

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROYECTO DE ILUMINACIÓN EN BASE A TECNOLOGÍA LED DE ALTA EFICIENCIA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Aarón Guzmán C.
para optar por el título de
Ingeniero Electricista

Caracas, año 2011.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROYECTO DE ILUMINACIÓN EN BASE A TECNOLOGÍA LED DE ALTA EFICIENCIA

Prof. Guía: Ing. Alexander Cepeda
Tutor Industrial: Ing. Osman Ventura

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Aarón Guzmán C.
para optar por el título de
Ingeniero Electricista

Caracas, año 2011.

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 15 de junio de 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Aarón Guzmán C., titulado:

“PROYECTO DE ILUMINACIÓN EN BASE A TECNOLOGÍA LED DE ALTA EFICIENCIA”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Industrial, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Sharif El Masri
Jurado


Prof. Alexander Cepeda
Prof. Guía


Prof. José Ynaudi
Jurado

DEDICATORIA

A mi madre, la persona que más admiro en el mundo, por enseñarme a vivir la vida y luchar por lo que quiero, por abrir mi mente y mi mundo.

A mi nonna, por ser un pilar en mi vida, por guiarme siempre y mostrarme el camino del bien.

A mi padre por ayudarme a avanzar en esta etapa de mi vida, por creer en mí y en mí potencial.

Para Isabella que espero lea esto un día y sepa que aunque estemos lejos siempre estaremos unidos por una maravillosa madre.

A mis tíos ingenieros y a Manuel, por orientarme y mostrarme como ser un buen ingeniero. También a mi familia por apoyarme incondicionalmente en todo momento y estar para mí siempre que los necesito.

A mis amigos por apoyarme siempre que los necesité, por creer en mí así como yo creo en ustedes.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a mi tutor Osman Ventura por tanta dedicación y paciencia, por enseñarme y brindarme toda su sabiduría siempre que lo necesité. Gracias.

A Maday Bermudez por todo el apoyo, la ayuda y el cariño incondicional que siempre ha tenido hacia mí. A Irán Reyes por el gran apoyo y las ganas de colaborar, además de haber sido mi fiel compañero en los levantamientos. Quisiera brindarle un especial reconocimiento al personal de la división de electromecánica, en especial: a Petrica por hacer agradable el día a día en la oficina, así como a Domingo, Roger Jugador, Cañizales, Ángel y Gerardo. Por último un especial agradecimiento y reconocimiento a La C.A. Metro de Caracas por ser impulsora de un proyecto tan interesante e importante para el País.

A Jofrank Pereira por haberme acompañado y ayudado a lo largo de este trayecto y Alberto Mercado por todo el apoyo brindado; a ambos gracias por servirme de inspiración para lograr la excelencia.

A los profesores con los que tuve el privilegio de compartir un aula de clases y en especial a los profesores: Alexander Cepeda, Napoleón Malpica, Rafael Rivero, Pedro Pinto y William La Cruz, gracias por haber dado lo mejor de ustedes en sus clases y romper los paradigmas del típico profesor de eléctrica.

A la ilustre UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA por brindarme todas las herramientas necesarias para formarme como un profesional íntegro. Por todos los malos y buenos ratos que pasé en la casa que vence la sombra, y más por los éxitos obtenidos, nunca te olvidaré.

Aarón Guzmán Citti

PROYECTO DE ILUMINACIÓN EN BASE A TECNOLOGÍA LED DE ALTA EFICIENCIA

Profesor Guía: Alexander Cepeda. Tutor Industrial: Ing. Osman Ventura. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Industrial. Institución: C.A. Metro de Caracas. 2011. 77h+Anexos.

Palabras Claves: Iluminación; Fuentes de luz, LED, Consumo de energía; Inversión; Amortización; Tiempo de vida; Ahorro.

Resumen. Se realizó un estudio del sistema de iluminación convencional existente en la estación de pasajeros Chacao, y de esta manera se generó un proyecto de sustitución del sistema actual por otro basado en tecnología LED ecológica, de alta eficiencia, mayor tiempo de duración y bajo consumo eléctrico. Para el análisis de viabilidad económica de este proyecto, fue necesario realizar la estimación de costos y tiempo de amortización de la inversión, considerando que dicha tecnología, además implica disminución de costos de mantenimiento.

INDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
INDICE GENERAL	vii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Fundamentos de Iluminación	6
2.1.1. La luz	6
2.1.2. Propiedades de la luz	7
2.1.3 Conceptos básicos.	10
2.2. Fuentes de Luz Convencionales.	12
2.2.1. Incandescentes	12
2.2.2. Mercurio	13
2.2.3 Fluorescentes	14
2.3. Iluminación LED	16
2.3.1 Breve historia de los LED [9]	17
2.3.2. Aspectos generales sobre la tecnología LED [9]	18

2.3.2.1. Funcionamiento del LED.....	18
2.3.2.2. Estructura	19
2.3.2.3. Tipos de LED.....	19
2.3.2.4. Características Básicas.....	21
2.3.2.5. Operación y componentes del sistema LED.	25
2.3.2.6. Características.....	26
2.3.3. Desarrollo de la Iluminación LED	32
2.3.3.1. Reemplazo de lámparas convencionales por LED.....	32
2.3.3.2. Ventajas de la tecnología LED frente a la Convencional.	35
2.4. Planteamiento de pérdidas en luminarias convencionales	36
CAPÍTULO III	39
ESTUDIO DEL SISTEMA ACTUAL DE ILUMINACIÓN	39
3.1. Metodología del levantamiento de información.	39
ESTUDIO DE PLANOS EXISTENTES.	39
ESTUDIO DE LA CARGA ELÉCTRICA AUXILIAR DE LA ESTACIÓN.	39
RECOPIACIÓN DE DATOS.....	39
PERMISOLOGÍA DE INGRESO Y MEDICIÓN.	40
MEDICIONES REALIZADAS.....	40
3.2. Informe técnico. Estación de pasajeros Chacao.....	41
GENERALIDADES.....	41
CRITERIOS DE DISEÑO.....	41
MATERIALES Y EQUIPOS DE ILUMINACIÓN.	43
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	44
DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN	46
DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS.....	47
3.3. Análisis de resultados.	49
VERIFICACIÓN Y CONTEO DE LUMINARIAS.....	49
MEDICIÓN DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN.....	50
OBSERVACIONES EN ESTACIÓN.....	50
CAPITULO IV	52

4.1. Diseño del sistema de iluminación con tecnología LED.....	52
4.1.1. Preliminares.....	52
4.1.3. Sustitución de tubos fluorescentes por LED.....	59
4.2. Ahorro de energía.....	61
4.2.1. Calculo del ahorro energético.	61
4.2.2. Gráficas del Ahorro.....	62
4.3. Estudio económico.	64
4.3.1. Cálculo de costos.	64
4.3.2. Gráficas de costos.	70
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	74
BIBLIOGRAFÍAS	76
ANEXOS.....	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Orden de sensaciones visuales.[2].....	7
Tabla 2. Valores comerciales "Philips" de Temperatura de color.[6]	9
Tabla 3. IRC de acuerdo al tipo de luz artificial.[2]	10
Tabla 4. Algunos compuestos para la construcción del LED.....	18
Tabla 5. Lúmenes útiles entre tecnología convencional y LED.	38
Tabla 6. Niveles de iluminación de la Estación Chacao	42
Tabla 7. Luminarias instaladas en la Estación Chacao	43
Tabla 8. Carga Eléctrica auxiliar en la Estación Chacao	47
Tabla 9. Comparación de potencia convencional y LED.....	61
Tabla 10. Datos a tomar en cuenta para el cálculo del costo.	66
Tabla 11. Tiempo de amortización para distintos intereses.	69
Tabla 12. Valores en el origen del tiempo.	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro electromagnético.....	6
Figura 2. Propiedades geométricas de la luz [3].....	8
Figura 3. Partes de una lámpara incandescente.....	13
Figura 4. Lámpara fluorescente de mercurio.....	14
Figura 5. Luz fluorescente.....	15
Figura 6. Estructura del LED forma de bala.	19
Figura 7. Diferentes tamaños de LED. 8 mm, 5 mm y 3 mm, con respecto a un cerillo de madera.	20
Figura 8. Encapsulados comunes del LED se comparan con un U.S. dime (17,9mm de diámetro): (a) SMD LED (<1 mm ² área); (b) SMD LED (~3 mm ² área); (c) T-1 ¾ tipo bala (5 mm de diámetro); (d) alta luminosidad (7,6 mm ² área) y (e) HPLED (~8mm de diámetro)[9].....	22
Figura 9. Coordenadas cromáticas de las típicas longitudes de onda en LED, como se muestra en el diagrama cromático estándar CIE.[9].....	23
Figura 10. Típico ensamblaje de un sistema LED que contiene múltiples elementos apilados para un óptimo desempeño [9]	26
Figura 11. Datos del mantenimiento de lumen a temperatura ambiente para dos tipos de LED blancos: la curva “a” describe uno blanco de 5mm manejando 20mA; la curva “b” es de uno blanco de alta potencia.[9]	28
Figura 12. Promedio de las mediciones de eficacia de las luminarias disponibles en el mercado estadounidense de productos SSL.[11].....	30
Figura 13. Tipos de base.[EnerLED]	33
Figura 14. Bombillos LED, en la primera fila tenemos los modelos de 2,3 y 4W respectivamente y en la segunda fila los modelos son de 6, 8 y 11W. [EnerLed]	33
Figura 15. Elementos de un tubo LED. [EnerLED]	34
Figura 16. Algunos tubos LED actualmente en el mercado.[EnerLED]	34

