplicaciones de interiores, las lámparas LED lineales evaluadas por CALIPER

están generalmente disponibles en apariencia de color fría (CCT 5000-7000 k).¹ En comparación, algunas aplicaciones comerciales e institucionales de fluorescentes emplean una apariencia de blanco frío o neutro (es decir CCT 3500 K – 4100 K). Las lámparas fluorescentes frecuentemente se integran con otras fuentes de luz (como las halógenas), y el alto CCT de las LEDs pueden crear un inaceptable contraste de color en estas aplicaciones.

Los LEDs son fuentes de luz inherentemente direccionables, que indica que las lámparas LED lineales entregan fuera de su troffer, un porcentaje total de lúmenes mayor que las fuentes fluorescentes omnidireccionales. La Fig. I.5 ilustra como la direccionalidad de una fuente de luz puede afectar en la eficiencia-sistema. La lámpara en el escenario A es una lámpara omnidireccional normal (lámpara fluorescente T12 o T8). La absorción de la luz en la estructura y louver de la luminaria limita la eficiencia-sistema entre el 60% y 70%. Los escenarios B y C muestran la dirección de la emisión de la luz de dos posibles lanzamientos de lámparas LED lineales, con el arreglo LED montado en el centro de la lámpara.

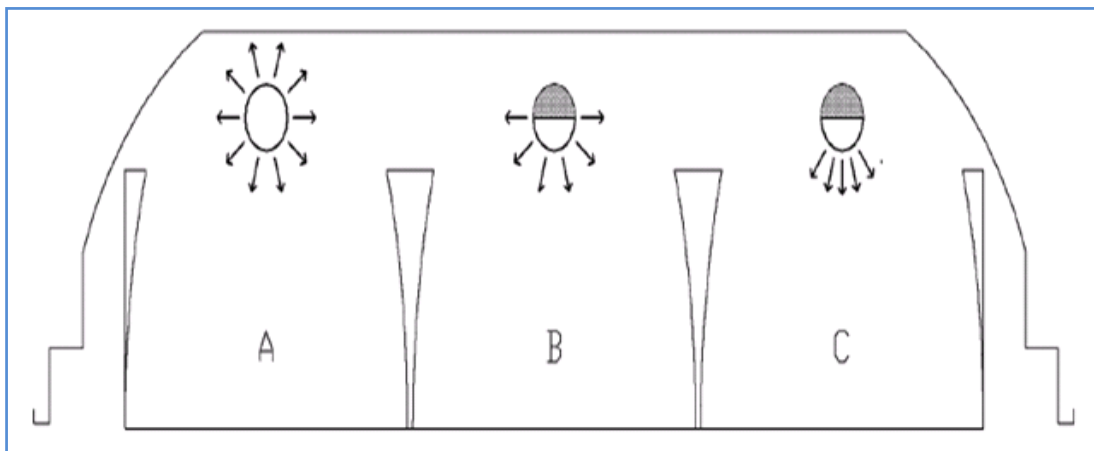


Fig. I.5 Direccionalidad de las fluorescentes lineales (A), Lámparas LEDs (B y C) con relación a una estructura troffer de persianas parabólicas. [11]

¹ Un producto LED sustituto (Prueba CALIPER ID 07 - 56) estaba disponible con los valores CCT desde 2700 K hasta 6500 K. La versión de 6500 K fue una evaluación-CALIPER.

La eficiencia-sistema es potencialmente mayor en estas configuraciones porque más cantidad de lúmenes de la lámpara son dirigidos fuera del sistema que absorbidos en los componentes del sistema. Note, sin embargo, que la troffer es diseñada para una fuente omnidireccional y que omitiendo el flujo luminoso de la lámpara en ángulos mayores a 90° se puede afectar a la distribución total de luz del sistema.

La información del fabricante para algunos productos LED lineales argumenta que en virtud de su direccionalidad, los productos LED logran igualar o superar los niveles de iluminación de los productos fluorescentes con mucho menos lúmenes totales. En el mismo sentido de oferta, la información del fabricante de las lámparas LED también implica un ahorro energético comparable con productos fluorescentes equivalentes.

La eficacia de la luminaria proporciona una medida más exacta del rendimiento LED. Las razones son inherentes a la tecnología:

- El flujo luminoso nominal de los dispositivos LED (como los dados en los datasheets de LEDs) se mide en condiciones que difieren significativamente de la operación normal como fuente luminosa (luminaria LED). Así se basa en un pulso muy corto (< 1 segundo), a una temperatura de dispositivo baja, y sin disipación de calor. Además, las especificaciones de los parámetros de prueba (corriente de control, temperatura, duración de pulso) varían por fabricante.
- Las mediciones de la fuente luminosa LED separada del sistema no dará resultados precisos, porque múltiples dispositivos LED con frecuencia se juntan en arreglos para iluminar adecuadamente. Debido a las interacciones eléctricas y térmicas, la salida de luz de los LEDs no siempre es aditiva.
- EL rendimiento del LED es significativamente afectado por elevadas temperaturas. Los dispositivos LED generan calor que suele ser removido por un disipador de calor externo, que frecuentemente es diseñado dentro de la misma luminaria. Separando la fuente luminosa de su disipador de calor impactara en los resultados evaluados.
- Puede ser poco práctico o de un costo prohibitivo separar la fuente de luz de la luminaria ya que los LEDs deben ser integrados, de tal manera que una separación física sería difícil o imposible.

CAPITULO II

METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA COMPARACIÓN DE SISTEMAS EFICIENTES DE ILUMINACIÓN

Los procedimientos para una evaluación comparativa eficaz, se basa en los procedimientos estándar IESNA, según el tipo de fuente luminosa que se emplee en el sistema que estamos evaluando. De acuerdo a la forma de evaluar las características fotométricas, colorimétricas y eléctricas del sistema de iluminación y de acuerdo a la fuente de luz que utilicemos podemos usar dos métodos para comparar dos diferentes sistemas.

- Metodología Tradicional.
- Metodología CALIPER BENCHMARK.

2.3. METODOLOGÍA TRADICIONAL

Por mucho tiempo, los valores nominales de las lámparas han sido la base fundamental para evaluar el rendimiento lumínico. El flujo luminoso nominal de lámparas incandescentes y fluorescentes son probadas bajo condiciones normales, independiente de los accesorios que intervienen. Esto permite una fácil comparación de la eficiencia energética de fuentes luminosas, basado en la eficacia del sistema.

Este procedimiento permite la comparación entre sistemas de iluminación convencional (incandescente, fluorescente, etc...), utilizando los reportes fotométricos otorgadas por los fabricantes.

2.4. METODOLOGÍA CALIPER BENCHMARK

La aparición de LEDs como fuente de luz cambia el panorama porque la eficacia del sistema no es la métrica apropiada para los LEDs. La única manera de saber la cantidad de luz que produce un sistema LED de manera segura es midiendo todas sus características en la luminaria completa. Esto da un total de lúmenes y un total de watio resultando la eficacia de luminaria en lúmenes por watio.

Comparando la eficacia de la luminaria de la fuente LED con la eficacia del sistema de las fuentes tradicionales se obtendrá resultados inexactos porque los últimos no incluyen las pérdidas térmicas y ópticas. Para asegurar que estas comparando algo

similar (por decir manzanas con manzanas), compare LED con las fuentes tradicionales basadas en la eficacia de la luminaria.

2.4.1. Procedimiento CALIPER BENCHMARK

El procedimiento CALIPER BENCHMARK colecciona y analiza los datos fotométricos publicados por los fabricantes de productos SSL y fuentes tradicionales para al final comparar el rendimiento publicado por el fabricante con el rendimiento medido en los reportes CALIPER y evaluaciones BENCHMARK.

Muchas luminarias comerciales son fotometrizadas según los procedimientos estándar IESNA para la fuente luminosa utilizada (es decir. LM-41-98 para luminarias fluorescentes de interiores, LM-46-04 para luminarias incandescentes y HID de interiores, o LM-79-08 para luminarias LED). Sin embargo, los reportes fotométricos no están disponibles para todos los tipos de sistemas. En estos casos, se debe estimar la eficiencia del sistema para una comparación razonable del rendimiento entre el LED y luminarias tradicionales. Para eliminar estimaciones El Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) ha iniciado el programa CALIPER². CALIPER a través de laboratorios de prueba de luminarias (LTL) que se sustentan en los procedimientos estándar IESNA y los métodos de fotometría absoluta y relativa que evalúan una variedad de luminarias LED y lámparas tradicionales (incandescentes y fluorescentes) en rendimiento in situ y rendimiento de lámpara sola, cuyos resultados de pruebas son disponibles para un análisis público³. Las evaluaciones del rendimiento de lámparas convencionales (es decir no LED) se denominan evaluaciones BENCHMARK y las pruebas de las lámparas LED, reportes CALIPER.

²Las pruebas CALIPER todavía serán conducidas, calificadas y verificadas por laboratorios de prueba independiente, estos se los puede conocer en:

http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/test_labs.html

³Resumen de informes de la pruebas por CALIPER están disponibles en línea en

<http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/search.html>

El tamaño y formato de la lámpara LED evaluada por CALIPER estima la compatibilidad con luminarias de iluminación comunes, con estos dos reportes se puede comparar el rendimiento mediante una serie de medidas estándar de iluminación como la potencia usada, salida y distribución de luz, eficacia luminosa, temperatura de color correlacionada, el índice de reproducción de color y la eficacia de la luminaria (estándar de comparación).

2.4.1.1. Secciones un Reporte CALIPER

Para una comprensión interna de los reportes reportes CALIPER y evaluaciones BENCHMARK, se organizan en secciones descritas a continuación.

a) Sección de Descripción

Primera sección que entrega la información específica sobre la luminaria evaluada, las condiciones del proceso de prueba. Además se encuentra el número de lámparas, el modelo, el fabricante de las lámparas, como también la tasa nominal del flujo de cada lámpara. Seguido de la información de la lámpara, el modelo y fabricante del balastro son mostrados. Se incluye la posición de montaje de la luminaria, seguida por las características eléctricas registradas durante las prueba. Finalmente, se indica la orientación del plano 0^0 (paralelo con las lámparas. perpendicular a las lámparas, o ninguno en el caso de luminarias con lámparas verticales).

b) Esquema de la Luminaria

El esquema de la luminaria es usado para comunicar gráficamente cualquier información sobre la luminaria que la descripción no explique. Esta incluye las dimensiones críticas, posición de la lámparas, y orientación durante la evaluación. Una signo más (+) indica el centro fotométrico de la luminaria evaluada.

c) Tabla de la Distribución de Candelas

Es una lista tabular de las lecturas de candelas de cada ángulo dado. Estos valores de candelas con actualizados en candelas por lúmenes nominal de la lámpara. Esto significa que estos valores no consideran el factor de balastro, depreciación de la lámpara, o efectos de temperatura. Usando las candelas por lumen nominal, es mejor para comparar varios reportes bajo una base común.

d) Gráfica Polar de Candelas

Es típicamente se halla en la esquina inferior derecha de la primera página del reporte. Es una representación gráfica de la tabla de la distribución de candela. Los ángulos son verticales y la deflexión esta en candelas por lumen nominal. Los planos laterales son representados por una línea solida (plano 0°) y por una línea de punto y raya (plano 90°).

e) Resumen del Lumen Zonal

Es una breve descripción del flujo luminoso emitido desde la luminaria dentro de un rango específico de zona. Los rangos se representan en ángulos verticales y el flujo se halla dentro del área del cono.

f) Eficiencia Total de la Luminaria.

Es la razón entre la salida de lumen de la luminaria y la salida de lumen de las lámparas solas. Este valor es el porcentaje de luz de la lámpara que sale de la luminaria.

g) Tabla de Luminancia

Es una lista tabular de los brillos promedios cuando se ha visto desde ángulos específicos. La luminancia promedio es medida en candelas por metro cuadrado y es muy importante en cálculos de deslumbramiento. Esencialmente, la luminancia promedio describe si una luminaria es más pequeña y brillante, o más grande y oscura.

h) Distribución de Candelas y Resumen de Lumen Zonal

Esta sección presenta la misma información mostrada en las tablas de resúmenes de las páginas anteriores del reporte, sin embargo los datos son mostrados en incrementos de grados más pequeños.

i) Coeficientes de Utilización

La tabla de los coeficientes de utilización es una lista de la eficiencia de la luminaria relacionada a las reflectancias de las superficies del cuarto y a la configuración del espacio. Los números superiores en la fila RC representa la reflectancia del techo. La siguiente fila de números en la fila RW representa las reflectancias de las paredes. La columna en la parte izquierda de la tabla es la razón de cavidad del cuarto o CRC. El CRC es un factor que es calculado para clasificar las proporciones del cuarto. Un alto CRC significa que el cuarto tiene un alto cielo raso o una larga

longitud del perímetro con respecto a su área. Un bajo CRC indicaría un bajo cielo raso, o una pequeña longitud del perímetro con respecto a su área. Cada valor en la tabla es el porcentaje de la luz de lámpara sola que puede ser usada para iluminar un plano horizontal de trabajo.

2.4.1.2. Fotometría utilizada por CALIPER

La metodología CALIPER BENCHMARK utiliza la fotometría relativa y absoluta para hacer una comparación completa, es decir comparar todas las métricas que caracterizan a las lámparas fluorescentes y lámparas LED. Para una mejor comprensión de los tipos de fotometrías se detallan en los dos siguientes literales.

a) Fotometría Relativa

Las fuentes luminosas convencionales son usualmente evaluadas usando la fotometría relativa. Este proceso mide la luminaria, las lámparas y los balastos son removidos y medidos separadamente.

Usada en las evaluación de rendimiento de lámpara sola. Este proceso de evaluación es referido como relativo porque todos los datos de las candelas son relacionados a la salida de lúmenes nominal de la lámpara. En efecto, después que, la eficiencia de la luminaria se calcula, con una distribución de intensidad luminosa escalada a candelas por lumen.

En la mayoría de los casos, la prueba relativa no puede ser aplicada a luminarias LEDs. Puesto que los dispositivos LED son usualmente difíciles de remover de la luminaria. Además algunos dispositivos LED no operarían apropiadamente sin el disipador de calor que la luminaria dispone. El ambiente térmico que los dispositivos LED experimentan dentro de la luminaria es frecuentemente diferente del diseño térmico que éste experimentará en su configuración “lámpara sola”.

b) Fotometría Absoluta

La prueba absoluta es el procedimiento donde los valores de intensidad en candelas son registrados y presentados en el reporte. Estos son los valores de intensidad absolutos generados por la luminaria durante la prueba, y no se relacionan a ningún lumen nominal de salida producido por los LEDs.

Una lámpara estándar calibrada es ubicada sobre el goniofotometro. Sus intensidades en una dirección particular son conocidas muy exactamente. Esta

intensidad es medida, produciendo un cierto voltaje del fotodetector. Cada lectura del voltaje del fotodetector de la luminaria probada para todos los diferentes ángulos de interés son convertidos en valores de candelas actuales para multiplicarse por el factor de calibración. Un reporte de prueba absoluto contiene los valores de candelas actuales que la luminaria produce cuando es evaluada.

Sin embargo, usando la prueba absoluta, la eficiencia de la luminaria no puede ser determinada. Esto es porque la salida de lúmenes de un único LED no ha sido medida. En cambio es utilizado para calcular la eficacia de la luminaria absoluta, el flujo luminoso total y la intensidad luminosa absoluta.

2.4.1.3. Configuraciones utilizadas por CALIPER

CALIPER utiliza dos configuraciones para evaluar el rendimiento y mejorar el análisis comparativo entre el sistema SSL y el sistema fluorescente. Estas son:

- ✓ rendimiento de la “lámpara sola”.
- ✓ rendimiento “in situ” o en troffer de louver parabólico y de óptica normal (lentes).

a) Rendimiento “in situ”

El rendimiento del dispositivo LED es dependiente de la temperatura del dispositivo, y así el rendimiento de las luminarias SSL dependen de la efectividad de la gestión térmica (disipación de calor, conexión térmica, y configuración del producto). La prueba “in situ” está dirigida a productos SSL que intentan operar en condiciones que pueden incrementar la temperatura ambiente o decrementar el flujo de aire y disipación de calor alrededor del producto. En particular, los sistemas empotrados y las lámparas que intentan ser instalados en sistemas (como los empotrados) pueden incrementar en temperatura y decrementar en rendimiento cuando se ha operado en su ambiente.

Las pruebas in situ de CALIPER permiten examinar la eficiencia del sistema, eficacia de la luminaria y la distribución de luz de troffer equipadas con lámparas LED o fluorescentes lineales.

Con el uso del goniómetro se ha permitido estudiar la operación de las lámparas LED bajo condiciones in situ (lámpara en troffer) y la comparación directa con el rendimiento de los productos fluorescentes bajo las mismas condiciones in situ.

b) Rendimiento de la “lámpara sola”

Las pruebas fotométricas que encuentran el rendimiento de las fuentes de luz sin luminaria, utilizan las esferas de integración para una medida más exacta de la eficiencia de la luminaria. Algunos goniofotómetros diseñados para luminarias presentan algunos problemas de calibración para la medición de “lámpara sola”.

Esta configuración mide el flujo luminoso lámpara utilizado entre muchos cálculos como el valor de la eficacia de la lámpara y eficiencia de la luminaria evaluados en la fotometría relativa. Además en este tipo de evaluación del rendimiento se registran los valores de las propiedades colorimétricas como la temperatura de color (CCT), el índice de reproducción de color (CRI), la apariencia blanca (D_{UV}). Se agrega a esto la medición del factor de potencia.

CAPITULO III

COMPARACIÓN DE LÁMPARAS FLUORESCENTES Y LÁMPARAS LED

3.1. COMPARATIVA DE LÁMPARAS LED LINEALES CON LÁMPARAS FLUORESCENTES T12 Y T8

A continuación se presenta una comparación de las lámparas fluorescentes T12 y T8 con lámparas LED lineales, en dos categorías:

- rendimiento de la “lámpara sola”.
- rendimiento en troffer de louver parabólico y de óptica normal (lentes).

El procedimiento CALIPER BENCHMARK es usado en todo los informes fotométricos hechos por CALIPER para una óptima y eficaz comparación de las fuentes fluorescentes y LED lineales⁴.

3.1.1. Rendimiento de Lámparas Fluorescentes T12 Y T8 en Troffers

Para una mejor comprensión del rendimiento de las troffers fluorescentes existentes. CALIPER analizado los datos fotométricos de 25 diferentes troffers de 2x4-pies de louver parabólico con dos lámparas de cinco fabricantes⁵.

Además, CALIPER ha ejecutado reportes BENCHMARK de dos troffers fluorescentes como también la prueba de “lámpara sola” de sus lámparas fluorescentes lineales asociadas:

- Troffer de óptica normal (prueba CALIPER ID 08-30), de lentes prismáticos, equipado con dos lámparas F40T12 y balastro electrónico.
- Troffer de louver parabólico (prueba CALIPER ID 08-28), de louver parabólico de 12 celdas, equipado con dos lámparas F32T8 y balastro electrónico.

Puesto que las lámparas fluorescentes lineales son fuentes omnidireccionales, una porción de su flujo luminoso es atrapado dentro del troffer. Consecuentemente, una

⁴ Resumen de informes de la pruebas por CALIPER están disponibles en línea en <http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/search.html>

⁵ Incluidos los Fabricantes encuestado Columbia, Lightolier, Prudential, Lithonia y la Compañía Legion Lighting, Inc.

medida importante del rendimiento del sistema fluorescente es la eficiencia del sistema (también referida como eficiencia de la luminaria), que es, la razón de lúmenes emitidos por la luminaria para el flujo luminoso exclusivo del sistema lámpara-balastro.

Inspeccionados los 25 sistemas basado en datos de fabricante, la eficiencia del sistema para una troffer de louver parabólico alcanza entre el 64% y 90%, promedio aproximado de 74% de eficiencia-sistema nominal. La troffer de louver parabólico evaluada por CALIPER (prueba ID 08-28) ha conseguido una eficiencia del sistema del 60%, menor que su eficiencia-sistema nominal de 74%.

Las troffers de óptica normal (de lentes acrílicos) tienen pocos componentes ópticos (baffles, louvers) y según CALIPER (prueba ID 08-30) tiene una eficiencia del sistema del 72%, 12% más que la troffer de louver parabólico evaluada.

La troffer de 2x4-pies parece ser, en promedio, más eficiente que con otros formatos, para verificar esto se hace la comparación de datos de un número limitado de troffers con otros formatos. Basado en datos del fabricante, dos troffers de louver parabólico que son equipadas con tres lámparas (2x4-pies, 3 lámparas) muestran eficiencia-sistema del 60% al 62%. Los datos del fabricante de troffer de louver parabólico mas angostas con dos lámparas (2 lámparas, 1x4-pies) tienen una eficiencia-sistema del 59%. Y para una troffer de louver parabólico de 2x2-pies equipadas con dos lámparas T8 de 17-W, la eficiencia-sistema es solo del 49%.

La eficiencia-sistema afecta directamente a la eficacia de la luminaria, que representa el flujo luminoso dividido para la potencia de entrada a la luminaria, expresada en lúmenes por watt (lm/W). Contando el factor del balastro (FB) y la potencia de entrada al sistema lámpara-balastro, la eficacia de la luminaria puede ser calculada como sigue:

$$\mu = \frac{\frac{\text{numero de lamparas}}{\text{luminaria}} \times \text{flujo luminoso evaluado de la lampara (lm)} \times \text{FB} \times \text{eficiencia del sistema}}{\text{potencia de entrada a la luminaria (W)}}$$

Donde:

μ = eficacia de la luminaria

FB = factor del balastro

La tabla III.1 presenta un resumen de datos del fabricante y resultados benchmark para una troffer de louver parabólico con dos lámparas fluorescentes.

TABLA III.1. DATOS DEL FABRICANTE Y BENCHMARK DE UNA TROFFER DE LOUVER PARABÓLICO CON DOS LÁMPARAS FLUORESCENTES. [11]

	Rendimiento De Troffers De Louver Parabólico Con Dos Lámparas Fluorescentes		
	Promedio Del Fabricante	Rango Del Fabricante	Resultados Del Reporte Benchmark
Flujo Luminoso Lámpara (lm)	5900	5200 – 6400	6125
Potencia de Entrada a la Luminaria (W)	68	55 – 88	58
Eficiencia del Sistema (%)	74	64 – 90	60
Eficacia de la Luminaria (lm/W)	66	50 – 96	63

La distribución de lúmenes por zonas (Tabla III.2) afecta al necesario espaciamiento de las luminarias para lograr deseados niveles de luz para una aplicación dada. Además que el espaciamiento de luminarias determina el número de luminarias que a su vez afectan al consumo de la energía total del sistema de iluminación.

TABLA III.2. RESUMEN DEL PROMEDIO DE LÚMENES POR ZONAS PARA UNA TROFFER PARABÓLICA Y DE ÓPTICA NORMAL [11]

Zona	% Lámpara			% Sistema		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
0 -30	21	16	24	29	20	34
0-40	37	29	46	49	49	66
0-60	68	59	81	92	90	100
0-90	74	64	90	100	98	100
90-180	0	0	0	0	0	0
0-180	75	64	90	100	98	100

3.1.2. Rendimiento De Lámparas LED Lineales

Hasta la fecha, CALIPER ha evaluado cuatro productos LED destinados a reemplazar lámparas fluorescentes lineales. La evaluación incluyó las categorías “rendimiento de la lámpara sola” como también “rendimiento in situ” en troffers de louver parabólico y de lentes con dos lámparas LED. Además para propósitos de obtener un reporte benchmark, CALIPER ha probado lámparas fluorescentes normales T12 y T8 en las categorías de “rendimiento de la lámpara sola” y “rendimiento in situ”, en las mismas troffers parabólicas (T8) y de lentes (T12) con dos lámparas. La tabla III.3 resume los resultados de evaluación CALIPER para cuatro productos SSL y dos lámparas fluorescentes. Dos muestras de cada producto han sido probadas en “rendimiento de la lámpara sola” en una esfera de integración, con el rendimiento del producto LED discutido debajo. Los valores de CCT y factor de potencia que están fuera de las normas industriales están en rojo.

TABLA III.3. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN CALIPER EN “RENDIMIENTO DE LÁMPARA SOLA” PARA LÁMPARAS FL Y LED LINEALES. [11]

-- esfera integración --25°C	ID	Watt Total (W)	Flujo (lm)	Eficacia lámpara (lm/W)	CCT (K)	CRI	Máx. D _{UV}	Cosφ
Lámpara LED 4-pies	07-56	25	1058	42	3494	75	-0.001	0.86
Lámpara LED 4 pies	08-17	20	849	43	12583	72	0.007	0.51
Lámpara LED 4 pies	08 -19	18	345	19	2971	72	0.004	0.72
Lámpara LED 4 pies	08-37	19	1016	52	7739	76	0.005	0.53
Lámpara FL T8 de 4pies	08-28	32	3081	96	3932	81	0.003	0.99
Lámpara FL T12 4pies	08-30	39	3101	80	2884	84	0.001	0.89
La prueba “rendimiento de la lámpara sola” en 07 – 56 fue realizada con un balastro de 25 W.								

3.1.2.1. Flujo Luminoso

Como se muestra en la Fig. III.1, CALIPER afirma que el flujo luminoso de lámparas LED lineales está muy por debajo de la salida de lúmenes de lámparas

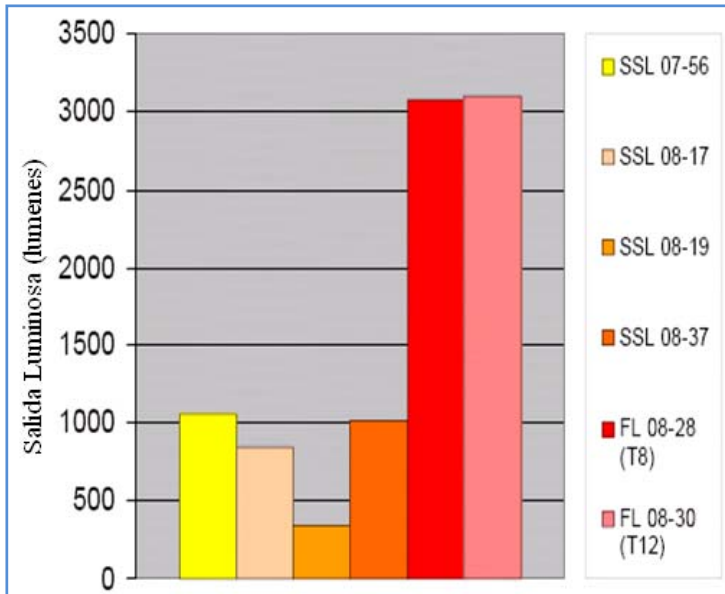


Fig. III.1 Comparación del Flujo Luminoso de las lámparas LED con las lámparas FL lineales de cuatro pies. [11]

fluorescentes T12 y T8. En estos ejemplos, la mejor lámpara LED en la prueba “rendimiento de la lámpara sola” produce solo un tercio del flujo luminoso de una lámpara fluorescente de cuatro pies. La Fig. III.2 presenta una comparación del flujo luminoso medido y el valor de flujo correspondiente del fabricante para las lámparas LED y fluorescentes. El valor etiquetado del flujo luminoso de un producto LED es significativamente mayor del que fue medido en la evaluación CALIPER.

3.1.2.2. Eficacia de la Lámpara

Como se ilustra en la figura III.3, las eficacias publicadas de las lámparas LED lineales han decaído de sus rivales fluorescentes homólogos. De todos modos, como se predijo por su relativo bajo flujo luminoso, las eficacias medidas para los productos LED fueron considerablemente menores que las eficacias de las fluorescentes. Ambos productos fluorescentes lineales tienen una información del producto exacta con respecto a la eficacia. Todas las cuatro lámparas LED lineales en cambio demuestran una información del fabricante inexacta de su eficacia.

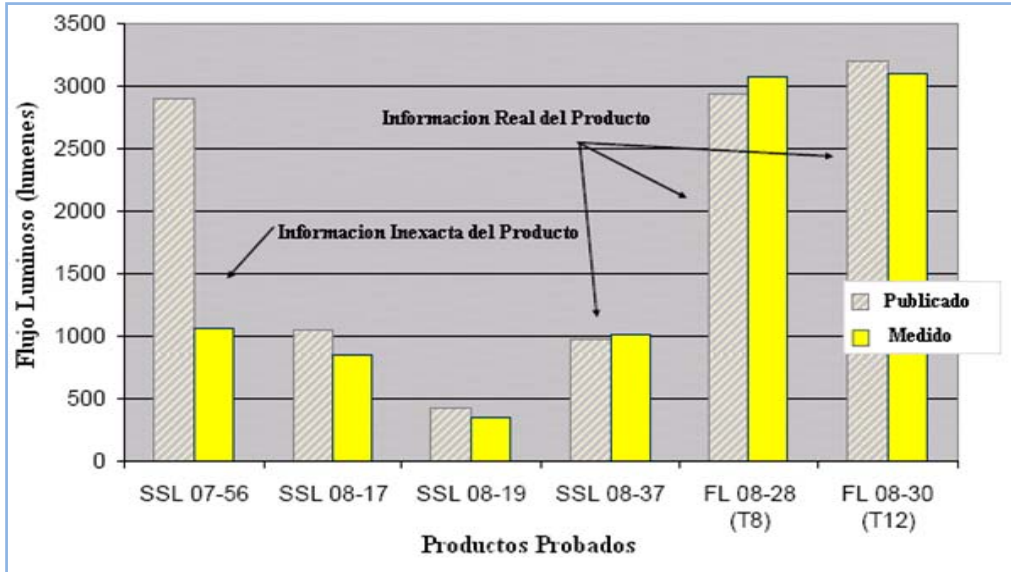


Fig. III.2 Comparación del flujo luminoso medido y el dado por el fabricante de Lámparas LED y Fluorescentes de cuatro pies ⁶. [11]

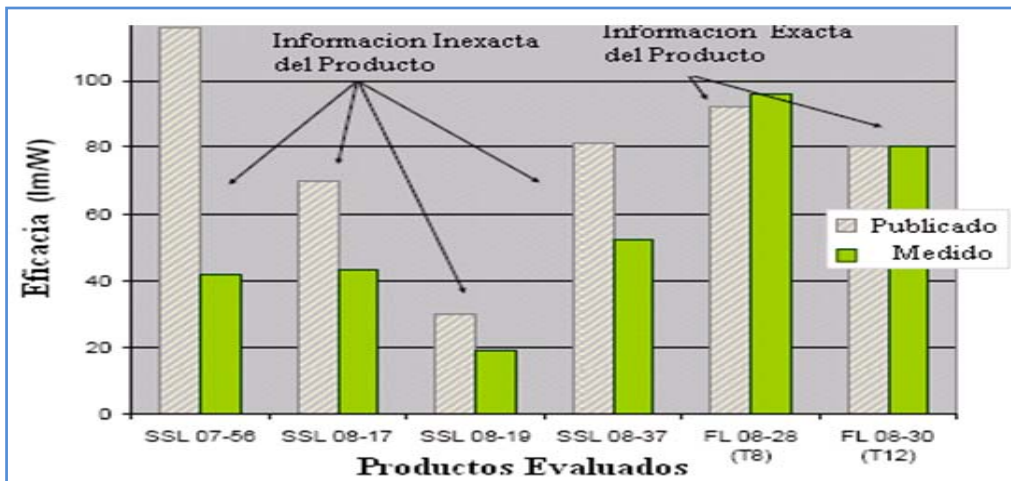


Fig. III.3 Comparación entre la eficacia medida y los valores de eficacia del fabricante de lámparas LED y Lámparas Fluorescentes lineales de cuatro pies ⁷ [11]

⁶ Para la prueba ID 07 -56, se usa la información del flujo luminoso para la versión de 4100 K (2900lm) para la comparación. En la prueba ID 08 -17, el flujo luminoso del fabricante no era clara (presentada como un rango de 1500 – 3000lm), así se escogió el valor más bajo (1500 lm) para la comparación.

⁷ Para la prueba CALIPER ID 07 - 56, el fabricante no provee datos del flujo luminoso para la versión 3500 K, así que se utilizó el flujo luminoso publicado para la versión 4100 K (2900 lm), usado para calcular la eficacia de la lámpara publicada. Para la prueba ID 08 – 17, el flujo luminoso publicado por el fabricante estuvo errado (presentado como un rango de 1050 – 3000 lm), así que el valor más bajo (1050 lm) fue utilizado para calcular la eficacia de la lámpara publicada.

3.1.2.3. Direccionalidad de la Lámpara y Eficiencia del Sistema

Según información del fabricante de lámparas LED, dada su inherente direccionalidad, estas con mucho menos flujo luminoso total que los de las lámparas fluorescentes pueden lograr igualar o superar la salida de lúmenes del sistema fluorescente.

