



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

***DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN BASADO
EN CONTROL AUTOMATIZADO PARA EL EDIFICIO
DEL COLEGIO MARIO RIZZINI***

**Trabajo de Graduación previo a la obtención del título de Ingeniera
Electrónica**

AUTORA:

María de los Ángeles Bernal Reino

DIRECTOR:

Eduardo Rodrigo Sempértegui Cañizares

Cuenca - Ecuador

2012

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis lo dedico principalmente a mi hija Michelle Pesántez, el motivo más grande de mi vida para salir adelante, a quien sacrifiqué varias horas por conseguir los conocimientos para obtener mi título profesional; a mis padres Néstor y Ligia quienes me impulsaron a acabar lo que ya había iniciado hace años; a mis hermanos por ser el apoyo y ejemplo de amistad en mi vida; a mi esposo Juan Pablo por el apoyo, paciencia y sobre todo el amor con el que me impulsaba a culminar mis estudios. Para ellos este trabajo.

María de los Angeles.

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen María, por ser mis acompañantes en todo mi camino académico y quienes no me dejaron desfallecer durante todo este tiempo; a la Universidad del Azuay por brindarme los conocimientos necesarios para ser una excelente profesional; a mi director de tesis Ing. Eduardo Sempértegui por haber dirigido de manera eficiente este trabajo; y, a mis padres por haber siempre confiado en mí y en mis capacidades.

140912

RESUMEN

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN BASADO EN CONTROL AUTOMATIZADO PARA EL EDIFICIO DEL COLEGIO

MARIO RIZZINI

Para realizar el análisis técnico – económico de los sistemas de iluminación más recomendados para el Colegio Mario Rizzini y diseñar un sistema de control inteligente totalmente automatizado para el edificio de la institución educativa se estableció los antecedentes de iluminación existentes en el edificio ubicado en la Avenida Don Bosco, realizándose el estudio económico y de potencia del sistema de iluminación existente, comparándolo con el de un edificio nuevo en la parroquia El Valle de la ciudad de Cuenca, donde se implementará un sistema de iluminación totalmente nuevo sea LED o fluorescente; dando como resultado que el sistema LED es demasiado costoso implementarlo en dicho lugar.

Para el diseño automatizado se tomaron en cuenta los cálculos realizados en dicho estudio implementándose un sistema autónomo que pretenderá brindar de mayor iluminación, aprovechando todas las ventajas de luz natural, espacio físico, situaciones ambientales proporcionando un mejor rendimiento académico con la menor inversión posible.

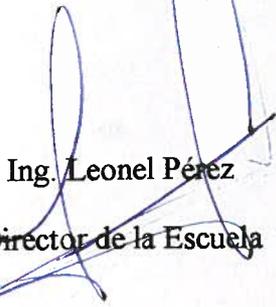
Palabras claves: Fluorescente, Led, Luminiscencia, Dimmer, Automatización, Potencia



María de los Angeles Bernal Reino
Autora



Ing. Eduardo Sempertegui
Director de Tesis



Ing. Leonel Pérez

Director de la Escuela

Leonel P.
140912

ABSTRACT

DESIGN OF AN ILLUMINATION SYSTEM BASED ON AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR *MARIO RIZZINI* HIGH SCHOOL

In order to perform the technical-economical analysis of the most suitable illumination systems for *Mario Rizzini* High School and to design a control system that is intelligent and completely automatic, the actual lighting conditions of the school's building, located in *Don Bosco* Avenue, were established. An economical study was performed as well as a revision of the strength of the illumination system. This information was compared with the setting of a new building located in the parish of El Valle in the city of Cuenca, where a completely new lighting system, LED or fluorescent, is to be implemented. The results showed that the LED system was too expensive to install in this place.

The calculations used for the previous study were taken into consideration for this automatic design. Consequently, an automatic system will be implemented with the intention of offering better lighting by taking advantage of natural light, physical space, and environmental situations, resulting in better academic performance with the least investment possible.

Key Words: Fluorescent, Led, Luminescence, Dimmer, Automatic, Strength.



María de los Angeles Bernal Reino

Author

Diana Lee Rodas
Translated by,
Diana Lee Rodas

Eduardo Sempertegui
Ing. Eduardo Sempertegui

Director

Leonel Pérez
Ing. Leonel Pérez

Director of the Department

INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	.iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice de Contenidos.....	vi
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tablas.....	.xii
Índice de Anexos.....	.xiv
Introducción.....	1
CAPITULO 1: SISTEMAS EFICIENTES DE ILUMINACIÓN Y METODOLOGÍAS DE COMPARACIÓN DE LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES Y LED	
1.1. Sistema Eficiente de Iluminación.....	3
1.1.1. Eficiencia Energética.....	3
1.2. Sistema de Iluminación Fluorescente.....	4
1.2.1. Lámparas Fluorescentes T8 Y T12 en Troffers.....	4
1.2.1.1. Atributos y construcción de la lámpara.....	4
1.2.1.2. Operación de la Lámpara.....	5
1.2.1.3. Luminaria Troffer Fluorescente.....	7
1.3. Sistema de Iluminación de Estado Sólido (SSL).....	9
1.3.1. Lámparas LED Lineales de Lámparas Fluorescentes T12 Y T8 en Luminarias Troffer.....	9

1.4. Metodologías utilizadas para la comparación de Sistemas Eficientes de Iluminación.....	13
1.4.1. Metodología Tradicional.....	13
1.4.2. Metodología Caliper Benchmark.....	14
1.4.2.1 Procedimiento Caliper Benchmark.....	14
1.4.2.2. Secciones un Reporte CALIPER.....	15
1.4.2.3. Fotometría utilizada por CALIPER.....	17
1.4.2.4 Configuraciones utilizadas por CALIPER.....	19
1.5. Comparativa de las lámparas Led Lineales con lámparas Fluorescentes T12 y T8.....	20
1.5.1. Rendimiento de Lámparas Fluorescentes T12 Y T8 en Troffers.....	20
1.5.2. Rendimiento de Lámparas LED Lineales.....	24
1.5.2.1 Flujo Luminoso.....	25
1.5.2.2 Eficacia de la Lámpara.....	27
1.5.2.3. Direccionalidad de la Lámpara y Eficiencia del Sistema.....	28
1.5.2.4 Eficacia de la Luminaria.....	28
1.5.2.5. Distribución de luz de la Luminaria y Resultado de Iluminación.....	30
1.5.2.6. Características de Color.....	33
1.5.2.7. Potencia.....	35
1.6. Aclaración del rendimiento de las lámparas led lineales.....	36
1.7 Resumen Comparativo de Lámparas LED Con Lámparas Tradicionales para Iluminación en Interiores.....	37

CAPITULO II: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

2.1. Análisis Técnico Económico de Sistemas de Iluminación (Fluorescente y LED) del edificio existente del Colegio “Mario Rizzini”.....	41
2.1.1. Sistema Fluorescente	43
2.1.1.1. Análisis Técnico	44

2.1.1.2. Análisis Económico.....	49
2.1.2. Sistema LED	54
2.1.2.1. Análisis Técnico	54
2.1.2.2. Análisis Económico	56
2.1.3. Resumen del Análisis Técnico Económico	64
2.1.4. Recuperación de la Inversión	69
2.2. Análisis Técnico Económico de sistemas eficientes (LED y FLUORESCENTES) de iluminación para el edificio proyectado del Colegio “Mario Rizzini”.....	71
2.2.1. Sistema Fluorescente.....	72
2.2.1.1. Análisis Técnico	73
2.2.1.2. Análisis Económico	77
2.2.2. Sistema LED	83
2.2.2.1. Análisis Técnico	84
2.2.2.2. Análisis Económico	87
2.2.3. Resumen del Análisis Técnico Económico.	95
2.2.4 Recuperación de la Inversión.....	99

CAPITULO III: DISEÑO DEL CONTROL AUTOMATIZADO DE LA ILUMINACIÓN

3.1. Desarrollo del sistema de control automatizado.....	101
3.2. Implementación de un sistema de Dimerizado Inteligente.....	102
3.2.1 Métodos de Regulación de un Dimmer.....	102
3.2.1.1 TRIAC.....	102
3.2.1.2. TIRISTOR.....	103
3.2.1.3. IGBT.....	104
3.2.1.4. PWM.....	104
3.2. Coordinación del sistema de Iluminación con la luz natural.....	104
3.2.1. Control de fase.....	105
3.3. Evaluación del sistema de iluminación diseñado y recomendaciones estructurales.....	107

CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS	115

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estructura de la luminaria troffer de óptica normal (izquierda) y parabólica (derecha).....	7
Figura 1.2 Distribución de la luz de la luminaria troffer de óptica normal y persianas parabólicas.	8
Figura 1.3 Esquema de un sistema de iluminación de estado sólido	9
Figura 1.4 Lámparas LED Lineales Normales.....	10
Figura 1.5 Direccionalidad de las fluorescentes lineales (A), Lámparas LED s (B y C) con relación a una estructura troffer de persianas parabólicas.....	11
Figura 1.6 Comparación del Flujo Luminoso de las lámparas LED con las lámparas FL lineales de cuatro pies.	26
Figura 1.7 Comparación del flujo luminoso medido y el dado por el fabricante de Lámparas LED y Fluorescentes de cuatro pies	26
Figura 1.8 Comparación entre eficacia medida y valores de eficacia del fabricante de lámparas LED y Lámparas Fluorescentes lineales de cuatro pies	27
Figura 1.9 Flujo Luminoso Vs Eficacia de Luminaria de Troffer de louver parabólico y lentes con Lámparas LED y Fluorescentes Lineales de cuatro pies.	30
Figura 1.10 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).	31

Figura 1.11 Mediciones de Distribución de la Intensidad Luminosa y los Porcentajes Calculados de las Densidades de lúmenes para diferentes zonas para una troffer de louver parabólico con dos lámparas fluorescentes T8 de cuatro pies (curva 1) y LED (curva 2).....	32
Figura 1.12. Comparación de los valores CCT medidos para las lámparas fluorescentes y LED lineales.....	34
Figura 1.13. Trazado de la cromaticidad de lámparas LED (mostradas en diamante) Vs las especificaciones cromáticas de ANSI (Diagrama cromático NORMA ANSI C78.377-2008).	35
Figura3.1 Símbolo del Triac y sus Partes.....	102
Figura 3.2. Símbolo Tiristor y sus Partes.....	103
Figura 3.3. Esquema Sistema de Control Automatizado mediante un Dimerizado Inteligente.....	107

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Datos del fabricante y Benchmark de una troffer de louver parabólico con dos lámparas fluorescentes.	22
Tabla 1.2. Resumen del promedio de lúmenes por zonas para una troffer parabólica y de óptica normal.	24
Tabla 1.3. Resumen de la evaluación Caliper en “rendimiento de lámpara sola” para lámparas FL y LED lineales.	25
Tabla 1.4: 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).	29
Tabla 1.5 Criterios de espaciamiento entre lámparas fluorescentes vs LED.....	33
Tabla 1.6 Resumen Comparativo de Lámparas LED con Lámparas Fluorescente para Iluminación en Interiores.....	39
Tabla 2.1 Coeficientes de utilización de la luminaria	43
Tabla 2.2. Lámparas fluorescentes T8 que están encendidas y apagadas en diferentes horas del cuarto piso del colegio “Mario Rizzini”	47
Tabla 2.3 Costo de cableado por las luminarias adicionales.....	60
Tabla 2.4 Cobros de un banco para un sistema LED para el edificio existente del Colegio “Mario Rizzini”	61
Tabla 2.5 Resumen Análisis Técnico Económico.....	64
Tabla 2.6 Niveles de eficiencia.....	67

Tabla 2.7. Resumen comparativo categórico del Sistema fluorescente (fl) y sistema LED para el actual edificio del colegio Mario Rizzini.....	67
Tabla 2.8 Costo del cableado de un sistema fluorescente (punto de instalación).....	77
Tabla 2.9 Cobros de un banco para un sistema fluorescente.....	79
Tabla 2.10. Costo de cableado de un sistema led.....	90
Tabla 2.11 Cobros de un banco del sistema LED.....	91
Tabla 2.12 Resumen del análisis técnico económico de los sistemas de iluminación eficientes para el nuevo edificio del Colegio “Mario Rizzini”.....	95
Tabla 2.13. Resumen Comparativo Categórico del Sistema Fluorescente (Fl) y sistema LED para el edificio proyectado del colegio Mario Rizzini.....	97

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: SISTEMA DE ILUMINACIÓN TRADICIONAL

Tabla I.A1. Denominaciones según el nivel de CCT.....	122
---	-----

Anexo 2: SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO

Tabla II.A2 Rendimiento de lámparas led-ssl alcanzado en el 2002 y en próximos años.	122
---	-----

Anexo 3: COMPARACIÓN DE LÁMPARAS CONVENCIONALES Y LÁMPARAS LED

Tabla II.A3 Eficacia luminosa de una larga producción de leds de 1 watt en el 2004	123
--	-----

Anexo 4: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS EFICIENTES (FLUORESCENTE Y RED) EN ILUMINACIÓN PARA EL EDIFICIO DEL COLEGIO “MARIO RIZZINI”

Tabla III.A1 Comparación de la luminancia entre troffers de louver parabólico y de óptica normal.	124
--	-----

Anexo 5: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS EFICIENTES (FLUORESCENTE Y RED) EN ILUMINACIÓN PARA EL EDIFICIO DEL COLEGIO “MARIO RIZZINI”

Tabla IV.A1. Valores de reflectancia normalizados.....	125
Tabla IV.A2 Valores factor de mantenimiento normalizados.....	125
Tabla IV.A3 Cobros en la aduana	126
Tabla IV.B3 Gastos de la importación de las lámparas LED	126
Tabla IV.A4 Cobros en la aduana	127
Tabla IV.B4 Gastos de la importación de las lámparas LED	127

Bernal Reino María de los Angeles

Trabajo de Graduación

Ing. Eduardo Sempértegui

Julio del 2012

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN BASADO EN CONTROL AUTOMATIZADO PARA EL EDIFICIO DEL COLEGIO MARIO RIZZINI

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, se expone los resultados de un análisis comparativo de dos sistemas puntuales como son, el sistema de iluminación de estado sólido y el sistema fluorescente.