Figura 17. Eficiencia luminosa tubos LED KAKI vs fluorescentes. Catálogo KAKI 2009.....	37
Figura 18. Simulación de luminarias anden este.	57
Figura 19. Simulación cuarto de cobro de pasajes.	58
Figura 20. Gráfica del ahorro en Iluminación	62
Figura 21. Carga eléctrica auxiliar de la Estación.	63
Figura 22. Gráfica del ahorro con LED en el sistema de iluminación.....	64
Figura 23. Flujos de dinero para ambas inversiones.....	67
Figura 24. Flujo de dinero en el tiempo con inflación.....	67
Figura 25. Gráfica de la evolución del costo de las inversiones con su valor referido al origen del tiempo.	70
Figura 26. Gráfica de comparación proporcional de costos.....	71

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El proyecto comprende el diseño del sistema de iluminación de la estación de pasajeros Chacao, a fin de sustituir el existente por el constituido por nueva tecnología basada en diodos emisores de luz LED, caracterizada por alta eficiencia y mayor tiempo de vida, alto ahorro de energía eléctrica y no contaminante de medio ambiente; lo cual le permitirá a la C.A. Metro de Caracas la contratación de la fabricación, suministro, instalación y pruebas de los materiales y equipos para la citada estación, y así lograr los beneficios técnicos y económicos que ofrece dicha tecnología.

La C.A. Metro de Caracas, desde que inició la etapa operativa ha utilizado en las diferentes edificaciones y trenes del Sistema Metro, para el sistema de iluminación, según el caso, tubos fluorescentes T12 de 40W, bombillos incandescentes, vapor de mercurio, vapor de sodio y haluro metálico. Para el caso de la Línea 3, tramo El Valle – La Rinconada, y la Línea 4, Capuchinos – Plaza Venezuela, utilizó tubos fluorescentes T8 de 32W con balasto electrónico.

En los Sistemas Metro de Caracas y Los Teques existe una variedad de fuentes de luz artificial de tipo fluorescentes con tubos de 40W y 32W, y tipo incandescentes, vapor de sodio, vapor de mercurio y haluro metálico con bombillos de 30W hasta 800W, las cuales pueden ser reemplazadas por la tecnología LED conformada por tubos T8 LED de 16W y bombillos de alta intensidad LED de 28W, 56W, 112W y 168W, implicando disminución en la cantidad de unidades a almacenar para mantenimiento.

En el mercado internacional se está comercializando la nueva tecnología para iluminación general basada en diodos emisores de luz (LED), con cuyas características antes mencionadas, se traduce en menores costos de mantenimiento; aunado a que el material de fabricación no contiene elementos como plomo y mercurio, dañinos para la salud y contaminantes del medio ambiente; todo ello en comparación con las fuentes tradicionales fluorescentes, vapor de mercurio, vapor de sodio y haluro metálico.

Dado los problemas energéticos y de contaminación que existen a nivel mundial, cada vez adquiere mayor importancia el uso racional de la energía y la generación de tecnologías más limpias y ecológicas. Es por esto que en los últimos años ha tomado importancia la iluminación LED, no sólo por las ventajas antes citadas sino también porque no genera desperdicios contaminantes en contraste a la iluminación fluorescente, la más usada actualmente, que arroja remanentes de mercurio.

ANTECEDENTES

La tecnología LED en el uso de la iluminación general se ha venido empleando desde hace pocos años, con lo cual se evita en gran parte los problemas del ámbito ambiental en cuanto a emisiones de CO2 a la atmósfera y el calentamiento global. Los países y empresas alrededor del mundo han venido empleando políticas de concientización para el impulso de nuevas tecnologías limpias y eficientes como lo es la tecnología LED.

Debido a intereses económicos por parte de las grandes compañías de Iluminación en el mundo, la tecnología LED no ha sido impulsada masivamente sino gradualmente, sin embargo dichas compañías se han ido reestructurando en el marco de esta nueva tecnología.

En Venezuela existen pocas compañías que están promoviendo esta tecnología, entre ellas tenemos a Rotanev Holding C.A. y ENERSOLAR C.A.; de manera que se tiene algunas referencias de la aplicación de tecnología LED en el país a través de éstas. Un ejemplo de esto es el trabajo que ha hecho la compañía ENERSOLAR C.A. en el CC Sambil, en cuanto a la sustitución de bombillos dicroicos y tubos fluorescentes T8 por tubos LED; además de haber realizado estudios comparativos con los tubos fluorescentes vs los tubos de sustitución LED para el estacionamiento de este centro comercial, arrojando resultados positivos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las edificaciones de la C.A. Metro de Caracas poseen un sistema de iluminación constituido por fuentes convencionales de alto consumo de energía, bajo tiempo de vida y gran requerimiento de mantenimiento. En este sentido, se plantea la necesidad del estudio de sustitución de las mencionadas fuentes por la nueva tecnología LED, cuyo consumo eléctrico según catálogos de fabricantes, es hasta 65% menor y su tiempo de vida se estima en 5 veces mayor que las fuentes tradicionales.

La aplicación de este tipo de tecnología no ha sido común en la práctica de iluminación en nuestro país, lo cual genera un importante reto en cuanto a los cálculos y análisis de la factibilidad en el marco del reemplazo de fuentes convencionales por esta nueva tecnología. Por otro lado, la cantidad de beneficios en cuanto al ahorro en general y el uso de tecnología ecológica, significa ventajas que justifican la migración hacia la tecnología LED.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar el sistema para sustitución del proyecto de iluminación constituido por fuentes convencionales por otro de nueva tecnología LED, a fin de obtener beneficios técnicos, económicos y ambientales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar el sistema para sustitución de tubos fluorescentes T12 x 40W con balasto electromagnético y tubos fluorescentes T8 x 32W con balasto electrónico por tubos T8 basados en tecnología LED, y de bombillos de vapor de mercurio e incandescentes por bombillos en base a tecnología LED.
2. Estimar el ahorro de energía eléctrica obtenido, objeto del proyecto de sustitución por nueva tecnología, respecto al sistema de iluminación.
3. Realizar la estimación de costos (Bs) y tiempo de amortización de la inversión.
4. Estimar el ahorro de energía eléctrica obtenido con la nueva tecnología, respecto a la carga total de la Estación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos de Iluminación.

2.1.1. La luz

La luz es una forma de energía radiante que puede ser detectada por el ojo humano y es recibida por éste en forma de ondas electromagnéticas o de partículas llamadas fotones o cuantos de energía. La energía visible abarca una estrecha banda del *espectro electromagnético*, enorme gama de energía radiante que se desplaza a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas (Figura 3.1).

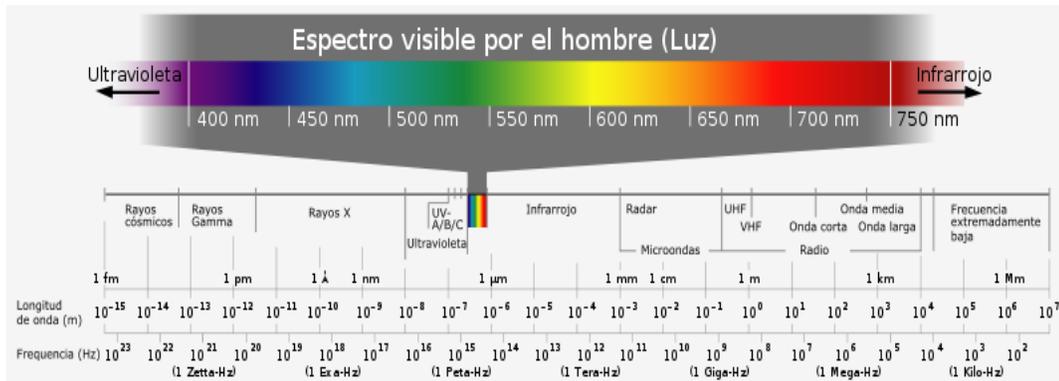


Figura 1. Espectro electromagnético.

Por otro lado el *espectro visible* comprende una estrecha banda del espectro electromagnético que puede ser percibido por el ojo humano, esto es, para una longitud de onda específica el ojo humano genera una sensación de color en

particular. Esta banda varía desde 3800 hasta 7600 Angstroms o de 350 a 760 milimicras [1]-[2]. En la tabla 1 se puede apreciar el orden de sensaciones visuales a partir de las 380 milimicras:

Tabla 1. Orden de sensaciones visuales.[2]

Longitudes de onda (mμ)	Tipo de Radiaciones
380 – 435	Violeta
435 – 500	Azul
500 – 565	Verde
565 – 600	Amarillo
600 – 630	Naranja
630 – 780	Rojo

2.1.2. Propiedades de la luz

Cuando un rayo de luz se ve obstruido por una superficie, se genera uno o varios de los fenómenos que se explican a continuación.