Los resultados de la prueba “in situ” de CALIPER para troffers de louver parabólica y de lentes) con dos lámparas, independiente de su flujo luminoso y eficacia luminosa, las lámparas LED alcanzan una mayor eficiencia del sistema que la de las lámparas fluorescentes T12 y T8 en las mismas troffers (tabla III.4). En una troffer de lentes con lámparas LED, la eficiencia del sistema es de 11% a 17% mayor que con lámparas fluorescentes. En la troffer de louver parabólico, la eficiencia del sistema con lámparas LED es de 14% a 16% más alto que con lámparas fluorescentes. Incluso con la eficiencia del sistema incrementada, la lámpara LED de mejor rendimiento no podría entregar aun ni la mitad de flujo luminoso de la fuentes fluorescentes. Ningún valor de flujo luminoso de los productos SSL compite con los de los productos fluorescentes, ya sea como lámpara sola o instalada en troffers de lentes o parabólicos.

3.1.2.4. Eficacia de la Luminaria

A pesar de que el sistema lámpara-balastro de fluorescentes T12 y T8 tiene un elevado uso de potencia y una baja eficiencia del sistema, el flujo luminoso y eficacia de la lámpara son capaces de influir en su rendimiento total para lograr una mayor eficacia de la luminaria que la de los productos LED.

La Fig. III.4 presenta la eficacia de la luminaria in situ como una función del flujo luminoso para las lámparas fluorescentes y LED lineales evaluadas por CALIPER. Claramente, las troffers con lámparas LED no alcanzan ni siquiera la mitad del flujo luminoso de las mismas troffers con lámparas fluorescentes. Por tanto, la lámpara LED de mejor rendimiento no iguala a la lámpara fluorescente T12 en el valor de eficacia de la luminaria in situ.

TABLA III.4: RESUMEN DE LA EVALUACIÓN CALIPER EN “RENDIMIENTO IN SITU” PARA LÁMPARAS FLUORESCENTES Y LED LINEALES EN TROFFER DE LENTES (T12) Y EN TROFFER PARABÓLICO (T8). [11]

	ID de la prueba CALIPER	Potencia Total (W)	Flujo Luminoso Inicial (lm)	Eficacia luminaria (lm/W)	Eficiencia del Sistema (in situ)
Lámparas Lineales de 4-pies in situ – montadas en Troffer de lentes (T12)					
Lámpara LED 2x4 –pies	07 – 56	80	2125	27	(a)
Lámpara LED 2x4 –pies	08 – 17	40	1451	36	85%
Lámpara LED 2x4 –pies	08 – 19	36	613	17	89%
Lámpara LED 2x4 –pies	08 – 37	40	1693	43	83%
Fluorescente Lineal F40T12 de 2x4 –pies	08 – 30	88	4453	51	72%
Lámparas Lineales de 4 pies in situ – montadas en troffer parabólico (T8)					
Lámpara LED 2x4 –pies	07 – 56	47	1566	33	74%
Lámpara LED 2x4 –pies	08 – 17	40	1399	35	82%
Lámpara LED 2x4 –pies	08 – 19	36	597	17	86%
Lámpara LED 2x4 –pies	08 – 37	39	1711	43	84%
Fluorescentes Lineal F32T8 de 2x4-pies	08 – 28	58	3675	63	60%
(a) Eficiencia del sistema calculada se basa en (salida in situ)/ (salida lámpara A sola + salida de la lámpara B sola). La prueba de la lámpara sola en 07 – 56 fue conducida con una referencia de balastro correspondiendo a una potencia nominal de la lámpara de 25 W, por tanto la eficiencia-sistema no fue calculada para este producto en la troffer T12 debido a los diferentes niveles de potencia de funcionamiento. El reporte 07 – 56 usa balastro mientras que las otras tres lámparas LED lineales s usan su propio suministro de potencia.					

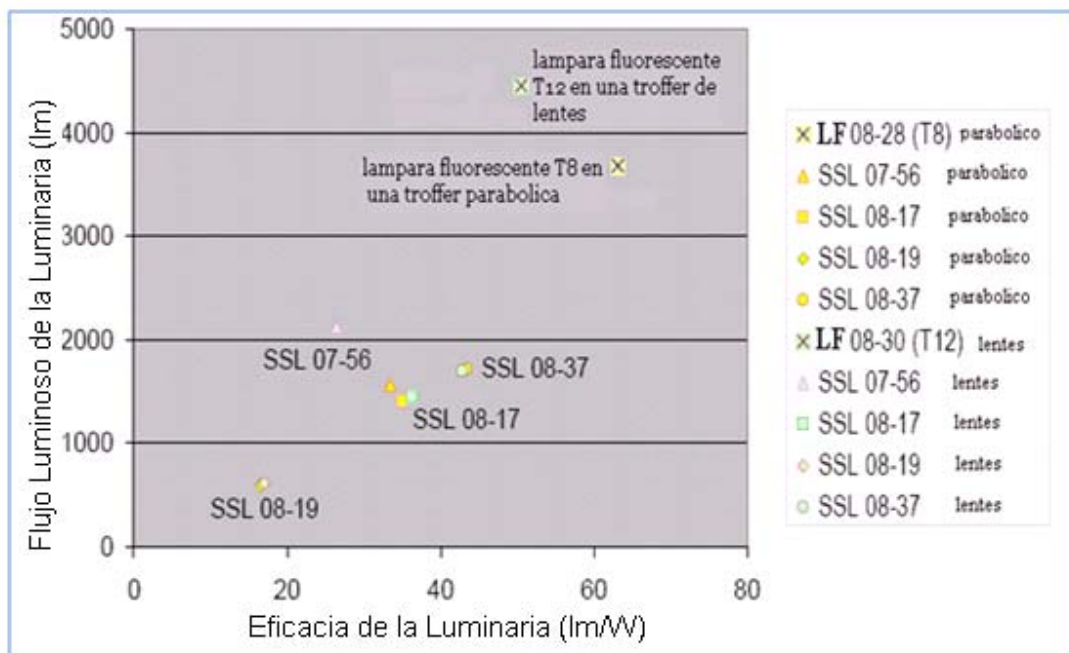


Fig. III.4 Flujo Luminoso Vs Eficacia de Luminaria de Troffer de louver parabólico y lentes con Lámparas LED y Fluorescentes Lineales de cuatro pies. [11]

3.1.2.5. Distribución de luz de la Luminaria y Resultado de Iluminación

Tanto las troffers de louver parabólico como de lentes son diseñadas para distribuir su flujo luminoso, y aumentar la uniformidad de iluminación. Las lámparas fluorescentes lineales emiten luz en mayores ángulos que las LEDs. Esta característica no solo contribuyen directamente a una amplia distribución de luz (con troffers de lentes) sino que además interactúa con los componentes (baffles y louver) del troffer, diseñados para redirigir la luz y tener una iluminación uniforme. A diferencia, las lámparas LED lineales dirigen más su flujo luminoso hacia abajo desde el troffer con una menor difusión.

Las Fig. III.5 y III.6 presentan la distribución de intensidad luminosa y la densidad de lúmenes por zonas de una troffer con lámparas fluorescentes y con LED lineales. Como se ha ilustrado en la Fig. III.5, en la troffer de lentes, la lámpara LED produce una distribución similar (pero estrecha) a la de las lámparas fluorescentes T12 con una significativa disminución de intensidad luminosa. En una troffer de louver parabólica (Fig. III.6), las lámparas LED lineales no producen la intensidad luminosa deseada y obtiene una distribución batwing prevista en el benchmark de lámparas fluorescentes T8.

Los porcentajes de lúmenes por zonas presentados en la Fig. III.5 y III.6 ilustran un flujo luminoso relativo a incrementos verticales de 10° y no hay indicadores de intensidad luminosa absoluta o flujo luminoso en ningún ángulo particular. Para la troffer de lentes (Fig. III.5), es evidente que las lámparas LEDs (fuente direccional) produce un flujo luminoso más proporcional debajo del sistema (por debajo de los 40° verticales), resultando en una distribución de luz estrecha. A diferencia, las lámparas fluorescentes T12 (fuente omnidireccional) produce un flujo luminoso mayor para ángulos superiores (sobre los 40° verticales) permitiendo una distribución más amplia. La troffer de lentes sirve para reducir el deslumbramiento; consecuentemente, la distribución de la luz del sistema es una función principalmente del tipo de lámpara.

En una troffer de louver parabólico existe mayor cantidad de flujo luminoso en la zona de 40° hasta 60° en la configuración fluorescente T8. Con más salida direccional, las lámparas LED interactúan menos con la óptica del louver y no generan una distribución de luz del sistema tan extensa como la de las fluorescentes lineales.

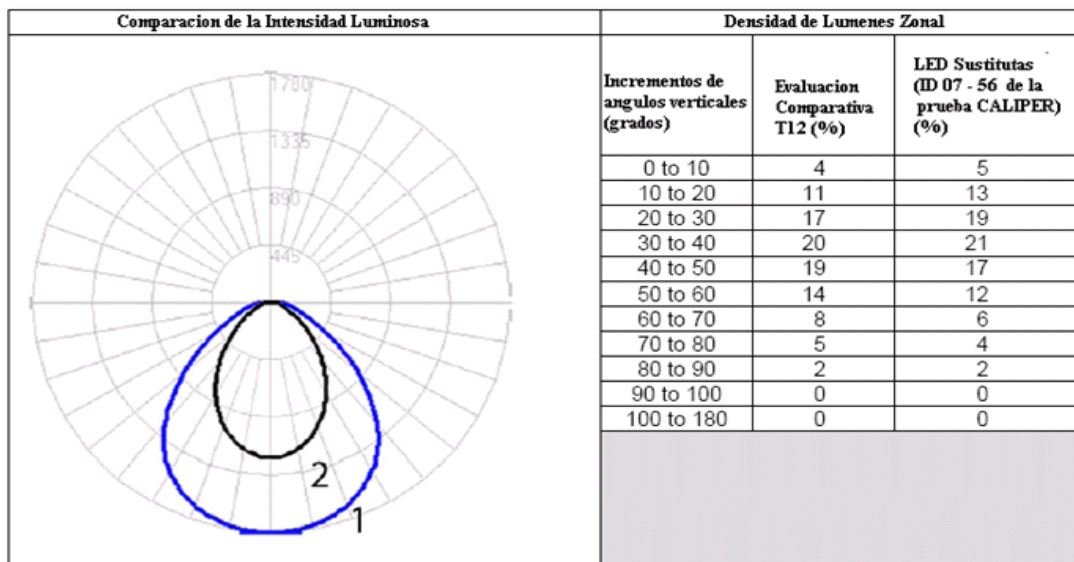


Fig. III.5 Mediciones de la Distribución de intensidad luminosa y porcentajes calculados de la densidad de lúmenes por zonas de una troffer de lentes con lámparas fluorescentes T12 de cuatro pies (curva 1) y LED (curva 2). [11]

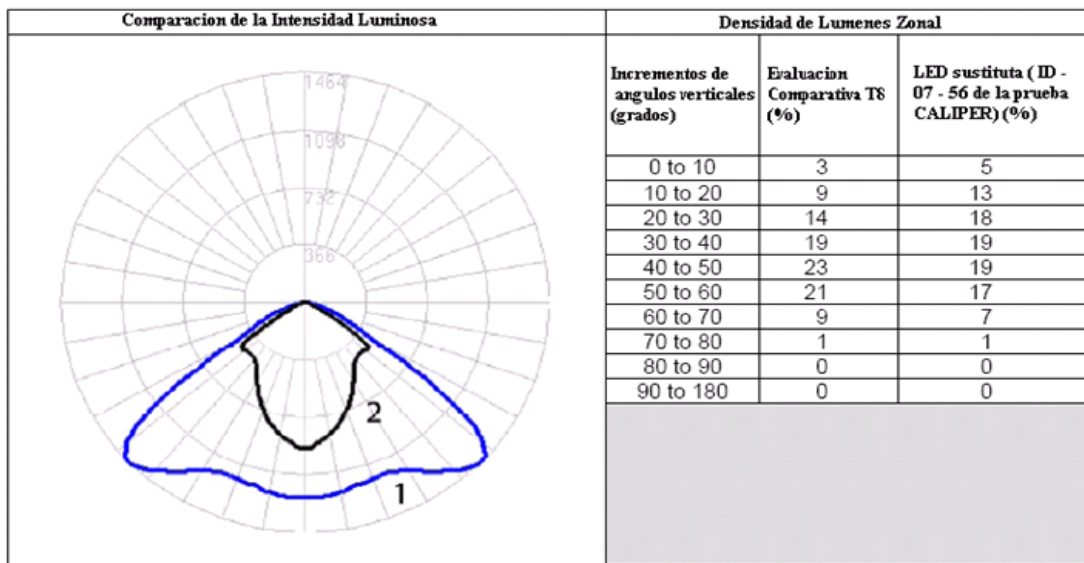


Fig. III.6 Mediciones de la Distribución de Intensidad Luminosa y Porcentajes Calculados de las Densidad de lúmenes por zonas para una troffer de louver parabólico con dos lámparas fluorescentes T8 de cuatro pies (curva 1) y LED (curva 2). [11]

Para una intensidad luminosa dada, la iluminancia disminuye con la distancia de la fuente de luz; por lo tanto, elevadas intensidades luminosas son requeridas en ángulos mayores directamente debajo del sistema para que produzcan niveles de luz uniforme entre sistemas. La distribución batwing en la Fig. III.6 (caso T8) ilustra este patrón.

Los fabricantes de luminarias han recomendado públicamente el criterio de espaciamiento, para determinar la distancia lateral entre sistemas para una iluminación uniforme. La tabla III.5 presenta el criterio de espaciamiento recomendado para las troffers fluorescentes evaluadas; los valores calculados del criterio de espaciamiento usando lámparas LED para alcanzar una misma iluminancia uniforme (basados en los datos evaluados CALIPER) también son enlistados.

En troffers de louver parabólico con lámparas LED, los valores del criterio de espaciamiento son menores a los de las fluorescentes, indicando que más sistemas (con espaciamiento más cercano) serían necesarios para lograr una iluminación igualmente uniforme. Los sistemas adicionales además de incrementar costos reducen el ahorro energético. Alternativamente, una readaptación de uno por uno produce decrementos inaceptables en los niveles de iluminación y uniformidad

TABLA III.5 CRITERIOS DE ESPACIAMIENTO DE LÁMPARAS FLUORESCENTES VERSUS LÁMPARAS LED. [11]

Criterio de Espaciamento para una Troffer de Louver Parabólico				
	Benchmark Fluorescentes T8	Lámparas LED Lineales		
		Promedio	Mínimo	Máximo
0 – 180° (longitudinal)	1.24	1.13	1.02	1.18
90 – 270° (transversal)	1.70	1.16	0.98	1.26
Diagonal	1.62	1.23	1.06	1.30

El criterio de espaciamento es un multiplicador. Se multiplica la altura de montaje del sistema por el valor del criterio de espaciamento; el resultado representa la distancia máxima (de centro a centro) en que las luminarias pueden ser espaciadas.

3.1.2.6. Características de Color

Las lámparas fluorescentes lineales están disponibles en un extenso rango de apariencias de color, que va desde el cálido (CCT \leq 3000k) hasta el frío (CCT \geq 4100 K), con una temperatura de color fría neutral (CCT 3500 K – 4100 K) especificadas en algunas aplicaciones en interiores. Como se ha ilustrado en la Fig. III.7, los valores CCT para la mayoría de las lámparas LED lineales fueron considerablemente más altos que los de las fluorescentes; dos de los cuatro productos LED han excedido la norma industrial para CCT.

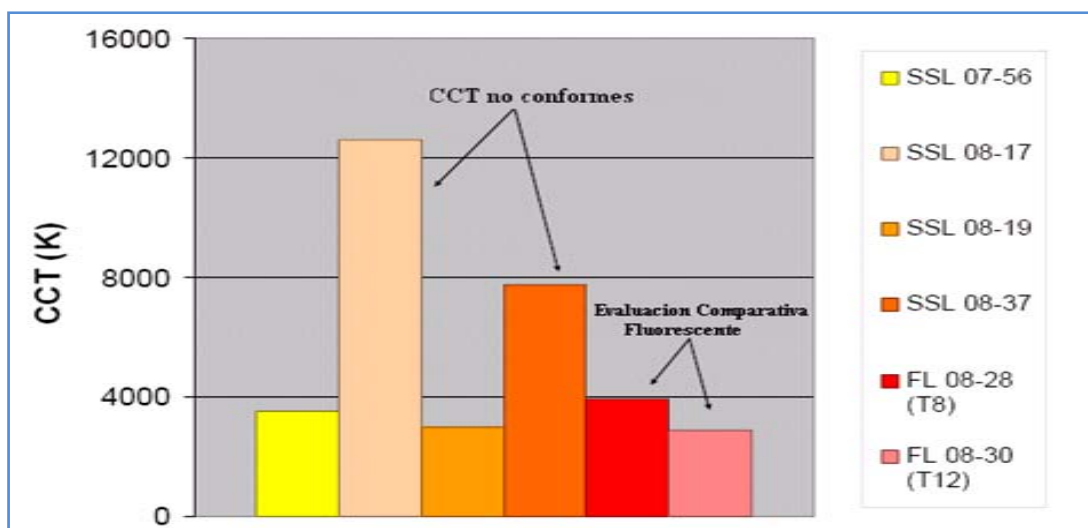


Fig. III.7 Comparación de los valores CCT medidos para las lámparas fluorescentes y LED lineales [11]

Los valores medidos de CRI (Tabla III.7) de las lámparas LED lineales fueron comparables con los de las fluorescentes. Sin embargo, conociendo los problemas en la definición del CRI para los productos LED de luz blanca, los usuarios deben evaluar las lámparas LED visualmente para calibrar su calidad de color para una aplicación determinada⁸.

El estándar C78.377-2008 de ANSI establece las especificaciones cromáticas para los productos LED de luz blanca y usa el diagrama (u',v') (Comisión Internacional de Iluminación 1976) para ilustrar los límites CCT que se ubican a lo largo de una curva sólida llamada el sitio Planckian (Fig. III.8). Para cumplir con las especificaciones ANSI, las coordenadas cromáticas medidas para un producto LED no solo deben estar dentro de los límites CCT (u,v) establecidos sino también dentro de las distancias prescritas al sitio Planckian (cromaticidad del D_{uv} designado y sus tolerancias)⁹.

⁸Vease la hoja informativa, "Medidas de las series LED: Índice de Reproducción de Color y los LEDs", para obtener más información del rendimiento LED en las pruebas CRI y recomendaciones para evaluar las características de color de LEDs, está disponible en:

http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/cri_leds.html

⁹Para la medición de coordenadas de cromaticidad (como la trazada en la diagrama CIE 1976 (u',v')), El objetivo D_{uv} es la máxima distancia permitida del Sitio Planckian (negro). Esta distancia es especificada para cada uno de los valores nominales CCT definidos en ANSI C78.377-2008 y se refiere a la relativa blancura de una fuente de luz.

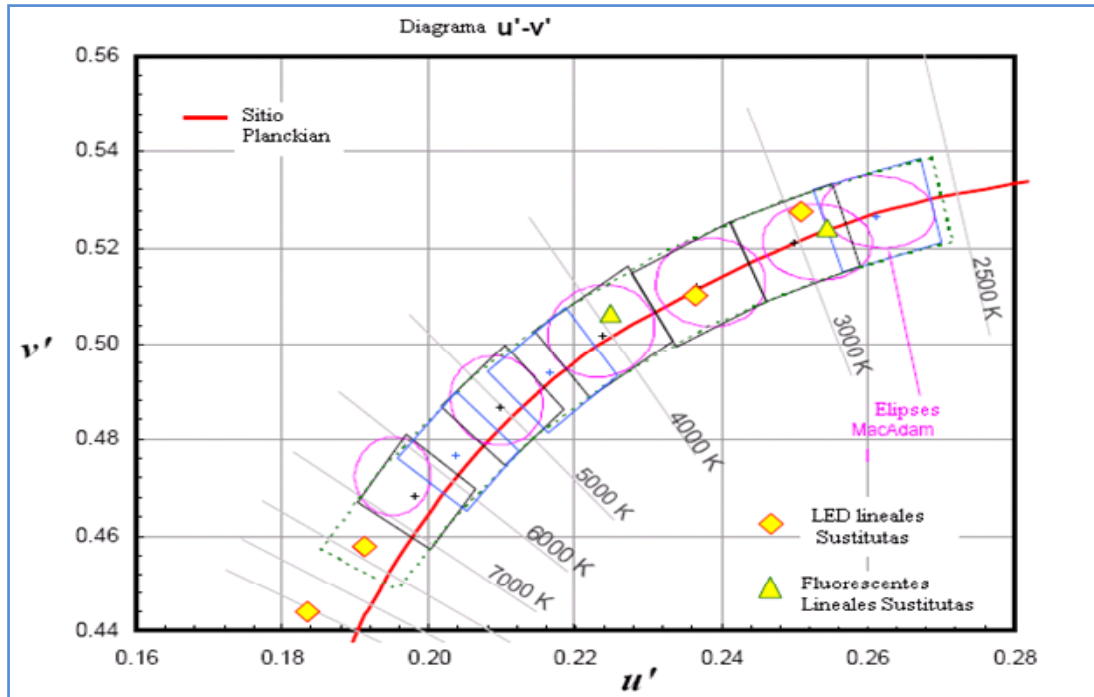


Fig. III.8 Trazado de la cromaticidad de lámparas LED (mostradas en diamante) Vs las especificaciones cromáticas de ANSI (Diagrama cromático de ANSI C78.377-2008). [11]

Como se ha ilustrado en la Fig. III.8, las coordenadas cromáticas de dos productos LED blancos evaluados caen lejos del sitio Planckian (D_{uv} no permitido) y no se ajustan a las especificaciones CCT. Incluso, los productos LED evaluados con valores CCT adecuados tienen tolerancias D_{UV} aplicables.

3.1.2.7. Potencia

Tanto los sistemas fluorescentes y sistemas LED consisten de componentes adicionales a la fuente de luz (balastos, baterías, y otros componentes electrónicos) que consumen una potencia reactiva y armónica. Estas potencias adicionales producen un factor de potencia menor a 1.0. Para incentivar el uso eficiente de la potencia en productos LED, el programa ENERGY STAR propone requisitos para los factores de potencia mayores de 0.7 y 0.9 para aplicaciones comerciales y residenciales, respectivamente, para productos SSL¹⁰.

¹⁰ Los requisitos del Factor de Potencia en el programa ENERGY STAR se encuentran en "Requisitos del Programa ENERGY STAR para Luminarias de Iluminación de Estado Sólido, los criterios de elegibilidad versión 1.1 (2007)", están disponibles en http://www.energystar.gov/ia/partners/product_specs/program_reqs/SSL_prog_req_V1.1.pdf

En la evaluación CALIPER, ninguna de las lámparas LED han alcanzado el requisito residencial, y únicamente dos de las cuatro productos LED evaluados han cumplido con el requisito comercial. (tabla III.3).

Como se muestra en las tablas III.3 y III.4, los sistemas de lámparas LED generalmente usan menos potencia que los sistemas fluorescentes en la emisión del flujo luminoso. Para mantener el nivel de iluminación de una instalación fluorescente existente, sería necesario sumar más lámparas o sistemas LED, negando cualquier ahorro energético superior.

3.2. ACLARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LAS LÁMPARAS LED LINEALES

Si un fabricante caracteriza las lámparas LED lineales en términos de salida de lúmenes o “lux central”, entonces asumirá una eficiencia del sistema no más del 85%. Por lo tanto, un troffer con dos lámparas LED con valores nominales de 1050 lm cada una, puede entregar un total estimado de 1785 lm (2 lámparas x 1050 lm/lámpara x 85 % eficiencia del sistema = lúmenes totales del sistema). Entonces los lúmenes totales del sistema podrían integrarse a los cálculos de iluminación (es decir el método lumen). Desafortunadamente, la información de rendimiento dada por el fabricante es exageradamente alta en algunos casos, frecuentemente basados en el rendimiento individual del chip LED que después incorrectamente los fabricantes multiplican por el número de chips para estimar la salida total de lúmenes.

Para lámparas LED caracterizadas por niveles de iluminación (es decir lux central), se asume que los niveles de luz debajo de un sistema son proporcionales a la eficiencia del sistema. Por ejemplo, una lámpara LED que produce 60 lx de iluminancia nominal, en 3m debajo de la lámpara instalada en una troffer, produciría 85 % del nivel de iluminación nominal; que es, $\{60\text{lx}(85\%)\text{eficiencia-sistema} = 51 \text{ lx en } 3\text{m}\}$. Por estimación, la iluminación central de dos lámparas LED en un sistema es asumida como una sumatoria; por ejemplo, $51 \text{ lx -lámpara} \times 2\text{-lámparas} = 102 \text{ lx en } 3\text{m}$ (que correspondería a una salida de luz muy baja del troffer). Note que este nivel de luz es un estimado, pues no se ha ajustado a la distancia real entre el sistema y el plano de trabajo y no incluye todas las contribuciones de los elementos del sistema.

3.3. RESUMEN COMPARATIVO DE LÁMPARAS LED CON LÁMPARAS TRADICIONALES PARA ILUMINACIÓN EN INTERIORES

En la tabla III.6 se ilustra un resumen comparativo de lámparas LED con lámparas Fluorescente realizado por CALIPER en las dos configuraciones (in situ y bare lamp) con el fin de describir todas las propiedades fotométricas, colorimétricas eléctricas y mecánicas de un sistema de iluminación, éstas son medidas y registradas en los reportes CALIPER y evaluaciones BENCHMARK. Entre las conclusiones que se puede obtener de esta comparación se distinguen:

- Las lámparas LED (tabla III.6) garantizan un ahorro energético frente a las lámparas fluorescente. Esto se justifica porque las LED tienen una potencia nominal menor a la potencia de las lámparas fluorescentes.
- El flujo luminoso en la prueba ID 08-28, confirma que las lámparas fluorescentes emiten mayor flujo de las LED. En la misma proporción se diferencia la métrica eficacia de la luminaria. De lo que resulta que las fuentes LED no son más eficientes que las fluorescentes en este tipo de formato.
- La eficiencia del sistema LED es superior al valor del sistema Fluorescente, ésta métrica es una ventaja del sistema LED, pero no es un factor decisivo en la métrica estándar (eficacia de la luminaria).
- Las lámparas LED no reproducen el color de los objetos como lo hacen las fluorescentes, esto se verifica con valores CRI medidos e ilustrados en la tabla III.6. Con el valor CCT de las lámparas LED se contempla un blanco frío, muy superior al de las fluorescentes.
- Las lámparas LED desaprovechan la energía suministrada más que sus lámparas LED equivalentes. Esto se confirma con el valor del factor de potencia medido en la prueba ID 08-37.

TABLA III.6 RESUMEN COMPARATIVO DE LÁMPARAS LED CON LÁMPARAS FLUORESCENTE PARA ILUMINACIÓN EN INTERIORES

CARACTERÍSTICAS			LED CALIPER		FLUORESCENTES BENCHMARK	
			ID 08-37		ID 08-28	ID 08-30
RENDIMIENTO IN SITU						
Nombre	Símbolo	Unidad	02/T12	03/T8	T8	T12
Potencia	P	Watio	40	39	58	88
Flujo Luminoso	Φ	lm	1693 lm	1711	3675	4453
Eficacia Luminaria	μ	$\frac{\text{lm}}{\text{W}}$	43	43	63	51
Eficiencia del sistema	ρ	%	83	84	60	72
RENDIMIENTO EN LAMPARA SOLA						
Nombre	Símbolo	Unidad	01/T8	03/T8	T12	
Potencia	P	Watio	19	32	39	
Flujo Inicial	Φ	lm	1016	3081	3101	
Eficacia lámpara	σ	$\frac{\text{lm}}{\text{W}}$	52	96	80	
CCT	-	K	7739	3932	2884	
CRI	-	-	76	81	84	
D_{UV}	-	-	0.005	0.003	0.001	
fact. potencia	$\text{Cos}\phi$	-	0.53	0.99	0.89	

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS EFICIENTES (FLUORESCENTE Y RED) DE ILUMINACIÓN PARA EL EDIFICIO UPSI

Para una comparación de diferentes sistemas de iluminación se incluye el costo inicial y costo de operación. Mientras uno de estos puede ser un factor dominante en la selección final, es usual combinar los dos dentro del indicador “costo total”.

El cálculo del costo inicial, operativo y total por año de sistemas de iluminación se basa en ciertas estimaciones. Y para una comparación correcta, se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tener una iluminancia similar con diferentes sistemas que no pueden producir niveles de iluminación iguales, todos los costos se basan en una misma iluminancia mantenida básica.
- La tasa equivalente del energía eléctrica y las condiciones de operación (horas de funcionamiento por año) deben ser aplicadas a diferentes sistemas.
- La planificación de mantenimiento sería apropiado para cada tipo de sistema.
- La tasa uniforme laboral entre sistemas debe usarse para estimar el costo de instalación, limpieza y reemplazo.

A continuación se indica un proceso de análisis de costos para comparar el gasto entre dos sistemas de iluminación (fluorescente y LED) tanto para un edificio nuevo (construcción con un sistema de iluminación instalado) y para un edificio proyectado (edificación que necesita un sistema de iluminación). Las dos tablas de resúmenes (tabla IV.7 y tabla IV.12) muestran un análisis de la inversión basado en costos iniciales dividido para la vida asumida en años (10 años por lo regular), y los gastos operativos calculados y referenciados en los costos actuales de la energía, reemplazo de lámparas, mantenimiento (limpieza). Un análisis de reembolso de inversión se calcula a partir del ahorro anual que un sistema de iluminación provee al consumidor para conocer si se recupera la inversión o en caso contrario es mejor no invertir el capital en el nuevo sistema LED.

4.1 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN (FLUORESCENTE Y LED) DEL NUEVO EDIFICIO UPSI.

El edificio de la UPSI tiene instalado un sistema de iluminación fluorescente con un método de iluminación (alumbrado general) para una adecuada distribución de lámparas fluorescentes T8. Como resultado el nivel de iluminación de las oficinas de la UPSI es uniforme. La iluminancia deseada (E_{TABLAS}) para este tipo de oficina según la norma IRAM AADL J20-06 de Argentina, es de 400 lx.

Superficie del Edificio (S)

$$S = 1321\text{m}^2$$

Plantas del Edificio (N_p)

$$N_p = 4 \text{ plantas}$$

Superficie de la oficina promedio (A_0)

$$A_0 = b \cdot a$$

b = largo

a = ancho

$$A_0 = 8.8\text{m} \times 7.5\text{m} = 66\text{m}^2$$

Altura de la oficina (h^1)

$$h^1 = 2.7 \text{ m}$$

Plano de trabajo (pt)

$$P_t = 0.85 \text{ m}$$

Factor de Mantenimiento (f_m)

Según tablas normalizadas (ver anexos tabla IV.A2), para ambientes limpios como la UPSI se propone un valor de factor de mantenimiento de 0.8.

Índice del local (k)

$$k = \frac{a \cdot b}{h^1 \cdot (a + b)} \quad (\text{IV.1})$$

$$h = h^1 - p_t = 2.7\text{m} - 0.85\text{m} = 1.85 \text{ m}$$

$$k = \frac{(7.50 \times 8.80)\text{m}}{1.85\text{m}(7.5\text{m}+8.8\text{m})} = \frac{66\text{m}}{30.16\text{m}} = 2.2$$

Reflectancias ($\rho_t, \rho_{ps}, \rho_{pp}$)

Reflectancia de las paredes (ρ_p), $\rho_p=0.3$

Reflectancia del piso (ρ_{pp}), $\rho_{pp} = 0.20$

Reflectancia del techo (ρ_t), $\rho_t=0.7$

Estos valores son normalizados (ver en anexos Tabla IV.A1).

Factor de Utilización (η)

Por medio de la tabla IV.1 y los valores de las reflectancias e índice del local, encontramos el coeficiente de utilización de la luminaria.