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, laboratorios y aulas de un centro educativo de la localidad.

La hipótesis en que se apoyó 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 del presente trabajo 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 tiene como objetivo la comparación del sistema SSL y Fluorescente basados en la obtención del mismo nivel de iluminación para el edificio del Colegio Mario Rizzini. Se tomaron dos casos de estudio, uno para un edificio sin sistema de iluminación (edificio proyectado) y otro para el edificio del Colegio Mario Rizzini (construcción existente) con un sistema de iluminación fluorescente implementado.

CAPITULO I

SISTEMAS EFICIENTES DE ILUMINACIÓN Y METODOLOGÍAS DE COMPARACIÓN DE LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES Y LED

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.

1.1.2. 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, así como también utilizando un sistema de control automatizado 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 extenso 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 tienen un costo mayor de instalación que el sistema incandescente, pero su vida útil es mayor, en consecuencia el costo de operación es menor al sistema incandescente.

1.2.1. Lámparas Fluorescentes T8 Y T12 en Troffers

Hasta la década de 1980, gran parte de las instalaciones utilizaban 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 halofósforo.

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 balastros 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 balastros 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 necesaria 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 balastros 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 degrada 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 balastos electrónicos atenuables y controles asociados. Las lámparas fluorescentes son sensibles a la temperatura ambiente, la misma 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), 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.

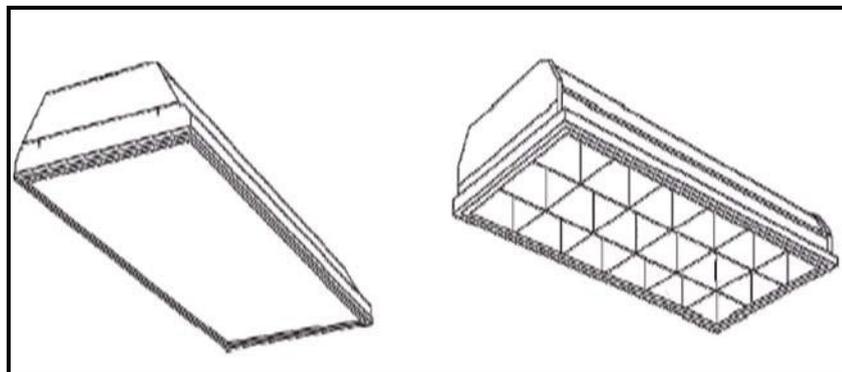


Fig. 1.1 Estructura de la luminaria troffer de óptica normal (izquierda) y parabólica (derecha).

Fuente: IESNA, “Memorandum on Light Emitting Diode (LED) Sources and Systems”, pp, 1-20.

La dimensiones estándar de los troffers incluyen 1x4- pies y 2x4-pies para lámparas nominales de 4- 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. 1.1).

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. 1.2), porque los lentes actúan como difusores.

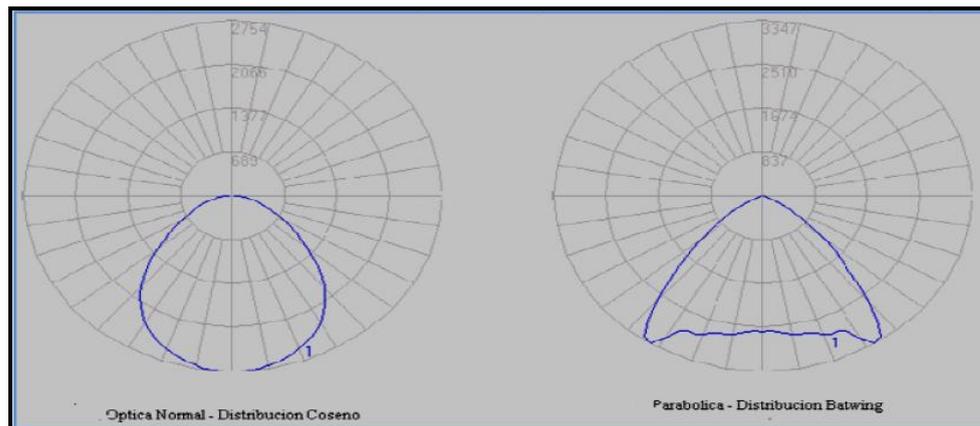


Fig. 1.2 Distribución de la luz de la luminaria troffer de óptica normal y persianas parabólicas.

Fuente: IESNA, “Memorandum on Light Emitting Diode (LED) Sources and Systems”, pp, 1-20.

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 ésta en rayos paralelos. Las troffers de louver parabólico frecuentemente son conocidas por tener una distribución barwing (Fig. 1.2), 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 1.3 se muestra un diagrama a bloques de un sistema de iluminación de estos dispositivos alimentados desde la línea de corriente alterna, 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.

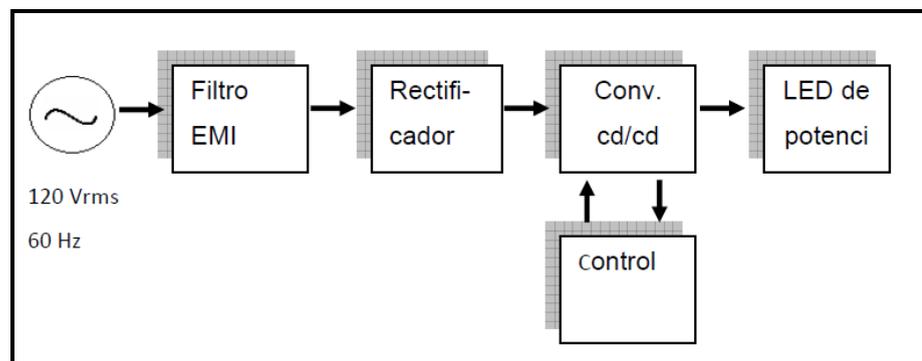


Figura 1.3 Esquema de un sistema de iluminación de estado sólido

Fuente; IESNA, "Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering", [ANSI/IESNA](#), pp, 1-3.

1.3.1. Lámparas LED Lineales 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 los 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 fósforo (una cantidad de 36 a 300 LED por lámpara), con un driver y disipador de calor integrados. La Fig. 1.4 muestra imágenes de lámparas LED lineales. Como se ha ilustrado en estas imágenes, algunas de estas lámparas tienen una cubierta tubular transparente de plástico y algunas tienen lentes que sirven como difusores. Todas excepto una de las lámparas LED lineales valuadas por CALIPER hasta ahora tienen el tamaño, forma, y conector bin-pin similar al de una lámpara fluorescente T8 normal.

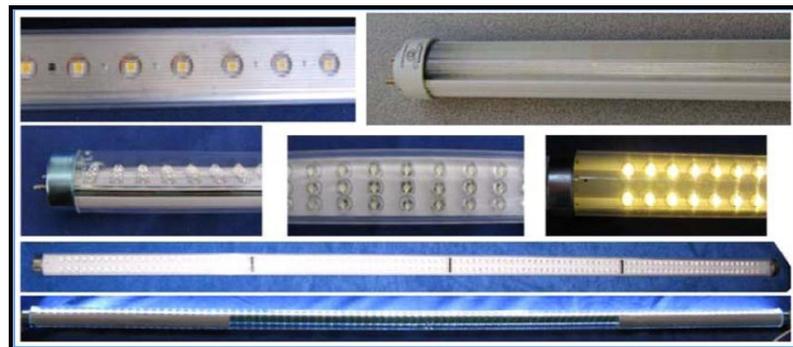


Fig. 1.4 Lámparas LED Lineales Normales.

Fuente: 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

Con la excepción de un producto con balastro (CALIPER prueba ID 07-56), Las lámparas LED 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 los 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 LED s pueden crear un inaceptable contraste de color es estas aplicaciones.

Los LEDs son fuentes de luz inherentemente direccionales, 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. 1.5 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 del 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.

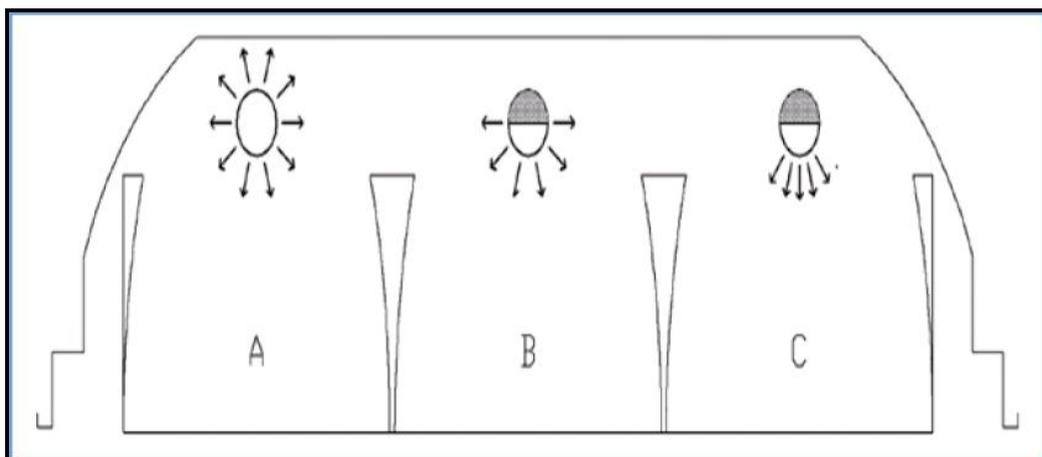


Fig. 1.5 Direccionalidad de las fluorescentes lineales (A), Lámparas LED s (B y C) con relación a una estructura troffer de persianas parabólicas. [11]

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 del 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 lograrán 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 LED) 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.

1.4. Metodologías utilizadas para la comparación de Sistemas Eficientes de Iluminación

Los procedimientos para una evaluación comparativa eficaz, se basa en los procedimientos estándar IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), 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.

1.4.1. 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.

1.4.2. Metodología Caliper Benchmark

La aparición de LEDs como fuente de luz cambia el panorama porque la eficacia del sistema no es la 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 vatios resultando la eficacia de luminaria en lúmenes por vatio.

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 se está comparando algo similar (por decir manzanas con manzanas), se compara LED con las fuentes tradicionales basadas en la eficacia de la luminaria.

1.4.2.1 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 a través de laboratorios de prueba de luminarias (LTL) que se sustentan

² Las 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

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.

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).

1.4.2.2. Secciones un Reporte CALIPER

Para una comprensión interna de los 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 se muestra el modelo y fabricante del balastro. Se incluye también la posición de montaje de la luminaria, seguida por las características eléctricas registradas durante las prueba.

Finalmente, se indica la orientación del plano 0° (paralelo con las lámparas. perpendicular a las lámparas, o ninguno en el caso de luminarias con lámparas verticales).