Propiedades Ópticas

La luz tiene una serie de características y efectos al interactuar con la materia, por ejemplo cuando la luz se encuentra con algún obstáculo en su camino, dependiendo de la naturaleza del obstáculo, la luz puede ser absorbida y reflejada o absorbida y transmitida a través del objeto. A continuación se exponen los diferentes fenómenos:

Reflexión: es un fenómeno que se produce cuando un porcentaje de la luz es devuelto por la superficie y el otro porcentaje es absorbido.

Reflexión: es el cambio brusco de dirección que sufre la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios diferentes.

Transmisión: este fenómeno ocurre cuando la luz atraviesa una superficie, parte de ésta es absorbida y la otra parte sufre un cambio de dirección.

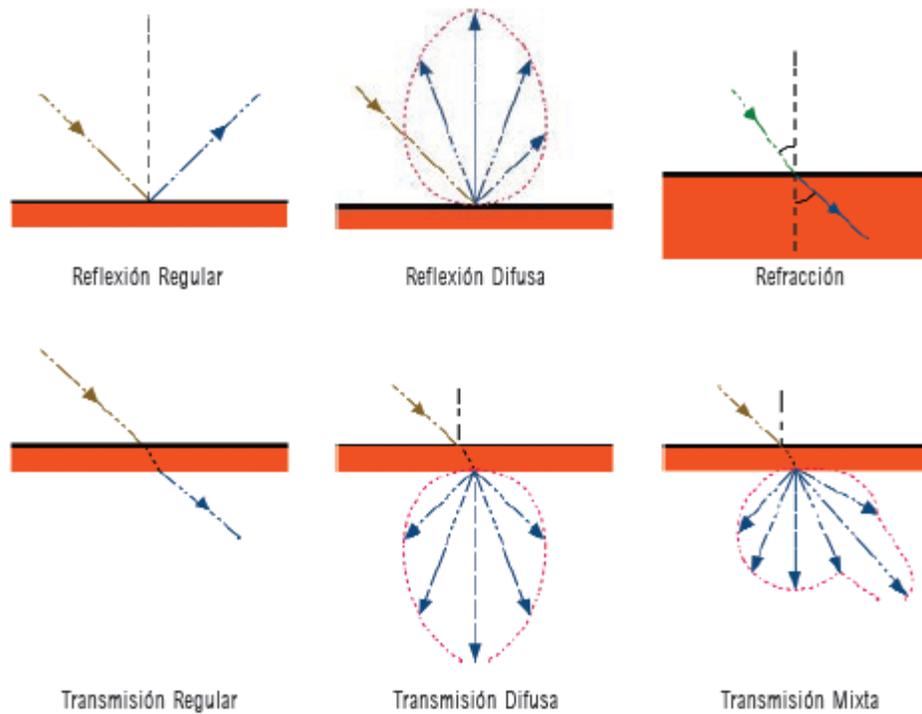


Figura 2. Propiedades geométricas de la luz [3]

Propiedades Cromáticas

En esta sección expondremos dos características que son usadas frecuentemente para medir las propiedades cromáticas de una fuente lumínica.

-Temperatura del color

Es el patrón que se usa para describir el color de una fuente luminosa comparándola con la del cuerpo negro a una determinada temperatura. El cuerpo negro es teóricamente el “radiante perfecto”, por tanto al aumentar su temperatura éste va cambiando tornándose primeramente rojo oscuro, luego rojo claro, naranja, amarillo y, progresivamente blanco, blanco azulado y azul. Por ejemplo: *“El color de la llama de una vela es igual al de un cuerpo negro a 1.800 Kelvin aproximadamente, por lo que en este caso se dice que la llama tiene una temperatura de color de 1.800 K.”*[5]

Existen algunas categorías comercialmente usadas para describir el color de las fuentes luminosas, entre ellas tenemos las principales:

Tabla 2. Valores comerciales "Philips" de Temperatura de color.[6]

Temperatura de Color	Grados Kelvin
Cálido	2.600-3.400K
Neutral	3.500K
Frio	3.600-4.900K
Luz de día	5.000K o más

-Índice de Reproducción Cromática (Ra – IRC)

El índice de reproducción cromática es la capacidad que tiene una fuente de luz artificial de reproducir con fidelidad el color real de un objeto. Esto se realiza tomando como referencia un cuerpo negro a 5.000 °K[2] y, estableciendo una escala del 0 al 100, además existen tablas bajo la norma DIN 6169 que hacen referencia a ciertas mediciones y sus rendimientos.

Tabla 3. IRC de acuerdo al tipo de luz artificial.[2]

Fuente de luz Artificial	Índice (Ra – IRC)
Lamp. incandescente (patrón)	100 (valor referencial)
Lamp. luz mixta	60
Lamp. mercurio	45 – 60
Lamp. haluro metálico	60 – 97
Lamp. sodio alta presión	21 – 25
Lamp. sodio baja presión	Nulo (monocromático)
Lamp. fluorescentes	65 – 97

2.1.3 Conceptos básicos.

Para iluminar ambientes interiores y exteriores, es vital comprender las características y el comportamiento de la luz. Por lo tanto es necesario exponer algunas definiciones básicas que son de importancia al momento de generar proyectos de iluminación.

Intensidad luminosa:

Es la densidad de luz que hay en un ángulo sólido sumamente pequeño, en una dirección definida. Su símbolo es “I” y su unidad es la “candela”, su valor está determinado por la luz emitida por un patrón de laboratorio, cuerpo negro, trabajando a una temperatura específica.

$$I = \Phi/\omega \quad [\text{cd}=\text{lm}/\text{str}]$$

(cd: candela, lm: lumen, str: estereoradián)

Φ : Flujo luminoso

ω : ángulo solido

Flujo luminoso:

Se define como luz emitida en forma de energía radiante en movimiento, desde otro punto de vista, el flujo luminoso es la energía radiante que genera sensación de luz en el ojo humano. Su símbolo es “ Φ ” y su unidad el “lumen”, palabra en latín y significa “luz”. Un lumen es el flujo de luz emitido en un ángulo sólido unidad por una fuente puntual uniforme de una candela, ver ecuación (1).

Iluminancia:

Densidad o cantidad de flujo luminoso que incide en una superficie. Su símbolo es “E” y su unidad es el “Lux” que es lm/m^2 , donde el lux es la iluminación sobre un (1) punto en una superficie que dista un (1) metro, en dirección perpendicular, de una fuente puntual uniforme de una (1) candela.

$$E = (\text{luz en lm})/(\text{área en m}^2)$$

Luminancia:

El brillo fotométrico o luminancia es la intensidad luminosa de una superficie para una dirección dada. Su símbolo es “L” y su unidad “ cd/m^2 ” (candela sobre metro cuadrado). La luminancia también suele expresarse en “ lm/m^2 ” (lumen sobre metro cuadrado).

$$L = I/S \times \text{Cos}\alpha \text{ (cd}/\text{m}^2)$$

I = Intensidad luminosa

S = Superficie aparente

α = Ángulo entre la superficie y la dirección de observación

Eficiencia:

Existen dos maneras de ver o medir la eficiencia de una luminaria; una indica que tan bueno es el sistema de iluminación en transformar energía eléctrica en

luz (generalmente medido en lm/W y se conoce como eficacia), y la otra indica la capacidad de la luminaria en transmitir la luz de la lámpara al plano de trabajo.

2.2. Fuentes de Luz Convencionales.

El nombre fuentes de luz viene de su finalidad, la cual consiste en producir “luz”, también nombradas en la teoría como manantiales de energía. Por tanto cuando se habla de fuentes generadoras de luz debemos tener claro el término de *eficacia* el cual nos da la relación de lúmenes por vatio consumido. “*Si pudiera conseguirse una fuente luminosa que irradiase toda la energía recibida en forma de luz monocromática amarilla verdosa en la región de sensibilidad máxima del ojo, 5.550 Angstroms, produciría aproximadamente 680 lúmenes por cada vatio de potencia consumida. Una fuente teórica de luz blanca de eficacia máxima, emitiendo sólo energía visible sin ningún rayo ultravioleta, produciría unos 200 lúmenes por vatio*”[2]

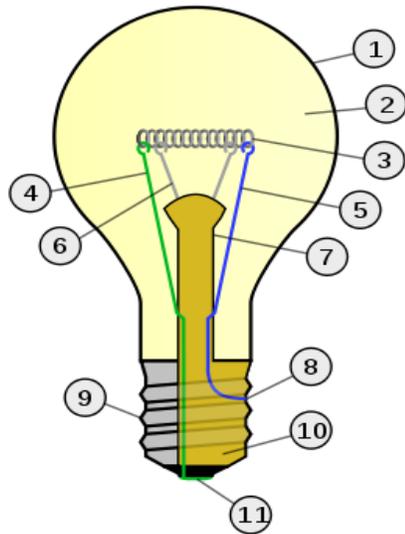
Se habla de eficacia dado que en la práctica, la mayoría de las fuentes convencionales de iluminación pierden una gran parte de la potencia eléctrica en energía en forma de radiación no visible para el ojo humano y otra parte importante en calor.