TABLA IV.1 COEFICIENTES DE UTILIZACIÓN DE LA LUMINARIA [17]

$\rho_{pp} = 0.20$								
ρ_p	$\rho_t = 0.8$				$\rho_t = 0.7$			
	0.7	0.5	0.3	0.1	0.7	0.5	0.3	0.1
K								
0	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71	0.71	0.71
1	0.69	0.67	0.66	0.64	0.67	0.66	0.59	0.63
2	0.65	0.63	0.60	0.58	0.64	0.61	0.64	0.57
3	0.59	0.54	0.51	0.48	0.58	0.53	0.50	0.48
4	0.59	0.54	0.51	0.48	0.58	0.53	0.50	0.48
5	0.55	0.50	0.46	0.44	0.54	0.49	0.46	0.43

$$\eta = 0.64$$

Lámparas por luminaria (n_l)

$$n_l = 3 \text{ lámparas/luminaria}$$

Luminarias por Piso (L_p)

Por evaluación, en el cuarto piso del edificio de la UPSI existen:

$$L_p = 441 \text{ luminarias}$$

4.1.1. Sistema Fluorescente**Flujo de la lámpara (ϕ_L)**

$$\phi_L = 1300 \text{ lm}$$

Potencia de la lámpara (P_l)

$$P_l = 17 \text{ W}$$

Vida nominal de la lámpara (V_N)

$$V_N = 20000 \text{ horas}$$

4.1.1.1. Análisis Técnico

Iluminancia Media

$$E_m = \frac{n_l \cdot \phi_L \cdot \eta \cdot L_p}{S}$$

Donde:

n_l = Número de lámparas por luminaria

ϕ_L = Flujo de la lámpara

η = Coeficiente de utilización

L_p = Luminarias por piso

S = Superficie del edificio

$$E_m = \frac{3 \cdot (1300\text{lm}) \cdot (0.64) \cdot 441}{1321\text{m}^2}$$

$$E_m = 833.26 \text{ lx}$$

La E_m actual está por encima de los niveles de iluminación deseados (E_{TABLAS}).

Iluminancia Mantenido (E_{man})

$$E_{\text{man}} = E_{\text{inicial}} \times f_m$$

Donde:

$E_{\text{inicial}} = E_m$ = Iluminancia media

f_m = Factor de mantenimiento

$$E_{\text{man}} = 833.26 \text{ lx} \cdot (0.8) = 666.6 \text{ lx}$$

Potencia del conjunto lámparas-balastro (P_L)

$$P_L = n_l \cdot P_l$$

Donde:

$$P_L = 3 \text{ lámparas} \times 17 \left(\frac{\text{W}}{\text{lámpara}} \right)$$

$$P_L = 51 \text{ W}$$

Número de luminarias en el Edificio (N_L)

$$N_L = N_p \cdot L_p$$

Donde:

N_p = Numero de pisos del edificio

L_p = Luminarias por piso

$$N_L = 4 \times 441 = 1764 \text{ luminarias}$$

Numero de Lámparas de todo el Sistema (N_{LL})

$$N_{LL} = N_L \cdot n_1$$

Donde:

N_L = Numero de luminarias en el Edificio

n_1 = Lámparas por luminaria

$$N_{LL} = 1764 \times 3 = 5292 \text{ lámparas}$$

Potencia Consumida por el Balastro (P_B)

$$P_B = 0.1 \cdot P_L \quad (IV.2)$$

Donde:

P_L = Potencia de las lámparas conectadas por balastro

$$P_B = 0.1 \times 51W = 5.1 \text{ W}$$

Potencia de un sistema fluorescente (P_{SFL})

$$P_{SFL} = n_1 \cdot (P_1 + P_B) \quad (IV.3)$$

Donde:

n_1 = Lámparas por luminaria

P_1 = Potencia de la lámpara

P_B = Potencia consumida por el balastro

$$P_{SFL} = 3 \times (17 + 5.1) \text{ W}$$

$$P_{SFL} = 66.3 \text{ W}$$

Potencia instalada del sistema fluorescente (P_{IFL})

$$P_{IFL} = N_L \cdot P_{SFL}$$

Donde:

N_L = Numero de luminarias en el Edificio

P_{SFL} = Potencia de un sistema fluorescente

$$P_{IFL} = 1764 \times 66.3 \text{ W}$$

$$P_{IFL} = 116.95 \text{ KW}$$

Factor de Simultaniedad (F_s)

Para una estimación de F_s se realizó una verificación de las lámparas encendidas y apagadas durante un día a diferentes horas. En la tabla IV.2 se puede observar los datos recolectados de la cantidad de lámparas del cuarto piso de la UPSI.

TABLA IV.2. LÁMPARAS FLUORESCENTES T8 QUE ESTÁN ENCENDIDAS Y APAGADAS EN DIFERENTES HORAS DEL CUARTO PISO DE LA UPSI

TOTAL	08:00 a.m.		10:00 a.m.		02:00 p.m.		04:00 p.m.		06:00 p.m.	
	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A
29	1	28	29	0	1	28	22	7	29	0
8	0	8	0	8	0	8	0	8	4	4
3	0	3	3	0	3	0	3	0	3	0
29	15	14	18	11	0	29	18	11	20	9
9	9	0	9	0	0	9	9	0	9	0
6	4	2	4	2	0	6	4	2	4	2
3	0	3	0	3	0	3	3	0	0	3
22	12	10	12	10	0	22	22	0	0	22
22	0	22	22	0	0	22	0	22	0	22
17	0	17	8	9	0	17	0	17	0	17
6	6	0	6	0	0	6	6	0	6	0
22	0	22	0	22	0	22	0	22	0	22
36	36	0	36	0	0	36	36	0	36	0
28	0	28	6	22	0	28	14	14	28	0
6	5	1	6	0	0	6	5	1	5	1
3	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0
6	2	4	5	1	3	3	3	3	5	1
8	8	0	8	0	4	4	8	0	8	0
3	3	0	3	0	3	0	0	3	3	0
12	9	3	9	3	9	3	9	3	9	3
2	2	0	2	0	0	2	2	0	2	0
3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3
4	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0
17	17	0	17	0	17	0	17	0	17	0
12	0	12	10	2	0	12	6	6	6	6
11	8	3	0	11	0	11	7	4	11	0
12	0	12	0	12	0	12	8	4	8	4
13	7	6	7	6	13	0	13	0	7	6
11	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0
12	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0
11	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0
12	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0
11	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0
11	11	0	11	0	11	0	11	0	11	0
2	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0
17	17	0	17	0	17	0	17	0	17	0
2	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2
441	238	203	316	125	147	294	311	130	314	127

E = luminarias encendidas, A= luminarias apagadas

Promedio de Luminarias encendidas L_E	265
Promedio de Luminarias apagadas L_A	176

Factor de Simultaniedad (F_S)

$$F_S = \frac{L_E}{L_E + L_A} \quad (\text{IV.4})$$

Donde:

L_E = Luminarias encendidas

L_A = Luminarias apagadas

$$F_S = \frac{265}{265+176} = 0.6$$

Potencia consumida del sistema fluorescente (P_{CFL})

$$P_{CFL} = P_I \times F_S$$

Donde:

P_{IFL} = Potencia instalada del sistema fluorescente

F_S = Factor de Simultaniedad

$$P_{CFL} = 116,953.2W \times 0.6 = 70.17 \text{ KW}$$

4.1.1.2. Análisis Económico

a) Costo Por Año De La Inversión

Debido a que el sistema fluorescente ya está instalado los costos tienen valor cero y no hay inversión. El costo de la inversión por año es cero.

b) Costo Por Año Del Consumo De Energía

Horas al año del Consumo de Energía (H_{LA})

$$H_{LA} = H_{LD} \cdot DL_M \cdot ML_A \quad (\text{IV.5})$$

H_{LD} = Horas de consumo por día laboral.

DL_M = Dias de consumo por mes laboral.

ML_A = Meses de consumo por año laboral.

$$H_{LA} = 9 \times 22 \times 12 = 2376 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}$$

Energía Consumida al año por el Sistema Fluorescente (E_{CFL})

$$E_{CFL} = H_{LA} \cdot P_{CFL}$$

Donde:

H_{LA} = Horas al año del Consumo de Energía

P_{CFL} = Potencia consumida del sistema fluorescente

$$E_{CFL} = (2376 \times 70.17) \frac{\text{KWH}}{\text{año}} = 166,728.48 \text{W}$$

Costo del KWH (C_{KWH})

$$C_{KWH} = 0.113 \text{ \$/KWH}$$

Costo por año de Energía (C_{EA})

$$C_{EA} = C_{KWH} * E_{CFL}$$

Donde:

C_{KWH} = Costo del KWH

E_{CFL} = Energía Consumida al año por el Sistema Fluorescente

$$C_{EA} = 0.113 \frac{\$}{\text{KWH}} \times 166.73 \text{KWH} = 18,840 \text{ \$}$$

b) Costos Por Año De La Renovación De Las Lámparas**Horas de Uso por año de todas las lámparas (H_{UL})**

$$H_{UL} = H_{LA} * N_{LL}$$

Donde:

H_{LA} = Horas al año del Consumo de Energía

N_{LL} = Número de lámparas de todo el sistema

$$H_{UL} = 2376 \times 5292 = 12573792 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}$$

Promedio de renovación de todas las lámparas (P_{RL})

$$P_{RL} = \frac{H_{UL}}{V_N}$$

H_{UL} = Horas de uso por año de todas las lámparas

V_N = Vida nominal de la lámpara

$$P_{RL} = \frac{12573792 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}}{20000 \frac{\text{horas}}{\text{lámpara}}} = 628 \frac{\text{lámparas}}{\text{año}}$$

Costo por reemplazo de lámpara (C_{nr})

$$C_{nr} = P_n + P_r \quad (IV.6)$$

$P_n = \$ 1.4$ (precio de la lámpara en dólares)

$P_r = \$4$ (precio por reemplazar la lámpara en dólares)

$$C_{nr} = (1,4 + 4)\$ = \$ 5,4$$

Costo por renovación por año de todas las lámparas del sistema (C_{RL})

$$C_{RL} = P_{RL} * C_{nr}$$

P_{RL} = Promedio de renovación de todas las lámparas

C_{nr} = Costo por reemplazo de la lámpara.

$$C_{RL} = 628 \times 5,4 = \$ 3,391.2$$

c) Costo Por Año De La Limpieza De Las Lámparas**Horas al año para cada limpieza del sistema de iluminación (H_{CL})**

$$H_{CL} = H_L \cdot N_L$$

$H_L = 0.05$ Horas (horas en la limpieza de cada luminaria)

N_L = Numero de luminarias en el Edificio

$$H_{CL} = 0.05 \left(\frac{\text{horas}}{\text{luminaria}} \right) \times 1764 \left(\frac{\text{luminarias}}{\text{limpieza}} \right) = 88 \frac{\text{horas}}{\text{limpieza}}$$

Total de horas al año invertidas en la limpieza de las lámparas (H_{TL})

$$H_{TL} = H_{CL} \cdot L_A$$

H_{CL} = Horas al año para cada limpieza del sistema de iluminación.

$L_A = 2$ (Limpiezas por año)

$$H_{TL} = 88 \left(\frac{\text{horas}}{\text{limpieza}} \right) \times 2 \left(\frac{\text{limpiezas}}{\text{año}} \right) = 176 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)$$

Costo de limpiezas al año (C_{LA})

$$C_{LA} = H_{TL} \cdot C_{HL}$$

H_{TL} = Total de horas al año invertidas en la limpieza de las lámparas

$C_{HL} = 1.5 \frac{\$}{\text{hora}}$ (Costo por hora de limpieza)

$$C_{LA} = 176 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) \times 1.5 \frac{\$}{\text{hora}} = 264 \frac{\$}{\text{año}}$$

d) Costo Por Año De La Reparación Del Sistema Fluorescente

Numero de reparaciones al año (N_{RA})

$$N_{RA} = N_{RM} \times N_M$$

N_{RM} = Número de reparaciones al mes (ENCUESTADO)

N_M = Número de meses al año.

$$N_{RA} = 2 \times 12 = 24$$

Costo por reparación del balastro (C_{RB})

$$C_{RB} = C_b + C_{rb} \quad (IV.7)$$

C_b = costo del balastro

C_{rb} = costo de reemplazar el balastro

$$C_{RB} = (15,17 + 2) \$ = \$ 17,17$$

Costo total al año por reparación (C_{TR})

$$C_{TR} = N_{RA} \cdot C_{RB}$$

N_{RA} = Número de reparaciones al año

C_{RB} = Costo por reparación del balastro

$$C_{TR} = 24 \times 17.17 \$ = 412.08$$

4.1.2. Sistema LED

Flujo de la lámpara (ϕ_L)

$$\phi_L = 600\text{lm}$$

Potencia de la lámpara (P_1)

$$P_1 = 8\text{W}$$

Vida nominal de la lámpara (V_N)

$$V_N = 50000 \text{ horas}$$

4.1.2.1. Análisis Técnico

Iluminancia mantenida (E_{man})

Para una comparación correcta de los dos sistemas de iluminación, se toma la misma iluminancia media ($E_m = 833,26 \text{ lx}$) del sistema FL para el sistema LED.

$$E_{man} = E_m \times f_m$$

E_m = Iluminancia media del sistema fluorescente

$f_m = 0.8$ (igual que el sistema fluorescente).

$$E_{man} = 833,26 \text{ lx} \cdot (0.8) = 666.6 \text{ lx}$$

Número de luminarias LED de un piso (n_L).

$$n_L = \frac{E_m \cdot S}{n_l \cdot \phi_L \cdot \eta}$$

$$n_L = \frac{(833,26 \text{ lx}) \cdot (1321 \text{ m}^2)}{(3 \times 600 \text{ lm} \times 0.64)} = 956 \frac{\text{luminarias}}{\text{piso}}$$

Número de luminarias LED para el edificio (N_{LLED})

$$N_{LLED} = n_L \cdot N_p$$

n_L = Número de luminarias LED para un piso

N_p = Número de pisos

$$N_{LLED} = 956 \times 4 = 3824 \text{ luminarias/edificio}$$

Lámparas LED para el edificio (L_{LED})

$$L_{LED} = N_{LLED} \cdot n_l$$

N_{LLED} = número de luminarias LED para el edificio.

n_l = Número de lámparas por luminaria

$$L_{LED} = 3824 \times 3 = 11,472 \text{ lámparas}$$

Potencia de la Lámpara LED (P_{LED})

$$P_{LED} = P_N \cdot \cos \varphi$$

P_N = Potencia nominal

$\cos \varphi$ = factor de potencia de la lámpara LED

$$P_{LED} = 8 \text{ W} \times 0.7 = 5.6 \text{ W}$$

Potencia de un sistema (P_S)

$$P_S = n_l \times P_{LED}$$

(IV.8)

n_l = Número de lámparas por luminaria

$$P_S = 3 \times 5.6 \text{ W} = 16.8 \text{ W}$$

Potencia Instalada (P_I)

$$P_I = N_{LLED} \times P_S$$

N_{LLED} = Número de luminarias LED para el edificio.

P_S = Potencia de un sistema

$$P_I = 3824 \times 16.8 \text{ W} = 64,243.2 \text{ W}$$

Factor de Simultaniedad (F_S)

Se estima el mismo del sistema fluorescente, calculado en (IV.4), e igual a 0.6

Potencia Consumida (P_{CLED})

$$P_{CLED} = P_I \times F_S$$

P_I = Potencia instalada

F_S = factor de simultaneidad

$$P_{CLED} = 64,243.2 \text{ W} \times 0.6 = 38.55 \text{ KW}$$

4.1.2.2. Análisis Económico**a) Costo Por Año De La Inversión**

La lámpara LED tiene un precio elevado, por ser una nueva tecnología y por ser importadas.

Costo nominal de una lámpara LED (C_{LED})

$$C_{LED} = \$ 29.25$$

Costo nominal de todas las lámparas (FOB_{TOTAL})

$$FOB_{TOTAL} = C_{LED} \cdot L_{LED}$$

C_{LED} = costo nominal de una lámpara LED.

L_{LED} = lámparas LED para el Edificio.

$$FOB_{TOTAL} = \$29.25 \times 11,472 = \$ 355,556$$

Peso en Kg de todas lámpara LED (P_K)

$$P_K = p_{LED} \cdot L_{LED}$$

p_{LED} = 0.25 Kg (peso de cada lámpara LED).

L_{LED} = Lámparas LED para el Edificio.

$$P_K = 0.25 \text{ kg} \times 11,472 = 2,868 \text{ Kg.}$$

Costo total del flete (F_T)

$$F_T = C_K \cdot P_K$$

C_K = \$5 (costo por Kg)

P_K = Peso en Kg de todas lámparas LED

$$F_T = C_K \cdot P_K = 5 (\$/\text{kg}) \times 2,868 \text{ Kg} = \$ 14,340$$

Cobro de seguro en el Ecuador (C_S)

$$C_S = 0.01 * FOB_{TOTAL} = \$ 3,355.56$$

Costo de seguro y flete (CIF_{TOTAL})

$$CIF_{TOTAL} = FOB_{TOTAL} + F_T + C_S$$

$$CIF_{TOTAL} = \$ 353,251.56$$

Gastos totales de importación (G_{TI})

$$G_{TI} = \$ 64,490$$

Detalles de los costos de importación ver anexos (tabla IV.A3 y IV.B3)

Costo real de la lámpara LED (C_{RLED})

$$C_{RLED} = \frac{FOB_{TOTAL} + G_{TI}}{L_{LED}}$$

$$C_{RLED} = \frac{\$ (335,556 + 64,490)}{11,472 \text{ lamparas}} = \$ 34.87$$

Costo por un sistema LED (C_{SLED})

$$C_{SLED} = C_{RLED} * n_1$$

$$C_{SLED} = (\$ 34.87 * 3) = \$ 104.61$$

Costo (labor) de instalación de un sistema LED

Como se analiza un edificio con un sistema de iluminación fluorescente implementado, el costo por instalar el nuevo sistema incluye los costos (C_I) por instalar las lámparas LED y eliminación de los balastos.

$$C_I = \$ 10$$

Costo de un sistema LED instalado (C_{ILED})

$$C_{ILED} = C_I + C_{SLED}$$

$$C_{ILED} = \$10 + \$104.61 = \$114.61$$

Número de luminarias Adicionales (N_{LA})

$$N_{LA} = N_{LLED} - N_L$$

N_{LLED} = luminarias LED para el edificio

N_L = luminarias fluorescentes del edificio

$$N_{LA} = 3824 - 1764 \text{ luminarias} = 2060 \text{ luminarias}$$

Costo de una luminaria (C_L)

$$C_L = \$ 20$$

Costo de las luminarias adicionales (C_{LA})

$$C_{LA} = N_{LA} \cdot C_L$$

$$C_{LA} = 2060 \text{ luminarias} \times 20 \frac{\$}{\text{luminaria}} = \$ 41,200$$

Costo del cableado por las luminarias adicionales (C_{CLA})

$$C_{CLA} = \$ 79,351.2$$

En la tabla IV.3 se detalla el costo de cableado por puntos adicionales de instalación.

TABLA IV.3 COSTO DE CABLEADO POR LAS LUMINARIAS ADICIONALES

costo cableado para el sistema LED				
Puntos	cantidad cable / punto (m)	costo / m	costo total cable / punto	costo total / puntos
2060	90	0.428	38.52	79,351

Costo total del sistema LED (C_{TLED})

$$C_{TLED} = C_{ILED} \cdot N_{LLED}$$

C_{ILED} = Costo por cada luminaria LED instalada.

N_{LLED} = Número de luminarias LED para el edificio.

$$C_{TLED} = \$114.61 \times 3824 = \$ 438,268.64$$

Inversión (I)

$$I = C_{TLED} + C_{CLA} + C_{LA}$$

C_{TLED} = Costo total del sistema LED.

C_{CLA} = Costo por cableado de luminarias LED adicionales.

C_{LA} = Costo por luminarias adicionales.

$$I = \$ 438,268.64 + \$ 79,351.2 + \$ 41,200 = \$ 558,819.84$$

a) Costo Por Año De La Inversión

El capital para la inversión se solicita a una institución financiera (banco) cuyos cobros se muestran en la tabla IV.4. El costo por año de la inversión \$ 68,427.49.

TABLA IV.4 COBROS DE UN BANCO PARA UN SISTEMA LED PARA EL EXISTENTE EDIFICIO UPSI

Inversión	558,819.84
tiempo de amortización (años)	10
costo total por año	55,881.98
tasa de interés por amortización (17.45%/años)	9,751.41
impuestos + seguros (5%/año)	2,794.10
costo de la inversión por año (\$/año)	68,427.49

b) Costos Por Año Del Consumo De Energía**Horas al año del Consumo de Energía (H_{LA})**

La horas de consumo de energía por año laboral (H_{LA}) son tomadas de la ecuación (IV.5) de la estimación del sistema fluorescente instalado que equivalen a 2376 $\frac{\text{horas}}{\text{año}}$.

Energía consumida al año por el sistema LED (E_{CLED})

$$E_{CLED} = H_{LA} \cdot P_{CLED}$$

H_{LA} = Horas al año de consumo de energía.

P_{CLED} = Potencia consumida por todo el sistema LED.

$$E_{CLED} = (2376 \times 38.55) \frac{\text{KWH}}{\text{año}} = 91,594.8 \frac{\text{KWH}}{\text{año}}$$

Costo del Kilowatio Hora (C_{KWH})

$$C_{KWH} = 0.113 \text{ \$/KWH}$$

Costo de la energía al año

$$C_{EA} = C_{KWH} * E_{CLED}$$

C_{KWH} = Costo del Kwh (costo del Kilowatio hora)

E_{CLED} = Energía consumida de todo el sistema LED.

$$C_{EA} = 0.113 \frac{\$}{\text{KWH}} \times 91,594.8 \frac{\text{KWH}}{\text{año}} = 10,350.2 \frac{\$}{\text{año}}$$

c) Costo Por Año De La Renovación De Las Lámparas**Horas de uso por año de todas las lámparas (H_{UL})**

$$H_{UL} = H_{LA} * N_{LL}$$

H_{LA} = promedio de horas usadas al año

N_{LL} = Número de lámparas de todo el sistema

$$H_{UL} = 2376 \times 11,472 = 27,257,472 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}$$

Promedio de renovación de todas las lámparas (P_{RL})

$$P_{RL} = \frac{H_{UL}}{V_N}$$

H_{UL} = Horas de uso por año de todas las lámparas

V_N = vida útil de la lámpara

$$P_{RL} = \frac{27257472 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}}{50000 \frac{\text{Horas}}{\text{lampara}}} = 545 \frac{\text{lámparas}}{\text{año}}$$

Costo por renovación de una lámpara (C_{nr})

$$C_{nr} = C_{RLED} + C_r$$

C_{RLED} = Costo real de la lámpara LED

C_r = \$4 (costo por reemplazar la lámpara)

$$C_{nr} = (34,87 + 4)\$ = \$ 38.87$$

Costo de renovación por año de todas las lámparas del sistema (C_{RL})

$$C_{RL} = P_{RL} \cdot C_{nr}$$

P_{RL} = Promedio de renovación de todas las lámparas

C_{nr} = Costo por renovación de una lámpara.

$$C_{RL} = 545 \times 38,87 = \$ 21,184.15 \text{ /año}$$

d) Costo Por Año De La Limpieza De Las Lámparas**Horas al año para cada limpieza del sistema de iluminación (H_{CL})**

$$H_{CL} = H_{LLED} \cdot N_{LLED}$$

H_{LLED} = 0.05 horas/año (Horas en el mantenimiento de cada luminaria)

N_{LLED} = Número de luminarias LED para el edificio

$$H_{CL} = 0.05 \left(\frac{\text{horas}}{\text{luminaria}} \right) \times 3824 \left(\frac{\text{luminarias}}{\text{limpieza}} \right) = 191.2 \frac{\text{horas}}{\text{limpieza}}$$

Total de horas al año invertidas en la limpieza de las lámparas (H_{TL})

$$H_{TL} = H_{CL} \cdot L_A$$

L_A = 1 (Mantenimiento anual)

H_{CL} = Horas al año para cada mantenimiento del sistema de iluminación.

$$H_{TL} = 191 \left(\frac{\text{horas}}{\text{limpieza}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{limpiezas}}{\text{año}} \right) = 191 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)$$

Costo de limpiezas al año (C_{LA})

$$C_{LA} = H_{TL} \cdot C_{HL}$$

H_{TL} = Total de horas al año invertidas en el mantenimiento de las lámparas.

C_{HL} = Costo del mantenimiento por hora.

$$C_{LA} = 191 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) \times 1.5 \frac{\$}{\text{hora}} = 287 \frac{\$}{\text{año}}$$

e) Costo por año de la reparación del sistema LED

El costo por reparación es cero debido a que no existen balastos en las lámparas LED, estas integran la lámpara y el driver en un solo conjunto, por tanto si se daña la lámpara o el driver se cambia la lámpara LED completa y esos gastos son por renovación de lámparas.

4.1.3. Resumen Del Análisis Técnico Económico

En la tabla IV.5 se detalla un resumen del análisis técnico económico realizado hasta aquí de los dos sistemas de iluminación (LED y FLUORESCENTE) en el edificio UPSI con un sistema de iluminación (fluorescente) implementado.


TABLA IV.5 RESUMEN DEL ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS EFICIENTES (FLUORESCENTE Y LED) EN ILUMINACIÓN PARA EL ACTUAL EDIFICIO UPSI

información general	Sistema de Iluminación Fluorescente	Sistemas de Iluminación LED
Datos de instalación	Luminarias con lámparas fluorescentes trifósforo T8	Luminarias con lámparas LED T8
Tipo de Instalación	Alumbrado general para interiores	Alumbrado general para interiores
Número de luminarias	1764	3824
Lámparas por luminaria	3	3
Número de lámparas	5292	11472
potencia de c/sistema (incluyendo accesorios) (W)	66.3	16.8
factor de simultaneidad	0.6	0.6
potencia total consumida por el sistema (W)	70,171.92	38,545.92
iluminancia mantenida (lx)	666.6	666.6 lx
Calculo del costo completo		
Inversión		
costo por un sistema instalado (\$)	0	114.61
costo por todos los sistemas instalados (\$)	0	438,268.64
costo de las luminarias adicionales	0	41,200
costo de cableado de las luminarias adicionales	0	79,351.20
inversión	0	558,819.84

tiempo de amortización (años)	10	10
costo total por año	0	55,881.98
tasa de interés por amortización (17.45%/años)	0	9,751.406208
impuestos + seguros (5%/año)	0	2,794.0992
costo de la inversión por año (\$/año)	0	68,427.49
Costos de Energía		
horas laborales /año (H/año)	2,376	2,376
energía consumida (KW/año)	16,6728.48	91,585.11
costo del KWH (\$/KWH)	0.113	0.113
costo energía (\$/año)	18,840.32	10,349.12
costo por renovación de lámparas		
horas de uso por año de todas las lámparas	12,573,792	27,257,472
vida nominal lámpara	20,000	50000
promedio de renovación lámparas por año	628.69	545.15
precio neto lámpara (dólares)	1.40	34.87
costo por reemplazo (labor)	4	4
costo reemplazo + precio neto	5.40	38.87
costo total renovación	3,394.92	21,189.96
costos del mantenimiento (limpieza)		
numero de mantenimientos por año	2	1
horas al año para cada mantenimiento del sistema	88	191.20
horas al año para el mantenimiento de todos los sistema	176	191.20
costo de hora del trabajador (\$)	1.50	1.50
costo del mantenimiento por año (\$)	264	286.80
costo por reparación		
costo por reparación del balastro	17.17	0
numero de reparaciones al año	24	12
costo total reparación por año	412.08	0
RECAPITULACIÓN		
COSTO ANUAL DE LA INVERSIÓN	0	68,427.49
COSTO ANUAL DE LA ENERGÍA CONSUMIDA	18,840.32	10,349.12
COSTO ANUAL DE LA RENOVACIÓN	3,394.92	21,189.96
COSTO ANUAL DEL MANTENIMIENTO (LIMPIEZA)	264	286.8
COSTO ANUAL DE LA REPARACIÓN	412.08	0
COSTO POR AÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	22,911.32	100,253.37

























Para una comparación categórica de los sistemas de iluminación analizados, se utilizan dos figuras, que indican el nivel de eficiencia que tiene cada tecnología en sus aspectos técnicos y económicos, La tabla IV.6 ilustra los niveles de eficiencia utilizados.



















TABLA IV.6 NIVELES DE EFICIENCIA

Tecnología eficiente	
Tecnología deficiente	

La tabla IV.7, es un resumen categórico, que compara la eficiencia entre el sistema de iluminación fluorescente y SSL en el edificio actual UPSI.

TABLA IV.7. RESUMEN COMPARATIVO CATEGÓRICO DEL SISTEMA FLUORESCENTE (FL) Y SISTEMA LED PARA EL ACTUAL EDIFICIO UPSI

información general	Sistema de Iluminación Fluorescente	Sistemas de Iluminación LED
Datos de instalación	Luminarias con lámparas fluorescentes trifosforo T8	Luminariacon lamparas LED T8
Tipo de Instalación	Alumbrado general para interiores	Alumbrado general para interiores
numero de luminarias		
potencia de c/sistema (incluyendo accesorios) (W)		
potencia total consumida por el sistema (W)		
iluminancia mantenida (lx)		
Calculo del costo completo		
Inversión		
costo por todos los sistemas instalados (\$)		
costo de las luminarias adicionales		
costo de cableado de las luminarias adicionales		
inversión		
costo de la inversión por año (\$/año)		
Costos de Energía		
energía consumida (Kw/año)		
costo energía (\$/año)		
costo por renovación de lámparas		
vida nominal lámpara		

promedio de renovación lámparas por año		
precio neto lámpara (dólares)		
costo reemplazo + precio neto		
costo total renovación		
costos de mantenimiento (Limpieza)		
numero de mantenimiento por año		
horas al año de mantenimiento de todo el sistema		
costo de mantenimiento por año (\$)		
costo por reparación		
costo por reparación del balastro		
numero de reparaciones al año		
costo total reparación por año		
RECAPITULACIÓN		
COSTO ANUAL DE LA INVERSIÓN		
COSTO ANUAL DE LA ENERGÍA CONSUMIDA		
COSTO ANUAL DE LA RENOVACIÓN		
COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO		
COSTO ANUAL DE LA REPARACIÓN		
COSTO ANUAL DEL SISTEMA ILUMINACIÓN		

4.1.4. Recuperación De La Inversión

a) **Inversión (I)**

$$I = \$ 558,819.84$$

b) **Ingresos Anuales (I_A)**

$$I_A = A_E + A_R$$

Ahorro anual del consumo de Energía (A_E)

costo de energía fluorescente	costo de energía del sistema LED	A_E
18,840.32	10,349.12	\$ 8,491.20

Ahorro anual por la Reparación del Sistema (A_R)

costo por reparación del fluorescente	costo por reparación del sistema LED	A_R
\$412.08	\$0	\$412.08

$$I_A = \$ 8,491.20 + \$ 412.08 = \$ 8,903.28$$

c) Egresos anuales (E_A)

$$E_A = G_R + G_L$$

Gasto anual por mantenimiento (G_L)

costo de limpieza fluorescente	costo del mantenimiento LED	G_L
\$ 264	\$ 286.8	\$ 22.8

Gasto anual por renovación de las lámparas del Sistema (G_R)

Costo de renovación de lámparas fluorescente	Costo de renovación de lámparas LED	G_R
\$ 3,394.92	\$ 21,189.96	\$ 17,795.03

$$E_A = \$ 17,795.03 + \$ 22.8 = \$ 17,817.83$$

Los egresos son mayores a los ingresos anuales, no existe capital para recuperar la inversión.

4.2. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS EFICIENTES (LED Y FLUORESCENTE) EN ILUMINACIÓN PARA EL EDIFICIO PROYECTADO UPSI.

Ahora se considera a la UPSI como un nuevo edificio, en estas circunstancias se estudia propuestas de los dos sistemas de iluminación (fluorescentes y LED) para la iluminación interior de oficinas. Entonces se realiza una comparación basada en datos técnicos y económicos de los sistemas lumínicos para determinar sus diferencias.

Se utiliza el método de lúmenes para determinar el número de lámparas necesarias para un nivel de iluminación deseado. Con fines de dimensionamiento, primero se analiza la iluminancia de una oficina (oficina de Electrónica) para luego hacer una estimación del volumen del edificio y tener el sistema de iluminación para el edificio completo. Como es el mismo edificio, se utiliza los mismos valores de las dimensiones del plano de trabajo, oficina y edificio del caso anterior analizado.

Factor de Mantenimiento (f_m)

$$f_m = 0.8$$

Este valor es estandarizado. Ver en anexos Tabla IV.A2

Índice del local (k)

Es el mismo valor de (IV.1), igual a 2.2

Reflectancias (ρ_{techo} , ρ_{paredes} , ρ_{suelo})

$$\rho_{\text{techo}}=0.7 \quad \rho_{\text{paredes}}=0.3 \quad \rho_{\text{suelo}}=0.2$$

Estos valores de reflectancias son normalizados. Ver en anexos tabla IV.A1.