³ Resumen de informes de las pruebas por CALIPER están disponibles en línea en <http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/search.html>

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 las 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, valores actualizados en candelas por lúmenes nominales 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

Esto 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. Lo 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 o 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.

1.4.2.3. 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 gonio fotómetro. Sus intensidades en una dirección particular son conocidas muy exactamente. Esta intensidad es medida, produciendo un cierto voltaje del foto detector. Cada lectura del voltaje del foto detector 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.

1.4.2.4 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 gonio fotómetro 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 goniógrafos diseñados para luminarias presentan algunos problemas de calibración para la medición de “lámpara sola”.

Esta configuración mide el flujo luminoso de la 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 (DUV). Se agrega a esto la medición del factor de potencia.

1.5. Comparativa de las 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.

1.5.1. Rendimiento de Lámparas Fluorescentes T12 Y T8 en Troffers

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

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

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 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 basados 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 la eficiencia del 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 del 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 más

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

angostas con dos lámparas (2 lámparas, 1x4-pies) tienen una eficiencia del sistema del 59%. Y para una troffer de louver parabólico de 2x2-pies equipadas con dos lámparas T8 de 17-W, la eficiencia del sistema es solo del 49%.

La eficiencia del 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:

$$\mu = \frac{\text{número de lámparas} \times \text{Flujo luminoso evaluado de la lámpara (lm)} \times \text{FB} \times \text{eficiencia del sistema}}{\text{potencia de entrada a la luminaria (W)}} \times \text{potencia de entrada a la luminaria (W)}$$

Donde:

μ = eficacia de la luminaria

FB = factor del balastro

La tabla 1.1 presenta un resumen de datos del fabricante y resultados Benchmark para una troffer de louver parabólico con dos lámparas fluorescentes.

TABLA 1.1. Datos del fabricante y Benchmark de una troffer de louver parabólico con dos lámparas fluorescentes.

	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

Fuente: 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.

La distribución de lúmenes por zonas (Tabla 1.2) 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 1.2. Resumen del promedio de lúmenes por zonas para una troffer parabólica y de óptica normal

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

Fuente: 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.

1.5.2. 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 1.3 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 1.3. Resumen de la evaluación Caliper en “rendimiento de lámpara sola” para lámparas FL y LED lineales.

-- esfera Integración -- 25°C	ID	Watt Total (W)	Flujo (lm)	Eficacia Lámpara (lm/W)	CCT (K)	CRI	Max. D _{UV}	Cos θ
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 4 pies	08-28	32	3081	96	3932	81	0.003	0.99
Lámpara FL T12 de 4 pies	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 25W.								

Fuente: 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.

1.5.2.1 Flujo Luminoso

Como se muestra en la Fig. 1.6, CALIPER afirma que el flujo luminoso de lámparas LED lineales está muy por debajo de la salida de lúmenes de lámparas 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.

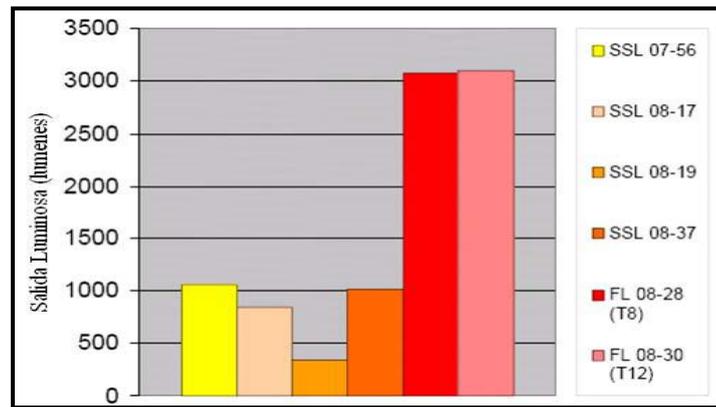


Fig. 1.6 Comparación del Flujo Luminoso de las lámparas LED con las lámparas FL lineales de cuatro pies. Fuente: RD Lingered, MA Myer and ML Paget, “Performance of T12 and T8 Fluorescent Lamps and Troffers and LED Linear Replacement Lamps”, CALIPER BENCHMARK REPORT, pp, 1-22.

La Fig. 1.7 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.

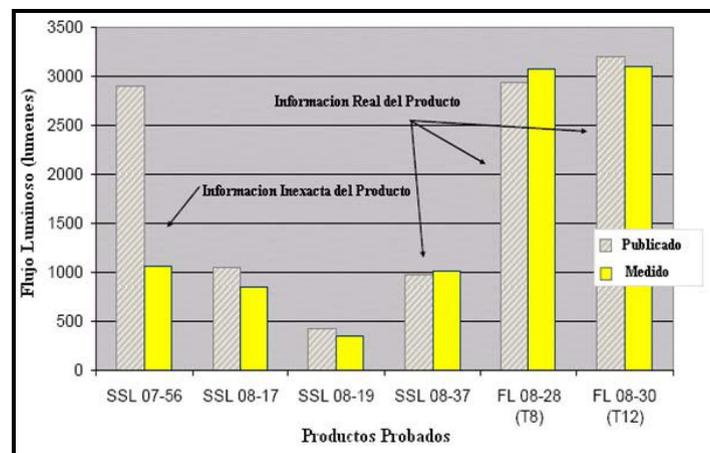


Fig. 1.7 Comparación del flujo luminoso medido y el dado por el fabricante de Lámparas LED y Fluorescentes de cuatro pies ⁶. Fuente; RD Lingered, MA Myer and ML Paget, “Performance of T12 and T8 Fluorescent Lamps and Troffers and LED Linear Replacement Lamps”, CALIPER BENCHMARK REPORT, pp, 1-22.

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

1.5.2.2 Eficacia de la Lámpara

Como se ilustra en la Fig. 1.8, 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.

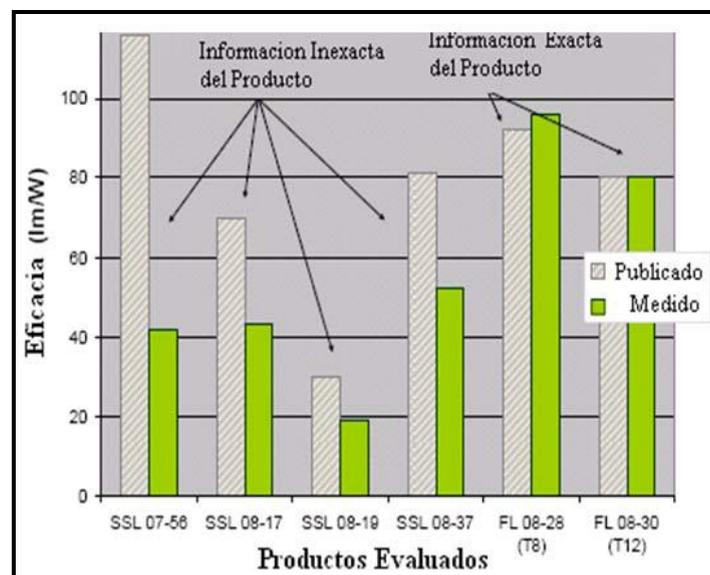


Fig. 1.8 Comparación entre la eficacia medida y los valores de eficacia del fabricante de lámparas LED y Lámparas Fluorescentes lineales de cuatro pies ⁷

Fuente: 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.

⁷ Para la prueba CALIPER ID 07 – 56, el fabricante no provee datos del flujo luminoso para la versión 3500K, así que se utilizó el flujo luminoso publicado para la versión 4100K (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) fue utilizado para calcular la eficacia de la lámpara publicada.

1.5.2.3. 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 1.9). 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 las 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.

1.5.2.4 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. 1.9 presenta la eficacia de la luminaria in situ como una función del flujo luminoso para las lámparas fluorescentes y LED lineal 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 1.4: 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)

	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	1568	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.					

Fuente: 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.

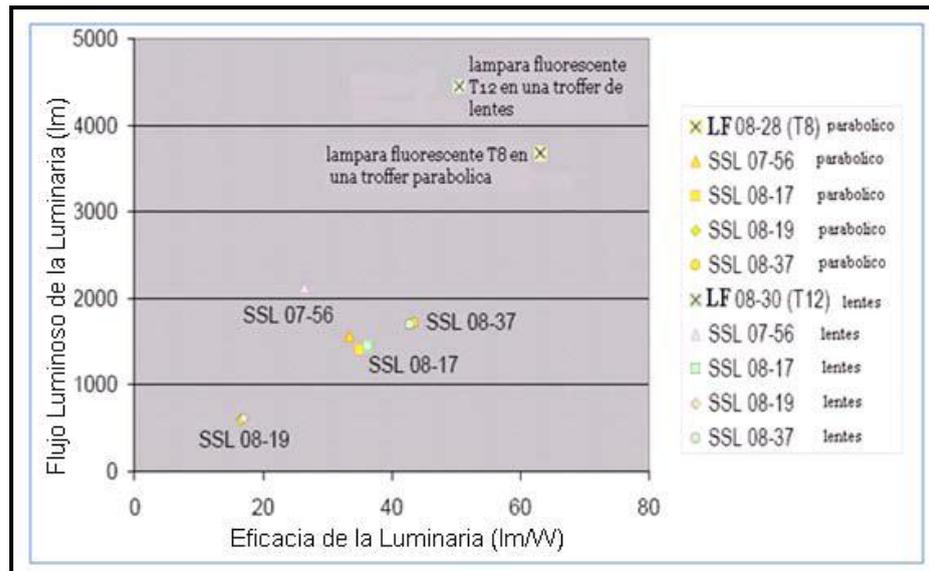


Fig. 1.9 Flujo Luminoso Vs Eficacia de Luminaria de Troffer de louver parabólico y lentes con Lámparas LED y Fluorescentes Lineales de cuatro pies. Fuente: RD Lingered, MA Myer and ML Paget, "Performance of T12 and T8 Fluorescent Lamps and Troffers and LED Linear Replacement Lamps", CALIPER BENCHMARK REPORT, pp, 1-22.

1.5.2.5. 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 contribuye 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. 1.10 y 1.11 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. 1.9, 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. 1.10 y 1.11 ilustran un flujo luminoso relativo a incrementos verticales de 100 y no hay indicadores de intensidad luminosa absoluta o flujo luminoso en ningún ángulo particular. Para la troffer de lentes (Fig. 1.10), es evidente que las lámparas LEDs (fuente direccional) produce un flujo luminoso más proporcional debajo del sistema (por debajo de los 400 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 400 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.

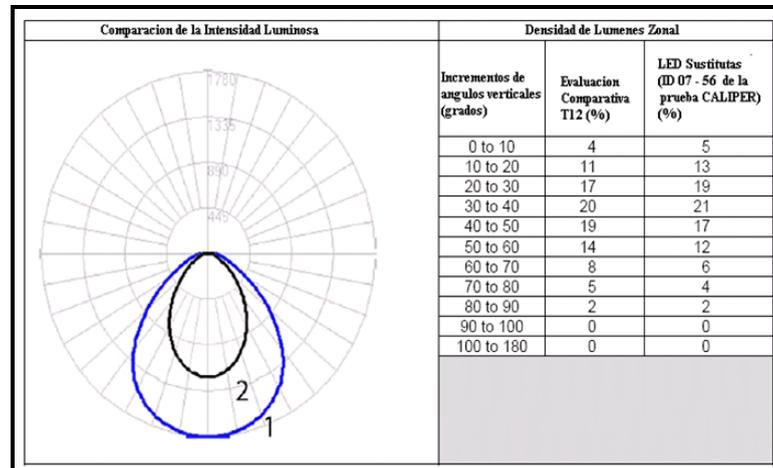


Fig. 1.10 Mediciones de la Distribución de intensidad luminosa y porcentajes calculados de la densidad de lúmenes por zonas de una troffer de lentes con lámparas fluorescentes T12 de cuatro pies (curva 1) y LED (curva 2). Fuente: RD Lingered, MA Myer and ML Paget, "Performance of T12 and T8 Fluorescent Lamps and Troffers and LED Linear Replacement Lamps", CALIPER BENCHMARK REPORT, pp, 1-22.

En una troffer de louver parabólico existe mayor cantidad de flujo luminoso en la zona de 400 hasta 600 en la configuración fluorescente T8. Con más salida

direccionales, 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.