Debido a los alcances de este trabajo, sólo se tocarán los siguientes tres tipos de fuentes convencionales.

2.2.1. Incandescentes

Las lámparas incandescentes producen luz por medio de un filamento de tungsteno que es calentado hasta generar luz, parecido al principio de un cuerpo negro, por tanto para evitar que la lámpara haga combustión el filamento es sellado al

vacio en la bombilla o relleno con gas. Su eficacia ronda los 10–17 lm/W [4]. Su vida útil varía pudiendo llegar a las 1000 horas de utilización.



1. *Capa exterior del cristal del bombillo*
2. *Gas inerte a baja presión (argón, neón, nitrógeno)*
3. *Filamento de Tungsteno*
4. *Alambre de Contacto*
5. *Alambre de Contacto*
6. *Alambres de Soporte*
7. *Tronco (hecho de cristal)*
8. *Alambre de Contacto*
9. *Tapa (casquillo)*
10. *Aislante de Vidrio*
11. *Contacto eléctrico*

Figura 3. Partes de una lámpara incandescente.

2.2.2. Mercurio

Este tipo de lámpara se encuentra en la categoría conocida como *lámparas de descarga eléctrica*, debido a que su funcionamiento viene dado por el paso de corriente eléctrica a través de un gas ionizado. En este caso, el gas es mercurio a alta presión, el cual es ionizado al aplicar una tensión eléctrica, lo cual permite el paso de corriente a través de sus electrodos. Para encenderlas se requiere de un electrodo auxiliar el cual facilita el arranque. El proceso de arranque tiene una duración aproximada de 4 minutos [3].

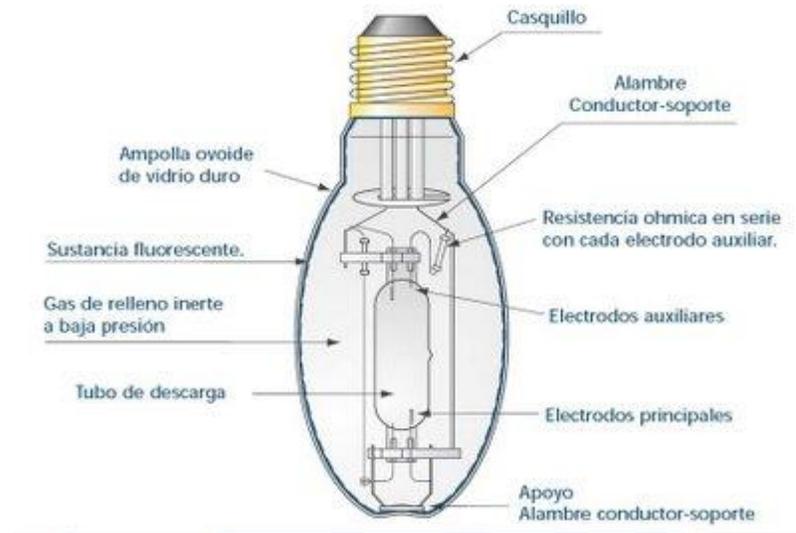


Figura 4. Lámpara fluorescente de mercurio.

Dado el funcionamiento de la lámpara, se requieren equipos auxiliares tales como balasto (Inductancia) para regular la corriente de encendido, además un condensador para mejorar el factor de potencia dado que las reactancias que no están corregidas poseen un factor de potencia de 0,5 a 0,6 y con la corrección este puede llegar a 0,9 o más. Su eficacia es de hasta 58 lm/W[7]. Una característica importante de las lámparas de mercurio es su larga vida útil pudiendo llegar a 24.000 horas o más según fabricantes. [5]

2.2.3 Fluorescentes

Estas son lámparas de descarga en una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, en la cual la luz se genera principalmente de la fluorescencia del fósforo excitado por la energía ultravioleta proveniente del arco de mercurio. Su estructura consiste en recipiente tubular largo, en el cual se produce la descarga, tiene electrodos en cada extremo del tubo y en su interior vapor de mercurio a baja presión con una

cantidad pequeña de gas inerte, argón o una mezcla de gases nobles que sirven para el encendido.

Al aplicarse la tensión apropiada, se genera un flujo de electrones a gran velocidad de un electrodo a otro. El choque de los electrones con los átomos de mercurio genera radiación, en su mayoría, ultravioleta, la cual al entrar en contacto con el polvo fluorescente (fósforo) transforma esta radiación en luz visible como se observa en la figura 5.

Existen dos tipos de lámparas fluorescentes, las cuales se diferencian por su encendido, estas son: lámparas de precalentamiento, lámparas de encendido rápido.

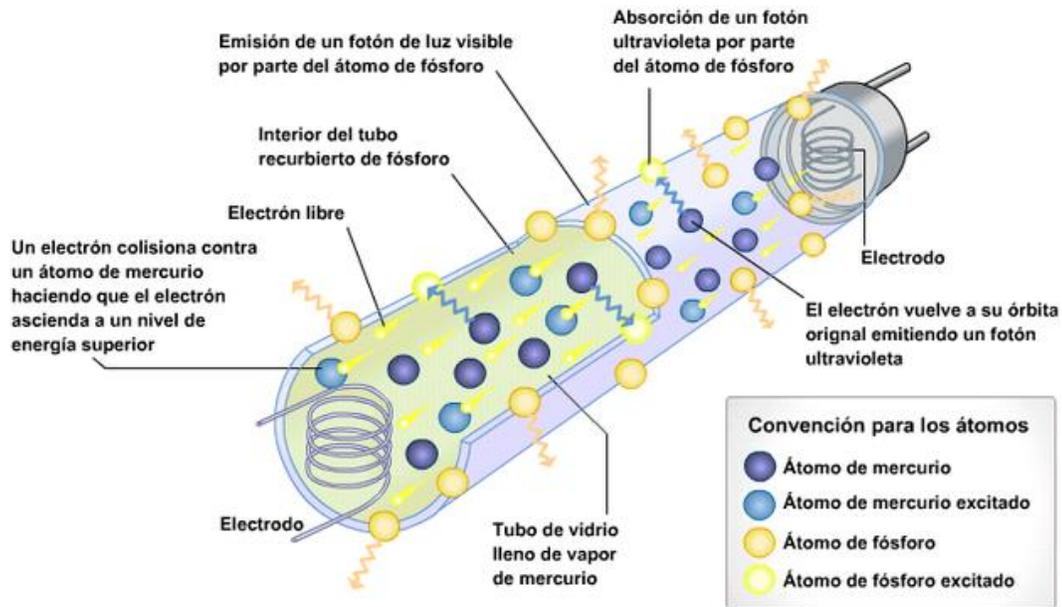


Figura 5. Luz fluorescente.

Balasto: existen del tipo electromagnético y electrónico, aunque se han ido sustituyendo los electromagnéticos por electrónicos. Este es el dispositivo que limita la corriente y el voltaje de funcionamiento del tubo fluorescente por medio de

inductancias, capacitancias y resistencias; los electrónicos poseen elementos de estado sólido.

Con la aplicación de mejoras tecnológicas, la vida útil de las lámparas fluorescentes ha venido en aumento, teniendo hoy en día lámparas que duran hasta 20.000 horas, aunque en promedio duran 10.000 horas en el caso de lámparas T12x40W.

El rendimiento de las lámparas fluorescente es de 20,5% según datos de la empresa Westinghouse, esto sin contar la potencia requerida por el balasto para que funcione la lámpara. Por otra parte las lámparas fluorescentes tienen la ventaja de que variando el material fluorescente se puede obtener un rendimiento de color distinto, habiendo de esta forma una gama de colores como: “blanco frío”, “blanco cálido”, entre otros.

2.3. Iluminación LED

El conjunto de sistemas de iluminación con tecnología LED ha adquirido gran importancia en los últimos años debido a la amplia gama de aplicaciones energéticamente eficientes que éste ofrece. Este tipo de iluminación no sólo se está empleando de manera decorativa sino que dadas las ventajas ya mencionadas, se está implementando junto a la energía solar; logrando sistemas autónomos de energía solar aplicados a: linternas marinas, luces para aeropuerto, luces para obstrucción, faros solares de destello para tránsito y alumbrado solar de áreas [8]

Gracias al desarrollo del LED blanco, ha sido posible expandir el área de aplicación de esta tecnología. En cuanto a la iluminación general, esta tecnología tiene poco tiempo en el mercado pero aún así existen soluciones para el reemplazo de

lámparas convencionales, obteniendo beneficios tanto económicos como ambientales y generando niveles de iluminación adecuados.

2.3.1 Breve historia de los LED [9]

En 1962, Nick Holonyak de la empresa General Electric inventó el primer diodo emisor de luz práctico que operaba en la porción roja del espectro de luz visible. Luego en las décadas de los 60s y 70s se fomentó la invención y el desarrollo de los LED, logrando colores adicionales y permitiendo a éstos ser un producto comercial rentable.