Factor de Utilización (η)

Tomamos los mismos valores de reflectancias e índice local (K), y con la tabla IV.2 obtenemos el valor de $\eta=0.64$

Iluminancia media (E_m)

La iluminancia deseada (E_{TABLAS}) para este tipo de oficina según la norma IRAM AADL J20-06 de Argentina, es de 400 lx.

$$E_m = 400 \text{ lx}$$

Lámparas por luminaria (n_l)

$$n_l = 3 \text{ lámparas/luminaria}$$

4.2.1. Sistema Fluorescente

Se utiliza las mismas lámparas (con los mismos datos técnicos) usadas en el sistema de iluminación fluorescente (ver 4.1.1) analizado anteriormente.

4.2.1.1. Análisis Técnico

Flujo luminoso en la oficina (Φ_T)

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot A_0}{\eta \cdot f_m} \tag{IV.9}$$

Donde:

E_m = iluminancia media deseada

A_0 = superficie de la oficina

η = coeficiente de utilización

f_m = factor de mantenimiento

$$\Phi_T = \frac{(400 \text{ lx})(66 \text{ m}^2)}{(0.64)(0.8)} = \frac{26400 \text{ lm}}{0.512} = 51562.5 \text{ lm}$$

Número de luminarias en la oficina (n_L)

$$n_L = \frac{\Phi_T}{n_l \cdot \Phi_L}$$

Φ_T = Flujo luminoso en la oficina.

ϕ_L = Flujo luminoso de una lámpara.

n_l = Número de lámparas por luminaria.

$$n_L = \frac{51562.5\text{lm}}{3(1300\text{lm})} = 13 \text{ luminarias}$$

Cantidad de oficinas (N_A)

$$N_A = \frac{S}{A_0} \quad (\text{IV.10})$$

S = Superficie del edificio

A_0 = Superficie de la oficina

$$N_A = \frac{1321\text{m}^2}{66\text{m}^2} = 20 \text{ oficinas}$$

Número de luminarias por piso (N_{LP})

$$N_{LP} = n_L \cdot N_A$$

n_L = Número de luminarias en la oficina

N_A = Cantidad de oficinas

$$N_{LP} = 13 \text{ luminarias} \times 20 \text{ oficinas} = 260 \text{ luminarias/piso}$$

Número de luminarias fluorescentes (N_{LFL})

$$N_{LFL} = N_{LP} \cdot N_P$$

N_{LP} = Número de luminarias por piso

N_P = Pisos del Edificio

$$N_{LFL} = 260 \frac{\text{luminarias}}{\text{piso}} \cdot 4 \text{ pisos} = 1040 \text{ luminarias}$$

Iluminancia media (E_m)

Por último, nos queda comprobar si con este número de luminarias obtenemos una iluminancia media igual o superior a la recomendada en las tablas.

$$E_m = \frac{n_l \cdot \phi_L \cdot \eta \cdot N_{LP}}{S}$$

n_l = Número de lámparas por cada luminaria.

ϕ_L = Flujo luminoso de una lámpara

η = coeficiente de utilización

N_{LP} = Número de luminarias por piso

S = Superficie del Edificio

$$E_m = \frac{3 \cdot (13001m) \cdot (0.64) \cdot 260}{1321m^2} = 491.26 \text{ lx}$$

$$E_m > E_{\text{tablas}}$$

La iluminancia media (E_m) es mayor a la iluminancia deseada ($E_{\text{tablas}} = 400 \text{ lx}$), por lo tanto el número de luminarias es aceptado.

Iluminancia mantenida (E_{man})

$$E_{\text{man}} = E_m \cdot f_m$$

E_m = Iluminancia media

f_m = Factor de mantenimiento

$$E_{\text{man}} = 491.26 \times 0.8 = 393 \text{ lx}$$

Lámparas fluorescente del edificio (L_{FL})

$$L_{\text{FL}} = N_{\text{LFL}} \cdot n_1$$

N_{LFL} = Número de luminarias fluorescentes.

n_1 = Número de lámparas por luminaria.

$$L_{\text{FL}} = 1040 \times 3 = 3120 \text{ lámparas}$$

Potencia de un sistema fluorescente (P_{SFL})

El cálculo de la ecuación (IV.3), nos da el valor P_{SFL}

$$P_{\text{SFL}} = 66.3 \text{ W}$$

Potencia instalada del sistema fluorescente (P_{IFL})

$$P_{\text{IFL}} = N_{\text{LFL}} \cdot P_{\text{SFL}}$$

N_{LFL} = Número de luminarias fluorescentes.

P_{SFL} = Potencia de un sistema fluorescente.

$$P_{\text{IFL}} = 1040 \text{ luminarias} \times 66.3 \text{ W} = 68.95 \text{ KW}$$

Factor de Simultaniedad (F_s)

En la ecuación (IV.4) se calculó el F_s igual a 0.6.

Potencia Consumida del sistema fluorescente (P_{CFL})

$$P_{\text{CFL}} = P_{\text{IFL}} \times F_s$$

P_{IFL} = Potencia instalada del sistema fluorescente

F_s = Factor de simultaniedad

$$P_{\text{CFL}} = 68,95 \text{ KW} \times 0.6 = 41.37 \text{ KW}$$

4.2.1.2. Análisis Económico

Costo por instalación de un punto (C_P)

Se refiere al cobro por instalar la luminaria, las lámparas, el balastro y el cableado de un sistema Fluorescente (FL). $C_P = \$ 8$

Costo por una lámpara fluorescente (C_{FL})

$$C_{FL} = \$1.4$$

Costo por luminaria (C_L)

$$C_L = \$ 20$$

Costo por balastro (C_B)

$$C_B = \$15.17$$

Costo por cableado (C_C)

En la tabla IV.8 se detalla el costo de cableado por un sistema FL (punto).

$$C_C = \$ 38.52$$

TABLA IV.8 COSTO DEL CABLEADO DE UN SISTEMA FLUORESCENTE (PUNTO DE INSTALACIÓN)

Puntos	cantidad cable / punto (m)	costo / m	costo total cable / punto
1	90	0.428	38.52

Costo por un sistema fluorescente instalado (C_{SFL})

$$C_{SFL} = [C_P + (n_1 \cdot C_{FL}) + C_L + C_B + C_C]$$

Donde:

C_P = Costo por instalación de un punto.

n_1 = número de lámparas por luminaria.

C_{FL} = Costo por una lámpara fluorescente

C_L = Costo por luminaria

C_B = Costo por balastro

C_C = Costo del cableado

$$C_{SFL} = [8 + (1.4 \times 3) + 20 + 15.17 + 38.52] = \$ 85.89/\text{luminaria}$$

Costo total del sistema fluorescente (C_{TFL})

$$C_{TFL} = N_{LFL} \cdot C_{SFL}$$

N_{LFL} = Número de luminarias fluorescentes.

C_{SFL} = Costo por un sistema fluorescente instalado.

$$C_{TFL} = 1040 \text{ luminarias} \times \$ 85.89/\text{luminaria} = \$ 89,325.6 = I$$

a) Costo por año de la Inversión

El capital para la inversión se solicita a una institución financiera (banco) cuyos cobros se muestran en la tabla IV.9. La inversión por año es \$ 10,937.9.

TABLA IV.9 COBROS DE UN BANCO PARA UN SISTEMA FLUORESCENTE

inversión	89,325.6
tiempo de amortización (años)	10
costo total por año	8932.56
tasa de interés por amortización (17.45%/años)	1558.73172
impuestos + seguros (5%/año)	446.628
costo de la inversión por año (\$/año)	10,937.91972

b) Costos Por Año Del Consumo De Energía

Horas al año de consumo de energía (H_{LA})

De la ecuación (IV.5), las horas al año que se consume energía son 2376 horas, así

$$H_{LA} = 2376 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}$$

Energía Consumida al año del sistema fluorescente (E_{CFL})

$$E_{CFL} = H_{LA} \cdot P_{CFL}$$

H_{LA} = Horas al año de consumo de energía.

P_{CFL} = Potencia Consumida del sistema fluorescente.

$$E_{CFL} = (2376 \times 41.37) \frac{\text{KWH}}{\text{año}} = 98,297.97 \frac{\text{KWH}}{\text{año}}$$

Costo del Kilowatio Hora (C_{KWH})

$$C_{KWH} = 0.113 \text{ \$/KWH}$$

Costo de Energía al año (C_{EA})

$$C_{EA} = C_{KWH} * E_{CFL}$$

C_{KWH} = Costo del Kilowatio hora

E_{CFL} = Energía Consumida al año del sistema fluorescente

$$C_{EA} = 0.113 \frac{\$}{\text{KWH}} \times 98,297.97 \text{KWH} = 11,107.67 \$$$

c) Costos Por Año De La Renovación De Las Lámparas

Horas de Uso por año de todas las lámparas (H_{UL})

$$H_{UL} = H_{LA} * L_{FL}$$

H_{LA} = Horas al año de consumo de energía.

L_{FL} = Lámparas fluorescentes del edificio.

$$H_{UL} = 2376 \times 3120 = 7,413,120 \text{ Horas/año}$$

Promedio de renovación de todas las lámparas (P_{RL})

$$P_{RL} = \frac{H_{UL}}{V_N}$$

H_{UL} = Horas de Uso por año de todas las lámparas.

V_N = Vida nominal de la lámpara.

$$P_{RL} = \frac{7413120 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}}{20000 \frac{\text{horas}}{\text{lámpara}}} = 371 \frac{\text{lámparas}}{\text{año}}$$

Costo por reemplazo de la lámpara (C_{nr})

De la ecuación (IV.6) se obtiene:

$$C_{nr} = \$5,4 / \text{lámpara}$$

Costo por año de la renovación de todas las lámparas del sistema (C_{RL})

$$C_{RL} = P_{RL} * C_{nr}$$

P_{RL} = Promedio de renovación de todas las lámparas.

C_{nr} = Costo por reemplazo de la lámpara

$$C_{RL} = 371 \text{ lámparas} \times \$ 5,4/\text{lámpara} = \$ 2,001.54$$

d) Costo por año del Mantenimiento (limpieza) de las lámparas

Horas al año para cada limpieza del sistema de iluminación (H_{CL})

$$H_{CL} = H_{LFL} \cdot N_{LFL}$$

H_{LFL} = 0.05 horas (Horas en el mantenimiento de cada luminaria).

N_{LFL} = Número de luminarias fluorescente en el Edificio.

$$H_{CL} = 0.05 \left(\frac{\text{horas}}{\text{luminaria}} \right) \times 1040 \left(\frac{\text{luminarias}}{\text{limpieza}} \right) = 52 \frac{\text{horas}}{\text{limpieza}}$$

Total de horas al año invertidas en el mantenimiento de las lámparas (H_{TL})

$$H_{TL} = H_{CL} \cdot L_A$$

H_{CL} = Horas al año para cada mantenimiento del sistema de iluminación

L_A = 2 (Limpiezas al año)

$$H_{TL} = 52 \left(\frac{\text{horas}}{\text{limpieza}} \right) \times 2 \left(\frac{\text{limpiezas}}{\text{año}} \right) = 104 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)$$

Costo del mantenimiento al año (C_{LA})

$$C_{LA} = H_{TL} \cdot C_{HL}$$

H_{TL} = Total de horas al año invertidas en el mantenimiento de las lámparas.

$$C_{HL} = 1.5 \frac{\$}{\text{hora}} \text{ (Costo por hora del mantenimiento)}$$

$$C_{LA} = 104 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) \times 1.5 \frac{\$}{\text{hora}} = 156 \frac{\$}{\text{año}}$$

e) Costo Por Año Para Reparación Del Sistema

Número de reparaciones por año (N_{RA})

$$N_{RA} = N_{RM} \times N_M$$

N_{RM} = Número de reparaciones al mes (encuestado)

N_M = numero de meses al año

$$N_{RA} = 1 \times 12 = 12$$

Costo por reparación del balastro (C_{RB})

En la ecuación (IV.7) se encuentra calculado el $C_{RB} = \$ 17,17$

Costo total al año por reparación (C_{TR})

$$C_{TR} = N_{RA} \cdot C_{RB}$$

N_{RA} = número de reparaciones al año

C_{RB} = costo por reparación del balastro

$$C_{TR} = 12 \times 17.17 \$ = 206.04$$

4.2.2. Sistema LED

Se elige los valores de lámpara LED utilizada en el análisis del sistema LED anterior (ver 4.1.2)

4.2.2.1. Análisis Técnico

Flujo luminoso en la oficina (ϕ_T)

El flujo luminoso de la ecuación (IV.9) es el que necesita la oficina para tener un nivel de iluminación óptimo, entonces para las lámparas LED tenemos:

$$\phi_T = 51562.5 \text{lm}$$

Número de luminarias en la oficina (n_L)

$$n_L = \frac{\phi_T}{n_l \cdot \phi_L}$$

ϕ_T = Flujo luminoso en la oficina

ϕ_L = Flujo luminoso de una lámpara

n_l = Número de lámparas por luminaria

$$n_L = \frac{51562.5\text{lm}}{3(600\text{lm})} = 29 \frac{\text{luminarias}}{\text{oficina}}$$

Cantidad de oficinas (N_A)

El valor calculado en la ecuación (IV.10) es el utilizado para las lámparas LED, entonces:

$$N_A = 20 \text{ oficinas/piso}$$

Número de luminarias por piso (N_{LP})

$$N_{LP} = n_L \cdot N_A$$

n_L = Número de luminarias por oficina

N_A = Cantidad de oficinas

$$N_{LP} = 29 \frac{\text{luminarias}}{\text{oficina}} \times 20 \frac{\text{oficinas}}{\text{piso}} = 580 \frac{\text{luminarias}}{\text{piso}}$$

Número de Luminarias LED del edificio (N_{LLED})

$$N_{LLED} = N_{LP} \cdot N_P$$

N_{LP} = Número de luminarias por piso.

N_P = Número de pisos del edificio.

$$N_{LLED} = N_{LP} = 580 \frac{\text{luminarias}}{\text{piso}} \cdot 4 \text{ pisos} = 2320 \text{ luminarias}$$

Iluminancia media (E_m)

$$E_m = \frac{n_l \cdot \phi_L \cdot \eta \cdot n_L}{S}$$

n_l = Número de lámparas por luminaria

ϕ_L = Flujo luminoso de una lámpara LED

η = Coeficiente de utilización

n_L = Número de luminarias en la oficina

S = Superficie del edificio

$$E_m = \frac{3 \cdot (600\text{lm}) \cdot (0.64) \cdot 580}{1321\text{m}^2} = 505.79 \text{ lx}$$

Puesto que la iluminancia media (E_m) es mayor a la iluminancia media deseada ($E_{\text{tablas}} = 400 \text{ lx}$), se considera al número de luminarias correcto.

Iluminancia Mantenido (E_{man})

$$E_{\text{man}} = E_m \times f_m$$

E_m = Iluminancia media

f_m = Factor de mantenimiento

$$E_{man} = 505,79 \text{ lx} \cdot (0.8) = 404,6 \text{ lx}$$

Potencia de un Sistema LED (P_{SLED})

Como son las mismas lámparas con la misma luminaria que el mismo sistema LED analizado (ver 4.1.2), entonces usaremos la potencia calculada de la ecuación (IV.8), que es:

$$P_{SLED} = 16.8 \text{ W}$$

Potencia Instalada de todo el sistema LED (P_I)

$$P_{ILED} = N_{LLED} \times P_{SLED}$$

N_{LLED} = Numero de luminarias LED para el edificio

P_{SLED} = Potencia de un Sistema

$$P_I = 2320 \times 16.8 \text{ W} = 38,976 \text{ W}$$

Factor de Simultaniedad (F_S)

De acuerdo a la ecuación (IV.4) el $F_S = 0.6$

Potencia Consumida de todo del Sistema LED (P_{CLED})

$$P_{CLED} = P_{ILED} \times F_S$$

P_{ILED} = Potencia Instalada

F_S = Factor de Simultaniedad

$$P_{CLED} = 38,976 \text{ W} \times 0.6 = 23.385 \text{ KW}$$

4.2.2.2. Análisis Económico

a) Costo Por Año De La Inversión

El costo de la lámpara LED importada depende de su peso. Utilizamos más lámparas LED para el edificio nuevo.

Costo nominal de una lámpara LED (C_{LED})

$$C_{LED} = \$ 29.25$$

Costo nominal de todas las lámparas (FOB_{TOTAL})

$$FOB_{TOTAL} = C_{LED} \cdot L_{LED}$$

C_{LED} = costo nominal de una lámpara LED

L_{LED} = lámparas LED para el Edificio.

$$FOB_{TOTAL} = \$29.25 \times 6960 = \$ 203,580$$

Peso en Kg de todas lámpara LED (P_K)

$$P_K = p_{LED} \cdot L_{LED}$$

$P_{LED} = 0.25 \text{ Kg}$ (peso de cada lámpara LED)

$$P_K = 0.25 \text{ kg} \times 6960 = 1740 \text{ Kg.}$$

Costo total del flete (F_T)

$$F_T = C_K \cdot P_K$$

$C_K = \$5$ (costo por Kg).

$P_K =$ Peso en Kg de toda lámpara LED

$$F_T = C_K \cdot P_K = 5 (\$/\text{kg}) \times 1740 \text{ Kg} = \$ 8700$$

Cobro de seguro en el Ecuador (C_S)

$$C_S = 0.01 * FOB_{TOTAL} = \$ 2,035.8$$

Costo de seguro y flete (CIF_{TOTAL})

$$CIF_{TOTAL} = FOB_{TOTAL} + F_T + C_S = \$ 214,315.8$$

Gastos Totales de Importación (G_{TI})

$$G_{TI} = 40,719.41$$

Detalles de los costos de importación ver anexos (tabla IV.A4 y IV.B4)

Costo real de la lámpara LED (C_{RLED})

$$C_{RLED} = \frac{FOB_{TOTAL} + G_{TI}}{L_{LED}}$$

$$C_{RLED} = \frac{\$ (203,580 + 40,719.41)}{6960 \text{ lámparas}} = \$ 35.10$$

Costo por un sistema LED (C_{SLED})

$$C_{SLED} = C_{RLED} * n_1$$

$$C_{SLED} = (35.10 \times 3) = \$ 105.3$$

Costo (labor) de instalación de un sistema LED (C_I)

$$C_I = \$ 10$$

Costo de un sistema LED instalado (C_{ILED})

$$C_{ILED} = C_I + C_{SLED}$$

$C_I =$ Costo (labor) de instalación de un sistema LED

$C_{SLED} =$ Costo por un sistema LED

$$C_{ILED} = \$10 + \$105,3 = \$115,3$$

Costo de una luminaria (C_L)

$$C_L = \$ 20$$

Costo de Cableado por un sistema LED (C_C)

$$C_C = \$ 38,95 \text{ (costo cableado/punto)}$$

La tabla IV.10. detalla el costo por el cableado de un sistema LED.

TABLA IV.10. COSTO DE CABLEADO DE UN SISTEMA LED

Puntos	cantidad cable / punto (m)	costo cable / m	costo total cable / punto
1	91	0.428	38.948

Costo de un sistema LED (C_{SLED})

$$C_{SLED} = C_{ILED} + C_L + C_C$$

C_{ILED} = Costo de un sistema LED instalado

C_L = Costo de una luminaria

C_C = Costo de Cableado por un sistema LED

$$C_{SLED} = \$ 115,3 + \$ 20 + \$ 38,95 = \$ 174,25$$

Costo total del sistema LED (C_{TLED})

$$C_{TLED} = C_{SLED} \cdot N_{LLED}$$

C_{SLED} = Costo de un sistema LED

N_{LLED} = Número de luminarias LED del edificio

$$C_{TLED} = \$174,25 \times 2320 = \$ 404,206 = I$$

a) Costo por año de la Inversión

El capital de la inversión se solicita a una institución financiera (banco) cuyos cobros se muestran en la tabla IV.11. El costo por año de la inversión \$ 49,501.64.

TABLA IV.11 COBROS DE UN BANCO DEL SISTEMA LED

Inversión	404,260
tiempo de amortización (años)	10
costo total por año	40,426
tasa de interés por amortización (17.45%/años)	7,054.337
impuestos + seguros (5%/año)	2,021.3
costo de la inversión por año (\$/año)	49,501.637

b) Costo por año del consumo de Energía

Horas al año del Consumo de Energía (H_{LA})

Por estimación las horas calculadas en (IV.5), son utilizadas:

$$H_{LA} = 2376 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}$$

Energía consumida al año por el sistema LED (E_{CLED})

$$E_{CLED} = H_{LA} \cdot P_{CLED}$$

H_{LA} = Horas al año del Consumo de Energía

P_{LED} = Potencia consumida del sistema LED.

$$E_{CLED} = (2376 \times 23.39) \frac{\text{KWH}}{\text{año}} = 55,564.19 \frac{\text{KWH}}{\text{año}}$$

Costo del Kwh

$$C_{KWH} = 0.113 \text{ \$/Kwh}$$

Costo por año de Energía Eléctrica (C_{EA})

$$C_{EA} = C_{KWH} * E_{CLED}$$

C_{KWH} = Costo del Kwh

E_{CLED} = Energía Consumida al año por el Sistema LED

$$C_{EA} = 0.113 \frac{\$}{\text{Kwh}} \times 55,564.18 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}} = 6,278.75 \frac{\$}{\text{año}}$$

c) Costos por año de la renovación de las Lámparas**Horas de Uso por año de todas las lámparas (H_{UL})**

$$H_{UL} = H_{LA} * N_{LL}$$

H_{LA} = Horas al año del Consumo de Energía

N_{LL} = Número de lámparas de todo el sistema

$$H_{UL} = 2376 \times 6960 = 16536960 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}$$

Promedio de renovación de todas las lámparas (P_{RL})

$$P_{RL} = \frac{H_{UL}}{V_N}$$

H_{UL} = Horas de Uso por año de todas las lámparas.

V_N = vida nominal de la lámpara.

$$P_{RL} = \frac{16536960 \frac{\text{Horas}}{\text{año}}}{50000 \frac{\text{horas}}{\text{lampara}}} = 331 \frac{\text{lamparas}}{\text{año}}$$

Costo por reemplazo de la lámpara (C_{nr})

$$C_{nr} = \$ 39,10$$

Costo de renovación por año de todas las lámparas del sistema (C_{RL})

$$C_{RL} = P_{RL} * C_{nr}$$

P_{RL} = Promedio de renovación de todas las lámparas.

C_{nr} = Costo por reemplazo de la lámpara.

$$C_{RL} = 331 \times 39,10 = \$ 12,931.90$$

d) Costo por año del mantenimiento de las lámparas**Horas al año para cada mantenimiento del sistema de iluminación (H_{CL})**

$$H_{CL} = H_L \cdot N_L$$

H_L = 0.05 horas (horas en el mantenimiento de cada luminaria).

N_L = Número de luminarias en el Edificio.

$$H_{CL} = 0.05 \left(\frac{\text{horas}}{\text{luminaria}} \right) \times 2320 \left(\frac{\text{luminarias}}{\text{limpieza}} \right) = 116 \frac{\text{horas}}{\text{limpieza}}$$

Total de horas invertidas en la limpieza de las lámparas (H_{TL})

$$H_{TL} = H_{CL} \cdot L_A$$

H_{CL} = Horas al año para cada mantenimiento del sistema de iluminación

L_A = 1 (mantenimientos al año)

$$H_{TL} = 116 \left(\frac{\text{horas}}{\text{limpieza}} \right) \times 1 \left(\frac{\text{limpiezas}}{\text{año}} \right) = 116 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right)$$

Costo de limpiezas al año (C_{LA})

$$C_{LA} = H_{TL} \cdot C_{HL}$$

H_{TL} = Total de horas al año invertidas en el mantenimiento de las lámparas

$C_{HL} = 1.5 \frac{\$}{\text{hora}}$ (costo por hora de mantenimiento).

$$C_{LA} = 116 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) \times 1.5 \frac{\$}{\text{hora}} = 174 \frac{\$}{\text{año}}$$

e) Costo por año de la reparación del sistema LED

Las lámparas LED no tienen balastro, enés de ello tienen un driver que está integrado con la lámpara. Si existe un daño en este dispositivo de control se cambia junto con la lámpara, pero este gasto se incluye es costos por renovación. Así:

$$C_{TR} = 0$$

4.2.3. Resumen Del Análisis Técnico Económico

En la tabla IV.12 se resume el análisis técnico económico de los dos sistemas de iluminación eficientes, con fines comparativos y una selección del mejor sistema de iluminación para el nuevo edificio UPSI.





































TABLA IV.12 RESUMEN DEL ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EFICIENTES PARA EL NUEVO EDIFICIO UPSI.

información general	Sistema de Iluminación Fluorescente	Sistemas de Iluminación LED
Datos de instalación	Luminarias con lámparas fluorescentes trifósforo T8	Luminarias con lámparas LED T8
Tipo de Instalación	Alumbrado general para interiores	Alumbrado general para interiores
número de luminarias	1,040	2,320
lámparas por luminaria	3	3
número de lámparas	3,120	6,960
potencia de c/sistema (incluyendo accesorios) (W)	66.3	16.8
factor de simultaneidad	0.6	0.6
potencia total consumida del sistema (W)	41,371.2	23,385.6
iluminancia mantenida (lx)	393	404,6
Calculo del costo completo		
Inversión		
costo por un sistema instalado (\$)	47.37	135.3
costo de cableado por sistema instalado	38.52	38.95
costo (un sistema instalado + cableado)(\$)	85.89	174.25
inversión	89,325.6	404,260
tiempo de amortización (años)	10	10
costo total por año	8,932.56	40,426
tasa de interés por amortización (17.45%/años)	1,558.73	7,054.34
impuestos + seguros (5%/año)	446.628	2,021.3
costo de la inversión por año (\$/año)	10,937.92	49,501.64
Costos de Energía		
horas laborales /año (H/año)	2,376	2,376
energía consumida (Kwh/año)	98,297.97	55,564.19
costo del Kwh (\$/Kwh)	0.113	0.113
costo energía (\$/año)	11,107.67	6,278.75
costo por renovación de lámparas		
horas de uso por año de todas las lámparas	7,413,120	16,536,960
vida nominal lámpara	20,000	50,000

promedio de renovación lámparas por año	370.66	330.74
precio neto lámpara (dólares)	1.4	35.1
costo por reemplazo (labor)	4	4
costo reemplazo + precio neto	5.4	39.1
costo total renovación	2,001.54	12,931.90
costos de Limpieza		
numero de mantenciones al año	2	1
horas al año para cada mantenimiento del sistema	52	116
horas anuales para mantenimiento de todo el sistema	104	116
costo de hora del trabajador (\$)	1.5	1.5
costo de la limpieza por año (\$)	156	174
costo por reparación		
costo por reparación del balastro	17.17	0
numero de reparaciones al año	12	0
costo total reparación por año	206.04	0
RECAPITULACIÓN		
COSTO POR AÑO DE LA INVERSIÓN	10,937.92	49,501.64
COSTO POR AÑO DE LA ENERGÍA	11,107.67	6,278.75
COSTO POR AÑO DE LA RENOVACIÓN	2,001.54	12,931.90
COSTO POR AÑO DEL MANTENIMIENTO	156	174
COSTO POR AÑO DE LA REPARACIÓN	206.04	0
COSTO POR AÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	24,409.17	68,886.29

En la tabla IV.13, se detalla un resumen categorico, utilizando los niveles de eficiencia de la tabla IV.6, para comparar la eficiencia de los sistemas de iluminación Fluorescente (FL) y SSL.

TABLA IV.13. RESUMEN COMPARATIVO CATEGÓRICO DEL SISTEMA FLUORESCENTE (FL) Y SISTEMA LED PARA EL EDIFICIO PROYECTADO UPSI

información general	Sistema FL	Sistema LED
Datos de instalación	Luminaria con lámparas fluorescentes trifósforo T8	Luminaria con lámparas LED T8
Tipo de Instalación	Alumbrado general para interiores	Alumbrado general para interiores
número de luminarias		
potencia total consumida del sistema (W)		
iluminancia mantenida (lx)		
Calculo del costo completo		
inversión		
costo (una luminaria instalada + cableado)(\$)		
inversión		
Costos de Energía		
energía consumida (KWH/año)		
costo energía (\$/año)		
costo por renovación de lámparas		
vida nominal lámpara		
promedio de renovación lámparas por año		
precio neto lámpara (dólares)		
costo reemplazo + precio neto		
costo total renovación		
costos de mantenimiento (Limpieza)		
número de mantenciones anuales		
horas/año del mantenimiento total del sistema		
costo del mantenimiento por año (\$)		
costo por reparación		
costo por reparación del balastro		
número de reparaciones al año		
costo total reparación por año		

RECAPITULACION		
COSTO ANUAL DE LA INVERSIÓN		
COSTO ANUAL DE LA ENERGÍA		
COSTO ANUAL DE LA RENOVACIÓN		
COSTO ANUAL DEL MANTENIMIENTO		
COSTO ANUAL DE LA REPARACIÓN		
COSTO ANUAL DEL SISTEMA ILUMINACIÓN		

4.2.4. Recuperación De La Inversión (R_I)

a) Inversión (I)

$$I = \$ 404,260$$

b) Ingresos anuales (I_A)

$$I_A = A_E + A_R$$

A_E = Ahorro Por Año De La Energía

costo de energía del sistema FL	costo de energía del sistema LED	A_E
\$11,107.67075	\$6,278.752973	\$4,828.92

A_R = Ahorro Por Año De La Reparación

costo por reparación del fluorescente	costo reparación del LED	A_R
\$206,04.08	\$0	\$206,04

$$I_A = \$4,828.92 + \$ 206,04 = \$ 5,034.95$$

c) Egresos anuales (E_A)

$$E_A = G_R + G_L$$

Gastos Por Renovación De Las Lámparas (G_R)

Costo por renovar lámparas FL	Costo por renovar lámparas LED	G_R
\$2,001.5424	\$12,931.9027	\$10,930.36

Gasto por mantenimiento del Sistema (G_L)

Costo del mantenimiento para el sistema FLUORESCENTE	Costo del mantenimiento para sistema LED	G_L
\$156	\$174	\$18

$$E_A = \$ 10,930.36 + \$ 18 = 10,948.36$$

Después de la instalación del sistema LED, los gastos operativos son superiores a los ahorros que se puede obtener, resultando la carencia de ingresos para la recuperación de la inversión.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El rendimiento y vida de las lámparas LED es altamente dependiente de su diseño, gestión térmica y del sistema en que estas son instaladas.
- En la actualidad las lámparas fluorescentes más eficientes para iluminación de interiores, según su longitud, son las de cuatro -pies.
- Las pruebas CALIPER indican un significativo distanciamiento de rendimiento entre las lámparas LED lineales y las lámparas fluorescentes T12 y T8. Esto se afirma por el valor muy superior de eficacia de la luminaria de las fluorescentes.
- La metodología CALIPER BENCHMARK en troffer 2x4-pies con lámparas fluorescentes y lámparas LED lineales, destaca a las LED como mas direccionales y con una eficiencia del sistema superior a las fluorescentes. Además las LED readaptadas en las troffer muestran una distribución de luz estrecha, limitando la uniformidad del sistema fluorescente existente. Pero el rendimiento total depende además del flujo y eficacia de las lámparas, en donde las fluorescentes son aun mejores que las LED.
- Para integrar las lámparas LED a sistemas fluorescentes existen requerimientos con el balastro y la CCT, pues de los cuatro productos LED evaluados, tres no necesitan de balastro para conectarse directamente al voltaje lineal (120-220V_{AC}), y necesitan ser removidos. Además, dos de los cuatro productos LED tiene valores de CCT superiores a los normalizados por ANSI (> 7000 K), que no se adaptan a la apariencia de color típica (CCT 3500 K – 4100 K) del sistema fluorescente y deben ser colocadas sin influir en la uniformidad de iluminación.
- Las lámparas fluorescentes no están libres de problemas de rendimiento, como la disminución de flujo luminoso, eficacia, problemas a bajas temperaturas, problemas de eliminación relacionadas a su contenido de mercurio. Consecuentemente, debe haber algunas aplicaciones ideales donde el bajo flujo luminoso y la operación en elevadas temperaturas frías del LED sean los indicados. Entre tanto, la tecnología LED todavía no está lista para desplazar a las lámparas fluorescentes lineales como fuentes s de luz empotradas en troffers para iluminación general de interiores.