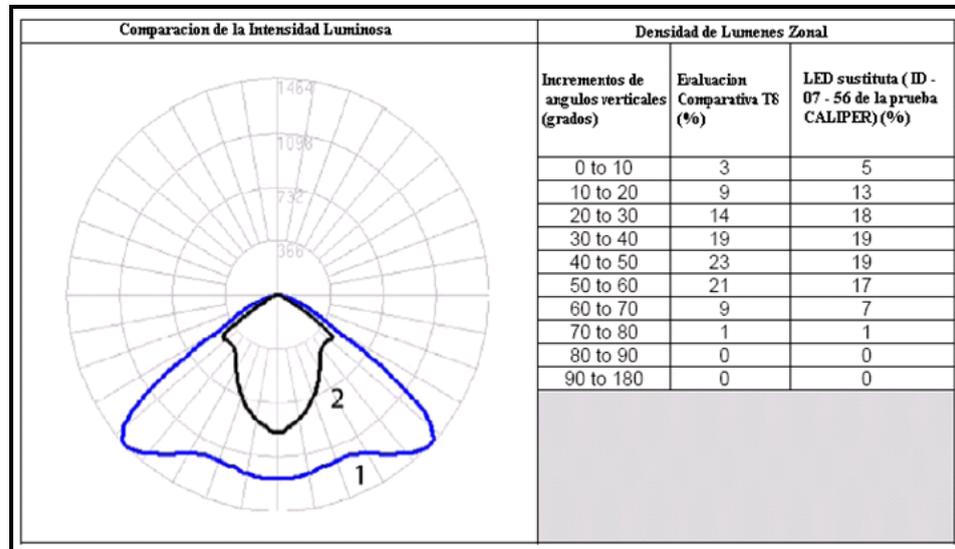


Fig. 1.11 Mediciones de la Distribución de Intensidad Luminosa y Porcentajes Calculados de la Densidad de lúmenes por zonas para una troffer de louver parabólico con dos lámparas fluorescentes T8 de cuatro pies (curva 1) y LED (curva 2). Fuente: RD Lingered, MA Myer and ML Paget, “Performance of T12 and T8 Fluorescent Lamps and Troffers and LED Linear Replacement Lamps”, CALIPER BENCHMARK REPORT, pp, 1-22.

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. 1.11 (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 1.10 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 1.5 Criterios de espaciamiento de lámparas fluorescentes vs lámparas LED.

CRITERIO DE ESPACIAMIENTO PARA UNA TROFFER DE LOUVER PARABOLICO				
	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 espaciamiento es un multiplicador. Se multiplica la altura del montaje del sistema por el valor del criterio de espaciamiento; el resultado representa la distancia máxima (de centro a centro) en que las luminarias pueden ser espaciadas.				

Fuente: 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.

1.5.2.6. 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. 1.12, 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.

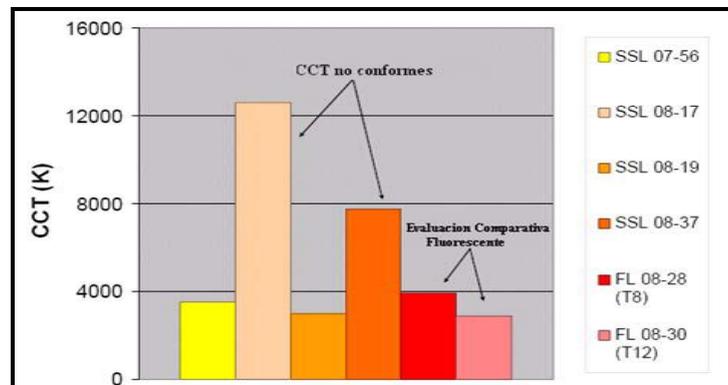


Fig. 1.12. Comparación de los valores CCT medidos para las lámparas fluorescentes y LED lineales.

Fuente: 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.

Los valores medidos de CRI (Tabla 1.7) 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. 1.13). 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

⁸ Véase 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/ssl7cri_leds.html.

de las distancias prescritas al sitio Planckian (cromaticidad del DUV designado y sus tolerancias) ⁹.

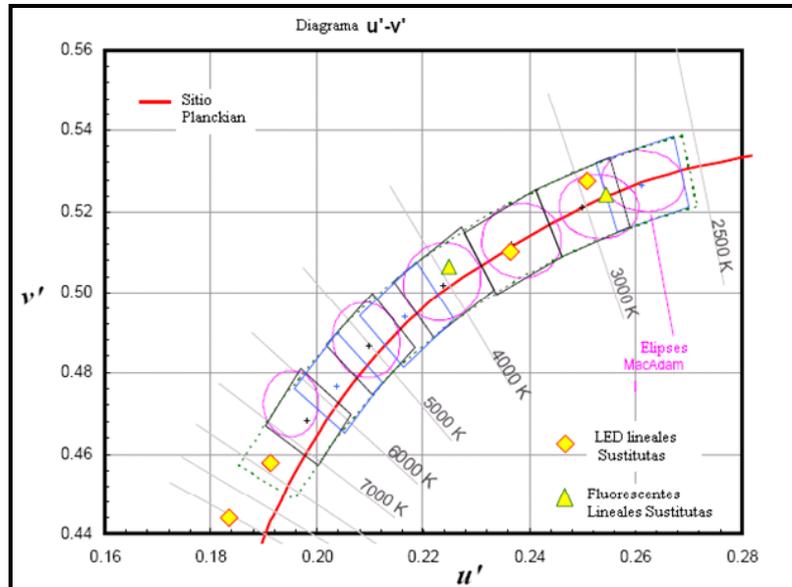


Fig. 1.13. Trazado de la cromaticidad de lámparas LED (mostradas en diamante) Vs las especificaciones cromáticas de ANSI (Diagrama cromático de ANSI C78.377-2008).

Fuente: 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.

Como se ha ilustrado en la Fig. 1.13, las coordenadas cromáticas de dos productos LED blancos evaluados caen lejos del sitio Planckian (Duv no permitido) y no se ajustan a las especificaciones CCT. Incluso, los productos LED evaluados con valores CCT adecuados tienen tolerancias DUV aplicables.

1.5.2.7. Potencia

Tanto los sistemas fluorescentes y sistemas LED consisten de componentes adicionales a la fuente de luz (balastos, baterías, y otros componentes electrónicos)

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

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 SSL ¹⁰.

En la evaluación CALIPER, ninguna de las lámparas LED han alcanzado el requisito residencial, y únicamente dos de los cuatro productos LED evaluados han cumplido con el requisito comercial. (Tabla 1.3).

Como se muestra en las Tablas 1.3 y 1.4, 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.

1.6. 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.

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

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.

1.7 Resumen Comparativo de Lámparas LED Con Lámparas Tradicionales para Iluminación en Interiores

En la tabla 1.6 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 1.6) garantizan un ahorro energético frente a las lámparas fluorescentes. 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. 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, éste valor es una ventaja del sistema LED, pero no es un factor decisivo en la medición 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 1.6 Resumen Comparativo de Lámparas LED con Lámparas Fluorescente para Iluminación en Interiores

CARACTERISTICAS			LED CALIPER		FLUORESCENTES BENCHMARK	
			ID 08 - 37		ID 08 - 28	ID 08 - 30
RENDIMIENTO IN SITU						
NOMBRE	SIMBOLO	UNIDAD	02/T12	03/T8	T8	T12
POTENCIA	P	Watio	40	39	58	88
FLUJO LUMINOSO	Φ	lm	1693lm	1711	3675	4453
EFICACIA LUMINARIA	M	$\frac{lm}{W}$	43	43	63	51
EFICIENCIA DEL SISTEMA	P	%	83	84	70	92
RENDIMIENTO EN LAMPARA SOLA						
NOMBRE	SIMBOLO	UNIDAD	01/T8	03/T8	T12	
POTENCIA	P	Watio	19	32	39	
FLUJO INICAL	Φ	Lm	1016	3081	3101	
EFICACIA LAMPARA	Σ	$\frac{lm}{W}$	52	96	80	
CCT	-	K	7739	3932	2884	
CRI	-	-	76	81	84	
D _{uv}	-	-	0.005	0.003	0.001	
FAC. POTENCIA	Cos Φ	-	0.53	0.99	0.89	

Fuente: 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.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

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 de la 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 7 y tabla 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 del reembolso de

la 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.

2.1. Análisis Técnico Económico de Sistemas de Iluminación (Fluorescente y LED) del edificio existente del Colegio “Mario Rizzini”.

El edificio del Colegio “Mario Rizzini” 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 del Colegio es uniforme, la iluminancia deseada para este tipo de oficina 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 (fm)

Según tablas normalizadas (ver anexos tabla IV.A2), para ambientes limpios como el “Mario Rizzini” se propone un valor de factor de mantenimiento de 0,8.

Índice del local (k)

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

$$h = h^1 - p_t = 2,7 \text{ m} - 0,85$$

$$h = 1,85 \text{ m}$$

$$k = \frac{(17,5 \times 8,8) \text{ m}}{1,85 \text{ m} (7,5 \text{ m} + 8,8 \text{ m})} = \frac{66 \text{ m}}{30,16 \text{ m}} = 2,2 \quad (EC.1)$$

Reflectancias (ρ_t, P_{ps}, P_{pp})

$$\text{Reflectancia de las paredes } (P_p) = P_p = 0,3$$

$$\text{Reflectancia del piso } (P_{pp}) = P_{pp} = 0,20$$

$$\text{Reflectancia del techo } (P_t) = P_t = 0,7$$

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

Factor de Utilización (η)

Por medio de la tabla 2.1 y los valores de las reflectancias e índice del local, encontramos el coeficiente de utilización de la luminaria.

TABLA 2.1 Coeficientes de utilización de la luminaria

$\rho_{pp} = 0.20$								
	$\rho_r = 0.8$				$\rho_t = 0.7$			
	0	0	0	0	0	0	0	0
ρ_p
K	7	5	3	1	7	5	3	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, "CALIPER Program", U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, <http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/caliper.html> (consultado: 10-06-2012)

$$\eta = 0,64$$

Lámparas por luminaria (n_1)

$$n_1 = 3 \text{ lámparas/luminaria}$$

Luminarias por Piso (L_p)

Mediante la observación realizada del lugar en estudio; en el cuarto piso del edificio del Mario Rizzini existen:

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

2.1.1. Sistema Fluorescente

Flujo de la lámpara (ϕ_L)

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

Potencia de la lámpara (P₁)

$$P_1 = 17\text{W}$$

Vida nominal de la lámpara (V_N)

$$V_N = 20\,000 \text{ horas}$$

2.1.1.1. Análisis Técnico

Iluminancia Media (Em)

$$Em = \frac{n_1 \cdot \varphi_L \cdot n \cdot L_P}{S}$$

Donde:

n₁ = Número de lámparas por luminaria

ϕ_L = Flujo de la lámpara

n = Coeficiente de utilización

L_P = Luminarias por piso

S = Superficie del edificio

$$Em = \frac{3(1300\text{lm}) \cdot (0,64) \cdot 441}{1321\text{m}^2}$$

$$Em = 833,26 \text{ lx}$$

La Em actual está por encima de los niveles de iluminación deseados .

Iluminancia Mantenido (E_{man})

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

Donde:

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

$$f_m = \text{Factor de mantenimiento}$$

$$E_{man} = 833,26 \text{ lx} \cdot (0,8) = 666,6 \text{ lx}$$

Potencia del conjunto lámparas-balastro (P_L)

$$P_L = n_1 \cdot P_1$$

Donde:

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

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

Número de luminarias en el edificio (N_L)

$$N_L = N_p \cdot L_p$$

Donde:

N_p = Número de pisos del edificio

L_p = Luminarias por piso

$$N_L = 4 \times 441 = 1\,764 \text{ luminarias}$$

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

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

Donde:

N_L = Número de luminarias en el edificio

n_1 = Lámparas por luminaria

$$N_{LL} = 1764 \times 3 = 5\,292 \text{ lámparas}$$

Potencia Consumida por el Balastro (P_B)

$$P_B = 0,1 \cdot P_L \quad (\text{EC.2})$$

Donde:

P_L = Potencia de las lámparas conectadas por balastro

$$P_B = 0,1 \times 51\text{W} = 5,1 \text{ W}$$

Potencia de un sistema fluorescente (P_{SFL})

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

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 = Número de luminarias en el Edificio

P_{SFL} = Potencia de un sistema fluorescente

$$P_{IFL} = 1\,764 \times 66,3 \text{ W}$$

$$P_{IFL} = 116\,95 \text{ kW}$$

Factor de Simultaneidad (Fs)

Para una estimación de Fs se realizó una verificación de las lámparas encendidas y apagadas durante un día a diferentes horas. En la tabla 2.2 se puede observar los datos recolectados de la cantidad de lámparas del cuarto piso del Colegio “Mario Rizzini”.