Los LED inicialmente fueron desarrollados como indicadores en dispositivos electrónicos de medición, y luego se usaron en siete segmentos alfanuméricos que rápidamente se volvieron populares en relojes digitales y otras aplicaciones durante los años 70s. Más tarde con la mejora en cuanto al aumento de la potencia y la variación de colores, estos fueron adaptados a otras aplicaciones tales como semáforos e industria automotriz.

Cuando se piensa en LED, comúnmente se asocia con el bombillo clásico T-1 ¾ (5mm, ver figura 7) forma de bala, debido a que rápidamente fueron el reemplazo de los indicadores de todo tipo. Más adelante los encapsulados SMT (surface mount technology) fueron adoptados porque no requerían demasiado volumen al ser usados en circuitos impresos, además tienen una mejor transferencia térmica. A medida que se elevaba su potencia, se obtenían nuevos encapsulados de alta iluminancia que a su vez eran desarrollados para manejar el incremento de la carga térmica.

2.3.2. Aspectos generales sobre la tecnología LED [9]

2.3.2.1. Funcionamiento del LED

El LED es un dispositivo semiconductor de estado sólido, el cual irradia energía en forma de luz al momento de la conducción eléctrica. Puede generar luz en diferentes colores, dependiendo de la composición de los materiales dopados tipo “p” y “n”, en la tabla 4 se muestra algunos tipos de combinaciones de materiales y colores. Se compone por dos elementos semiconductores, el tipo “n” que tiene electrones en exceso y el tipo “p” que posee huecos o falta de electrones; entre estos dos materiales se encuentra una barrera de material “puro” o sin defectos, el cual se encarga de separar ambos materiales y por tanto permitir que exista una tensión de umbral para la conducción de corriente. Cuando se aplica una tensión en los extremos del LED tal que los electrones salten del material “n” al “p”, se genera la conducción y el elemento semiconductor emite fotones en una estrecha banda del espectro de energía que depende del tipo de material y corresponde a las longitudes de onda visibles cercanas a la zona ultravioleta.

Tabla 4. Algunos compuestos para la construcción del LED.

Compuesto	Color	Long. de onda
Arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940 nm
Arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	Rojo e infrarrojo	890 nm
Arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	Rojo, naranja y amarillo	630 nm
Fosfuro de galio (GaP)	Verde	555nm
Nitrato de galio (GaN)	Verde	525 nm
Nitrato de galio e indio (InGaN)	Azul	450 nm
Carburo de silicio (SiC)	Azul	480 nm

2.3.2.2. Estructura

La mayoría de los LED que se encuentran a nivel comercial, vienen en dos tipos, de baja potencia y alta potencia. En la figura 6 se observa su estructura.

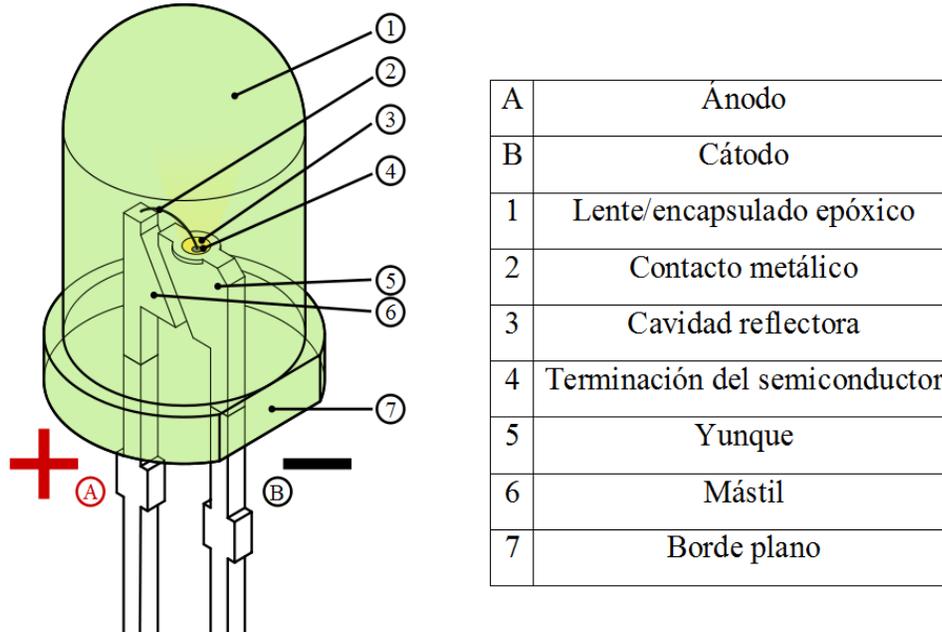


Figura 6. Estructura del LED forma de bala.

2.3.2.3. Tipos de LED

Son producidos en distintos tipos de envolturas o encapsulados.

- LED Miniatura.

Los tipo miniatura son, en su mayoría, piezas individuales usadas como indicadores, vienen en varios tamaños de encapsulado, generalmente son de 3mm, 5mm, 8mm y 10mm (Ver figura 7), también existen otros tamaños pero son poco comunes.



Figura 7. Diferentes tamaños de LED. 8 mm, 5 mm y 3 mm, con respecto a un cerillo de madera.

Dependiendo de la función, existen tres categorías principales de piezas individuales del tipo miniatura [10]:

Baja corriente: típicamente de 2mA y aproximadamente 2V cuyo consumo aproximado es 4mW

Estándar: corrientes cercanas a 20mA y alrededor de 2V de aproximadamente 40mW, en rojo, naranja, amarillo y verde; de 20mA de 4-5V consumo aproximado de 100mW para azul, violeta y blanco.

Alto rendimiento: corriente de 20mA aproximadamente y tensiones de 4-5V, especialmente diseñados para ser utilizados cuando hay luz solar directa.

- **Tipo montura superficial (SMD LED)**

Del inglés Surface Mount Device, son mayormente utilizados para aplicaciones de luz trasera en LCD, teléfonos móviles; pueden ser categorizados en vista lateral y vista superior.

- **Tipo alta potencia (HPLED)**

Desde comienzos del siglo XXI, todos los fabricantes de esta tecnología han desarrollado lo que se conoce como LED de alta potencia, estos en su mayoría son el tipo de componentes apropiados para remplazar la iluminación convencional. Normalmente estos de alta potencia manejan corrientes que pueden llegar a 350mA o superiores, y su eficiencia luminosa de aproximadamente 60 lúmenes por vatio. Actualmente las empresas Seoul Semiconductors Inc en Korea y Nichia en Japón son reconocidas como líderes en el desarrollo de LED de alta potencia en el continente Asiático. Seoul produce de manera exitosa, Leds que pueden funcionar directamente desde la red sin la necesidad de un convertidor DC. Por cada medio ciclo parte del diodo LED emite luz y parte es oscura, en la otra mitad del ciclo ocurre lo contrario. La actual eficiencia es de 80 lúmenes por Watt (según LEDsMagazine.com: 2006) Nichia creó el producto con 100 lúmenes por Watt en el 2007.[10]

2.3.2.4. Características Básicas

Materiales. Al fabricar un LED usando fosfatos y nitratos de aluminio, indio y galio (ver tabla 4), se produce luz de diferentes colores y eficacias. Estos materiales también pueden generar radiación infrarroja y ultravioleta fuera del rango visible.

Tamaño. El rango de tamaños varía dependiendo de la aplicación, ya sea para dispositivos de pequeñas señales, hasta los de alta potencia en propósitos de iluminación.

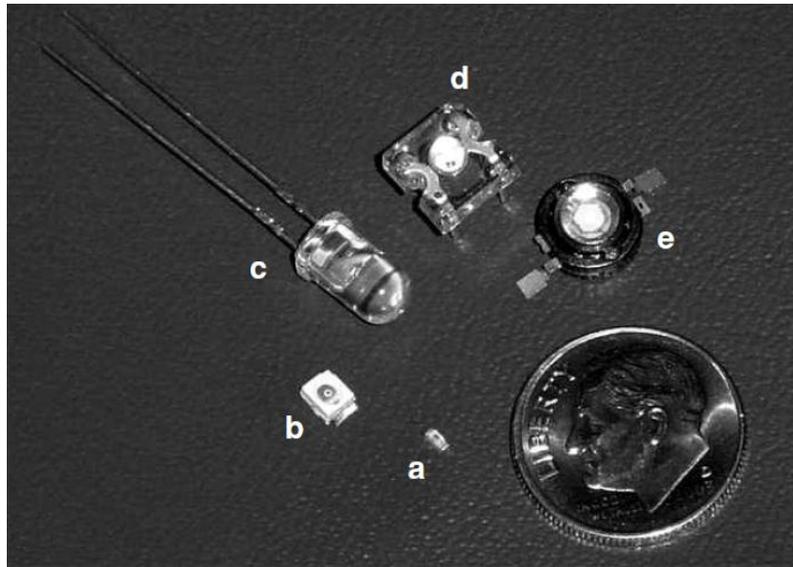


Figura 8. Encapsulados comunes del LED se comparan con un U.S. dime (17,9mm de diámetro): (a) SMD LED (<math><1 \text{ mm}^2</math> área); (b) SMD LED (~3 mm² área); (c) T-1 ¾ tipo bala (5 mm de diámetro); (d) alta luminosidad (7,6 mm² área) y (e) HPLED (~8mm de diámetro)[9]

Potencia de Salida. La potencia que consume un LED se disipa en luz y calor. La dirección de la luz que emite se basa en su forma, el material de construcción y la capsula en la cual fue ensamblado. Este no irradia calor al exterior a diferencia de las tecnologías convencionales de iluminación, debido a que el mismo es retenido por su envoltura. El calor debe ser conducido de manera eficiente, lejos de la pieza por medio de los materiales del encapsulado o dispositivos de manejo de calor. Si no se disipa apropiadamente el calor generado internamente, puede fallar su envoltura. Un LED de luz visible no emite energía en forma de rayos infrarrojos o ultravioletas.