- Para los dos edificios, no es estético colocar el número de luminarias LED calculadas técnicamente para entregar el nivel de iluminación deseado.
- Para los dos tipos de edificios analizados, las lámparas LED tienen un mayor ahorro energético que las Fluorescentes, pues el sistema LED consume la mitad de energía eléctrica utilizada por el sistema Fluorescente.
- Los gastos operativos (incluye el elevado costo de una lámpara LED) son superiores a toda clase de ingresos (ahorro energético) que se puedan obtener del sistema LED, no recuperando el gasto inicial.
- En el nuevo edificio de la UPSI, el sistema LED necesita de 1280 luminarias adicionales a las del sistema Fluorescente para alcanzar una similar iluminancia (400 lx) media.
- El existente edificio de la UPSI necesita agregar 2060 luminarias para la instalación del sistema LED y alcanzar la misma iluminancia (833.26 lx) que el sistema fluorescente instalado.
- En ambos edificios el sistema LED es ineficiente debido a que las lámparas LED en formato T8 de dos pies, emiten 600 lm comparadas con los 1300 lm que entregan las Fluorescentes.
- Los costos de electricidad inevitablemente aumentarán, y la tecnología SSL evolucionará, estos son dos factores claves para que las lámparas LED sean la opción más eficiente para instalarse en ambientes comerciales y domésticos en el futuro.

5.2. RECOMENDACIONES

- Algunas lámparas LED comerciales son vendidas como fuentes de luz blanca, pero en realidad producen luz amarillenta, verdosa, azulada y rosada. Se debe tener presente pedir las características colorimétricas de los mencionados antes de adquirirlos.
- Lo ideal es que los usuarios evalúen los productos LED en su luminaria y aplicación destinada, para medir su formato dentro de la luminaria, con fines de calidad de iluminación y estética.
- La información sobre el rendimiento del producto LED es exagerada y engañosa. Los fabricantes de productos LED deben realizar reportes fotométricos en laboratorios certificados para establecer los valores nominales de sus productos. Los Compradores y diseñadores deben pedir los datos de

rendimiento confiables de estos reportes fotométricos para mejorar el nivel de eficiencia del sistema de iluminación.

- Utilizar la metodología CALIPER BENCHMARK para hacer comparaciones con fundamentos técnicos reales entre las LED y las lámparas fluorescentes o cualquier otra lámpara.
- Para aprovechar la ventaja de su potencia del sistema LED, el nicho aplicable de instalar las lámparas LED son espacios del edificio de la UPSI de bajo flujo luminoso y de una temperatura de color más fría como baños, bodegas, cuarto de maquinas, pasillos, escaleras, etc...
- La comparación entre el sistema LED Y Fluorescente es correcta cuando se basa en tener el mismo nivel de iluminación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] IESNA, "Memorandum on Light Emitting Diode (LED) Sources and Systems", IESNA TM-16-05, pp, 1-20, April 11, 2005.
- [2] Richard G. Mistrick, Jack F. Parsons, "SECTION 26 ILLUMINATION", STANDARD HANDBOOK FOR ELECTRICAL ENGINEERS, pp, 50-75, 2006.
- [3] IESNA, "Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering", ANSI/IESNA RP-16-05, pp, 1-3, May 8, 2008.
- [4] Arq. Jorge D. Czajkowski, "Luminotecnia e iluminación artificial" Instalaciones Eléctricas, pp,1-21,2006.
- [5] Juan Bisquert, "Eficiencia y ahorro energético" Iluminación natural y artificial, pp,1-16,2006.
- [6] Beatriz M. O'Donell, José Sandoval y Fernando Paukste, "Fuentes Luminosas", Cap. 4, pp,1-15,2006.
- [7] OSRAM, "Manual de Luminotecnia", Cap. 2-3, pp, 25-133, 2006.
- [8] IALA, "Tecnología LED y su uso en luces de señalización", IALA Guideline No. 1048, Ed. 1, pp, 1-15, diciembre, 2005.
- [9] PHILIPS, "Sector Residencial y Terciario", Guía Técnica de Iluminación Eficiente, Ed. 1, pp,13-25, 2006.
- [10] INDALUX, "Magnitudes Luminosas", Luminotecnia, Cap. 5, pp, 46-56, 2002.
- [11] RD Lingered, MA Myer and ML Paget, "Performance of T12 and T8 Fluorescent Lamps and Troffers and LED Linear Replacement Lamps", CALIPER BENCHMARK REPORT, pp, 1-22, January, 2009.
- [12] Oscar Guzmán, "Diseño y Evaluación de Proyectos de Inversión Financiera Nacional", Quito - Ecuador, Prentice Hall Inc., 2006.
- [13] Jhon Quiller, "Proyectos de Inversión", Prentice Hall Inc., 2007.
- [14] Esteban O. Guerrero Ramírez, " La Electrónica de Potencia en los Sistemas de Iluminación ", Instituto de Electrónica y Computación, pp, 1-16, 2008.
- [15] James Brodrick, "LED Watch" Proc. IESNA, pp, 24-26, febrero, 2008.

[16] Ian Lewin, "Absolute photometry has relative benefits for LED and SSL performance for evaluation", LEDs MAGAZINE, pp, 41-43, julio-agosto 2008.

PAGINAS WEB

[17] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, "CALIPER Program", U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, <http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/caliper.html> (consultado: 10-06-2009)

[18] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY "CALiPER Benchmark Reports" U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, <http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/benchmark.html> (consultado 20-06-2009)

[19] Luminaire Laboratory Testing, "Understanding Indoor Photometric Test Reports", Luminaire Laboratory Testing, <http://www.luminairetesting.com/Files/Informational%20sheet-Indoor.pdf> (consultado 25-06-2009)

GLOSARIO

Sistema de Iluminación.- Un sistema de iluminación es aquella porción del sistema eléctrico que alimenta las lámparas o balastos junto a los controles asociados tales como interruptores y dimmers. Conformado por fuentes luminosas, equipos auxiliares y troffers.

Fuentes de luz.- generan luz convirtiendo algún tipo de energía en radiación electromagnética.

Equipos Auxiliares.- resultan imprescindibles para conseguir la funcionalidad del sistema de iluminación, e influyen en gran medida en su calidad, consumo energético, economía y durabilidad.

Downlight.- Es una luminaria con aspecto cuadrado o redondo, empotrado en los techos falsos, y dotado con una o varias bombillas eficientes y durables.

BENCHMARK.- Son investigaciones o procedimientos de medición que los realiza CALIPER sobre productos tradicionales (incandescentes y fluorescentes). Estas lámparas son analizadas en una serie de métricas de iluminación estándar como el flujo luminoso, distribución de la luminancia, eficacia, temperatura de color correlacionada (CCT), y el índice de reproducción de color (CRI), ayudando al fabricante y consumidor a comparar estos productos con las equivalentes fuentes de iluminación LED disponibles comercialmente, facilitando la elección del mejor reemplazo (lámpara LED) de lámparas convencionales.

Estándar IESNA LM-79.- Método Aprobado para las medidas fotométricas y eléctricas de los productos de iluminación de estado sólido, especifica un método de prueba estándar para las fuentes de iluminación de estado sólido basado en la eficacia de la luminaria. Entre otras especificaciones, LM -79 dispone de procedimientos de prueba para las mediciones fotométricas usando una esfera de integración, goniofotómetro y espectroradiómetro. Las pruebas LM-79 proveen un flujo luminoso total (lúmenes), intensidad luminosa (candelas) en una o más direcciones, las coordenadas cromáticas, temperatura de color correlacionada (CCT) y el índice de reproducción de color (CRI).

LM-79 solo se ocupa de los dispositivos de iluminación de estado sólido, no de lámparas incandescentes, fluorescentes u otras.

Estándar ANSI C78.377-2008.- Estándar Nacional Americano para lámparas eléctricas: Especificaciones para la cromaticidad de los productos de iluminación de Estado Sólido.- Usa valores de coordenadas cromáticas y de CCT. Mientras la cromaticidad de la luz se expresa en coordenadas cromáticas tal como (x,y) y

(u',v') , la cromaticidad de la luz blanca puede ser expresada por CCT y la distancia al sitio Planckian. D_{UV} es la distancia constante más cercana al sitio Planckian, con signo positivo si está encima y signo negativo si está debajo del sitio Planckian.

El sistema cromático usa cuadrángulos en vez de elipses, pues estos pueden ser especificados por la CCT y D_{UV} y es más fácil jugar la aceptación de un producto SSL. Ocho cuadrángulos son definidos para cubrir el rango CCT desde 2700 K hasta 6500 K. Además para llenar huecos entre los cuadrángulos de 4000 K y 5000 K y entre 5000 K y 6500 K, dos CCTs nominales (4500 K y 5700 K) han sido sumados. Las tolerancias cromáticas están dadas por cuadrángulos. Específicamente las esquinas de los cuadrángulos son los rangos de las tolerancias cromáticas y el centro de los cuadrángulos, indica la CCT y D_{UV} designados.

Medición del CRI para los LED blancos.- El procedimiento de ensayo consiste en comparar la apariencia de color de ocho muestras (colores) de la fuente luminosa evaluada y de una fuente de luz referencial. El valor promedio de la diferencia medido se le resta a 100 y obtenemos el valor de CRI. Una diferencia pequeña resultará en un CRI elevado y por el contrario tendremos un bajo valor CRI. De todos los colores posibles solo se miden estos ocho. Además, los colores usados son colores pastel (sin brillo) y no colores saturados (altamente brillantes).

El valor CRI es calculado midiendo la diferencia entre la lámpara en cuestión y una lámpara referencial en términos de cómo ellos reproducen los ocho colores. Si la lámpara evaluada tiene una CCT menor a 5000 K, la fuente referencial es un radiador negro (aproximadamente igual a una lámpara incandescente). Para fuentes con CCT mayores a 5000 K, la referencia sería de un espectro de luz blanca. Por lo tanto, las fuentes que imitan a la luz incandescente y luz blanca para las ocho muestras son, por definición, las que obtengan los más altos valores CRI.

Fotometría absoluta.- Los procesos de prueba de fotometría absoluta evalúan la fuente más la caja, es decir la fuente no es independiente del sistema de iluminación. Aquí no hay un "factor lámpara" que deba aplicarse para normalizar la salida de la fuente publicada por el fabricante como el flujo luminoso. La fuente SSL depende completamente de su funcionamiento dentro del sistema para ser medido con precisión.

El proceso de la prueba absoluta mide datos de la intensidad luminosa para el sistema e informa estos datos, medición incondicional. Los datos evaluados no pueden tener una precisión a escala para los diferentes rendimientos de la fuente

SSL. La indicación de que los datos fotométricos han sido resultados de usar un método absoluto es el uso de uno negativo (-1) en el espacio del flujo luminoso del archivo electrónico de datos fotométricos.

Potencia Reactiva (Q).- Es originada por dispositivos de tipo inductivo y capacitivo, generando campos magnéticos y eléctricos. En particular la origina la componente de la corriente que está a 90^0 con el voltaje, en adelante o en atraso. Sus unidades son KVAR o MVAR. Se calcula como $Q=V_{rms}I_{rms}Sen(\phi)$. Valor eficaz (rms) aparece cuando se suman señales de voltaje o corriente de diferentes frecuencias para obtener su resultante.

Potencia Armónica.- Llamada potencia distorsionante, es la que fluye de la lámpara a la red eléctrica y viceversa. Es generada por corrientes armónicas en cargas no lineales, que están desfasadas noventa grados con respecto al voltaje que las produce. Ejemplo: la potencia instantánea en un inductor y la potencia instantánea en un capacitor. Las cargas no lineales son las cargas eléctricas cuya curva característica corriente – voltaje de la carga define un comportamiento no lineal, por lo general son cargas capacitivas y semiconductoras (Lámparas LED) que provocan perturbaciones o distorsiones armónicas en el sistema eléctrico.

Balastro Electrónico.- Balastro de estado sólido. Operan a frecuencias superiores a 20 Khz. Son mucho más eficientes y silenciosos que los balastros electromagnéticos.

Perdidas del Balastro.- Potencia suministrada por el balastro pero no transformada en energía usada por la lámpara. Estas pérdidas de energía son convertidas en calor.

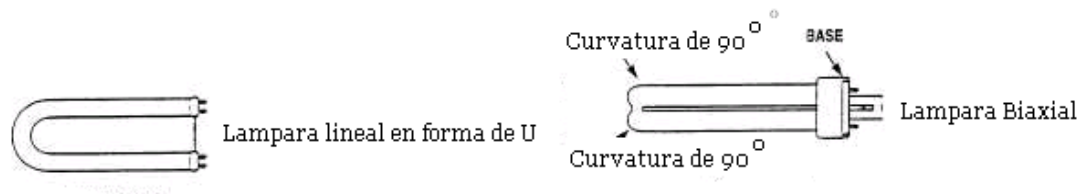
Distribución Batwing.- Es una distribución simétrica de luz, produciendo patrones de luz en ángulos hacia la derecha e izquierda del observador con poca iluminación directa hacia abajo. La forma es similar a un vampiro.

Luminancia Media.- Es la luminancia promedio, expresada en cd/m^2 , medido en una zona comprendida entre 60 y 100 m frente a la posición del observador. La tabla de luminancia es un cuadro enlistando los brillos promedios cuando se ha visto desde ángulos de vista específicos. La luminancia promedio es muy importante en cálculos de deslumbramiento. Dos fuentes de luz pueden producir el mismo valor de candelas en un ángulo dado. Si por ejemplo suponemos un pequeño proyector y una luminaria empotrada de 2x4 pies, la luminancia del proyecto será mucho mayor que la de la luminaria empotrada. Esencialmente, la

luminancia promedio describe si la luminaria es pequeña y brillante o grande y tenue.

Especularidad.- La reflexión especular es la reflexión de la luz de una superficie donde la reflexión incidente se refleja (solamente) en un ángulo igual al ángulo de incidencia (ambos tomados con respecto a la perpendicular en ese punto).

LFC biaxial.- Es un diseño variante de lámpara fluorescente lineal, pues el tubo es reducido hasta la mitad de su longitud, con dos curvas de 90 grados. Esta forma es similar al modelo lineal U, pero más angosta. BIAX es el nombre comercial de General Electric para el diseño biaxial de lámpara fluorescente.



CCT Nominal.- Son usados para especificar y comunicar información cromática de la luz blanca de un producto.

CCT Designado.- Es el valor CCT que el diseño del producto produce. Productos pueden desviarse de este valor, estando dentro de las tolerancias.

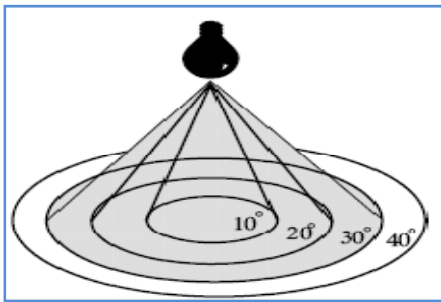
CRI.- El índice de reproducción de color, es la métrica que sigue siendo utilizada. Mientras se reconoce el hecho de que es muy antigua y se conoce tener problemas cuando se ha usado en algún espectro del LED blanco, la decisión fue que el CRI sea usado en el estándar ANSI C78.377-2008, puesto que todavía es la única métrica internacional para medir el rendimiento de color en las fuentes luminosas.

Eficacia y Eficiencia.- El termino eficacia se utiliza cuando las unidades de entrada y salida son diferentes. Como la eficacia luminosa, que es la cantidad de luz (en lúmenes) producida por una determinada cantidad de electricidad (en vatios). El términos eficiencia, por lo general es adimensional. Como la eficiencia del sistema, que se entiende como la razón del total de lúmenes que salen del sistema para el total de lúmenes producidos por la lámpara. A la eficiencia también es utilizada para tratar el concepto de usar los recursos eficientemente.

Eficacia del Sistema.- También conocida como eficacia de la luminaria, Es la eficacia luminosa multiplicada por el factor de lámpara (pérdidas del controlador o balastro) y por el factor térmico (depende del disipador de calor y del diseño del sistema). Es decir incluye la eficacia luminosa (eficacia de la fuente) y la eficiencia del sistema.

Luminancia Promedio.- Es una medida en candelas/m², es muy importante en cálculos de deslumbramiento. Dos fuentes luminosas pueden producir el mismo valor de candelas en un determinado ángulo. Si nosotros suponemos un pequeño proyector y una luminaria empotrada de 2x4-pies, la luminancia del proyector será mayor de la luminaria empotrada. Esencialmente, la luminancia promedio describe si una luminaria es pequeña y brillante, o grande y tenue. La Tabla de luminancia es un cuadro con una lista de los brillos promedio cuando son vistos desde ángulos específicos.

Resumen de Lúmenes por Zonas.- Es una breve descripción del flujo luminoso emitido por la luminaria en un rango de zona especificado. Estos rangos se



representan en ángulos verticales y el flujo se

halla dentro del cono como se muestra.

Además se puede ilustrar en gris, el flujo

hallado dentro del cono que representa a la

zona de 0-30. El % lámpara es igual lúmenes

en la zona/lúmenes nominales de la lámpara.

El % sistema es lúmenes en la zona/lúmenes

emitidos por el sistema (0-180)/.

Los fabricantes de luminarias proveen resúmenes sobre la densidad de lúmenes por zonas como otro indicador de la distribución de luz del sistema, que es, la cantidad de luz emitida en zonas definidas por ángulos verticales. Los louvers en una troffer de louver parabólico, además de reducir el deslumbramiento son diseñados para reunir y redirigir la luz desde las fuentes fluorescentes lineales, produciendo una característica distribución batwing.

Iluminancia mantenida.- La iluminancia mantenida es la iluminancia que entregara un sistema de iluminación en el futuro después de su instalación, y generalmente considera los factores de pérdidas de luz. Es el nivel mínimo de iluminancia antes los procedimientos de mantenimiento (limpieza y reemplazo) sean realizados. Para su obtención nos basamos en la siguiente fórmula.

Coefficientes de reflexión de techo, paredes y suelo.- Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado.

Factor de mantenimiento (f_m) .- Es la conservación de la instalación. Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local.

Índice del Local.- Se lo simboliza con la letra K, es la cantidad de luz que interactúa con el sistema

Método de Lumen.- Procedimiento empleado en iluminación para determinar el número y el tipo de luminarias o lámparas que se necesitan para proveer un nivel medio de iluminación deseada sobre el plano de trabajo, teniendo en cuenta tanto el flujo luminoso directo como el reflejado. También llamado método de la cavidad zonal. La finalidad de este método es calcular el valor medio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos. El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques:



FOB (Free On Board) - Libre a Bordo (puerto de carga convenido): La responsabilidad del vendedor termina cuando las mercaderías sobrepasan la borda del buque en el puerto de embarque convenido. El comprador debe soportar todos los costos y riesgos de la pérdida y el daño de las mercaderías desde aquel punto. El FOB es el pago por las lámparas sin impuesto.

CIF (Cost, Insurance and Freight) - Costo, Seguro y Flete (puerto de destino convenido): Significa que el vendedor entrega la mercadería cuando ésta sobrepasa la borda del buque en el puerto de embarque convenido.

El vendedor debe pagar los costos y el flete necesarios para conducir las mercaderías al puerto de destino convenido.

En condiciones CIF el vendedor debe también contratar un seguro y pagar la prima correspondiente, a fin de cubrir los riesgos de pérdida o daño que pueda sufrir la mercadería durante el transporte.

ANEXOS

ANEXO I: SISTEMA DE ILUMINACIÓN TRADICIONAL

I.A1. Características Fotométricas

a) Flujo luminoso (potencia luminosa).- El flujo luminoso es el producto integrado de la energía por unidad de longitud de onda emitida por la fuente $P(\lambda)$, referida a una distribución de potencia espectral, y la eficacia luminosa espectral $V(\lambda)$. Se simboliza por ϕ , y se mide en lumen (lm). La fórmula que expresa el flujo luminoso es:

$$\phi = 683 \int_{\lambda=360}^{800} P(\lambda)V(\lambda)d\lambda$$

La energía radiante en la región visible del espectro varía su capacidad para producir una sensación visible, la variación depende de la longitud de onda. $V(\lambda)$ Es la razón del flujo luminoso para el correspondiente flujo radiante, se expresa en lm/W.

b) Iluminancia (Nivel de Iluminación).- Se define como la densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie, se designa con el símbolo E y se mide en Lux ($lx = \frac{lm}{m^2}$). Su fórmula es:

$$E = \frac{\phi}{S}$$

c) Intensidad luminosa.- La intensidad luminosa de una fuente de luz es igual al flujo emitido (ϕ) en una dirección por unidad de ángulo sólido (W) en esa dirección y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes (sr). El símbolo es la I y la unidad es la candela ($cd = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ sr}}$, intensidad luminosa de una fuente puntual). La intensidad luminosa se expresa con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{\phi}{W}$$

d) Rendimiento luminoso.- El rendimiento luminoso o eficacia luminosa de una fuente de luz, indica el flujo que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. El rendimiento luminoso se representa por la letra griega η (eta), siendo su unidad el lumen por vatio (lm/W). La fórmula que expresa el rendimiento luminoso es:

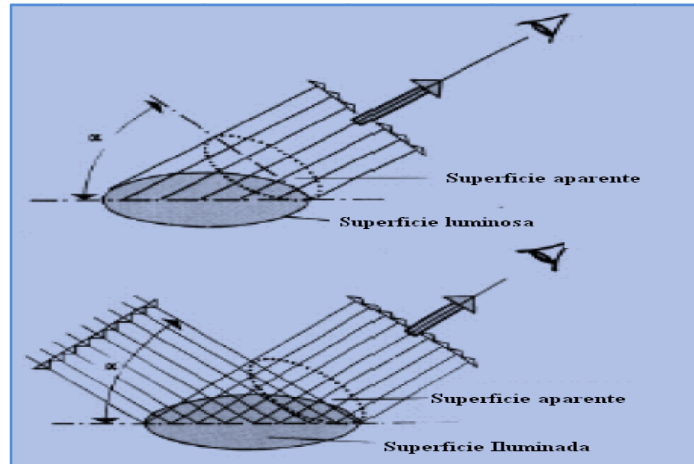
$$\eta = \phi/W$$

En la definición de eficacia luminosa no se tiene en cuenta la potencia consumida por los equipos auxiliares (potencia de pérdidas); sin embargo, este consumo debe considerarse al analizar el funcionamiento de la lámpara.

e) Luminancia.- La luminancia de una superficie en una dirección determinada es la relación entre la intensidad luminosa (I) en dicha dirección y la superficie aparente (, superficie vista por el observador situado en la misma dirección). Su símbolo

es L y se expresa en candelas por metro cuadrado.

La luminancia es máxima cuando el ojo se encuentra en la perpendicular a la superficie luminosa, ya que entonces el ángulo



α es igual a cero y el **Fig. I.A1. Luminancia directa e indirecta de una superficie luminosa** coseno de α es igual a uno,

correspondiendo la superficie aparente a la real. En la fig. I.A1 se ilustra la luminancia, correspondiendo la primera figura a los manantiales luminosos (luminancia directa) y la segunda a los objetos iluminados (luminancia indirecta).

f) Reflectancia.- La reflectancia ρ es la razón del flujo reflejado para el flujo incidente. Los valores medidos de reflectancia dependen principalmente de los ángulos de incidencia y de visión, y sobre todo de las características espectrales del flujo incidente.

g) Transmitancia.- La transmitancia τ es la razón del flujo transmitido para el flujo incidente. Los valores medidos de transmitancia dependen del ángulo de incidencia, del método de medición del flujo transmitido y de las características espectrales del flujo incidente.

h) Absortancia.- La absortancia α es la razón del flujo absorbido para la mitad del flujo incidente. La suma de la reflectancia, transmitancia y absortancia es uno.

I.A2. Características Colorimétricas

a) Índice de Reproducción Cromática (IRC o Ra)

El índice de reproducción de color de una fuente luminosa es la medida del nivel de cambio de color que los objetos experimentan cuando son iluminados por la fuente luminosa, comparados con el color de estos mismos objetos cuando son iluminados por una fuente referencial de temperatura de color comparable. Los valores entre 20 y 99 corresponden a los valores más altos de Ra, mostrando una mayor calidad de reproducción cromática. Una fuente de luz con IRC = 100, muestra todos los colores correctamente. La norma UNE-EN 12464-1:2003 sobre iluminación para interiores no recomienda valores de Ra menores de 80 para iluminar interiores en los que las personas trabajen o permanezcan durante largos periodos.

CRI solo es usado para comparar fuentes de la misma temperatura de color desde que diferentes fuentes referenciales son usadas para distintos niveles de temperatura de color. Un espectro negro es usado para bajos valores CCT y un espectro blanco para altos valores CCT.

b) Temperatura de color correlacionada.- La temperatura de color correlacionada de una fuente luminosa es la temperatura absoluta (en grados kelvin) de un radiador negro cuya cromaticidad es la más parecida a una fuente luminosa.

Tabla I.A1. Denominaciones según el nivel de CCT

Luz cálida	$T < 3.300 \text{ K}$
Luz Neutra	$3.300 \text{ K} < T < 5.300 \text{ K}$
Luz Fría	$T > 5.300 \text{ K}$

Indicando la blancura de luz que una fuente emite. La luz de bajo CCT tiene una apariencia amarillenta o roja y se la considera como luz cálida,

mientras que la luz de alto CCT tiene una apariencia blanca azulada. Una CCT neutral esta alrededor de los 3500 K. En la Tabla I.A1 se ilustran 3 rangos de niveles de CCT con sus respectivas denominaciones

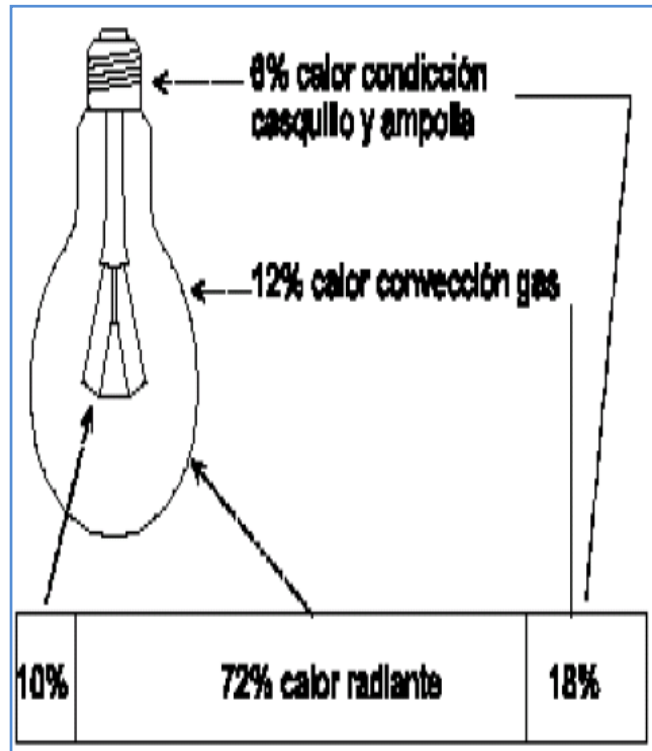
I.A3. Características de Duración

a) Vida media

La vida media se define como 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.

b) Vida útil (económica)

La vida útil 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. La figura I.A2 indica la energía producida por una lámpara incandescente



I.A4. Lámparas Fluorescentes

I.A4.1. Componentes de una Lámpara Fluorescente

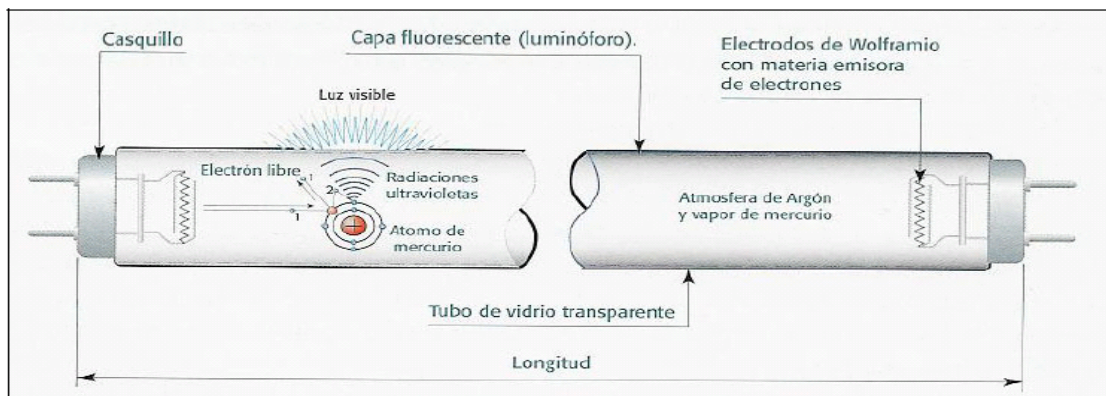


Fig. I.A3. Componentes de una Lámpara Fluorescente. [7]

La Fig. I.A3 ilustra los componentes de una lámpara fluorescente. Las mismas se describen a continuación:

a) Ampolla Tubular

El tubo de una lámpara fluorescente normal está hecho de vidrio sodocálcico impurificado con óxido de hierro para controlar la transmisión de las longitudes de onda cortas. La longitud y diámetro de los tubos están normalizados. El diámetro del tubo está determinado por la corriente de descarga y por la carga radiante permisible en la capa fluorescente y se ha optado por cinco tipos T5, T8, T10, T12 y T17 – número que representa el diámetro en octavos de pulgada.

b) Recubrimiento Fluorescente

El factor más importante que determina las características de la radiación de una lámpara fluorescente es el tipo y composición del polvo fluorescente empleado. Este fija la temperatura de color y el índice de rendimiento cromático – Ra – y en gran medida la eficiencia luminosa de la lámpara. Idealmente, el polvo debería ser suficientemente grueso como para obtener la mayor eficiencia de conversión de radiación ultravioleta a visible y al mismo tiempo el espesor de la capa debe ser el menor posible para que la absorción de radiación visible sea mínima, evitando al máximo la transparencia a la radiación ultravioleta.

c) Electrodo

Los electrodos de la lámpara están recubiertos de un material emisor adecuado y conducen la corriente eléctrica en el interior de la lámpara para suministrar los electrones necesarios para mantener la descarga. Principalmente están formados por un filamento de wolframio recubierto de una sustancia cristalina que libera fácilmente electrones cuando se calienta a una temperatura de unos 800 °C.

d) Gas de Relleno

El gas de relleno consiste en una mezcla de vapor de mercurio saturado y un gas inerte amortiguador. El gas inerte tiene tres funciones principales:

- Controla la movilidad de los electrones libres durante la descarga. Evita que se produzca ionización en lugar de excitación de los átomos de vapor de mercurio.
- Prolonga la vida de los electrodos al reducir la evaporación del material emisor.
- Facilita el encendido al proporcionar una ruptura más fácil con tensiones de encendido menores, especialmente a bajas temperaturas.

e) Casquillo

Los casquillos utilizados mayoritariamente en las lámparas de fluorescencia lineal los podemos dividir en cuatro grupos según el número de contactos eléctricos de cada uno de ellos.

- Un contacto: Fa8
- Dos contactos: G5, G13 y G20
- Dos contactos escondidos: R17d
- Cuatro contactos: G10q

I.A4.2. Distribución Espectral

El 90% de la luz emitida por los tubos se debe a la acción del recubrimiento fluorescente. Las fluorescentes tienen distintas distribuciones espectrales según la temperatura de color.

I.A4.3. Emisión Lumínica Y Vida

El funcionamiento de las lámparas fluorescentes puede verse sensiblemente afectado por diversos factores tales como temperatura y humedad ambiente, número de encendidos y tensión de alimentación.

La máxima emisión luminosa de los fluorescentes se produce a temperaturas comprendidas entre 38 y 49 °C, experimentando una pérdida de un 1% por cada grado de variación. Ello es debido a la enorme influencia que tiene la temperatura sobre la producción de rayos ultravioleta.

La eficacia de una lámpara fluorescente, tomada como la relación entre el flujo luminoso y la potencia de la lámpara, es del orden de 55 a 82 Lm/W. Esta es la eficacia que suelen dar los fabricantes, aunque en realidad la eficacia real resultará ser la relación entre el flujo luminoso y la potencia activa total consumida; en este caso tendremos que la eficacia será notablemente menor, de 33 a 68 Lm/W.

La vida media de los tubos fluorescentes es del orden de 7.500 horas y la depreciación del flujo emitido para la vida media es aproximadamente del 25%.

La "muerte" de un tubo fluorescente, es casi siempre consecuencia del agotamiento de sus electrodos. El momento más perjudicial para su integridad es siempre el arranque, de lo que puede deducirse que existirá una relación entre el número de encendidos y la vida del tubo.

I.A4.4. EQUIPOS AUXILIARES

Mientras que las lámparas incandescentes funcionan de forma estable al conectarlas directamente a la red, otras fuentes de luz requieren un equipo auxiliar para iniciar su funcionamiento o evitar crecimientos continuos de intensidad. En algunas lámparas, como las halógenas de baja tensión, la tensión de funcionamiento es distinta a la suministrada por la red por lo que requieren también de equipos auxiliares.