TABLA 2.2. Lámparas fluorescentes T8 que están encendidas y apagadas en diferentes horas del cuarto piso del colegio “Mario Rizzini”

T O T A L	08:00 a.m.		10:00 a.m.		02:00p.m.		04:00p.m.		06:00p.m.	
	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A
2	1	2	2	0	1	2	2	7	2	0
8	0	8	0	8	0	8	0	8	4	4
3	0	3	3	0	3	0	3	0	3	0
2	1	1	1	1	0	2	1	1	2	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
2	1	1	1	1	0	2	2	0	0	2
2	0	2	2	0	0	2	0	2	0	2
1	0	1	8	9	0	1	0	1	0	1
6	6	0	6	0	0	6	6	0	6	0
2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
3	3	0	3	0	0	3	3	0	3	0
2	0	2	6	2	0	2	1	1	2	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
1	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
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	2	0	1	6	6	6	6
1	8	3	0	1	0	1	7	4	1	0

Continuación:

1	0	1	0	1	0	1	8	4	8	4
1	7	6	7	6	1	0	1	0	7	6
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
2	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
2	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2
44	2	2	3	1	1	2	3	1	3	1
E = encendidas, A= apagadas										

Promedio de Luminarias	2
Promedio de Luminarias apagadas	1

Factor de Simultaneidad (F_S)

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

Donde:

 L_E = Luminarias encendidas L_A = Luminarias apagadas

$$F_S = \frac{265}{265 + 176} = 0,6$$

Potencia consumida del sistema fluorescente (P_{CFL})

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

Donde:

P_{IFL} = Potencia instalada del sistema fluorescente

F_S = Factor de Simultaneidad

$$P_{CFL} = 116\,953,2W \times 0,6 = 70\,171\,kW$$

2.1.1.2. 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 existe 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})

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

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

DL_M = Días 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

$$E_{CFL} = (2376 \times 70,17) \frac{KWH}{año} = 166\,726,66$$

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

$$C_{EA} = 0,113 \frac{\$}{kWh} \times 166\,726,66 \text{ kWh} = \$18,840$$

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

$$H_{UL} = 2\,376 \times 5\,292 = 12\,573\,792 \frac{\text{Horas}}{\text{Año}}$$

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

$$P_{RL} = \frac{12\,573\,792 \frac{\text{Horas}}{\text{Año}}}{20\,000 \frac{\text{Horas}}{\text{lámpara}}} = 624 \frac{\text{lámparas}}{\text{año}}$$

Costo por reemplazo de lámpara (C_{NR})

$$C_{NR} = P_N + P_R \quad (\text{EC.6})$$

P_N = \$ 1,4 (precio de la lámpara en dólares)

P_R = \$ 4 (precio por reemplazar la lámpara en dólares) ¹¹

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

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.

¹¹ Estos valores corresponden a la investigación realizada al Ing. Eléctrico Fabián Cabrera, quien trabaja a diario con dichas lámparas en instalaciones eléctricas.

$$C_{RL} = 624 \times 5,4 = \$ 3\,369,6$$

c) Costo por año de la limpieza de las lámparas

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

$$H_{CL} = H_L * N_L$$

$H_L = 0,05$ Horas (horas en la limpieza de cada luminaria)

$N_L =$ Número de luminarias en el edificio

$$H_{CL} = 0,05 \left(\frac{\text{horas}}{\text{luminaria}} \right) * 1794 \left(\frac{\text{luminarias}}{\text{limpieza}} \right) = 88 \frac{\text{horas}}{\text{limpieza}}$$

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

$$H_{TL} = H_{CL} * L_A$$

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

$L_A = 2$ (Limpiezas por año)

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

Costo de limpiezas al año (C_{LA})

$$C_{LA} = H_{TL} * C_{HL}$$

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

$C_{HL} = 1,5 \frac{\$}{\text{HORA}}$ (Costo de limpieza)

$$C_{LA} = 176 \left(\frac{\text{horas}}{\text{año}} \right) * 1,5 \left(\frac{\$}{\text{hora}} \right) = 264 \frac{\$}{\text{año}}$$

d) Costo por año de la reparación del sistema fluorescente**Número de reparaciones al año (N_{RA})**

$$N_{RA} = N_{RM} * N_M$$

 N_{RM} = Número de reparaciones al mes (ENCUESTADO) N_M = Número de meses al año.

$$N_{RA} = 2 * 12 = 24$$

Costo por reparación del balastro (C_{RB})

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

 C_b = costo del balastro C_{rb} = costo de remplazar el balastro

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

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

$$C_{TR} = N_{RA} * C_{RB}$$

 N_{RA} = Número de reparaciones al año C_{RB} = Costo por reparación del balastro

$$C_{TR} = 24 * \$17,17 = \$ 412,08$$

2.1.2. Sistema LED

Flujo de la lámpara (φ_L)

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

Potencia de la lámpara (P_1)

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

Vida nominal de la lámpara (V_N)

$$V_N = 50\,000 \text{ horas}$$

2.1.2.1. Análisis Técnico

Iluminancia Mantenido (Eman)

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)

$$n_L = \frac{E_m \cdot S}{n_1 \cdot \varphi_L \cdot n}$$

$$n_L = \frac{(833,26\text{lx}) \cdot (1\,321\text{m}^2)}{(3 \times 600\text{lm} \times 0,64)} = 956 \frac{\text{luminarias}}{\text{piso}}$$

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

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

Donde:

n_L = Número de luminarias LED para el Edificio

N_p = Número de pisos

$$N_{LLED} = 956 \times 4 = 3\,824 \text{ luminarias/edificio}$$

Lámparas LED para el edificio (L_{LED})

$$L_{LED} = N_{LLED} \cdot n_1$$

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

n_1 = Número de lámparas por luminaria

$$L_{LED} = 3\,824 \times 3 = 11\,472 \text{ lámparas}$$

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)

$$P_S = n_1 \times P_{LED} \tag{EC.8}$$

n_1 = Número de lámparas por luminaria

$$P_S = 3 \times 5,6 \text{ W} = 16,8 \text{ W}$$

Potencia Instalada (P_I)

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

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

P_S = Potencia de un sistema

$$P_I = 3\,824 \times 16,8\text{W} = 64\,243,2\text{ W}$$

Factor de Simultaniedad (F_S)

Se estima el mismo del sistema fluorescente, calculado en (EC.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

$$P_{CLED} = 64\,243,2\text{ W} \times 0,6 = 38\,550\text{ kW}$$

2.1.2.2. 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})

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

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

L_{LED} = lámparas LED para el Edificio.

$$FOB_{TOTAL} = \$ 29,25 \times 11,472 = \$ 335,556$$

Peso en kg de todas las lámparas LED (P_K)

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

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)

$$C_S = 0,01 \times FOB_{TOTAL}$$

$$C_S = 0,01 \times \$ 335,556 = \$ 3,355$$

Costo de seguro y flete (CIF_{TOTAL})

$$\begin{aligned}
 CIF_{TOTAL} &= FOB_{TOTAL} + F_T + C_S \\
 CIF_{TOTAL} &= \$ 335,556 + \$ 14,340 + \$ 3,355 \\
 CIF_{TOTAL} &= \$ 353,251
 \end{aligned}$$

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})

$$\begin{aligned}
 C_{RLED} &= \frac{FOB_{TOTAL} + G_{TI}}{L_{LED}} \\
 C_{RLED} &= \frac{\$(335,556 + 64,490)}{11,472 \text{ lamparas}} = \$ 34,87
 \end{aligned}$$

Costo por un sistema LED (C_{SLED})

$$\begin{aligned}
 C_{SLED} &= C_{RLED} * n_1 \\
 C_{SLED} &= (\$ 34,87 \times 3) = \$ 104,61
 \end{aligned}$$

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})

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

$$C_{ILED} = \$10 + \$104,61 = \$10 46,1$$

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

$$N_{LA} = 3 824 - 1 764 \text{ luminarias} = 2 060 \text{ luminarias}$$

Costo de una luminaria (C_L)

$$C_L = \$ 20$$

Costo de las luminarias adicionales (C_{LA})

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

$$C_{LA} = 2\,060 \text{ luminarias} \times 20 \frac{\$}{\text{luminaria}} = \$ 41\,200$$

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

$$C_{CLA} = \$ 79\,351,2$$

En la tabla 2.3 se detalla el costo de cableado por puntos adicionales de instalación.

TABLA 2.3 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
2	9	\$0,42	\$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.

$$C_{TLED} = \$ 1\,046,1 \times 3\,824 = \$ 4\,003\,286,64$$

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.

$$I = \$ 4\,003\,286,64 + \$ 79\,351,2 + \$ 41\,200 = \$ 558\,819,84$$

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 2.4. El costo por año de la inversión \$ 68,427.49.

TABLA 2.4 Cobros de un banco para un sistema LED para el edificio existente del Colegio “Mario Rizzini”

INVERSIÓN	558 819,84
tiempo de amortización (años)	10
costo total por año	55 881,98
tasa de interés por amortización	9 751,41
impuestos + seguros (5%/año)	2 794,10
COSTO DE LA INVERSIÓN POR 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 anterior de la estimación del sistema fluorescente instalado que equivalen a $2\,376 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$.

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

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

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

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

$$E_{CLED} = (2\,376 \times 23,39) \frac{kWh}{año} = 55\,564 \frac{kWh}{año}$$

Costo del Kilowatio Hora (C_K)

$$C_{KWH} = 0,113 \text{ \$/kWh}$$

Costo de la Energía Eléctrica por Año (C_{EA})

$$C_{EA} = C_{KWH} \times E_{CLED}$$

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

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

$$C_{EA} = 0,113 \frac{\$}{KWH} \times 55,564 \frac{KWH}{año} = 6,278 \frac{\$}{año}$$

c) Costo por año de la renovación de las lámparas**Horas de uso por año de todas las lámparas (H_{UL})**

$$H_{UL} = H_{LA} \times N_{LL}$$

H_{LA} = promedio de horas usadas al año

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

$$H_{UL} = 2\,376 \times 6\,960 = 16\,536\,960 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

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

$$P_{RL} = \frac{16\,536\,960 \frac{\text{horas}}{\text{año}}}{50\,000 \frac{\text{horas}}{\text{lámpara}}} = 331 \frac{\text{lámparas}}{\text{año}}$$

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

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

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

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

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

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

$$C_{RL} = 331 \times 39,10 = \$ 12\,931$$

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

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

$H_{LLED} = 0,05$ horas/año (Horas en el mantenimiento de cada luminaria)

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

$$H_{CL} = 0,05 \left(\frac{\text{horas}}{\text{luminaria}} \right) \times 3\ 824 \left(\frac{\text{luminarias}}{\text{limpieza}} \right) = 191,2 \frac{\text{horas}}{\text{limpieza}}$$

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.

2.1.3. Resumen del Análisis Técnico Económico

En la tabla 2.5 se detalla un resumen del análisis técnico económico realizado hasta aquí de los dos sistemas de iluminación (LED y FLUORESCENTE) en el edificio del Colegio “Mario Rizzini” con un sistema de iluminación (fluorescente) implementado.

TABLA 2.5 Resumen Análisis Técnico Económico

INFORMACION GENERAL	SISTEMA DE ILUMINACION FLUORESCENTE	SISTEMA DE ILUMINACION LED
Datos de instalación	Luminarias con lámparas fluorescent.	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

Continuación:

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
CÁLCULO 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	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	0	9,751.406208
impuestos + seguros (5%/año)	0	2,794.0992
costo de la inversión por año	0	68,427.49
COSTOS DE ENERGÍA		
horas laborales /año	2,376	2,376
energía consumida (kW/año)	16,6728.48	91,585.11
costo del KWH	0.113	0.113
costo energía (\$/ano)	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	3,394.92	21,189.96

Continuación tabla 2.5

COSTOS DEL MANTENIMIENTO (LIMPIEZA)		
número de mantenimientos por año	2	1
horas al año para cada mantenimiento del sistema	88	191.2 0
horas al año para el mantenimiento de los sistemas	176	191.2 0
costo de hora del trabajador (\$)	1.50	1.5
costo del mantenimiento por año (\$)	264	286.8 0
COSTO POR REPARACIÓN		
costo por reparación del balastro	17.1	0
numero de reparaciones al año	24	12
costo total reparación por año	412.0	0
RECAPITULACIÓN		
COSTO ANUAL DE LA INVERSIÓN	0	68,427.4 9
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	412.0 8	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 2.6 ilustra los niveles de eficiencia utilizados.