Color. El color de la luz es determinado por la longitud de onda dominante del dispositivo. Típicamente la longitud de onda específica de la luz de un LED cae en el diagrama cromático estándar como se muestra en la figura 9.

El LED de emisión blanca. La luz blanca se puede generar a través de diferentes formas como se explica a continuación:

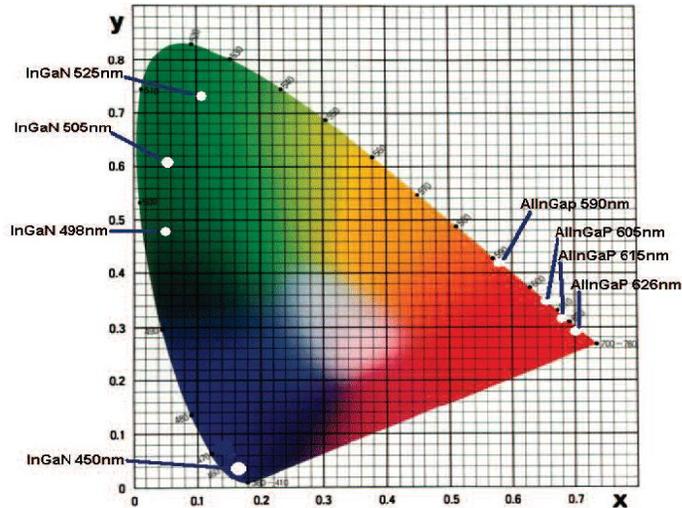


Figura 9. Coordenadas cromáticas de las típicas longitudes de onda en LED, como se muestra en el diagrama cromático estándar CIE.[9]

El primer método (RGB-LEDs) usa múltiples chips emitiendo una longitud de onda diferente pero en las proximidades del amplio espectro de luz blanca. La ventaja de este método es que la intensidad de cada LED puede ser ajustada para afinar el carácter de la luz emitida. La mayor desventaja es el costo de producción.

El segundo método, el fósforo convierte la luz del LED (pcLEDs), usa una longitud de onda corta del mismo (usualmente azul o ultravioleta) en combinación con fósforo, el cual absorbe una porción de la luz azul y emite un amplio espectro de luz blanca. El mecanismo es similar a la forma como una lámpara fluorescente emite luz blanca a partir del fósforo iluminado con rayos ultra violeta. La mayor ventaja de este método es el bajo costo de producción y el alto IRC (índice de rendimiento del color), mientras que la desventaja es la incapacidad para cambiar

dinámicamente el carácter de la luz y el hecho de que la conversión del fósforo reduce la eficiencia. Su bajo costo y adecuado funcionamiento, hace que hoy en día sea la tecnología más ampliamente usada en iluminación general.

Flujo Luminoso. Se refiere a la cantidad total de luz disponible de un LED (ver sección 2.1.3). Esta cantidad varía de acuerdo al color de la luz y depende de la densidad de la corriente que puede manejar el dispositivo. Las propiedades del encapsulado también limitan la corriente eléctrica que puede manejar el controlador de forma segura a través del dispositivo. Mientras más corriente pueda manejar este más flujo luminoso producirá. De esta manera, los LED de luz blanca de pequeña señal pueden producir aproximadamente de 2-4 lm en una envoltura de 5mm y manejan de 20 a 30mA. Uno de luz blanca de alta potencia puede generar de 25 a 120 lm donde manejan de 350 a 1000mA.

Eficacia. La eficacia de un sistema LED ha ido en incremento desde su creación y se prevé su crecimiento en el futuro de acuerdo a proyecciones y modelos de laboratorio, donde actualmente ésta llega hasta 93 lm/W [11].

Vida. Los LED son considerados muy confiables, no existe todavía un acuerdo en la definición de la vida en este tipo de fuente o sistema. Al no tener filamentos propensos a fallas, el tiempo de vida de los LED son significativamente mayores que los dispositivos incandescentes o halógenos. Sin embargo, la luz de salida de un LED también se deteriora a través del tiempo. El color de la emisión y los diferentes materiales usados en su producción causan que su salida de luz decrezca en diferentes tasas. Este efecto, denominado depreciación de lumen, puede involucrar miles de horas de operación hasta obtener cambios. En base a esto, una posible definición de “tiempo de vida” es el tiempo que requiere la fuente en disminuir su luz de salida a cierto porcentaje de luz inicial.

El mejor registro es 70 por ciento de lumen a 50.000 horas de operación bajo condiciones estándares de uso. El requerimiento crítico de un sistema de LED exitoso es que la lámpara logre disipar el exceso de calor de la envoltura, manteniendo la unión del dispositivo por debajo de su rango máximo de temperatura durante la operación del sistema. La degradación de luz en este sistema es extremadamente dependiente del diseño de manejo de calor, la selección de componentes auxiliares y la fabricación del proceso de control.

2.3.2.5. Operación y componentes del sistema LED.

Fuente de Poder. Al ser dispositivos que manejan corriente en baja tensión, las fuentes de poder poseen circuitos electrónicos que funcionan como una fuente conmutada. Una fuente de poder DC individual debe manejar uno o un grupo de LED. Esencialmente hay tres maneras de diseñar una fuente de poder DC para manejar un grupo de LED: circuitos en serie, un circuito en forma de matriz con una resistencia a la entrada y un circuito en forma de matriz con una resistencia por cada semiconductor. Cada diseño tiene sus ventajas y desventajas, todo depende de la aplicación y los requerimientos de iluminación.

Interfaz térmica. Entre la lámpara y la luminaria existe resistencia térmica, estrés térmico y gradientes de temperatura, los cuales son condiciones críticas para que el sistema opere de manera exitosa. Entre el dispositivo y la luminaria, la resistencia térmica debe ser menor que aproximadamente $30^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (Registrado para corrientes de HPLED). La reducción del estrés térmico requiere un excelente manejo de la temperatura de manera que los gradientes de temperatura en la interface del chip sean minimizados.

Acoplamiento óptico. Usualmente la cápsula de un LED usa un material ópticamente limpio para formar un lente en la parte superior de la pieza. En algunos casos, como en la envoltura T-1 $\frac{3}{4}$, este material forma el cuerpo de todo el dispositivo, ver figura 7. Esto ofrece una trayectoria óptica, mantiene todo junto en el dispositivo y protege el conductor del dispositivo. Al ser un elemento óptico, el encapsulado deberá tener un alto índice de refracción y una buena estabilidad en cuanto a la humedad, altas temperaturas y alta intensidad de luz. Además estos sistemas requieren muchas veces agregar un dispositivo óptico adicional para direccionar la luz del dispositivo o el arreglo, ver figura 10.

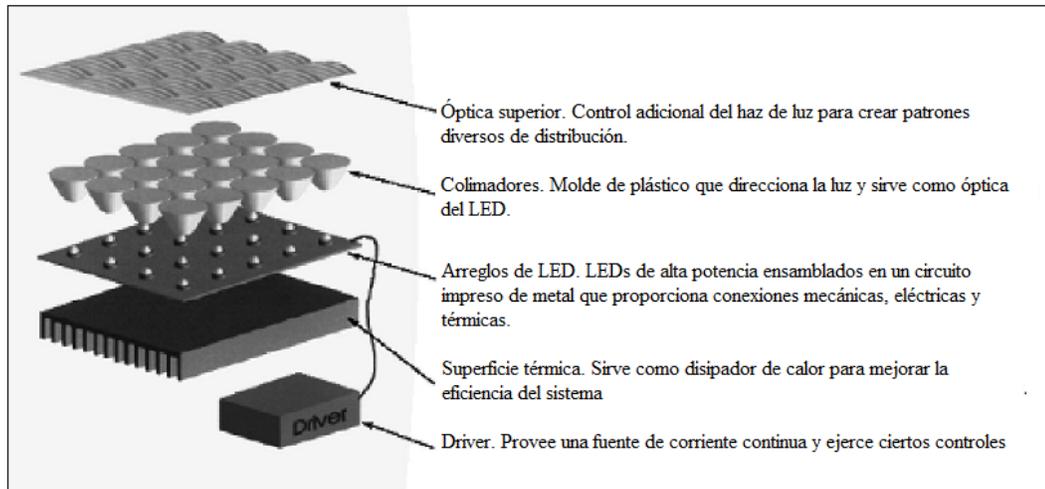


Figura 10. Típico ensamblaje de un sistema LED que contiene múltiples elementos apilados para un óptimo desempeño [9]

2.3.2.6. Características

Vibración. Son dispositivos de estado sólido que no poseen gases o filamento, por lo tanto se registra que son extremadamente confiables a golpes y vibraciones mecánicas.