Las lámparas fluorescentes, como todas las de descarga, presentan una resistencia al paso de la corriente que disminuye a medida que esta se incrementa. Este efecto las llevaría a la autodestrucción si no les colocáramos algún elemento (equipo auxiliar) que controle la intensidad que circula por ellas.

Los equipos auxiliares más comunes son los balastos, arrancadores o cebadores, y condensadores, así como, transformadores para las lámparas halógenas de baja tensión. En caso de trabajar con equipo electrónico los tres componentes necesarios para el adecuado funcionamiento de la lámpara (equipo, cebador y condensador) se incorporan en un solo elemento.

La utilización de BALASTOS ELECTRÓNICOS HF supone:

- Incremento de la eficacia de la lámpara >15%.
- Incremento de la expectativa de vida de la lámpara >25%.
- Menores pérdidas y calentamientos.
- Arranque rápido del tubo.
- Ausencia de parpadeo visible en el tubo fluorescente.
- Facilidad para realizar regulación de flujo lumínico.
- Menor peso del balasto.
- Eliminación de ruidos audibles.
- Potencia constante frente a variaciones de la tensión de alimentación.
- Factor de potencia reducido.

I.A5. LUMINARIAS

Las luminarias son los equipos de alumbrado que reparten, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas. Comprenden todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas (excluyendo las propias lámparas).

La Fig. I.A4 muestra la clasificación de las luminarias en función de su distribución fotométrica, es decir en función de la forma en que distribuye la luz.

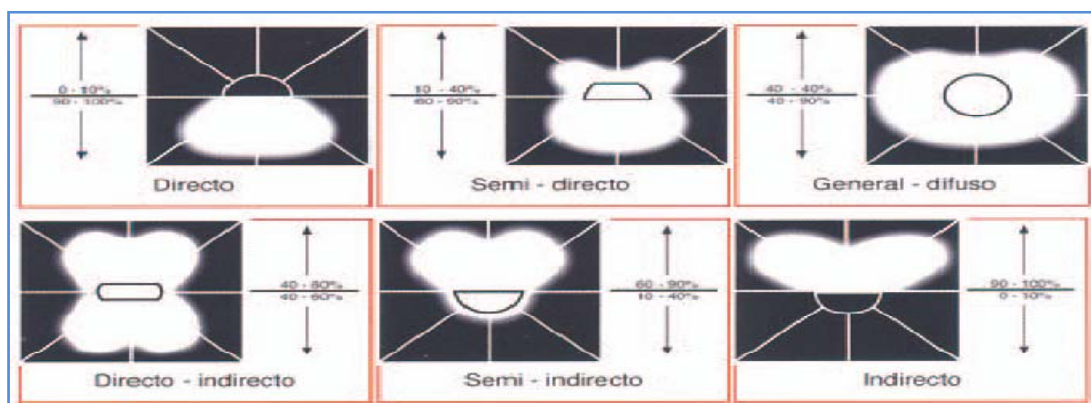


Fig. I.A4 Clasificación de luminarias de interior según la dirección de flujo. [9]

I.A5.1. DATOS FOTOMÉTRICOS DE LA LUMINARIA

Los fabricantes de luminarias proveen medidas fotométricas y datos físicos usados para el análisis de los sistemas de iluminación. Los datos fotométricos incluyen una distribución de la intensidad luminosa (candelas), lúmenes por zonas, eficiencia de la luminaria, coeficiente de utilización, luminancias, entre otros. A continuación se especifican

a) Distribución de la Intensidad Luminosa

Las candelas en cualquier dirección de una fuente luminosa es igual a la iluminación producida sobre un plano en ángulos rectos al número de rayos de luz por el cuadrado de la distancia desde la lámpara al punto de medida ($I = E \times D^2$). El conjunto de la intensidad luminosa de una fuente de luz en todas las direcciones constituye lo que se conoce como distribución luminosa.

Para obtener suficientes datos para una lámpara o luminaria, las mediciones son tomadas en varios ángulos verticales y horizontales alrededor de la luminaria. Los ángulos verticales tiene un rango de 0° (directamente abajo) hasta 180° (directamente arriba) con un espacio de 2.5°, 5° o 10°, mientras que para luminarias de interiores, las mediciones tienen espacios entre ángulos horizontales de 22.5°. La simetría horizontal y la falta de luz hacia arriba o hacia abajo pueden limitar el número de ángulos que son necesarios para completar la descripción de la distribución de la intensidad de la luminaria.

b) Lúmenes Totales y Zonal

Los lúmenes totales de una fuente de luz son obtenidos sumando los lúmenes de varias zonas angulares. Los valores de lúmenes zonales se los calcula multiplicando el promedio de candelas alrededor de la lámpara o luminaria en el centro de la zona del ángulo vertical por la constante zonal para esa zona. La constante zonal para las 18 zonas evaluadas son valores numéricos del ángulo sólido subtendido para esa zona, que es el área en pie cuadrado dentro de cada zona en la superficie de una esfera teniendo un radio de un pie.

c) Eficiencia de la Luminaria (Rendimiento de la luminaria)

El rendimiento de la luminaria es la relación existente entre el flujo luminoso que sale de ella y el flujo luminoso de la lámpara.

$$\eta_A = \frac{\phi_A}{\phi_0}$$

ϕ_A = Flujo luminoso luminaria

ϕ_0 = Flujo luminoso lámpara.

d) Rutilancia (η_n), relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie iluminada, y el flujo luminoso emitido por la luminaria.

$$\eta_n = \frac{\phi_n}{\phi_A}$$

ϕ_n = Flujo luminoso superficie iluminada

ϕ_A = Flujo luminoso luminaria

e) Coeficientes de Utilización, un coeficiente de utilización (η) es un número usado en cálculos de iluminación general y representa la razón de los lúmenes recibidos sobre el plano de trabajo de un conjunto de luminarias para los lúmenes emitidos por las lámparas de las luminarias.

$$\eta = \frac{\phi_n}{\phi_0}$$

ϕ_n = Flujo luminoso superficie iluminada

ϕ_0 = Flujo luminoso lámpara

De estas relaciones anteriores, se deduce que:

$$\eta = \eta_A * \eta_n$$

e) UGR, Índice de deslumbramiento unificado

Es el índice de deslumbramiento que procede directamente de las luminarias de una instalación de iluminación interior.

El índice de deslumbramiento debe ser determinado utilizando el método de tabulación del Índice de Deslumbramiento Unificado, basado en la fórmula:

$$\text{UGR} = 8 \log_{10} \left(\frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

Donde:

L_b = iluminancia de fondo en cd x m^{-2} , calculada como $E_{\text{ind}} \times \Pi^{-1}$, en la que E_{ind} es la iluminancia indirecta vertical en el ojo del observador;

L = iluminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador en cd x m^{-2} .

ω = es el ángulo sólido (estereorradianes) de las partes de cada luminaria en el ojo del observador.

p = es el índice de posición de Guth para cada luminaria individual que se refiere a su desplazamiento de la línea de visión.

I.A5.2. Representación Gráfica O Numérica De Datos Fotométricos De La Luminaria

a) Matrices

Los datos que se obtienen en las medidas de distribución de una luminaria, se pueden expresar de forma matricial, siendo ésta la indicación numérica de los valores de intensidades para diversas direcciones.

b) Curvas Polares

Los valores de intensidad luminosa son ilustrados en un gráfico en coordenadas polares y puede ser mostrada para más de un ángulo horizontal cuando la distribución varía a través de los diferentes ejes. La línea que conecta una serie de puntos (el valor en candelas) forma la curva de distribución de intensidad. Mediante la observación de las curvas polares, se puede ver si una luminaria es de haz intensivo (o estrecho), o extensivo (ancho).

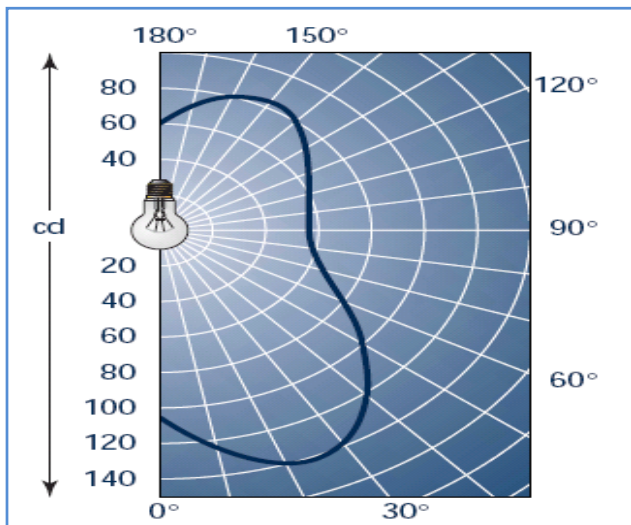


Fig. I.A5 Curva Fotométrica de una lámpara incandescente. [10]

Mediante la curva fotométrica (fig. I.A5) de una fuente de luz, se puede determinar con exactitud la intensidad luminosa en cualquier dirección, dato necesario para algunos cálculos de iluminación.

Las curvas fotométricas se dan referidas a un flujo luminoso emitido de 1.000 lm. Y, como el caso más general es que la fuente de luz emita un flujo

superior, los valores de la intensidad luminosa correspondientes se hallan mediante una regla de tres simple.

I.A6. CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES LUMINOSAS

En la Fig. I.A6 se ilustra los tipos de fuentes de luz existentes.

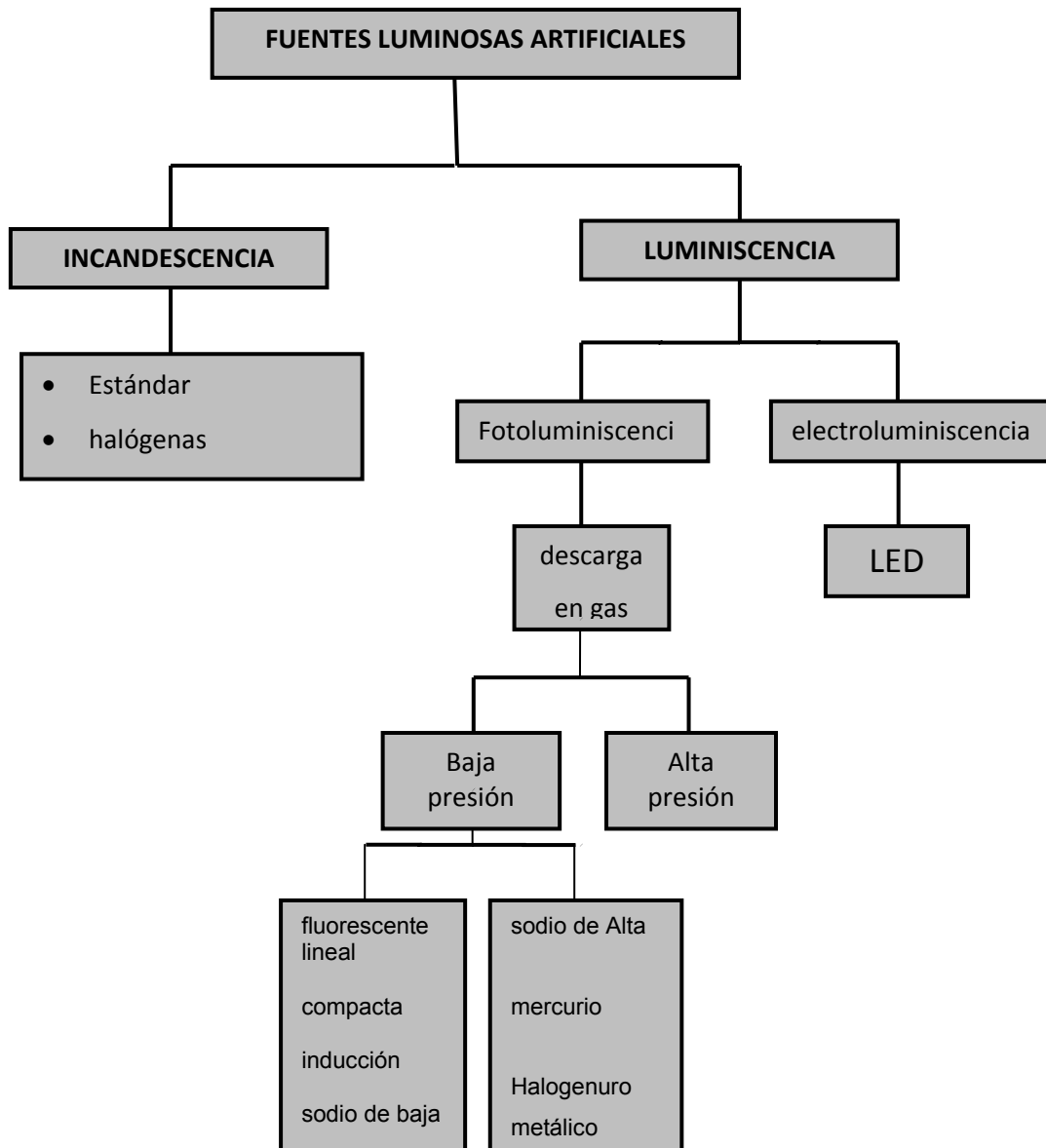


Fig. I.A6 Clasificación de Fuentes Luminosas Artificiales. [6]

ANEXO II: SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE ESTADO SOLIDO

II.A1. BREVE HISTORIA DE LOS LEDS

II.A1.1. Invención Y Desarrollo

En 1962, Nick Holonyak de General Electric invento el primer práctico diodo emisor de luz operando en la porción roja del espectro visible. Entre 1960 y 1970 se invento y desarrollo colores adicionales permitiendo a los LED ser un producto comercial disponible rápidamente. La Fig. II.A1 ilustra los avances en tecnología LED desde 1960 al año 2000.

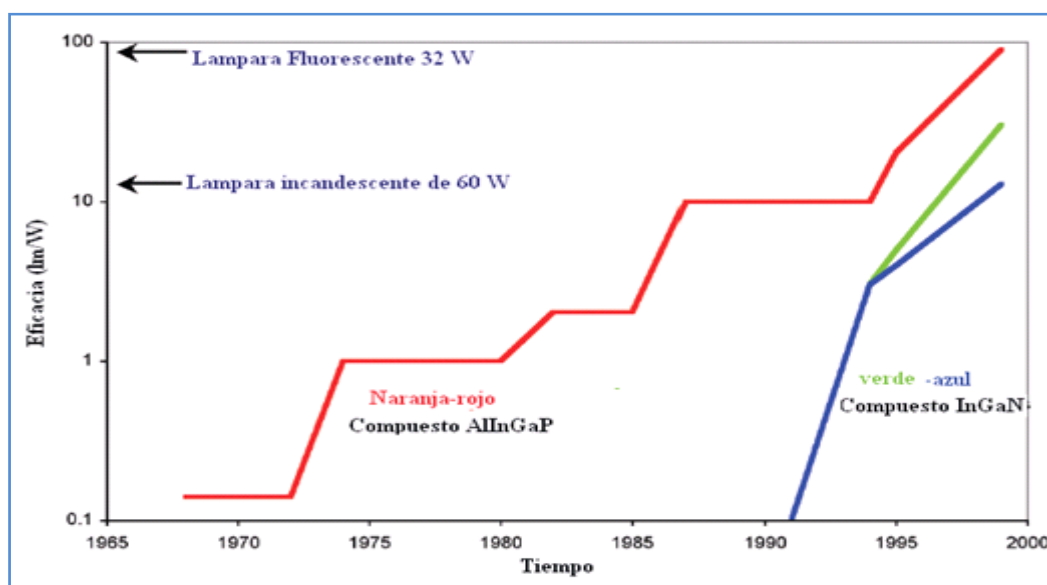


Fig. II.1 Evolución de eficacia de la Tecnología SSL reportada por Laboratorios Estándar. Con propósitos de Comparación se ilustra la eficacia (14lm/W) de la lámpara incandescente de 60W y la eficacia (94 lm/W) de la lámpara fluorescente de 32W. [1]

Los primeros productos, que se introdujeron en 1968, eran lámparas indicadoras, y el primer auténtico display electrónico lo realizó Hewlett Packard. La calidad de estos productos iniciales era relativamente pobre, suministraban un flujo de 0.001 lm y el único color disponible era un rojo intenso. Un progreso constante en eficacia hizo que los LEDs resultaran visibles en luz ambiente intensa, incluso bajo la luz solar, y en 1976 la gama de colores ya se había extendido a naranja, amarillo y verde amarillento. Hasta 1985, los LEDs se limitaron a aplicaciones de baja intensidad (menor de 0.1 lm de flujo) para funciones indicadoras o display. Alrededor de 1985, los LEDs entraron en aplicaciones de potencia de medio flujo que requieren 1-100 lm. La primera aplicación de este tipo fue la luz central superior

de frenado en automóviles. Se requerían 75 lámparas en doble fila, y en seguida fue obvio que consiguiendo lámparas más potentes se reduciría su cantidad, proporcionando una amplia ventaja en términos de costes. Esta fue la primera situación en que la eficacia de los LEDs resultaba un aspecto apremiante para obtener una bonificación en el mercado. En 1990 las eficacias alcanzaron 10 lm/W para LEDs de arseniuro de aluminio galio (GaAlAs).

La búsqueda de incrementar la eficacia intensificó la exploración de nuevos materiales de eficacias superiores y espectro de colores más amplio, Fig. II.A2.

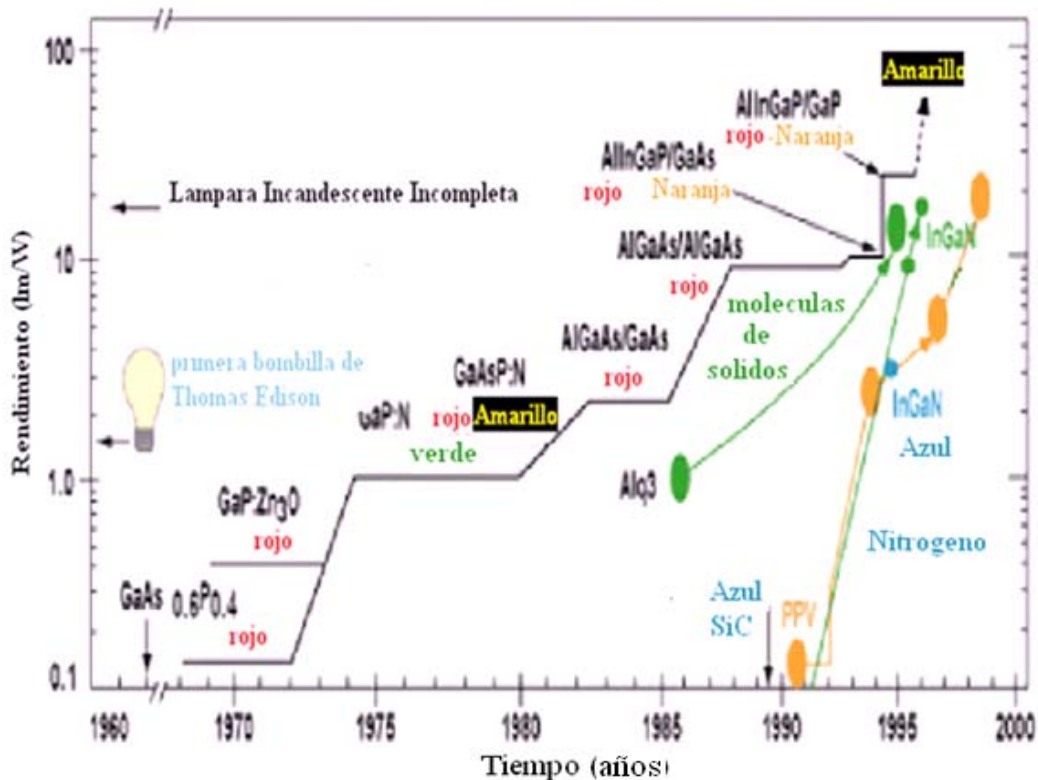


Fig. II.A2 Aumento de las eficiencias de los LEDs desde su descubrimiento en los años 1960. [5]

Primero emergieron los LEDs de fosforo de indio aluminio y galio (AlInGaP) que cubrían la gama de rojo a amarillo/verde, con eficacias superiores a 20 lm/W. En 1993, Nakamura, de Nichia Chemical Corporation en Japón, descubrió un material azul muy eficiente, el nitruro de galio (GaN). Este importante descubrimiento significaba que los LEDs podían cubrir prácticamente todo el espectro visible, permitiendo su entrada en aplicaciones de señales de luz potente como las luces de tráfico (semáforos).

La evolución del flujo luminoso y precio de los LEDs desde 1968 han seguido la ley de Moore. La unidad del flujo ha aumentado 30 veces por década, cruzando el nivel de 10 lm en 1998. De forma similar, el precio por unidad de flujo se ha reducido unas 10 veces por década, hasta unos 0.06 \$/lm en 2000.

Los LEDs de alto brillo de nueva generación son producidos principalmente con tres integrados de materiales semiconductores que emiten en la longitud de onda deseada. El integrado AlGaAs permite generar luz de rojo a IR, mientras que AlInGaP emite luz entre ámbar y rojo-naranja. Los materiales AlGaN tienen una brecha energética mayor que los anteriores, lo que permite el acceso a las regiones del espectro de mayor energía, verde, azul y UV. Con estos tres integrados, la región espectral desde UV a IR está ampliamente cubierta.

Dado que existen LEDs con eficacia razonable que cubren el espectro visible (con excepción de una pequeña ventana en el amarillo-verde), es posible crear fuentes de luz blanca.

II.A1.2. Desarrollo Del Producto

Los LEDs fueron utilizados como indicadores en dispositivos electrónicos. Después usados en displays alfanuméricos de siete segmentos muy populares en 1970. Luego que mejoraron su potencia de salida y color, fueron adaptados dentro de otros displays incluyendo luces de tráfico y aplicaciones de automóviles.

Los LED se asocian a la lámpara clásica T-13/4 porque conservan la idea de un indicador que ellos han reemplazado. Después se inventó la tecnología SMT (Surface Mount Technology), chip que fue adoptado porque no requería completar huecos como cuando se usa tarjetas de circuito impreso, y además el chip SMT provee mejor transferencia térmica. Así como el nivel de potencia incrementa, el flujo luminoso aumenta la carga térmica.

II.A2. TECNOLOGÍA LED

II.A2.1. Principio De Funcionamiento

Básicamente, los LEDs son dispositivos semiconductores que convierten la energía eléctrica en luz visible. Cuando ciertos elementos (ver Fig. II.A3) son combinados en configuraciones específicas y la corriente eléctrica pasa a través de estos, produce fotones (luz) y calor.

El corazón de los LEDs se llama chip, está compuesto de dos capas de semiconductores, una capa tipo n que provee electrones y una capa tipo p que

proporciona huecos para que los electrones caigan dentro. La unión de las capas (llamada unión p-n) es donde los electrones y huecos son inyectados dentro de una región activa. Cuando los electrones y huecos se recombinan, los fotones son creados.

Los fotones son emitidos en un espectro estrecho, correspondiente a longitudes de onda de lo visible cercanas a las ultravioletas.

Los clientes pueden comprar los productos LED en algunas diferentes formas, pues los dispositivos son vendidos individualmente o en paquetes. Muchas veces la gestión térmica, montaje mecánico, circuito de control, y óptica son ofrecidos como un paquete de un sistema de iluminación óptimo (ver Fig. II.A4).

Grupo 13	Grupo 14	Grupo 15
5 B Boro 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogeno 14.006 74
13 Al Aluminio 26.981 538	14 Si Silicon 28.0855	15 P Fosforo 30.973 761
31 Ga Gallo 69.723	32 Ge Germanio 72.61	33 As Arsenio 74.921 60
49 In Indio 114.818	50 Sn Titanio 118.710	51 Sb Antimonio 121.760

Fig. II.A3 Estos doce elementos son importantes para la construcción de los LEDs. Los elementos de matriz naranja son materiales básicos, los elementos de sombra azul son dopantes tipo p; los elementos de matriz verde son dopantes tipo n. [1]

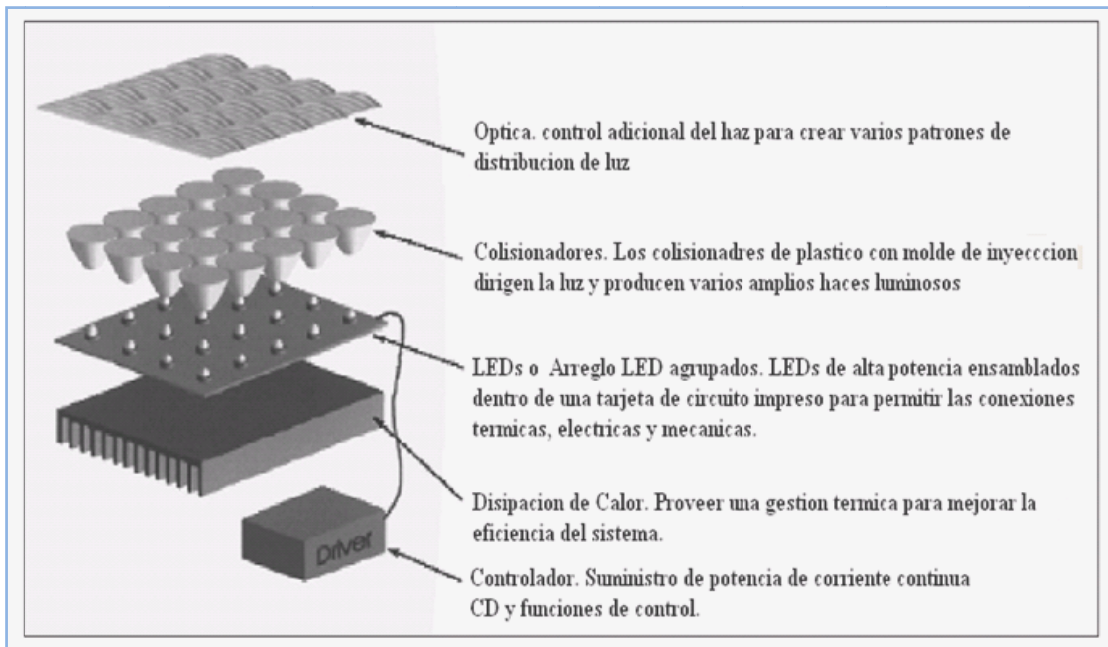


Fig. II.A4 Los sistemas LED normalmente contienen normalmente múltiples elementos apilados en conjunto para un rendimiento óptimo. [1]

II.A2.2. Tipos De LED

Existen muchos tipos de LEDs que difieren en los métodos de encapsulado pero comparten la misma tecnología básica. Pueden dividirse en dos grupos en función de su potencia: LEDs de baja intensidad y de alta intensidad.

II.A2.2.1. LED De Baja Intensidad

Este tipo de LEDs (a veces llamados LEDs indicadores) suelen usarse como pilotos o dispositivos indicadores en aparatos y en señales luminosas. Los más populares son los de 5mm de rendimiento óptico preciso y los LED de alto brillo (Superflux).

a) T-1 3/4 ó LED de 5 mm

El encapsulado de 5mm es una de las dos configuraciones originales designadas T-1 y T-1 $\frac{3}{4}$, denominación adoptada de los fabricantes de lámparas de incandescencia. (El número indica el diámetro de la lámpara en octavos de pulgada. Así, el T-1 $\frac{3}{4}$ tiene un diámetro de aproximadamente 5mm).

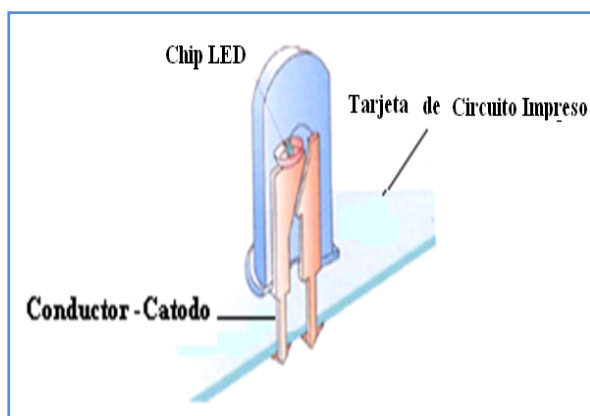


Fig. II.A5 T-1 $\frac{3}{4}$ ó LED de 5 mm. [8]

Se pueden apreciar sus características en la Fig. II.A5. El cátodo lleva montado en su extremo un pequeño reflector parabólico que contiene el chip semiconductor, y se usa a la vez como conductor eléctrico y como disipador de calor. La superficie superior funciona como una lente, proyectando la luz hacia delante. Este encapsulado es muy popular por su bajo coste y su fácil incorporación en cuadros de señalización u otras aplicaciones similares.

b) LEDs de alto brillo (Superflux)

Este tipo de LEDs (ver fig. II.A6) se encapsula en una estructura de terminales dobles de plomo para reducir la resistencia térmica y aumentar su robustez. La mejora en la disipación de calor, junto con una mayor superficie del chip semiconductor, permite obtener una intensidad doble a la del LED convencional de

5mm. La luz se proyecta a través de una lente convexa de 3mm de diámetro situada sobre la superficie superior del encapsulado

II.A2.2.2. LED De Alta Intensidad

Se utilizan para iluminar objetos, debido a su elevada intensidad luminosa, como fuentes de luz concentrada. Estos LEDs, Fig. II.A7, emplean una amplia base de metal para disipar el calor, con los terminales eléctricos aislados térmicamente. Esta estructura mejora drásticamente la disipación de calor, permitiendo un chip de mayor tamaño y una corriente de trabajo más elevada.

Otras mejoras incluyen el uso de encapsulados de silicona resistente a los rayos ultravioleta y acople óptico intermedio entre el chip y el recubrimiento exterior transparente de epoxy, atenuando mucho la tendencia al amarilleamiento. Además, el material de silicona, por su flexibilidad, permite una reducción de las tensiones mecánicas y térmicas que actúan sobre la estructura del chip y de los conductores eléctricos. La mejora con la aplicación de la capa de fósforo, consigue mayor uniformidad en la temperatura de color correlacionada (CCT) para los de luz blanca. Estos avances han eliminado virtualmente la severa degradación luminosa y la variación de color que eran notorias en los LEDs de 5mm.

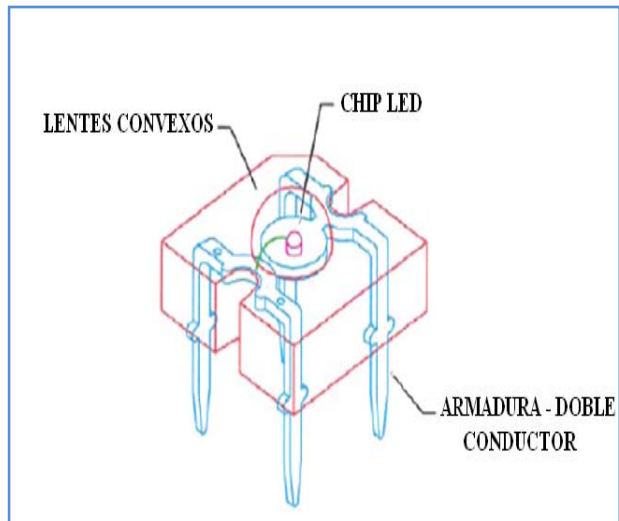


Fig. II.A6 LED de alto brillo. [8]

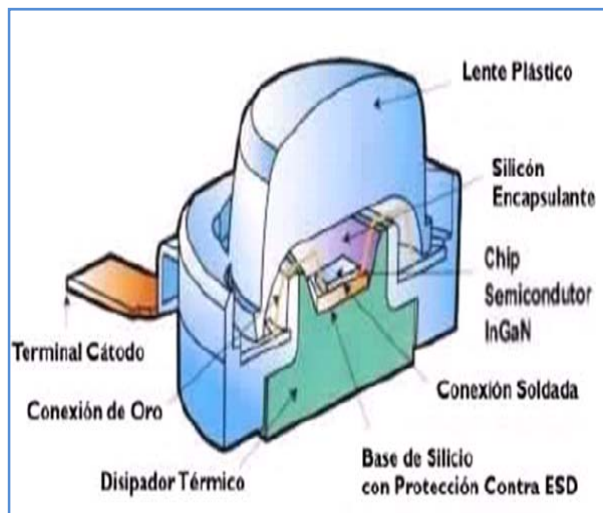


Fig. II.A7 LEDs de media y alta potencia. [8]

II.A2.3. Características Básicas

II.A2.3.1. Materiales

En el ensamblado del LED, el fósforo, nitruro de aluminio, indio y galio producen luz de diferentes colores y eficacias. Los dos mayores grupos de materiales son el compuesto de fósforo de indio-galio InGaP utilizado para crear rojo y ámbar y el compuesto de nitruro de galio GaN, usado para crear el azul, azul verdoso y verde. Estos materiales LED pueden además generar radiaciones infrarrojas y ultravioletas.