TABLA 2.6 Niveles de eficiencia

Tecnología eficiente	OK
Tecnología deficiente	X

La tabla 2.7 Resumen categórico, que compara la eficiencia entre el sistema de iluminación fluorescente y SSL en el edificio actual del Colegio “Mario Rizzini”.

TABLA 2.7. Resumen comparativo categórico del Sistema fluorescente (fl) y sistema LED para el actual edificio del colegio Mario Rizzini

INFORMACION GENERAL	SISTEMA ILUMINACION FLUORESCENTE	SISTEMA ILUMINACION LED
Datos de la instalación	Luminarias con lámparas fluorescentes trifósforo T8	Luminarias con lámparas LED T8
Tipo de instalación	Alumbrado general para interiors	Alumbrado general para interiores
Número de luminarias	OK	X
Potencia de c/sistema (incluyendo accesorios) (W)	X	OK
Potencia total consumida por el sistema (W)	X	OK
Iluminancia mantenida (lx)	OK	OK
CALCULO DEL COSTO COMPLETO		
INVERSION		
Costo por todos los sistemas instalados (\$)	OK	X
Costo de la luminarias adicionales	OK	OK
Costo de cableado de las luminarias adicionales	OK	OK

Continuación tabla 2.7

INVERSION	OK	X
Costo de la inversión por año (\$/año)	OK	X
COSTOS DE ENERGIA		
Energía consumida (kWH/año)	X	OK
Costo energía (\$/año)	X	OK
COSTO POR RENOVACION DE LAMPARAS		
Vida nominal lámpara	X	OK
Promedio de renovación lámparas por año	X	OK
Precio neto lámpara (dólares)	OK	X
Costo reemplazo + precio neto	OK	X
COSTO TOTAL RENOVACION	OK	X
COSTO DE MANTENIMIENTO (LIMPIEZA)		
# de mantenimientos por año	X	OK
Horas al año de mantenimiento de todo el sistema	OK	X
COSTO DE MANTENIMIENTO POR AÑO (\$)	OK	X
COSTO POR REPARACION		
Costo por reparación del balastro	X	OK
Número de reparaciones por año	X	OK
COSTO TOTAL REPARACION	X	OK

Continuación tabla 2.7

RECAPITULACIÓN		
COSTO ANUAL DE INVERSION	OK	X
COSTO ANUAL ENERGIA CONSUMIDA	X	OK
COSTO ANUAL RENOVACION	OK	X
COSTO ANUAL MANTENIMIENTO	OK	X
COSTO ANUAL REPARACION	X	OK
COSTO ANUAL SIST. ILUMINACION	OK	X

2.1.4. 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 ENERGIA SISTEMA FLUORESCENTE	COSTO DE ENERGIA SISTEMA LED	AHORRO DE CONSUMO DE ENERGÍA
\$ 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 de 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

2.2. Análisis Técnico Económico de sistemas eficientes (LED y FLUORESCENTES) de iluminación para el edificio proyectado del Colegio “Mario Rizzini”.

Ahora se considera al Colegio “Mario Rizzini” 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 Computación) 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 (Ec.1), igual a 2,2

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

$$\rho_{\text{techo}}=0,7$$

$$\rho_{\text{paredes}}=0,3$$

$$\rho_{\text{suelo}}=0,2$$

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 para este tipo de oficina según la norma es de 400 lx.

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

Lámparas por luminaria (n_1)

$$n_1 = 3 \text{ lámparas/luminaria}$$

2.2.1. Sistema Fluorescente

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

2.2.1.1. Análisis Técnico

Flujo luminoso en la oficina (Φ_T)

$$\varphi_T = \frac{E_m \cdot A_0}{\eta \cdot f_m} \quad (\text{EC.9})$$

Donde:

E_m = iluminancia media deseada

A_0 = superficie de la oficina

η = coeficiente de utilización

f_m = factor de mantenimiento

$$\varphi_T = \frac{(400lx)(66m^2)}{(0,64)(0,8)} = \frac{26\ 400lm}{0,512} = 51\ 562,5lm$$

Número de luminarias en la oficina (n_L)

$$n_L = \frac{\varphi_T}{n_1 \cdot \varphi_L}$$

Φ_T = Flujo luminoso en la oficina.

Φ_L = Flujo luminoso de una lámpara.

n_1 = Número de lámparas por luminaria.

$$n_L = \frac{51\ 562,5lm}{3(1\ 300lm)} = 13 \text{ luminarias}$$

Cantidad de oficinas (N_A)

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

S = Superficie del edificio

A_O = Superficie de la oficina

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

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.

$$E_m = \frac{n_L \cdot \phi_L \cdot n \cdot N_{LP}}{S}$$

n_1 = 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

$$E_m = \frac{3 \cdot (1300lm) \cdot (0,64) \cdot 260}{1321m^2} = 491,26lx$$

$$E_m > E_{TABLAS}$$

La iluminancia media (E_m) es mayor a la iluminancia deseada (400lx), por lo tanto el número de luminarias es aceptado.

Iluminancia mantenida (E_{man})

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

E_m = Iluminancia media

f_m = Factor de mantenimiento

$$E_{man} = 491,26 \times 0,8 = 393 \text{ lx}$$

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

N_{LFL} = Número de luminarias fluorescentes.

n_1 = Número de lámparas por luminaria.

$$L_{FL} = 1\ 040 \times 3 = 3\ 120 \text{ lámparas}$$

Potencia de un sistema fluorescente (P_{SFL})

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

$$P_{SFL} = 66,3 \text{ W}$$

Potencia instalada del sistema fluorescente (P_{IFL})

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

N_{LFL} = Número de luminarias fluorescentes.

P_{SFL} = Potencia de un sistema fluorescente.

$$P_{IFL} = 1\ 040 \text{ luminarias} \times 66,3 \text{ W} = 68,95 \text{ kW}$$

Factor de Simultaneidad (F_S)

En la ecuación (Ec.4) se calculó el F_S igual a 0,6.

Potencia Consumida del sistema fluorescente (P_{CFL})

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

P_{IFL} = Potencia instalada del sistema fluorescente

F_S = Factor de simultaneidad

$$P_{CFL} = 68,95 \text{ kW} \times 0,6 = 41,37 \text{ KW}$$

2.2.1.2. 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 2.8 se detalla el costo de cableado por un sistema FL (punto).

$$C_C = \$ 38,52$$

TABLA 2.8 costo del cableado de un sistema fluorescente (punto de instalación)

Puntos	cantidad cable / punto	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

$$CSFL = [8 + (1,4 \times 3) + 20 + 15,17 + 38,52] = \$ 85,89/\text{luminaria}$$

Costo total del sistema fluorescente (C_{TFL})

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

Donde:

N_{LFL} = Número de luminarias fluorescentes.

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

$$C_{TFL} = 1\ 040 \text{ luminarias} \times \$ 85,89/\text{luminaria} = \$ 89\ 325,6 = I$$

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 2.9. La inversión por año es \$ 10 937,9.

TABLA 2.9 COBROS DE UN BANCO PARA UN SISTEMA FLUORESCENTE

INVERSION (\$)	89 325
Tiempo de amortización (años)	10
Costo total por año (\$)	8932,5
Tasa de interés por amortización (17,45% / años)	1 558,731
Impuestos + seguros (5% / año)	446,62
Costo de la inversión por año (\$/año)	10 937,91

b) Costos por Año del consumo de energía

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

De la ecuación (EC.5), las horas al año que se consume energía son 2 376 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.

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

$$C_{EA} = 0,113 \frac{\$}{KWH} \times 98\,297,97 \text{ kWh} = \$11\,107,67$$

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

$$H_{UL} = H_{LA} \times L_{FL}$$

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

L_{FL} = Lámparas fluorescentes del edificio.

$$H_{UL} = 2\,376 \times 3\,120 = 7\,413\,120 \text{ horas/año}$$

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 (EC.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.

$C_{HL} = 1,5$ \$/hora (Costo por hora de 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 = Número de meses al año

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

Costo por reparación del balastro (C_{RB})

En la ecuación (EC.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

$$C_{TR} = 12 \times 17,17 \$ = \$ 206,04$$

2.2.2. Sistema LED

Se elige los valores de lámpara LED utilizada en el análisis del sistema LED anterior.

2.2.2.1. 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:

$$\varphi_T = 51\,562,5 \text{ lm}$$

Número de luminarias en la oficina (n_L)

$$n_L = \frac{\varphi_T}{n_1 \cdot \varphi_L}$$

φ_T = Flujo luminoso en la oficina

φ_L = Flujo luminoso de una lámpara

n_1 = 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.

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

Iluminancia media (E_m)

$$E_m = \frac{n_1 \cdot \varphi_L \cdot \eta \cdot n_L}{S}$$

n_1 = 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

$$E_m = \frac{3(600lm)(0,64) \cdot 580}{1321 m^2} = 505,79lx$$

Puesto que la iluminancia media (E_m) es mayor a la iluminancia media deseada (400lx), se considera al número de luminarias correcto.

Iluminancia Mantenido (Eman)

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

E_m = Iluminancia media

f_m = Factor de mantenimiento

$$E_m = 505,79 \text{ lx} \cdot (0,8) = 404,6 \text{ lx}$$

Potencia de un Sistema LED (P_{SLED})

Como son las mismas lámparas con la misma luminaria que el mismo sistema LED analizado, entonces usaremos la potencia calculada de la ecuación (EC.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} = Número de luminarias LED para el edificio

P_{SLED} = Potencia de un Sistema

$$P_I = 2\,320 \times 16,8 \text{ W} = 38\,976 \text{ W}$$

Factor de Simultaneidad (F_S)

De acuerdo a la ecuación (EC.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 Simultaneidad

$$P_{CLED} = 38,976W \times 0,6 = 23\,385kW$$

2.2.2.2. 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})

$$FOB_{TOTAL} = C_{LED} * L_{LED}$$

C_{LED} = costo nominal de una lámpara LED

L_{LED} = lámparas LED para el Edificio.

$$FOB_{TOTAL} = \$29,25 \times 6\,960 = \$ 203\,580$$

Peso en Kg de todas lámpara LED (Pk)

$$P_K = P_{LED} \times L_{LED}$$

$p_{LED} = 0,25$ Kg (peso de cada lámpara LED)

$$P_K = 0,25 \text{ kg} \times 6\,960 = 1\,740 \text{ kg.}$$

Costo total del flete (F_T)¹²

$$F_T = C_K \times P_K$$

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

$P_K =$ Peso en Kg de toda lámpara LED

$$F_T = C_K \cdot P_K = 5 (\$/\text{kg}) \times 1\,740 \text{ kg} = \$ 8\,700$$

Cobro de seguro en el Ecuador (C_S)¹³

$$C_S = 0,01 * FOB_{TOTAL} = \$ 2\,035,8$$

Costo de seguro y flete (CIF_{TOTAL})

$$CIF_{TOTAL} = FOB_{TOTAL} + F_T + C_S = \$214315,8$$

¹² Se considera únicamente en el Sistema LED debido a que como es una nueva tecnología, se hace la importación desde el extranjero.

¹³ Igual que el punto 2. solo por importación.

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})

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

$$C_{RLED} = \frac{\$(203,580 + 40719,41)}{6960 \text{ lamparas}} = \$35,10$$

Costo por un sistema LED (C_{SLED})

$$C_{SLED} = C_{RLED} \times n1$$

$$C_{SLED} = (35,10 \times 3) = \$105,3$$

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 2.10 detalla el costo por el cableado de un sistema LED.

TABLA 2.10. COSTO DE CABLEADO DE UN SISTEMA LED

Punto	cantidad cable / punto	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

$$C_{TLED} = \$174,25 \times 2\,320 = \$404,206 = I$$

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 2.11. El costo por año de la inversión \$ 49,501.64.