Humedad. Son razonablemente tolerantes a la humedad pero no los circuitos electrónicos que los rodean en el sistema.

Temperatura. La iluminación de alto brillo en elementos de estado sólido requiere altas densidades de corriente. La confiabilidad de estos dispositivos depende tanto de la densidad de corriente como la temperatura de unión. La mayor parte de la degradación de la luz depende del aumento de estos parámetros, por lo tanto para operar de manera efectiva el sistema, es crítico que no se exceda la temperatura de unión específica. De manera que cuando se desarrolle un sistema LED en ambientes de temperaturas extremas se debe consultar al fabricante.

Depreciación de Lumen. Este es el atributo de la iluminación que más frecuentemente se usa para determinar la vida útil de las fuentes de luz. Los LED no fallan abruptamente sino que por el contrario, van oscureciendo con el tiempo. Aunque la vida que se cita comúnmente es “100.000” horas, esta no es una descripción exacta de lo que ocurre. Muchos seguirán emitiendo algo de luz a las 100.000 horas pero esta cantidad no es suficiente para muchas de las aplicaciones. Es muy común que se cite “70 por ciento de la producción original de luz” como la luz que requiere la mayoría de los trabajos de iluminación. De manera que los comités de industrias norteamericanas recomiendan, para la fecha, el “70 por ciento del mantenimiento de lumen en 50.000 horas de uso” sea adoptado como un estándar para aplicaciones con estas fuentes de iluminación.

Los diodos que emiten luz de diferentes colores no poseen una tasa de depreciación de lumen idéntica. Diferentes materiales de envoltura o metodologías de fabricación pueden influenciar las tasas en una misma base de color.

Para aplicaciones de iluminación, el mantenimiento de lumen de los diodos emisores de luz blanca debe haber sido estudiado y publicado por laboratorios de investigación independientes.

Es importante que el cliente, según el caso, especifique exactamente al fabricante el tipo LED al momento de instalar un producto final. La expectativa del rendimiento del LED solo es posible si se verifica que el fabricante ha publicado las especificaciones de operación. El manejo de temperatura, control niveles de corriente y otros parámetros eléctricos deberán ser tomados en cuenta. Si la aplicación requiere una larga duración del sistema integrado LED, es recomendable que el fabricante suministre los datos específicos de los niveles de depreciación de lumen, ver figura 11.

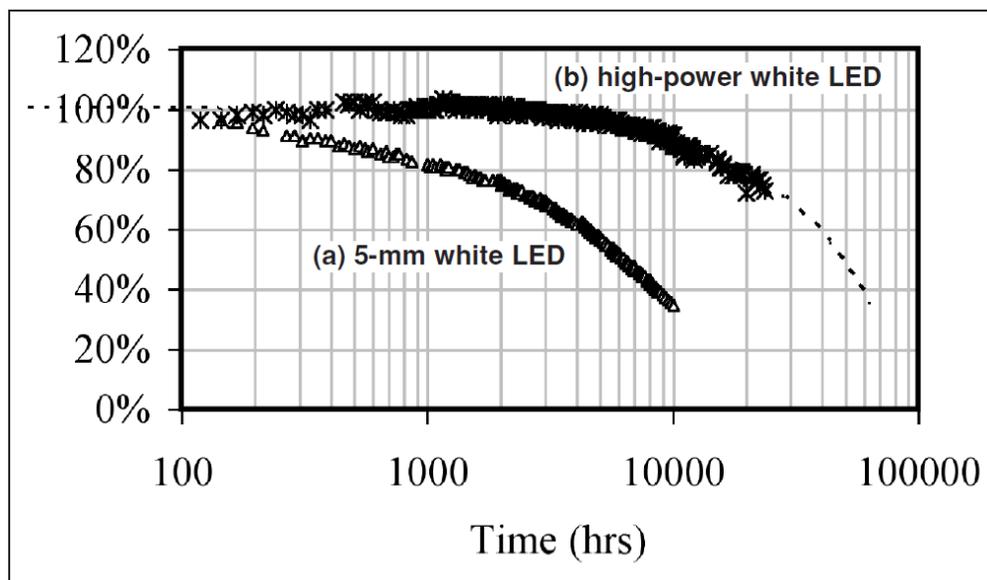


Figura 11. Datos del mantenimiento de lumen a temperatura ambiente para dos tipos de LED blancos: la curva “a” describe uno blanco de 5mm manejando 20mA; la curva “b” es de uno blanco de alta potencia.[9]

Nivel de extracción de luz del chip. Aunque ya es una fuente de luz eficiente, el LED sigue teniendo un largo camino por transitar antes de alcanzar su máximo potencial. Aunque más del 95 por ciento de los electrones que pasan a través del LED producen fotones, el chip es en sí mismo una “trampa de fotones” debido a que la mayoría de la luz generada es internamente reflectada y absorbida por la superficie del chip, generando calor. Para el 2005 sólo el 15 por ciento de la luz generada lograba salir de su envoltura, se estima que actualmente ese número ha mejorado notablemente.

Actualmente los fabricantes han estado desarrollando técnicas para mejorar la extracción de luz del chip LED. Hay también investigaciones en marcha con respecto al nivel cuántico de la estructura del material que aumentará todavía más la eficiencia.

La eficacia varía de acuerdo al tipo de material, la envoltura, patrón de radiación, tipo de fósforo y metodología de fabricación. Para el 2008 los mejores LED en producción y distribución tenían una eficacia de 10 a 55 lm/W, teniendo otros experimentales de más de 100 lm/W. Además cabe destacar que estudios de luminarias en el mercado, hechos en el 2010, arrojaron un amplio rango de eficiencia de 26 a 93 lm/W[11], ver figura12.

En la perspectiva de un sistema de iluminación LED, existen dos factores importantes que tomar en cuenta respecto a la eficiencia del sistema, la eficiencia energética y la luz útil:

1. Una lámpara LED debe ser considerada un sistema de iluminación y la eficiencia energética total no depende únicamente de la eficiencia del LED. Por ejemplo, una lámpara que use veinte LED de 1W consumirá más de 20W debido a que el controlador y otros elementos del diseño

también requieren energía. Depende de la eficiencia de esos otros elementos, la potencia total consumida, la cual podría estar entre 21 y 25W.

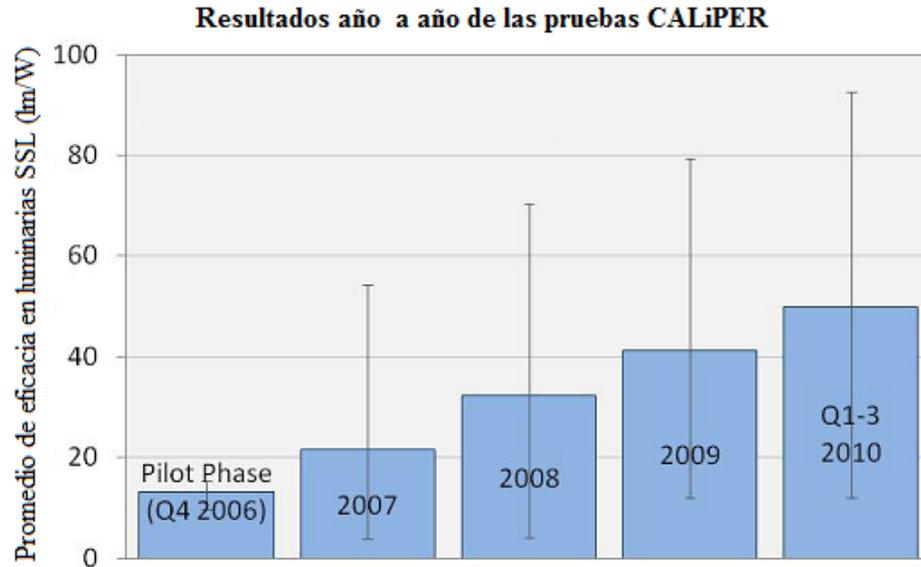


Figura 12. Promedio de las mediciones de eficacia de las luminarias disponibles en el mercado estadounidense de productos SSL.[11]

2. En lámparas LED, el flujo luminoso útil se debe tomar en cuenta también debido a que estos dispositivos típicamente producen luz directa, mientras que las lámparas convencionales emiten luz en todas direcciones. Actualmente es considerada una ventaja la cualidad direccional de la lámpara LED. Por ejemplo, se tiene una lámpara de sodio de alta presión (HPS) entregando 100lm/W contra una lámpara LED de 50lm/W; en una aplicación de luz direccionada, la luz de la lámpara HPS debe ser recogida y redireccionada. Entonces con la lámpara HPS entregando luz en una dirección, la luminaria sólo entrega el 40 por ciento del flujo luminoso de la lámpara. Por tanto una luminaria HPS con 100lm/W tiene una eficiencia

del sistema de sólo 40lm/W. Si no consideramos que la luz del LED es típicamente direccionada y por tanto es necesario un colimador para la óptica (asumiendo un 20 por ciento de pérdida por la óptica de la luminaria), este de 50 lm/W entregara también 40 lm/W.