II.A2.3.2. Tamaño

El tamaño de los chips LED tiene un rango que va desde decenas de milímetros para dispositivos de pequeña señal hasta milímetros cuadrados para los dispositivos de potencia disponibles actualmente. Usando múltiples chips o grupos de paquetes LEDs se puede obtener la luz necesaria para una aplicación.

II.A2.3.3. Salida De Energía

La salida de energía de un LED es disipada como luz y calor. La luz es emitida desde el chip LED en todas las direcciones. Basado en la forma del chip, del material del que está hecho, y del ensamblado del paquete. La luz desde la superficie del paquete del LED puede ser capturado para usarlo en el sistema de iluminación. El calor no es radiado (como lo hacen las tecnologías de iluminación convencional) pero es conservado en el paquete LED.

El calor debe ser conducido efectivamente desde el chip por los materiales del paquete hacia delante del dispositivo. Sin una apropiada gestión térmica, el calor generado internamente puede causar que el paquete LED falle. Ninguna energía infrarroja o ultravioleta es emitida en la radiancia de un LED visible.

II.A2.3.4. Color

El color de un LED es determinado por la longitud de onda dominante del dispositivo. La salida típica cromática de un LED de una sola longitud de onda se ve en el diagrama de cromaticidad estándar como se lo muestra en la fig. II.A8. Variando el dopaje se modifican los saltos en las bandas de energía, y en consecuencia, los colores de las emisiones de luz son diferentes. Actualmente se emplean dos clases de materiales en la mayoría de los LEDs de alta intensidad:

a) AlInGaP

El rojo, naranja y amarillo se generan con un dopaje de cuatro elementos: aluminio, indio, galio y fósforo

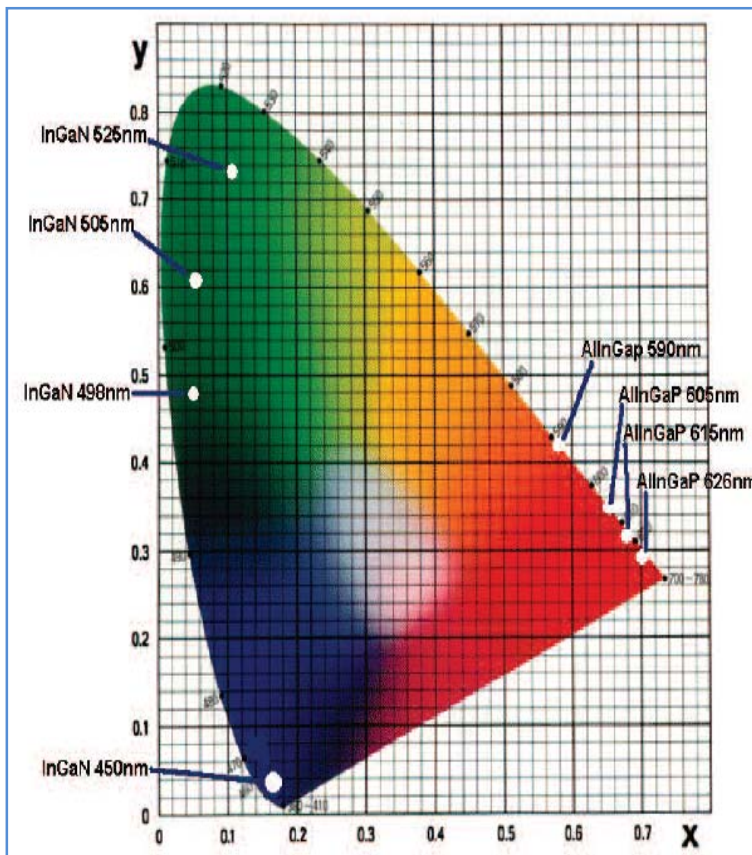


Fig. II.A8 Coordenadas Cromáticas de LEDs típicos de una sola longitud de onda mostrados sobre un diagrama cromático CIE estándar. [1]

(AlInGaP). Hewlett-Packard, después de una década de investigación, dominó la técnica del complicado proceso de crecimiento OMVPE que permite el crecimiento del dopaje con esos cuatro elementos sobre un sustrato de Arseniuro de Galio (GaAs), liderando la comercialización de LEDs de alto brillo rojos y amarillos en 1990.

b) InGaN

El azul, verde y blanco se producen con un dopaje de Indio y nitruro de Galio (InGaN). Desarrollados por Nichia Chemical y la Universidad de Nagoya perfeccionaron el proceso de crecimiento de esta mezcla sobre un sustrato de zafiro, completando la totalidad de la gama de colores de los LEDs.

II.A2.3.5. LED Blancos

La luz blanca puede ser obtenida desde los LEDs por cualquiera de los siguientes tres métodos:

a) Mezclando Color

La luz primaria de tres LEDs (rojo, verde y azul) es mezclada conjuntamente, creando una luz blanca (ver fig. II.A9).

A la larga, la mezcla de LEDs de varios colores será probablemente el método preferido. La mezcla de colores permite producir luz blanca con mayor definición de colores (en cuanto a su CRI). Además, los fotones de cada LED contribuyen directamente a la luz blanca, por lo que este sistema es más eficiente, al no incurrir en pérdidas de energía por conversión descendente. La mayor eficiencia no solo dará lugar a ahorros de consumo de electricidad, sino que además reducirá la inversión asociada a la compra de un determinado número de luminarias.

b) Conversión Binaria de una Longitud de Onda Complementaria

Un LED azul es recubierto con un fósforo amarillo, que emite luz

cuando le impactan los fotones azules. Al combinar la luz azul del

LED y la luz amarilla del

fósforo se obtiene luz blanca. Los LEDs de un blanco frío (con una temperatura de color de 5500 K) son producidos de esta manera. En cambio Si sumamos un fósforo de un color rojo secundario, se produce un LED de un color blanco tibio (con una temperatura de color de 3200K). Actualmente el sistema predominante para crear luz blanca con LEDs es la conversión descendente con fósforos, por su relativa simplicidad. Pero el "efecto halo" y la baja absorción de la luz azul por parte del fósforo constituyen dos problemas significativos. El efecto halo ocurre porque la luz del LED azul es unidireccional, mientras que el fósforo irradia en todas direcciones. Por lo tanto la luz aparece multicolor cuando un observador mira desde un lado. La absorción limitada del azul por los fósforos de tierras raras, hace que

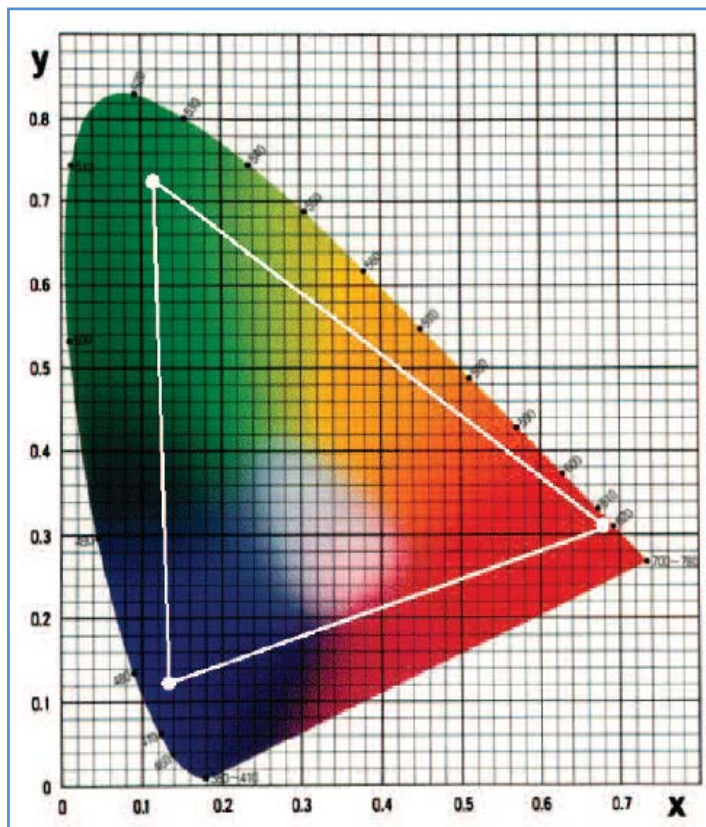


Fig. II.A9 El diagrama ilustra la principal combinación de color. El área triangular muestra las posibles coordenadas cromáticas que pueden resultar de la combinación conjunta de los LEDs rojos, verdes y azules. [1]

sean necesarios capas gruesas de fósforo. Con el sistema de conversión descendente también se puede emplear una combinación de fósforos para mejorar la calidad de los colores

c) Conversión de Longitud de Onda Ultravioleta

Un único LED ultravioleta es usado para excitar a un fosforo tricolor, así se crea la luz blanca. Las ventajas y desventajas de cada método son resumidas en la tabla II.A1

TABLA II.A1: TRES MÉTODOS PARA LA CREACIÓN DE LA LUZ BLANCA CON LEDS. [1]

	(a) Blanco RGB	(b) LED azul + Amarillo + fosforo (rojo)	(c) LED Ultravioleta + Fosforo RGB
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • El color puede cambiar dinámicamente. • Produce millones de colores para una fuente luminosa. • Muy alta Eficacia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta Eficacia • Tecnología actual • Blanco Frio (5500 K, CRI=70) • Blanco Cálido (3200 K, CRI=90) 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial limitado para una variación del matiz • Balastro Simple (driver) • Buena uniformidad del color
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere driver electrónico más complejos • Variación del color debido a la temperatura y envejecimiento • La reproducción de color como fuente luminosa puede ser bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial para variaciones del matiz • Las variaciones del matiz deben ser controladas ópticamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja Eficacia. • Requiere el desarrollo de nuevos fósforos. • Potenciales problemas del paquete ultravioleta. • Corta Vida. • Sombra del Epoxy.

II.A2.3.6. Flujo Luminoso

El flujo luminoso se refiere a la luz total disponible de un LED y es medido en lumen (lm). Esta cantidad varía de acuerdo al color del LED, y depende de la densidad de corriente que el chip LED pueda controlar. Las propiedades del paquete limitan la corriente eléctrica que puede ser conducida sin peligro a través del ensamblado del LED. La corriente ilimitada en un dispositivo LED producirá más flujo luminoso. Los LEDs blancos de pequeña señal pueden producir aproximadamente de 2-4lm en un paquete de 5mm cuando conducen de 20-30 mA. Los LEDs blancos en paquetes de potencia pueden producir de 25-120 lm cuando conducen entre 350-1000 mA.

II.A2.3.7. Eficacia

La eficacia de un sistema LED es definido como el flujo luminoso producido por el sistema dividido para la potencia de entrada al sistema y se expresa en lm/W. Esta eficacia ha sido incrementada desde la primera introducción del LED (ver figura II.A1), y es proyectada a un incremento mayor acorde a la industria tecnológica de estado sólido (ver tabla II.A2).

TABLA II.A2 RENDIMIENTO DE LÁMPARAS LED-SSL ALCANZADO EN EL 2002 Y EN PRÓXIMOS AÑOS. [1]

Tecnología → [date] →	LED- SSL 2002	LED- SSL 2007	LED- SSL 2012	LED- SSL 2020	Incandescente 2002	Fluorescente 2002
Eficacia Luminosa (lm/W)	25	75	150	200	16	>65
Tiempo de Vida (Khr)	20	>20	>100	>100	1	.20
Flujo (lm lámpara)	25	200	1000	1500	1200	3000
Pot. entrada (W lámpara)	1	2.7	6.7	7.5	75	32
Costo lúmenes (\$/Klm)	300	20	<5	<20.4	1.5	
CRI	75-90	80-90	80-90	80-90	100	>80

Temperatura del Chip (°C)	100	300-600	500-750	600-1000		
Densidad de la Potencia de entrada (W/cm ²)	100	300-600	500-750	600-1000		

II.A2.3.8. Vida

Los LEDs blancos son considerados muy confiables, pero aun hay un desacuerdo en definir el tiempo de vida de una fuente LED o sistema LED. Desde que los LEDs no tienen fallas en los filamentos, su tiempo de duración es mayor que los dispositivos incandescentes y halógenos. Sin embargo la salida de luz de una LED se deteriora con el tiempo debido a otros mecanismos. Un color de LED y los diferentes materiales de ensamblaje usados en la producción causan que la luz de salida decremente. Esto produce una depreciación del lumen, que podría involucrar miles de horas de operación antes que sea perceptible. Así una posible definición de “tiempo de vida” es el tiempo requerido para que la salida de LEDs caiga en un cierto porcentaje de su salida inicial.

Los mejores LEDs logran mantener el 70% del flujo luminoso en 50000 horas de operación bajo condiciones estándares de uso. El requerimiento crítico para un sistema LED es que la luminaria elimine el exceso de calor del paquete, manteniendo la temperatura de unión del chip LED abajo de su máxima temperatura de operación del sistema. Además, en LEDs convertidos por fosforo (el fosforo es sumado al material encapsulante convirtiendo un LED azul a blanco). La cúpula del material en algunos paquetes puede eventualmente oscurecerse porque la luz azul afecta al epoxy. La oscuridad puede causar una rápida degradación en la luz de salida, es importante comprender el tipo de luz blanca que está siendo usado en una aplicación para asegurar su duración. Es recomendable que la luminaria o el fabricante LED provean de curvas de mantenimiento de lúmenes que especifiquen claramente el principal porcentaje del flujo luminoso inicial disponible de los LEDs sobre las horas de operación esperadas de un sistema de iluminación. La degradación de un sistema de iluminación LED es extremadamente dependiente del diseño de gestión del calor, de la selección de componentes de soporte y fabricación del proceso de control. Por lo tanto la curva de degradación de la luz de salida de un sistema total se lo pide del fabricante.

La relación entre generación y disipación de calor es una limitación clave en la capacidad de producir energía. Los fabricantes especifican una temperatura máxima de trabajo del chip para obtener una vida útil aceptable. La resistencia térmica, expresada en °C/W, determina la relación entre la temperatura del LED y la potencia disipada en los contactos o en la superficie. El mantenimiento de una temperatura aceptable es un proceso de equilibrio que depende de:

- Condiciones ambientales (temperatura alcanzada al exponerse directamente al sol, tamaño de la lámpara en relación con su potencia, etc.).
- Control de la intensidad de corriente.
- Diseño del disipador de calor.

Las últimas tecnologías inciden en el estrecho contacto térmico entre el corazón del LED y la estructura externa. La resistencia térmica se ha reducido alrededor de 10-15° °C/W en los LEDs de alta intensidad en comparación con los 100-150 °C/W para los de baja intensidad.

II.A2.4. Componentes De Un Sistema LED Y Su Operación

II.A2.4.1. Modelo Eléctrico

Un diodo comprende una capa de material tipo n adherido a una capa de material tipo p, con conexiones eléctricas a cada lado. Este arreglo conduce electricidad en una sola dirección. Cuando ningún voltaje es aplicado al diodo, los electrones desde el material de tipo n llena huecos del material de tipo p a lo largo de la unión entre las capas formando una zona de reducción. Cuando un voltaje es aplicado al diodo, los electrones desde el material de tipo n llenan huecos del material de tipo p a lo largo de la unión entre las capas formando una zona de reducción.

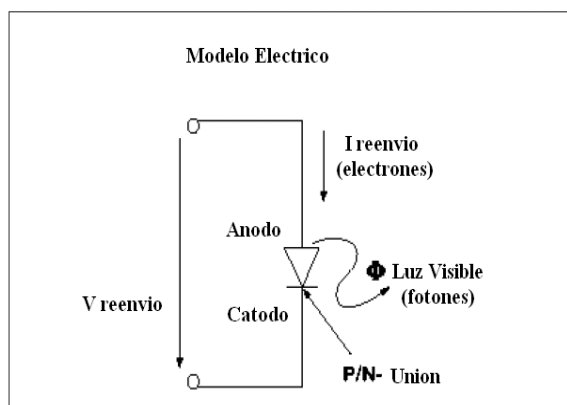


Fig. II.A10 Cuando el voltaje externo ($V_{reenvío}$) aplicado a través de la unión p-n de un LED es elevado, la corriente ($I_{reenvío}$) fluye y la luz visible es producida (fotones). [1]

En la zona de reducción, el material semiconductor es devuelto a su estado aislado, todos los huecos son llenados, así no hay electrones libres o espacios vacíos para los electrones y la carga no circulara.

Pero ahora se considera que sucede cuando un voltaje es aplicado a través del cruce p-n, con el material tipo n conectado a la parte negativa del circuito y el

material tipo p a el lado positivo. Si la diferencia de voltaje que atraviesa la unión es suficientemente alta, los electrones en la zona de reducción salen fuera de sus huecos y comienzan a moverse libremente de nuevo. La zona de reducción desaparece, fluye corriente y la interacción entre electrones y huecos generan luz. Esto sucede porque los electrones libres (movimiento a través del la unión p-n) caen dentro de los huecos vacíos del material tipo p y lanzan energía. Fig. II.A10 muestra el modelo eléctrico de la operación LED.

II.A2.4.2. Fuente De Potencia

Los LEDs son dispositivos de bajo voltaje y de una corriente conducida. Las fuentes de potencia incluyen circuitos electrónicos tales como controladores y conmutadores del suministro de potencia. Una única corriente directa (CD) de la fuente de potencia podría conducir un LED o un clúster de LEDs. Esencialmente existen tres maneras para diseñar una fuente de potencia CD para conducir un clúster LED: un circuito serie, un circuito matriz con un resistor para todo circuito y un circuito matriz con un resistor para cada LED. Cada opción de diseño tiene ventajas y desventajas que dependen de la aplicación final y sus requerimientos de iluminación.

II.A2.4.3. Interfaz De La Corriente Térmica

La resistencia térmica del chip-luminaria, la tensión térmica y la pendiente de temperatura dentro del LED son todos críticos para una operación exitosa del sistema LED. La resistencia térmica del chip-luminaria debe tener al menos sobre los 30°C/W . La reducción de la tensión térmica requiere de una excelente dirección de la corriente térmica, y por tanto la pendiente de la temperatura dentro del paquete, particularmente en la interfaz paquete/chip, sea mínima. La dirección de la corriente térmica es especialmente importante para estrategias de iluminación con múltiples colores LED, así influye en la sensibilidad de temperatura de LEDs basados en GaN y AlInGaP que son diferentes. En la electrónica del paquete se podría requerir el ajuste dinámico de una proporción de azul, rojo y verde para mantener constante el punto blanco.

II.A2.4.4. Óptica Acoplada

Típicamente, un paquete LED usa un material óptimamente claro (encapsulación) para formar un lente encima del chip LED. En algunos casos, tal como el paquete T-1^{3/4}, este material forma el cuerpo del dispositivo completo. Este provee un

sendero óptico, un medio mecánico para resistir conjuntamente cualquier cosa, y una protección para el alambre de vínculo al chip. Como elemento óptico, el encapsulado tendría un alto índice de refracción y una buena estabilidad en presencia de humedad, alta temperatura, y alta intensidad luminosa. Frecuentemente una óptica adicional es requerida para dirigir apropiadamente la luz desde el LED o paquetes LED.

II.A2.5. Limitaciones

II.A2.5.1. Vibración

Los LEDs son dispositivos de estado sólido que no usan gases o filamentos. En consecuencia son altamente confiables extremadamente de alta confiabilidad frente a golpes mecánicos y vibraciones.

II.A2.5.2. Humedad

Los LEDs individuales son razonablemente tolerantes a la humedad. Sin embargo, los circuitos electrónicos que rodean a estos en un sistema no lo son. Los sistemas LED deben ser apropiadamente diseñados y probados para asegurar que ellos operaran en un ambiente de alta humedad.

II.A2.5.3. Temperatura

Para una iluminación de estado sólido de alta luminosidad, las altas densidades de corriente de operación (así por tanto las altas temperaturas de unión) son necesarias. Por un tiempo, la confiabilidad de los LEDs AlInGaP muestra depender de la densidad de corriente y la temperatura de unión. Mucha de la degradación del flujo ocurre cuando se incrementa estos parámetros. Por tanto, es crítico que la temperatura de unión del LED no se exceda para la operación efectiva del sistema LED. Un buen diseño del sistema seguirá las pautas de la temperatura de unión del fabricante LED. Cuando alguna vez el sistema LED es empleado en ambientes de extrema temperatura, contacte al fabricante del sistema para orientarse.

II.A2.5.4. Depreciación De Lúmenes

La depreciación de lumen es un atributo de iluminación más frecuentemente usado para determinar la vida usada de las fuentes LEDs. Los LEDs no fallan abruptamente; en cambio, ellos se van atenuando con el tiempo. Aunque unas 100000 horas es la vida comúnmente citada, esta no es una descripción exacta de

una vida útil del LED. Algunos LEDs todavía emitirán luz en las “100000 horas”, aunque la cantidad no podría ser significativa para algunas aplicaciones. Comúnmente se ha citado “70 % de la salida de luz inicial” como la luz requerida para muchas necesidades de iluminación. Por tanto comités industriales están recomendando que el “70% del mantenimiento de lúmenes sea en las 50000 horas de uso” y adoptado como estándar para fuentes LED en aplicaciones de iluminación.

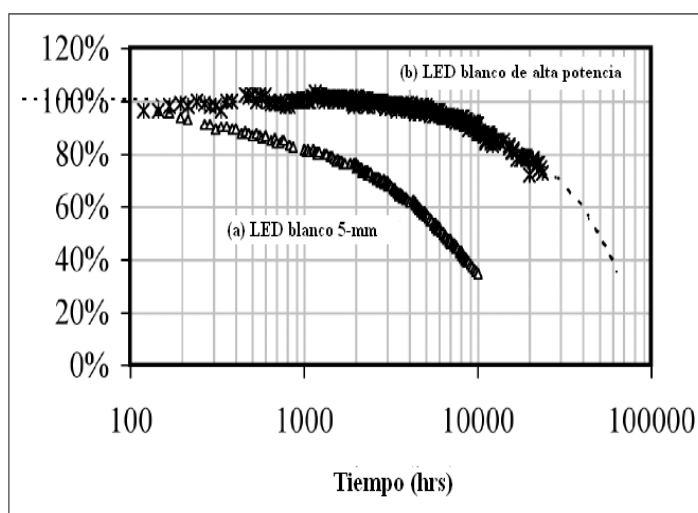


Fig. II.A11 Datos de mantenimiento de lumen a una temperatura de estructura para dos tipos de LEDs blancos: La curva “a” describe un LED blanco de 5 mm conduciendo 20 mA; la curva “b” es para un LED blanco de alta potencia. [1]

minimiza con el tiempo.

Para aplicaciones de iluminación, los LEDs blancos han sido estudiados por laboratorios de investigación independientes, y el resultado de datos del mantenimiento de lúmenes han sido publicados (ver fig. II.A11).

Es importante que el cliente especifique exactamente que LEDs el fabricante instalara en el producto terminado. Las curvas de depreciación del Lumen serian entregadas sobre la petición del cliente. De importancia crítica es que el esperar el rendimiento del LED es solo posible si las especificaciones de operación publicadas por el fabricante del LED son conocidas. La especificación de depreciación de lumen de la luminaria debe conocerse para la operación del sistema. La dirección de la corriente térmica, control, niveles de corriente y otras consideraciones eléctricas deben ser tomadas en cuenta. Si la aplicación requiere la longevidad de un propio sistema LED integrado, es recomendable que el fabricante de la luminaria

Los LEDs de diferente color no tienen idénticos rangos de depreciación de lúmenes. Varios materiales de los paquetes y metodologías de fabricantes pueden influir en los rangos de depreciación en el mismo color. Cuando un sistema usa LEDs de múltiple

color, el software de control se toma en cuenta para el rango de depreciación y el rendimiento del sistema se

provea las especificaciones con datos de depreciación de lumen para el nivel del sistema.

II.A2.5.5. Diferencias Mínimas De Grupo

Con la tecnología de fabricación normal, una pequeña (pero perceptible) diferencia en la apariencia del color inicial y flujo ocurre entre LEDs. Para reducir la diferencia dentro de grupos, los fabricantes evalúan y ordenan los LEDs dentro de un grupo paquetes. De esta manera, los clientes pueden comprar grupos LED con una apariencia dada.

II.A2.5.6. Extracción De Luz A Nivel De Chip

En la extracción de la Luz a Nivel de Chip el 95% de los electrones que pasan a través de los LEDs producen fotones, el chip LED es efectivamente una trampa fotónica, mucha luz generada es reflejada y absorbida internamente por la superficie del chip, creando calor. Solo el 15% de luz se dirige afuera del paquete LED.

TABLA II.A3 EFICACIA LUMINOSA DE UNA LARGA PRODUCCIÓN DE LEDS DE 1 WATT EN EL 2004 .[1]

Color	Longitud de onda (nm)	Eficacia (lm/W)
Blanco frío (5500K)		25
blanco cálido (3200K)		22
Verde	530	30
Azul	470	10
Rojo	625	44
rojo – naranja	617	55
Ámbar	590	36

Fabricantes están desarrollando técnicas para mejorar la extracción de luz desde el chip LED. Hay investigaciones en marcha mirando la estructura del material si va más allá en el aumento de la eficiencia.

La eficacia de LEDs individuales varia por el tipo de material, paquete, radiación, fosforo, y procesamiento. Los mejores LEDs en producción hoy entregan de 10 hasta >55 lm/W (chip LEDs experimentales en laboratorios de investigación tienen ya producidos mayores de 100 lm/W). El rango de eficacia puede ser mejor observado por el color. La eficacia luminosa de la producción de un fabricante de LEDs de 1 watt es mostrado en la tabla II.A3.

Para todos los efectos, la eficiencia luminosa viene determinada por la relación entre la eficiencia cuántica interna y la eficiencia de extracción.

Eficiencia cuántica interna

Depende de varios factores, tales como el material de dopaje, la optimización de las capas de cristal, la técnica de crecimiento del cristal, etc.

El AlInGaP (rojo, naranja y amarillo) es el mejor material conocido. Tiene una eficiencia cuántica interna próxima al 100%, lo cual quiere decir que todos los pares electrón-hueco crean un fotón. En la fig. II.A12 se muestra un chip de AlInGaP. InGaN (verde, azul y blanco) es menos conocido actualmente. La eficiencia cuántica

Eficiencia de extracción

Una vez creados los fotones, es necesario transportarlos al exterior desde el corazón del semiconductor, proceso al cual se le denomina “extracción de luz”. Su eficiencia dependerá del nivel de absorción interna del material del sustrato, de la geometría del chip y de los índices de refracción del propio chip, del acoplamiento óptico y del nivel de transparencia del encapsulado.

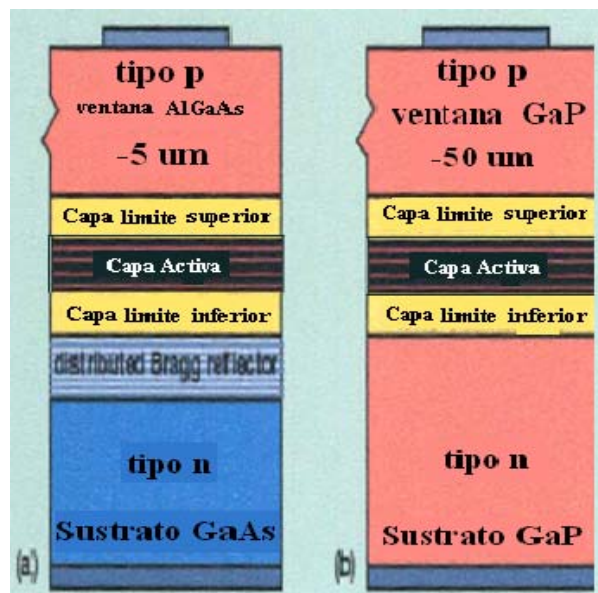


Fig. II.A12 Estructura típica de un chip semiconductor de AlInGaP. [8]

Reflexiones en las superficies de separación

El índice de refracción del material del corazón (chip) del LED es extremadamente grande en relación al del exterior, y esta gran discontinuidad produce fuertes reflexiones que acaban por atrapar la luz en el interior del chip. Se puede mejorar la eficiencia de la extracción utilizando un encapsulado con un índice de refracción

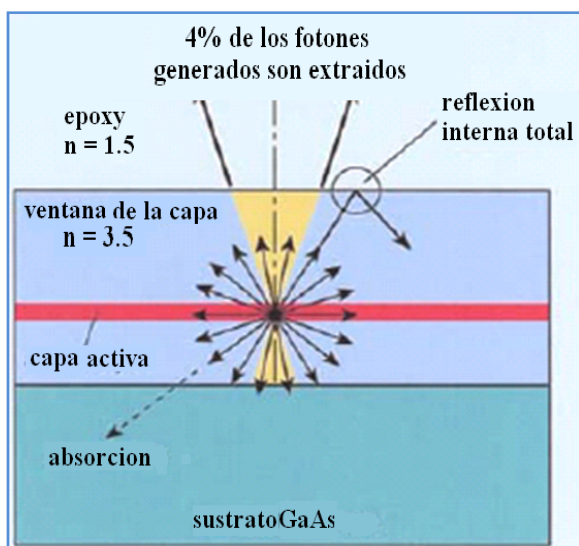


Fig. II.A13 Proceso de extracción. [8]

intermedio que actúe como puente entre chip corazón del LED y el medio externo.

El proceso de extracción en un chip prismático con encapsulado epoxi se muestra en la Fig. II.A13. Los fotones generados en el interior se propagan en todas direcciones y solo una pequeña parte de ellos, situados en el cono, consigue atravesar la superficie, siendo reflejados los restantes hacia el interior. Los fotones situados fuera del ángulo crítico del cono experimentan una reflexión

interna total y no contribuyen a la generación útil de luz.

La absorción la hace el material del sustrato (absorción interna). Los fotones generados dentro del corazón del LED, deben propagarse dentro de él hasta alcanzar la pared frontera. El material del sustrato debe elegirse cuidadosamente para minimizar la absorción en esa dirección.

La geometría del chip tiene una gran importancia en el proceso de la extracción, y hasta la fecha, la más eficiente para minimizar las reflexiones internas es la pirámide truncada invertida (Fig. II.A14). Actualmente la mayor eficiencia de extracción se sitúa en un 55% a 650nm.

Desde la perspectiva de un sistema de iluminación, hay dos factores importantes en notar mirando desde la eficiencia de un sistema LED, estos son la eficiencia energética y eficiencia de utilización:

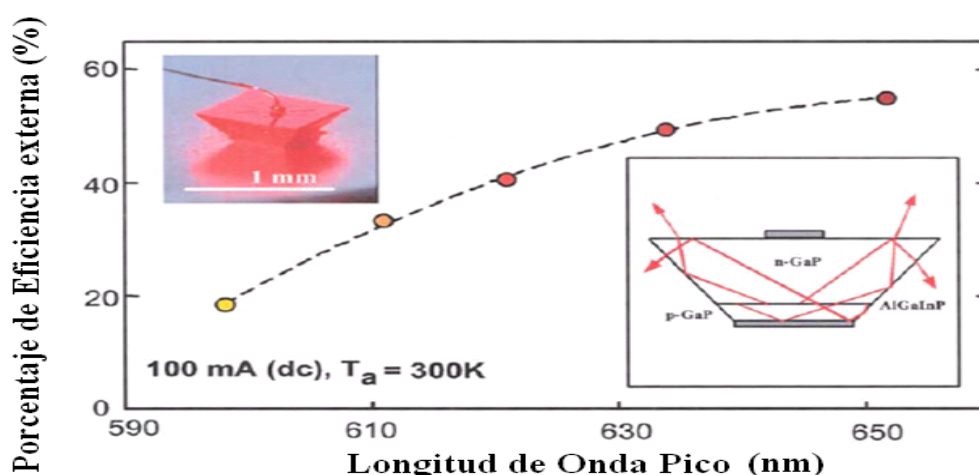


Fig. II.A14 Pirámide truncada invertida de un semiconductor de AlGaInP/GaP. [8]

En el primer factor, la luminaria de estado sólido LED en un sistema de iluminación, se debe considerar la eficiencia energética total del sistema y no solo la eficiencia de los LEDs. Por ejemplo, Las luminarias LED que usan veinte LEDs de 1 watt consumirán más de 20 watts porque el controlador y los elementos de la luminaria usan energía. Dependiendo de la eficiencia de estos otros elementos, el consumo de la potencia total para la luminaria podría ser de 21-25 watts. Cuando se especifica los requerimientos de energía completos de un sitio, el consumo de la potencia total de cada luminaria será tomada en cuenta.