TABLA 2.11 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	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 (EC.5), son utilizadas:

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

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

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

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

P_{LED} = Potencia consumida del sistema LED.

$$E_{CLED} = (2\,376 \times 23,39) \text{ kWh/año} = 55\,564,19 \text{ kWh/año}$$

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

$$C_{EA} = 0,113 \frac{\$}{KWH} \times 55564,18 \frac{KWH}{año} = 6278,75 \frac{\$}{año}$$

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

$$H_{UL} = H_{LA} \times N_{LL}$$

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

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

$H_{UL} = 2\,376 \times 6\,960 = 16\,536\,960$ 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.

$$P_{RL} = \frac{16536960 \frac{\text{horas}}{\text{año}}}{50000 \frac{\text{horas}}{\text{lámpara}}} = 331 \frac{\text{lámparas}}{\text{año}}$$

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})

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

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})

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

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

$L_A = 1$ (mantenimiento al año)

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

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

$C_{HL} = 1,5$ \$/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, en su lugar 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 en los costos por renovación. Así:

$$C_{TR} = 0$$

2.2.3. Resumen del Análisis Técnico Económico

En la tabla 2.12 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 de la Unidad Educativa Salesiana a Distancia “Mario Rizzini”.

TABLA 2.12 Resumen del análisis técnico económico de los sistemas de iluminación eficientes para el nuevo edificio del Colegio “Mario Rizzini”

INFORMACION GENERAL	SISTEMA ILUMINACION FLUORESCENTE	SISTEMA ILUMINACION 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
W/sistema (incluyendo accesorios) (W)	66.3	16.8
simultaneidad	0.6	0.6
energía consumida del sistema	41 371,2	23 385,6
luminancia mantenida (lx)	393	404,6

Continuación tabla 2.12

CÁLCULO DEL COSTO COMPLETO		
INVERSIÓN		
costo por un sistema instalado	47,37	135,3
costo de cableado por sistema	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	1 558,73	7 054,34
impuestos + seguros (5%/año)	446,628	2 021,3
costo de la inversión por	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	11 107,67	6 278,75
COSTO POR RENOVACIÓN DE LÁMPARAS		
horas de uso por año de todas las lámparas	7	16,5
vida nominal lámpara	20,00	50
promedio de renovación lámparas por año	370,6	33
precio neto lámpara (dólares)	1,4	3
costo por reemplazo (labor)	4	4
costo reemplazo + precio neto	5,4	3
costo total renovación	2	12,9
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
costo de la limpieza por año (\$)	156	1
COSTO POR REPARACIÓN		
costo por reparación del balastro	17,17	0
numero de reparaciones al año	12	0
costo total reparación por año	206,0	0

Continuación tabla 2.12

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

TABLA 2.13. Resumen Comparativo Categórico del Sistema Fluorescente (FL) y sistema LED para el edificio proyectado del colegio Mario Rizzini

INFORMACION GENERAL	SIST. ILUMINACION FLUORESCENTE	SIST. ILUMINACION LED
Datos de la 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	OK	X

Continuación tabla 2.13

Potencia total consumida por el sistema (W)	X	OK
Illuminancia mantenida (lx)	OK	OK
CALCULO DEL COSTO COMPLETO		
INVERSION		
Costo (una luminaria instalada + cableado) (\$)	OK	X
INVERSION	OK	X
Costo de la inversión por año (\$/año)	OK	X
COSTOS DE ENERGIA		
Energía consumida (KWH/año)	X	OK
Costo energía (\$/año)	X	OK
COSTO POR RENOVACION DE LAMPARAS		
Vida nominal lámpara	X	OK
Promedio de renovación lámparas por año	X	OK
Precio neto lámpara (dólares)	OK	X
Costo reemplazo + precio neto	OK	X
COSTO TOTAL RENOVACION	OK	X
COSTO DE MANTENIMIENTO (LIMPIEZA)		
# de mantenimientos por año	X	OK
Horas al año de mantenimiento de todo el sistema	OK	X
COSTO DE MANTENIMIENTO POR AÑO (\$)	OK	X

Continuación tabla 2.13

COSTO POR REPARACION		
Costo por reparación del balastro	X	OK
Número de reparaciones por año	X	OK
COSTO TOTAL REPARACION	X	OK
RECAPITULACIÓN		
COSTO ANUAL DE INVERSION	OK	X
COSTO ANUAL ENERGIA CONSUMIDA	X	OK
COSTO ANUAL RENOVACION	OK	X
COSTO ANUAL MANTENIMIENTO	OK	X
COSTO ANUAL REPARACION	X	OK
COSTO ANUAL SIST. ILUMINACION	OK	X

2.2.4 Recuperación de la Inversión

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	\$4,82

A_R = Ahorro Por Año De La Reparación

Costo por reparación del FL	Costo reparación del LED	A_R
\$206 04,08	\$0	\$206

$$I_A = \$4\,828,92 + \$206,04 = \$5\,034,95$$

c) Egresos anuales (E_A)

$$E_A = G_R + G_L$$

Gastos Por Renovación de las Lámparas (G_R)

Costo por renovar	Costo por renovar lámparas	G_R
\$2 001,5424	\$12 931,9027	\$1

Gasto por mantenimiento del Sistema (G_L)

Costo del mantenimiento para el sistema	Costo del mantenimiento	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.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL CONTROL AUTOMATIZADO DE LA ILUMINACIÓN

3.1. Desarrollo del sistema de control automatizado

El sistema de regulación de la luz para interiores de un edificio educativo debe brindar la suficiente eficiencia y ahorro de luminosidad necesarias para un buen rendimiento académico y también un que proporcione un ahorro económico para los directivos del plantel en cuestión.

En este contexto se toma en cuenta que se puede disponer de un sistema de control automatizado sin elevar de gran manera el costo logrando un beneficio al alcance de cualquier entidad educativa.

No es necesario ninguna instalación extra, sino mas bien bajo con un mismo mando se pueden controlar varios sistemas. Por medio de una señal de control (de baja tensión 1V a 10 V). La regulación alcanza niveles desde 100% hasta el 10% de flujo luminoso.

De tal manera se puede administrar la luz que se necesita y se ahorra de forma inteligente y natural la luz. Si se utiliza racionalmente la iluminación natural junto con un control automatizado, puede lograrse gran reducción del consumo eléctrico manteniendo la iluminación adecuada para un mejor confort en los ambientes de trabajo de dicho edificio: aulas, oficinas, laboratorios, etc.

Por tales motivos, se establece un Sistema de Control Automatizado buscando un rendimiento óptimo en cada una de las áreas en las que trabaja la institución. Al mismo tiempo que se regula el funcionamiento del Sistema con la luz natural para que la acción del hombre no intervenga.

3.2. Implementación de un sistema de Dimerizado Inteligente

Un sistema de Dimerizado inteligente trata de regular la luz incandescente para un mayor rendimiento de las lámparas existentes dentro de un local.

Los dimmer o dímer sirven para regular la energía en una o varias lámparas, con el fin de variar la intensidad de la luz que emiten (siempre y cuando las propiedades de la luminaria lo permitan).¹⁴

3.2.1 Métodos de Regulación de un Dimmer

3.2.1.1 TRIAC

La técnica de los Triac es variar el punto de encendido de una lámpara sea fluorescente o led a lo largo del ciclo de uso que normalmente tiene la lámpara.

El Triac o más bien conocido como Trío de Corriente Alterna es un dispositivo bidireccional que proporciona un disparo al aplicar corriente al electrodo o puerta.

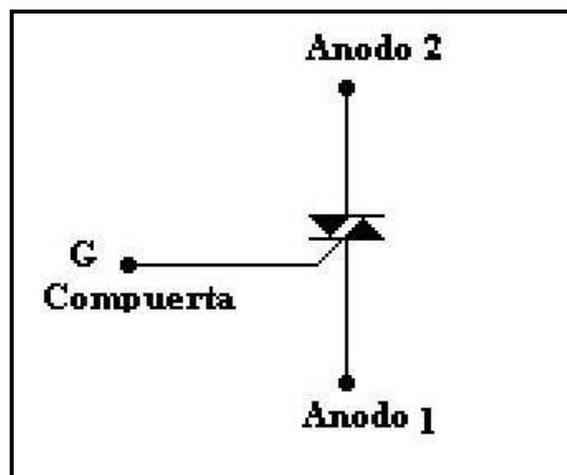


Fig.3.1 Símbolo del Triac y sus Partes

Fuente: http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/applets/pag_triac/triac.htm . Consultado

14 de Julio del 2012

¹⁴ Tomado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Dimmer> . Consultado el 11 de Julio del 2012

En la Figura 3.1 se muestra el símbolo esquemático e identificación de las terminales de un triac.

Los inconvenientes de éste tipo de estructura es la aparición de ruido en el filamento de la lámpara, y la aparición de interferencias en la red.

3.2.1.2. TIRISTOR

Al igual que el Triac, el Tiristor es un componente electrónico que funciona como un rectificador controlado pasando de un estado no conductor a un estado conductor. También pueden funcionar como interruptores o conmutadores ideales.

La fig. 3.2 muestra el símbolo del tiristor y una sección recta de tres uniones pn. Los tiristores se fabrican por difusión.

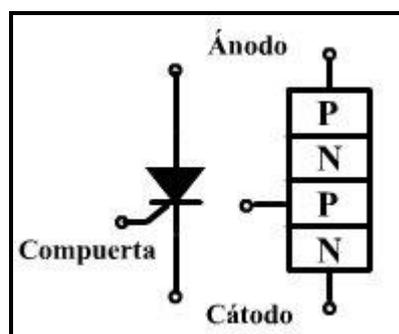


Fig. 3.2. Símbolo Tiristor y sus Partes

Fuente: <http://www.dte.uvigo.es/recursos/potencia/dc-ac/tiristor.htm>. Consultado 14 Julio

2012.

Esta tecnología es un avance a la tecnología convencional ya que facilita el decrecimiento del ruido.

3.2.1.3. IGBT

Este componente electrónico se denomina como regulación por fase inversa; éstos funcionan de manera silenciosa variando la curva de la corriente frente a la de carga. Éstos desconectan en la segunda mitad del ciclo de funcionamiento a la solenoide, de ésta manera es muy posible controlar el tiempo de caída y la forma de la curva optimizando el rendimiento del dimmer.

3.2.1.4. PWM

También conocidos como regulación sinusoidal por amplitud. Ofrecen eficiencia energética para controlar la amplitud de la onda que alimenta la lámpara.

La ausencia de corrientes armónicas implica un descenso del costo energéticos, aumento de vida de la lámpara.

3.2. Coordinación del sistema de Iluminación con la luz natural

El circuito realizado para el control automatizado permite el control de luminosidad de una lámpara mediante una resistencia variable con la luz. Para permitir la recepción de la señal de Luz proveniente del medio ambiente se ha elegido una LDR que es una resistencia que varia con el nivel de luminosidad, entregando en su salida una señal analógica lista para ingresar al micro controlador.

El micro controlador por su parte será el encargado de realizar la mayoría de las funciones críticas del circuito, entre ellas la decodificación de las señales provenientes del sensor de luz, el ingreso del cruce por cero, la señal de mando para el triac, el control del led., etc.

Otra parte importante del circuito que hay que comentar es el triac, este componente se encargará de realizar la conmutación de la carga.

Normalmente los triac requieren de una cantidad de corriente relativamente grande en la compuerta para comenzar a conducir. Esto es un problema grave cuando el triac debe ser gobernado por circuitos lógicos como es el caso que nos ocupa, ya que muchas veces estos dispositivos no pueden proveer mas que unos pocos miliamperios en sus salidas.

Anteriormente, los circuitos de disparo de triacs se construían utilizando solamente componentes discretos, los cuales podían proveer altas corrientes de salida de hasta 100 mA pico o más. Por lo tanto los triacs no requerían compuertas sensibles. Hoy en día se siguen utilizando estos circuitos de disparo basados en diodos diac, sin embargo los controles basados en circuitos integrados dedicados o microcontroladores son cada vez mas utilizados. Por último comentaremos la sección de la fuente de alimentación que esta basada en componentes discretos y sin uso de transformador, lo cual permitirá reducir considerablemente el circuito impreso.

3.2.1. Control de fase

El método de control de fase o corte de fase es usado para controlar ya sea el voltaje, corriente o potencia entregada a una carga. Es en cierta forma similar a la modulación de anchura de pulso.

En la modulación de anchura de pulso, la señal permanece en alto un tiempo determinado del periodo total de la onda cuadrada. De forma análoga, en el control de fase, un triac, SCR u otro dispositivo similar es encendido (disparado) durante un determinado tiempo del total del periodo de la onda de corriente alterna.

Es necesario detectar cuando la onda sinusoidal de AC cruza por un potencial de 0 volts, esto es, detectar cuando comienza un nuevo semi ciclo y cuando se ha de enviar el pulso de disparo a la compuerta del triac. Con el fin de reducir al máximo el tamaño del circuito, solamente se utilizan dos resistencias conectadas en

serie con uno de los pines del microcontrolador, en este caso usamos el pin de interrupción externa (GP2).

Las resistencias tienen como única función limitar la cantidad de corriente. La parte importante que nos permite conectar directamente los 120 volts de la red eléctrica a un pin del microcontrolador, es lo que se encuentra dentro del encapsulado; se trata de la protección contra descargas electrostáticas (ESD), la cual consta de dos diodos conectados de tal forma que limitan el voltaje a un rango comprendido entre:

$$V_{dd} + 0,7 \text{ o } V_{ss} - 0,7$$

De esta forma el software en el microcontrolador puede detectar a través de la interrupción por flanco ascendente o descendente alternadamente los cruces por cero de la línea de corriente alterna.

En cuanto al funcionamiento del Led este está basado en una modulación de ancho de pulso PWM la cual recorta la señal continua del microcontrolador y entrega su salida a una frecuencia determinada por software.

Para la fuente sin transformador se utilizaron varios componentes como diodos, condensadores y resistencias, pero cabe recalcar la actividad de cumple el diodo zener el cual está conectado en modo de estabilizador de voltaje lo cual permite obtener un voltaje fijo de 5.1 voltios el resto de elementos ayudan a la reducción del voltaje que tiene la red de alimentación y a su filtración la desventaja de este sistema de fuentes es que la corriente máxima que puede entregar es muy poca ya que dependen de valores de resistencias que varían conforme la carga aumenta esta fuente presentada solo puede entregar hasta un máximo de 150 mA que es lo necesario para la aplicación que estamos realizando.

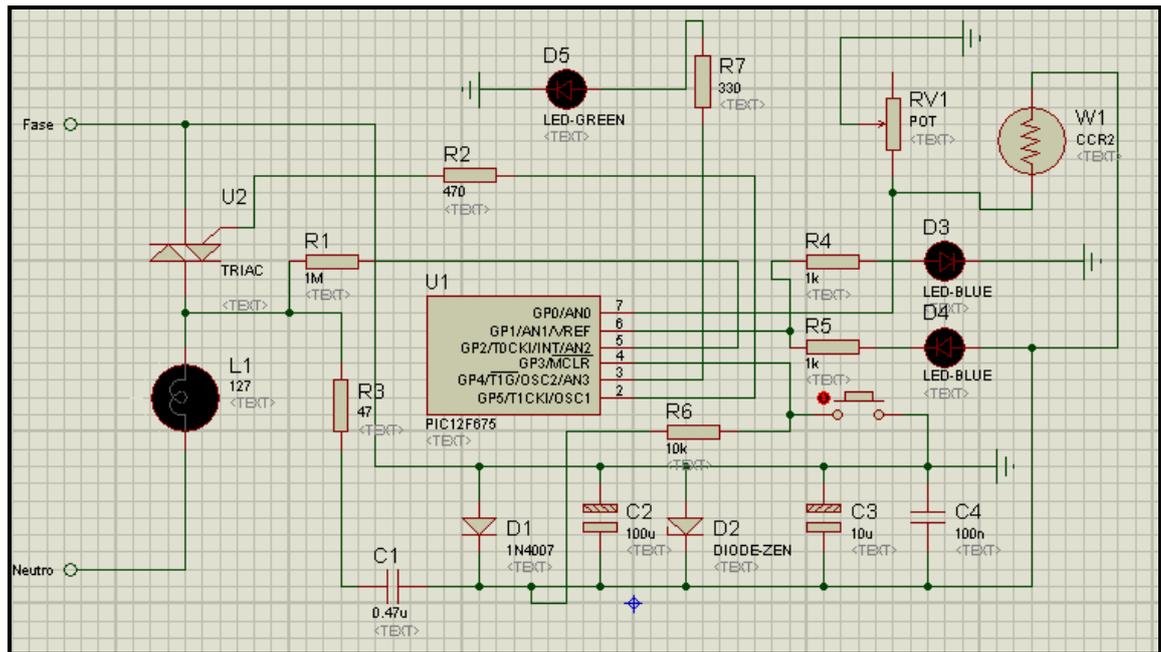


Fig 3.3. Esquema Sistema de Control Automatizado mediante un Dimerizado Inteligente

3.3. Evaluación del sistema de iluminación diseñado y recomendaciones estructurales.

El sistema de control automatizado con Dimerizado inteligente forma parte de las últimas tecnologías en control lumínico que existen.

Al momento se puede recalcar que el control de luz fluorescente es mucho más eficiente con un dimmer que el LED; a su vez, que el aprovechamiento de la luz natural como fuente de energía evita el desgaste de cada una de las lámparas dentro de un solo ambiente, tomando en cuenta que el ahorro en luminosidad es alto en relación a un sistema que no contenga el Control Automatizado.

También podemos acotar que el dimmer inteligente realizado en este trabajo es recomendable instalarlo por luminaria en cada sección donde se necesite un uso automatizado de las lámparas, cabe recalcar que dicho sistema está diseñado tanto para lámparas LED como FLUORESCENTES; de esta manera se tiene perfecto control del sistema de iluminación existente o proyectado en el nuevo edificio del Colegio “Mario Rizzini” para que el usuario no se vea en la necesidad de los

interruptores en cada aula, dando un aspecto más moderno al edificio y que la luz natural sea la única manipulación que el sistema por sí solo perciba.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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 las luminarias fluorescentes.
- La metodología CALIPER BENCHMARK en troffer 2x4-pies con lámparas fluorescentes y lámparas LED lineales, destaca a las LED como más 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 aún 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- 220VAC), 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 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, sin recuperar el gasto inicial.
- En el nuevo edificio de la Unidad Educativa “Mario Rizzini”, 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 Unidad Educativa “Mario Rizzini”, necesita agregar 2 060 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.

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 del 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

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

IESNA, “Memorandum on Light Emitting Diode (LED) Sources and Systems”, IESNA TM-16-05, pp, 1-20, April 11, 2005.

Richard G. Mistrick, Jack F. Parsons, “SECTION 26 ILLUMINATION”, STANDARD HANDBOOK FOR ELECTRICAL ENGINEERS, pp, 50-75, 2006.

IESNA, “Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering”, ANSI/IESNA RP-16-05, pp, 1-3, May 8, 2008.

CZAJKOWSKI D. Jorge, “Luminotecnia e iluminación artificial” Instalaciones Eléctricas, pp,1-21,2006.

BISQUERT Juan, “Eficiencia y ahorro energético” Iluminación natural y artificial, pp,1-16,2006.

O’DONELL M. Beatriz, José Sandoval y Fernando Paukste, “Fuentes Luminosas”, Cap. 4, pp,1-15,2006.

OSRAM, “Manual de Luminotecnia”, Cap. 2-3, pp, 25-133, 2006.

IALA, “Tecnología LED y su uso en luces de señalización”, IALA Guideline No. 1048, Ed. 1, pp, 1-15, diciembre, 2005.

PHILIPS, “Sector Residencial y Terciario”, Guía Técnica de Iluminación Eficiente, Ed. 1, pp,13-25, 2006.

INDALUX, “Magnitudes Luminosas”, Luminotecnia, Cap. 5, pp, 46-56, 2002.

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.

GUZMÁN Oscar, “Diseño y Evaluación de Proyectos de Inversión Financiera Nacional”, Quito - Ecuador, Prentice Hall Inc., 2006.

QUILLER Jhon, “Proyectos de Inversión”, Prentice Hall Inc., 2007.

GUERRERO Ramírez Esteban O., “La Electrónica de Potencia en los Sistemas de Iluminación ”, Instituto de Electrónica y Computación, pp, 1-16, 2008.

BRODRICK James, “LED Watch” Proc. IESNA, pp, 24-26, febrero, 2008.

LEWIN Ian , “Absolute photometry has relative benefits for LED and SSL performance for evaluation”, LEDs MAGAZINE, pp, 41-43, julio-agosto 2008.

REFERENCIAS ELECTRONICAS:

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, “CALIPER Program”, U.S. DEPARTMENT OF ENERGY,
<http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/caliper.html>
(consultado: 10-06-2012)

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY “CALiPER Benchmark Reports”
U.S. DEPARTMENT OF ENERGY,
<http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/benchmark.html>
(consultado 20-06-2012)

Luminaire Laboratory Testing, “Understanding Indoor Photometric Test Reports”, Luminaire Laboratory Testing,
<http://www.luminairetesting.com/Files/Informational%20sheet-Indoor.pdf>
(consultado 25-06-2012)

ANEXO I: SISTEMA DE ILUMINACIÓN TRADICIONAL**a) Índice de Reproducción Cromática (IRC o Ra)****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	$T > 5.300 \text{ K}$

Fuente: Richard G. Mistrick, Jack F. Parsons, "SECTION 26 ILLUMINATION", STANDARD HANDBOOK FOR ELECTRICAL ENGINEERS, pp, 50-75.

ANEXO II: SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO

TABLA II.A2 Rendimiento de lámparas led-ssl alcanzado en el 2002 y en próximos años.

Tecnología [date] →	LED- SSL 2002	LED- SSL 2007	LED- SSL 2012	LED- SSL 2020	Incandescente 2002	Fluorescente 2002
Eficacia Luminosa	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			
Densidad de la Potencia de entrada (W/cm ²)	100	300- 600	500- 750			

Fuente: IESNA, "Memorandum on Light Emitting Diode (LED) Sources and Systems", IESNA TM-16-05, pp, 1-20, April 11

Tabla II.A3 Eficacia luminosa de una larga producción de leds de 1 watt en el 2004 .

Color	Longitud de onda	Eficacia (lm/W)
Blanco frío		25
blanco cálido		22
Verde	530	30
Azul	470	10
Rojo	625	44
rojo – naranja	617	55
Ámbar	590	36

Fuente: IESNA, “Memorandum on Light Emitting Diode (LED) Sources and Systems”, IESNA TM-16-05, pp, 1-20, April 11

ANEXO III: COMPARACIÓN DE LÁMPARAS CONVENCIONALES Y LÁMPARAS LED

TABLA III.A1 Comparación de la luminancia entre troffers de louver parabólico y de óptica normal.

Datos de Luminancia de una Troffer de Óptica Normal (ángulo lateral 0°)				
Ángulos Verticales (en grados)	Benchmark 12 (cd/m ²)	Lámparas LED lineales		
		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 (cd/m ²)	Lámparas LED Lineales		
		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

Fuente: 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

ANEXO IV: ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE SISTEMAS EFICIENTES (FLUORESCENTE Y LED) EN ILUMINACIÓN PARA EL EDIFICIO DEL COLEGIO “MARIO RIZZINI”

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

Fuente: INDALUX, “Magnitudes Luminosas”, Luminotecnia, Cap. 5, pp, 46-56

TABLA IV.A2 Valores factor de mantenimiento normalizados

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Fuente: INDALUX, “Magnitudes Luminosas”, Luminotecnia, Cap. 5, pp, 46-56

TABLA IV.A3 Cobros en la aduana

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

Fuente: Oscar Guzmán, “Diseño y Evaluación de Proyectos de Inversión Financiera Nacional”, Quito - Ecuador, Prentice Hall Inc., 2006.

TABLA IV.B3 Gastos de la importación de las lámparas LED

LIQUIDACIÓN DE ADUANA	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	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	800
Estibada, montacarga o cuadrilla	20
Seguridad	0
Custodio e inventario de la carga APROX.	56
GASTOS DEL BROKER THOMAS SANTOS	100
TOTAL DE GASTOS DE LA IMPORTACIÓN	\$ 64490.3988

Fuente: Jhon Quiller, "Proyectos de Inversión", Prentice Hall Inc., 2007.

TABLA IV.A4 Cobros en la aduana

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

Fuente: Oscar Guzmán, "Diseño y Evaluación de Proyectos de Inversión Financiera Nacional", Quito - Ecuador, Prentice Hall Inc., 2006

TABLA IV.B4 Gastos de la importación de las lámparas LED

Liquidación de aduana aproximada	2593
Transporte aproximado	8700
Seguro	2035.
Comexi	0
Verificación técnica	0
Verificación commercial	134
Corte de guía (visto bueno, documentación, etc.) línea aérea	45
Demoraje	0
Bodegaje aproximado	1165.
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	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	4

Fuente: Jhon Quiller, "Proyectos de Inversión", Prentice Hall Inc., 2007