En el segundo factor, con las luminarias LED la eficiencia de utilización de la luz producida debe ser tomada en cuenta. Los LEDs típicamente proveen luz dirigida, mientras que las lámparas convencionales sin reflector emiten luz omnidireccional. La calidad direccional puede actualmente ser considerada una ventaja en una luminaria LED apropiada. Por ejemplo se considera una lámpara de sodio de alta presión (HPS) que entrega 100 lm/W vs. una lámpara LED de 50 lm/W. En una aplicación direccional (iluminación para un sendero), la iluminación de la lámpara HPS debe ser colectada y redirigida. Así para ubicar igual iluminación en el sendero, la luminaria HPS podría entregar solo el 40 % del flujo luminoso de la lámpara dentro de la superficie. De tal manera que una luminaria con dentro una lámpara HPS de 100 lm/W, tiene una eficacia del sistema de solo 40 lm/W. Para iluminación de caminos, la óptica necesita conducir la luz. Asumiendo la misma necesidad para el control de la estructura LED (asumimos un 20% de pérdidas de la óptica de la luminaria). Un LED de 50 lm/W entregaría 40 lm/W al sendero. Mientras

que este simple ejemplo baja la estimación de eficiencia de la lámpara HPS para iluminación de senderos y la óptica LED, la alta utilización de las eficiencias posibles con LEDs en aplicaciones direccionales (en relación a fuentes convencionales) sería considerada.

II.A2.5.7. Degradación Luminosa Y Uniformidad De Color

Una de las limitaciones claves que afectan a los LEDs es la temperatura. La temperatura de unión máxima del chip variara de un fabricante a otro. Por eso es mejor referirse directamente a la hoja de especificaciones de cada fabricante. Un promedio común de temperatura de unión máxima es 135 °C (275 °F). Sin embargo algunos fabricantes continúan mejorando este valor. La regla dice que entre más alta sea la temperatura de unión diseñada más rápido se degradara la iluminación de salida. Para establecer un rango específico de degradación de lúmenes requiere un apropiado diseño de luminaria. Para una temperatura de unión mínima del chip se debe tomar en cuenta la temperatura de ambiente y la resistencia térmica del paquete completo. Muchos fabricantes de LEDs ofrecen soporte técnico en esta área. Es recomendable que los diseñadores los contacten directamente con cualquier pregunta detallada sobre la disipación de calor.

Una área limitada para los LEDs blancos es una completa distribución uniforme del color porque los LEDs blancos tienen un alcance de mezcla cromática. Comparada con las lámparas fluorescentes, el alcance es mayor y produce colores perceptibles que diferencia el ojo humano. La unión en grupos no es frecuentemente necesaria desde que múltiples LEDs son requeridos para que su luz sea parte de una mezcla conjunta de LEDs. Los efectos de distribución pueden ser después minimizados usando un filtro de color teniendo un lente acrílico. Estas prácticas son comunes para aplicaciones de luminarias fluorescentes.

II.A2.6. Especificaciones

Las especificaciones generales para los LEDs desde el 2002, fueron desarrolladas por la conferencias de industrias y patrocinada por el departamento de Energía (ver tabla II.A2)

II.A2.7. Seguridad

Desde que los LEDs son dispositivos de bajo voltaje, los sistemas LED son más seguros que otros sistemas de lámparas que requieren altos voltajes. Además, Los LEDs de longitud de onda visible no generan cantidad apreciables de

ultravioleta e infrarrojo. Si la aplicación involucra LEDs de alto flujo, los estándares de seguridad de los ojos podrían ser investigados y aplicados.

II.A3. APLICACIONES POTENCIALES DEL FUTURO

En iluminación general, los LEDs se los considera fuentes puntuales, que pueden entregar directamente luz eficiente para pequeñas áreas. Permite la compatibilidad con la flexibilidad de diseño de luminarias combinadas arquitectónicamente. El descuido en los LED permite que crezcan los niveles de stress. Además se podría programar su color y dirección para una interacción óptima con el ojo humano. Sin embargo, diseñadores están todavía en una etapa muy temprana para comprender como nuevas aplicaciones podrían aparecer basándose en las siguientes ventajas:

- Estabilizar el color de salida en todos los niveles de iluminación.
- Habilidad para variar continuamente el color de salida.
- Diseño simplificado y flexible para una obra y para luminarias.
- Fácil integración con controles avanzados de iluminación para edificios.
- La operación a bajo voltaje permite una distribución de potencia segura.
- Fácil miniaturización, un equipo de iluminación basado en LED puede ser más pequeño, delgado y más luminoso.
- La estructura simple no necesita ningún dispositivo especial para controlar la iluminación mientras que los componentes de los equipos de soporte son pequeños.
- La distribución de luz eficiente y flexible, permite que los dispositivos de iluminación de estado sólido puedan ser fabricados en paquetes con partes planas de cualquier forma que puedan ser ubicados en pisos, paredes, techo, o incluso mobiliarios, y acoplados a tubos de luz (o otros sistemas de distribución)

II.A4. Definiciones de una Sistema LED

a) LED

Un dispositivo semiconductor de juntura pn que emite radiación óptica dispersa cuando en dirección hacia delante tiene un ángulo de inclinación. La salida depende de su construcción física, material usado, y corriente excitante. Puede estar en tres regiones del espectro tales como: la ultravioleta, visible e infrarrojo.

b) Die LED.

Un pequeño bloque de material semiconductor en el que se ha fabricado un determinado circuito funcional.

c) Fuente de Potencia

Un transformador, el suministro de potencia, batería, u otro dispositivo capaz de proporcionar corriente, voltaje, o potencia dentro de sus límites de diseño. Este dispositivo no contiene ninguna capacidad de control adicional.

d) Suministrador de Potencia

Un dispositivo electrónico capaz de controlar la corriente, voltaje, o potencia dentro de los límites de diseño.

e) Circuito de Control LED

Son los componentes electrónicos situados entre la fuente de potencia y el arreglo LED diseñado para limitar el voltaje y corriente, para dimmear, conmutar, o para controlar la energía eléctrica del arreglo LED. El circuito no incluye una fuente de potencia.

f) Driver LED

Una fuente de potencia con un circuito de control LED integrado para gestionar los requerimientos específicos de una lámpara LED o arreglo LED.

g) Luminaria LED

Es una completa unidad de iluminación LED que consiste de una fuente de luz y driver junto con las partes para distribución de luz, posición, protección, y conexión. La fuente de luz puede ser un arreglo LED, un modulo LED, o una lámpara LED. La luminaria LED es diseñada para conectarse directamente a un circuito Branch.

h) Circuito Branch

Un circuito que se define como parte de un circuito eléctrico se prolongan más allá de la última disyuntor o fusible. Los circuitos se inician en el cuadro del interruptor y se extienden hasta los aparatos eléctricos conectados al servicio.

i) Paquete LED

Llamado también dispositivo. Es un ensamblaje de uno o más dies LED que se unen por conexiones alámbricas, posiblemente con interfaces eléctricas, mecánicas, y elementos térmicos, ópticos. El dispositivo no incluye una fuente de potencia, no incluye una base estandarizada ANSI y no se conecta directamente a un circuito Branch.

K) Arreglo LED

Es un ensamblaje de paquetes LED sobre un sustrato o placa de circuito impreso, posiblemente con elementos ópticos y adicionalmente térmicos, e interfaces eléctricas y mecánicas. El dispositivo no contiene una fuente de potencia, no incluye una base estandarizada ANSI, y no se conecta directamente al circuito branch.

I) Modulo LED

Es un componente de una fuente luminosa LED que incluye uno o más LEDs conectados a la carga adicional de la fuente de potencia LED o Driver LED. Componentes mecánicos, ópticos, electrónicos y eléctricos pueden ser parte de un modulo LED. El modulo LED no contiene una fuente de potencia y no se conecta directamente a un circuito branch.

m) Lámpara LED no integra

Una lámpara con LEDs, sin un driver LED o fuente de potencia integrados y con una base estandarizada ANSI diseñada para la conexión a una luminaria LED.

n) Lámpara LED Integra

Una lámpara con LEDs, un driver LED integrado, y una base estandarizada ANSI que es diseñada para conectarse al circuito branch a través de una normalización ANSI Lampholder/ socket.

ñ) Lampholder/ socket

Dispositivo que soporta mecánicamente una lámpara con el objetivo de hacer el contacto eléctrico con la lámpara.

ANEXO III: COMPARACIÓN DE LÁMPARAS CONVENCIONALES Y LÁMPARAS LED

III.A1. RESÚMENES DE LA DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDAD LUMINOSA, LÚMENES POR ZONAS Y LUMINANCIA DEL SISTEMA.

El apéndice muestra resúmenes de la distribución de intensidad luminosa y lúmenes por zonas para troffers de louver parabólico y de lentes con fuentes fluorescentes y todas las lámparas LED evaluadas por CALIPER. Además los datos de luminancia del sistema (cálculos basados en distribuciones de intensidad del sistema) son presentados y proporcionan otra ilustración de la distribución estrecha en troffers con productos LED.

Usando los datos fotométricos de la evaluación CALIPER, es posible examinar la distribución de luz de una troffer en términos de la intensidad luminosa, lúmenes relativos por zonas y la luminancia del sistema. Normalmente estas métricas son dadas por fabricantes de luminarias para permitir la comparación con productos similares. Además estos datos pueden usarse para comparar el rendimiento del troffer con las lámparas fluorescentes y con LED e ilustrar como la direccionalidad del LED afecta a la distribución de luz del sistema. La figura III.A1 hasta la Fig. III.A8 evaluada por CALIPER presenta la distribución de la intensidad luminosa y los lúmenes por zonas para troffers de louver parabólico y lentes (óptica normal) adaptados con lámparas fluorescentes y lámparas LED.

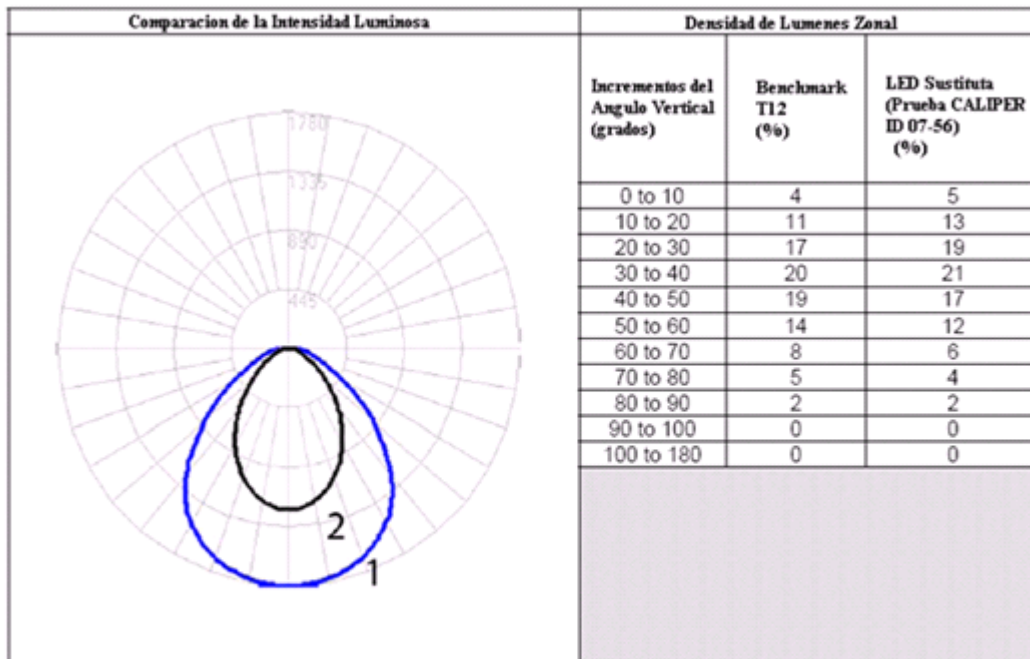


Fig. III.A1 Luminaria Troffer de Optica Normal: Comparacion de la Benchmark T12 (Curva 1) y LED Sustituta 07-56 (Curva2 [11])

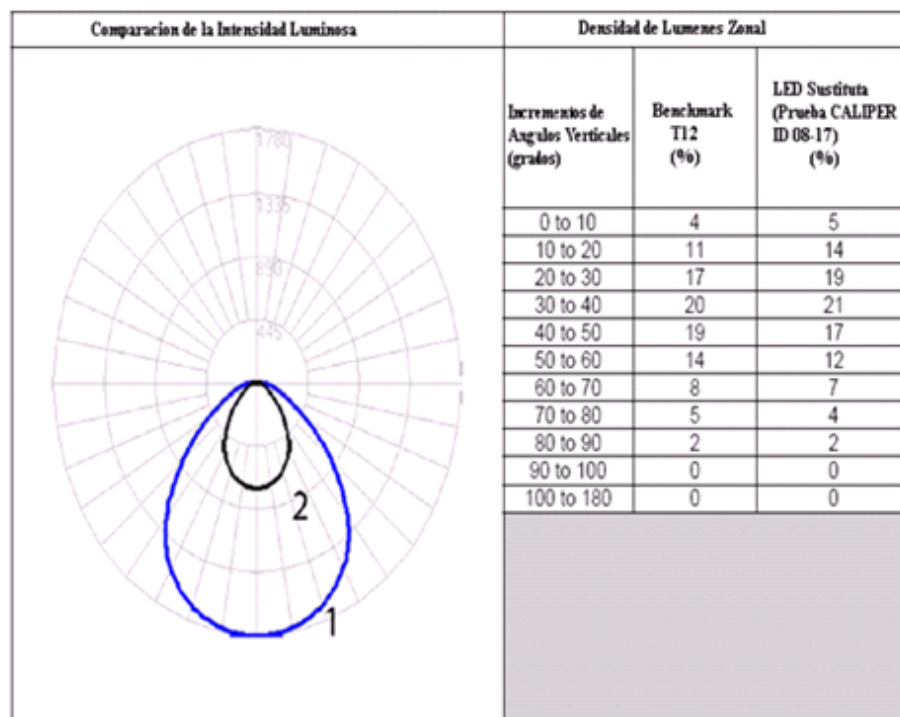


Fig. III.A2 Troffer de Optica Normal: Comparacion entre Benchmark T12 (Curva 1) y la LED Sustituta 08 - 17 (Curva 2) [11]

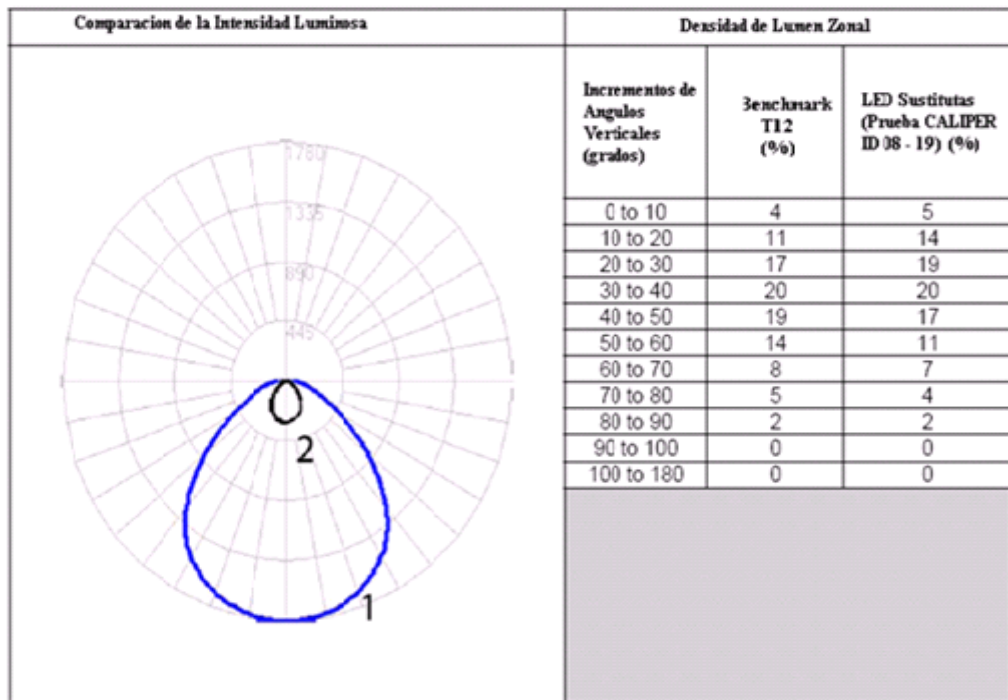


Fig. III.A3 Troffer de Optica Normal: Comparacion entre Benchmark T12 (Curva 1) y la LED Sustituta 08 - 19 (Curva 2) [11]

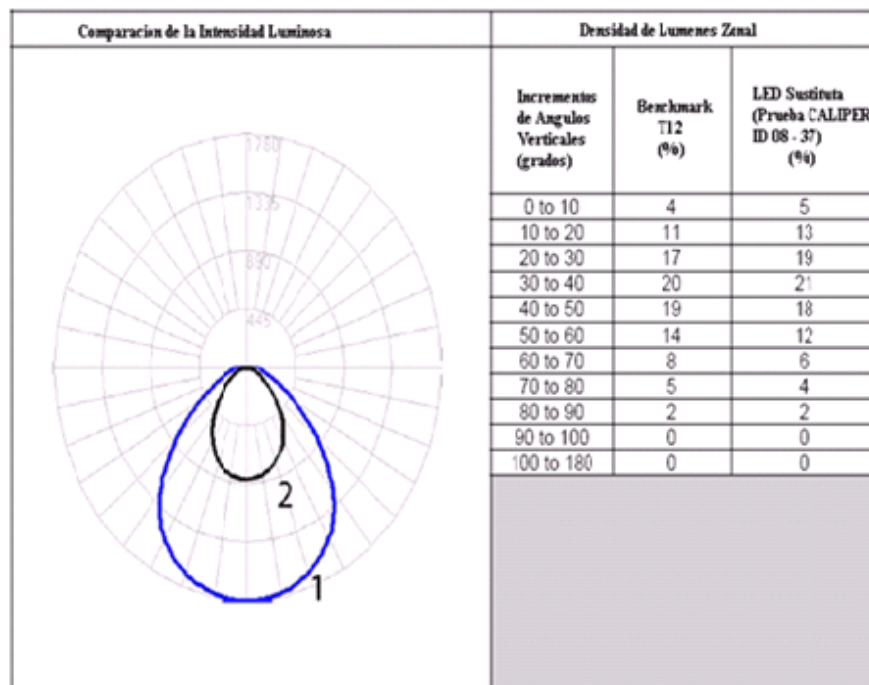


Fig. III.A4 Troffer de Optica Normal: Comparacion entre la Benchmark T12 (curva 1) y la LED Sustituta 08-37 (Curva 2) [11]

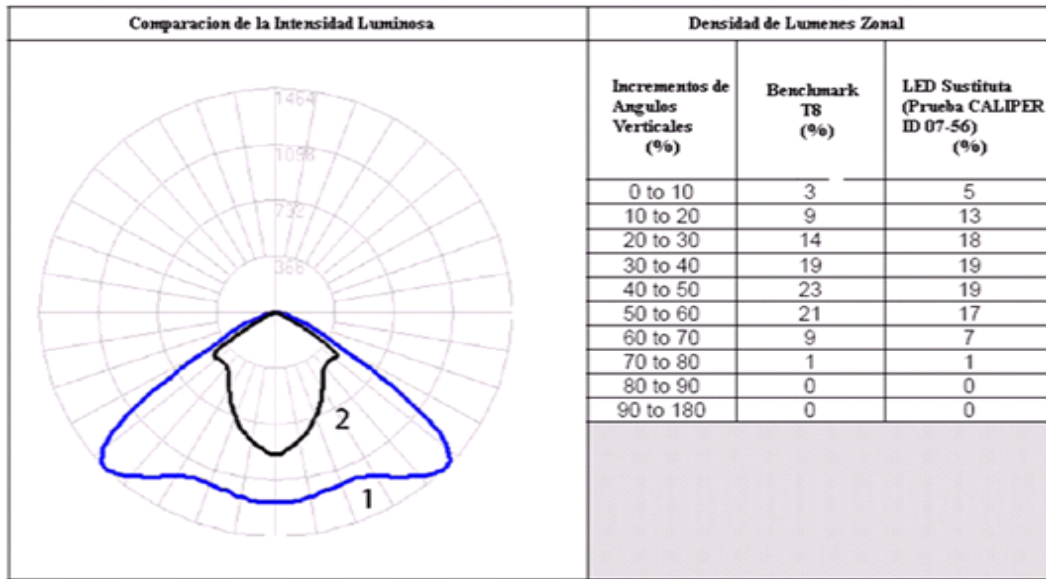


Fig. III.A5 Troffer de Louver Parabolico: Comparacion entre la Benchmark T8 (Curva 1) y la LED Sustituta 07 - 56 (Curva 2) [11]

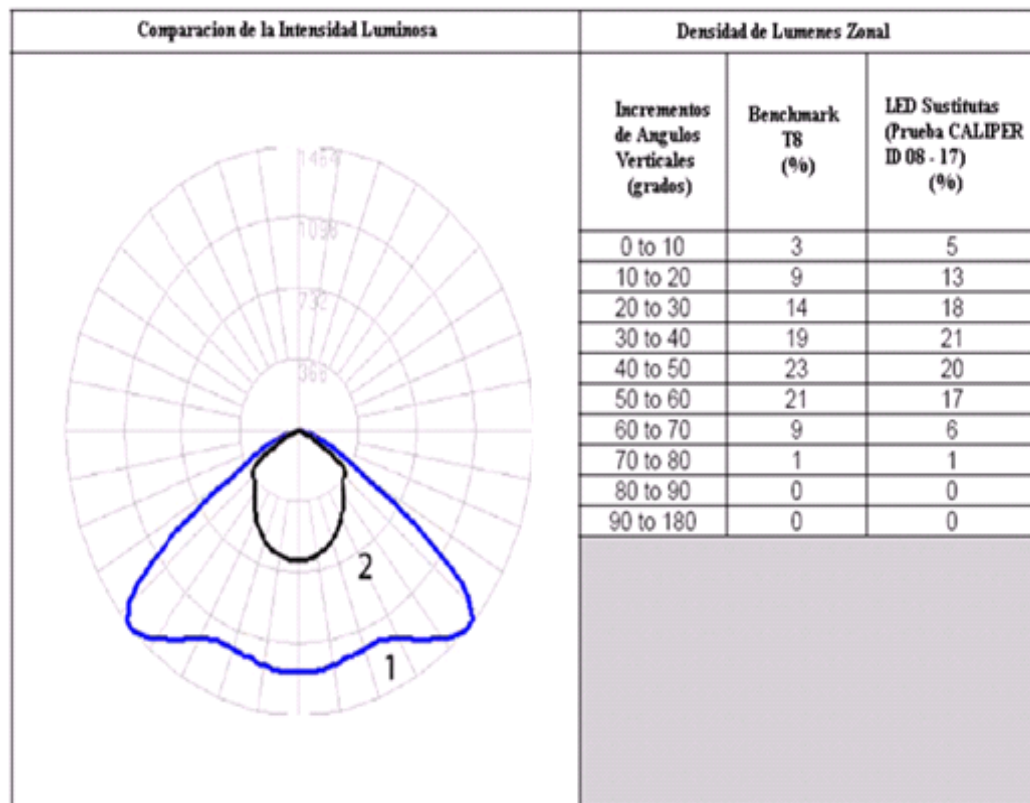


Fig. III.A6 Troffer con Louver Parabolico: Comparacion entre Benchmark T8 (Curva 1) y la LED Sustituta 08 - 17 (Curva 2) [11]

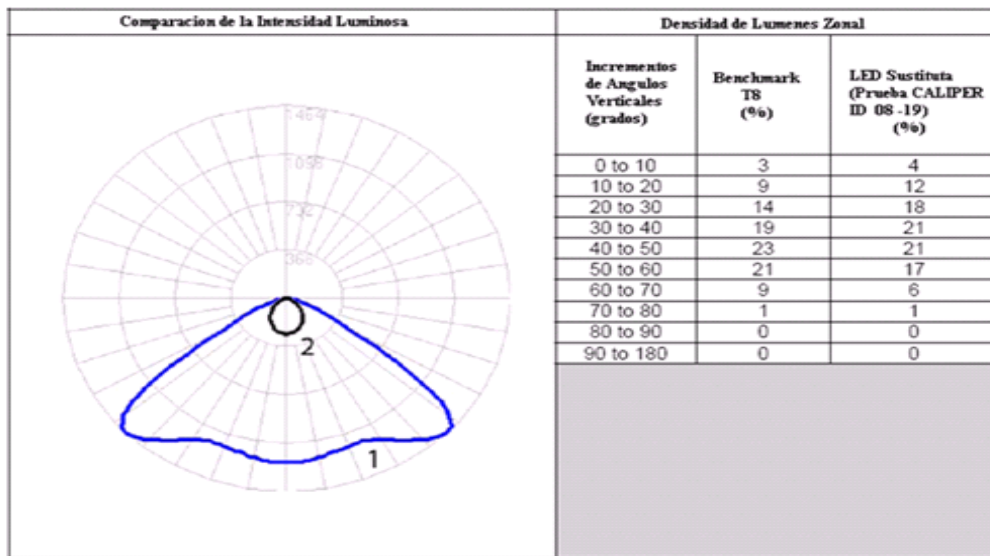


Fig. III.A7 Troffer con Louver Parabolico: Comparacion entre Benchmark T8 (Curva 1) y la LED Sustituta 08 -19 (Curva 2) [11]

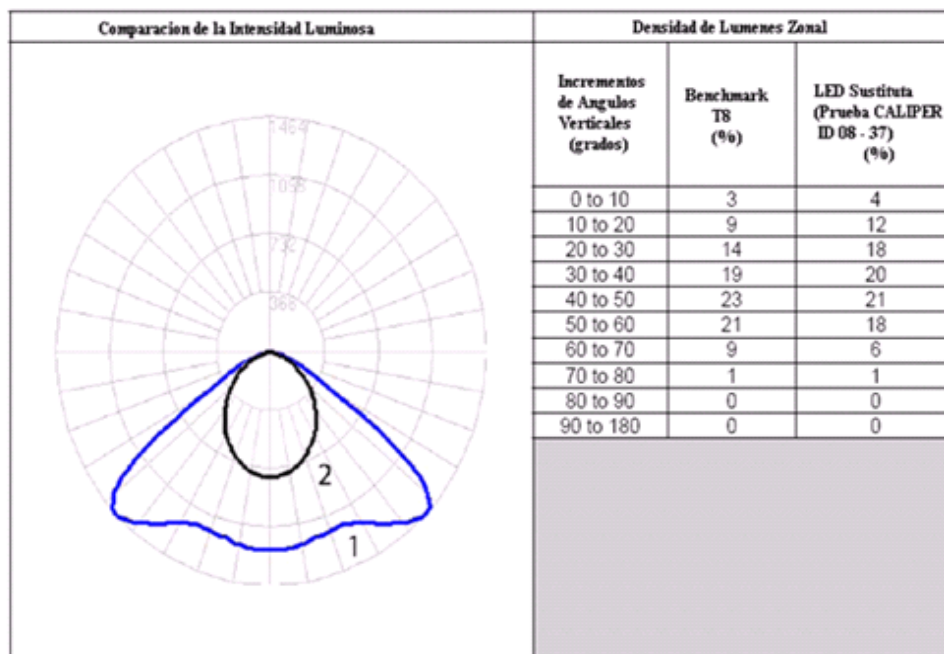


Fig. III.A8 Troffer con Louver Parabolico: Comparacion entre Benchmark T8 (Curva 1) y la LED Sustituta 08 - 37 (Curva 2) [11]

Los datos de luminancia del sistema te ayudan a predecir los brillos percibidos (y el potencial deslumbramiento) de una luminaria en varios ángulos verticales y laterales. La tabla III.A1 presenta la luminancia para varias lámparas probadas en una troffer con un ángulo lateral 0° (a lo largo de la longitud del sistema; los resultados son similares en los ángulos laterales de 45° y 90°).

TABLA III.A1 COMPARACIÓN DE LA LUMINANCIA ENTRE TROFFERS DE LOUVER PARABÓLICO Y DE ÓPTICA NORMAL. [11]

Datos de Luminancia de una Troffer de Óptica Normal (ángulo lateral 0°)				
Ángulos Verticales (en grados)	Benchmark de una Fluorescente T12 (cd/m ²)	Lámparas LED lineales (cd/m ²)		
		Promedio	Mínimo	Máximo
0	2874	1011	499	1950
45	2279	597	309	1067
55	1738	420	216	741
65	1318	306	161	557
75	1432	350	182	635
85	1399	368	196	699
Datos de Luminancia de una Troffer de Louver Parabólico (ángulo lateral 0°)				
Ángulos Verticales (en grados)	Benchmark de la fluorescente T8 (cd/m ²)	Lámparas LED Lineales (cd/m ²)		
		Promedio	Mínimo	Máximo
0	2071	882	447	1543
45	1906	585	329	966
55	1736	448	241	767
65	1172	234	115	423
75	230	52	28	92
85	0	882	447	1543

La luminancia del sistema normalmente no es usada como predictor del flujo luminoso o de resultados del nivel de luz y uniformidad. Sin embargo, la luminancia del sistema es indicador de la intensidad luminosa y nos muestra mejor la diferencia significativa de distribución de intensidad (y por extensión la salida de lúmenes) entre las fluorescentes y las configuraciones LED.

ANEXO IV: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS EFICIENTES (FLUORESCENTE Y RED) EN ILUMINACIÓN PARA EL EDIFICIO UPSI

TABLA IV.A1. VALORES DE REFLECTANCIA NORMALIZADOS

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

TABLA IV.A2 VALORES FACTOR DE MANTENIMIENTO NORMALIZADOS

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

TABLA IV.A3 COBROS EN LA ADUANA [12]

0% ARANCEL AD VALOREM DEL CIF	0
0,1% FODINFA DEL CIF	353.25156
12% IVA.	42390.1872
ICE	0
SUB-TOTAL	42743.4388
0,025% CORPEI DEL FOB (MINIMO \$5)	5
MULTAS	0
VATMAT	0
TOTAL PAGO EN ADUANA	42748.4388

TABLA IV.B3 GASTOS DE LA IMPORTACIÓN DE LAS LÁMPARAS LED [13]

LIQUIDACIÓN DE ADUANA APROXIMADA	42748.4388
TRANSPORTE APROXIMADO	14340
SEGURO	3355.56
COMEXI	0
VERIFICACIÓN TÉCNICA	0
VERIFICACIÓN COMERCIAL	134
CORTE DE GUÍA (VISTO BUENO, DOCUMENTACIÓN, ETC) LÍNEA AÉREA	45
DESCONSOLIDACION	0
DEMORAJE	0
BODEGAJE APROXIMADO	1165.8
AGENTE AFIANZADO APROXIMADO INCLUYE IVA	201.6
APERTURA DE D.U.I.	0
APERTURA D.A.U.	12
APERTURA DE D.A.V.	12
GASTOS EMBARCADOR: EL CLIENTE NEGOCIA DIRECTAMENTE	1500
PICK UP EMBARCADOR	0
FLETE INTERNO APROXIMADO HASTA LOJA	800
Estibada, montacarga o cuadrilla APROXIMADO (si el cliente desea)	20
Seguridad	0
Custodio e inventario de la carga APROX. (si el cliente desea)	56
GASTOS DEL BROKER THOMAS SANTOS	100
TOTAL DE GASTOS DE LA IMPORTACIÓN APROXIMADO	64490.3988

TABLA IV.A4 COBROS EN LA ADUANA [12]

0% arancel ad valorem del cif	0
0,1% fodinfa del cif	214.3158
12% iva.	25717.896
Ice	0
sub-total	25932.2118
0,025% corpei del fob (mínimo \$5)	5
Multas	0
Vatmat	0
total pago en aduana	25937.2118

TABLA IV.B4 GASTOS DE LA IMPORTACIÓN DE LAS LÁMPARAS LED [13]

liquidación de aduana aproximada	25937.2118
transporte aproximado	8700
seguro	2035.8
comexi	0
verificación técnica	0
verificación comercial	134
corte de guía (visto bueno, documentación, etc.) línea aérea	45
demoraje	0
bodegaje aproximado	1165.8
agente afianzado aproximado incluye iva	201.6
apertura de d.u.i.	0
apertura d.a.u.	12
apertura de d.a.v.	12
gastos embarcador: el cliente negocia directamente	1500
pick up embarcador	0
flete interno aproximado hasta Loja	800
estibada, montacarga o cuadrilla aproximado (si el cliente desea)	20
seguridad	0
custodio e inventario de la carga aprox. (si el cliente desea)	56
gastos del broker thomas santos	100
total de gastos de la importación aproximado	40719.4118