Degradación de luz. La temperatura es una de las limitaciones claves que afectan al LED. La máxima temperatura de unión del semiconductor varía de un fabricante a otro, por tanto es mejor referirse directamente a las especificaciones de la hoja de datos de cada fabricante. Un valor común de la temperatura máxima de junction es 135°C, aunque muchos fabricantes continúan mejorando este número. Una buena regla o criterio es que mientras más elevada es la temperatura de junction del diseño, más rápida será la degradación de luz. Para la temperatura mínima de junction del dispositivo, deben ser considerados parámetros como la temperatura ambiente y la resistencia térmica de toda la envoltura. Es recomendable a los diseñadores contactar directamente con los fabricantes para cada detalle acerca de la disipación de calor.

Uniformidad del color. Una desventaja para el LED de luz blanca es la completa distribución de la uniformidad del color porque tienen un rango limitado de coordenadas cromáticas. Comparadas con lámparas fluorescentes, el rango es más amplio y produce diferentes colores notorios al ojo humano. Los efectos de distribución pueden ser minimizados mayormente usando un filtro ligeramente teñido de color o teniendo un lente acrílico para el diseño hecho desde resinas teñidas. Estas prácticas son comunes en aplicaciones de luminarias fluorescentes.

Seguridad. Al ser el LED un dispositivo de bajo voltaje, este resulta más seguros que otros sistemas de lámparas que requieren altos voltajes. Además su longitud de onda visible no genera cantidades apreciables en la banda ultravioleta o infrarroja. En caso de aplicaciones que constituyan dispositivos de alta emisión

luminosa entregando un patrón de luz direccionado, es posible que se requiera aplicar estándares de seguridad del ojo por lo cual esto deberá ser investigado.

2.3.3. Desarrollo de la Iluminación LED

En cuanto a interiores, la aplicación con uso decorativo se ha vuelto muy popular dada la elegancia y variedad de colores que estos suministran; de hecho es muy común ir a un centro comercial y ver iluminaciones decorativas y estéticas con tecnología LED, debido a la calidad que estos ofrecen.

En otras aplicaciones, tanto en exteriores como en iluminación general, estos dispositivos han venido evolucionando, y gracias al aumento de su eficiencia luminosa, es que hoy en día existen cantidad de catálogos de fabricantes que ofrecen este tipo de iluminación como sustitución a fuentes convencionales. Se pueden encontrar en el mercado, bombillas LED tanto para exteriores, alumbrado público e iluminación general y residencial.

Debido a los alcances del trabajo, sólo se tratará la iluminación base LED para interiores.

2.3.3.1. Reemplazo de lámparas convencionales por LED

Una manera de aplicar la nueva tecnología a las instalaciones ya existentes es ofreciendo una línea del producto adaptada al tipo de lámparas convenciones, es decir, los fabricantes de tecnología LED tienen diferentes tipos de bases para que se usen en la sustitución de bombillas incandescentes, vapor de sodio, mercurio, ver figura 13.

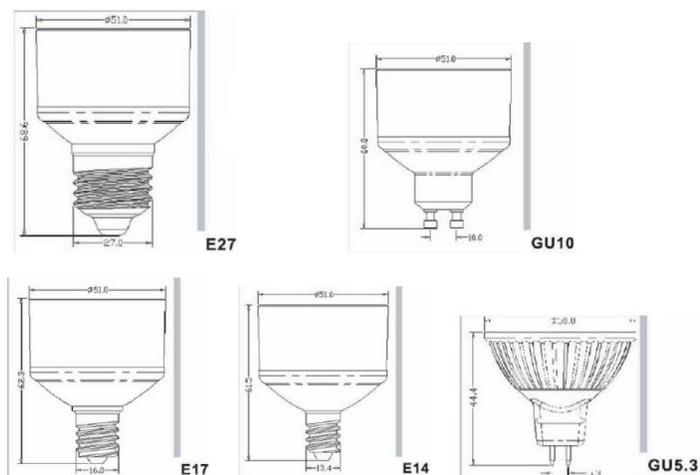


Figura 13. Tipos de base.[EnerLED]

A continuación se muestran diferentes productos de sustitución que se encuentran actualmente en el mercado:



Figura 14. Bombillos LED, en la primera fila tenemos los modelos de 2,3 y 4W respectivamente y en la segunda fila los modelos son de 6, 8 y 11W. [EnerLed]

Tubos de reemplazo LED. Esta es una tecnología desarrollada para sustituir tubos fluorescentes, la cual presenta múltiples ventajas en cuanto a la tecnología convencional. Es de fácil implementación debido a que usa el mismo soporte del convencional, entre otros accesorios.

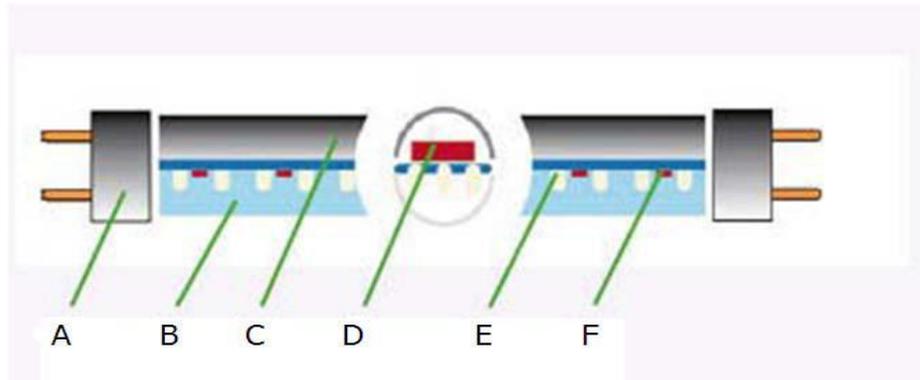


Figura 15. Elementos de un tubo LED. [EnerLED]

Descripción de la figura 15:

- | | |
|----------------------|---|
| A) Casquillo | D) Circuitos electrónicos y controlador |
| B) Cubierta acrílica | E) Placa de diodos |
| C) Carcasa | F) Dispositivos de protección |



Figura 16. Algunos tubos LED actualmente en el mercado.[EnerLED]

2.3.3.2. Ventajas de la tecnología LED frente a la Convencional.

A continuación se explica de manera detallada algunas de las ventajas de la nueva tecnología:

1. **No usa Balasto.** Al ser un dispositivo de estado sólido, las lámparas LED usan un controlador para manejar corriente alterna, el cual por lo general su potencia no excede el 15%. De esta manera se logra conseguir un ahorro de más del 50%.
2. **Larga Vida.** Si consideramos las 100.000 horas de trabajo de los LED, se podría decir que la vida de esta lámpara podría ser hasta 10 veces mayor que la fluorescente convencional pero como se vio en la sección 2.3.2.6, es preferible tomar la referencia de las 50.000 horas de vida útil, sabiendo que los LED seguirán encendidos mucho más tiempo.
3. **Encendido.** La nueva tecnología no posee problemas con el encendido, así que en muchos casos puede incluso realizarse circuitos de control de las lámparas sin riesgo a disminuir su vida útil por múltiples encendidos, cosa que si ocurre con la convencional..
4. **Efecto estroboscópico.** A diferencia de los tubos tradicionales fluorescentes, la tecnología LED proporciona luz continua para efectos del ojo humano, libre del efecto de la frecuencia eléctrica, debido a que trabaja con corriente DC. Además en muchas aplicaciones industriales el efecto estroboscópico de los tubos fluorescentes puede entorpecer el trabajo en caso que el encendido y apagado del gas tenga una frecuencia similar a la de algún proceso de trabajo. Otra peculiaridad de este efecto es

que suele ser molesto para algunas personas, ocasionando malestar, mareos o dolores de cabeza.

5. **No es contaminante.** No posee elementos contaminantes como el plomo y mercurio que si están presentes en los tubos fluorescentes, de esta manera tenemos una tecnología ecológica que además ayuda a disminuir desechos debido a que por su mayor tiempo de vida requiere menos reemplazos.
6. **Alta eficiencia.** Los LED convierten gran parte de la energía usada en luz, pudiendo obtenerse actualmente en el mercado lámparas de hasta 93 lm/W, ver figura 12.

2.4. Planteamiento de pérdidas en luminarias convencionales

Uno de los hechos más impactantes al momento de trabajar con la nueva tecnología LED, es que los fabricantes aseveran que este tipo de bombillos con menos emisión de lúmenes generan un nivel de iluminación en el orden de las fuentes convencionales de luz. Al ser un hecho bastante curioso e impactante, fue lo primero que se buscó comprobar, es decir investigar que tan verás es esta afirmación de los fabricantes.

Lo primero que se observó fue el hecho de que la iluminación LED es direccionada, esto quiere decir que el porcentaje de pérdida de luz en otras direcciones distintas al plano útil es sumamente bajo en comparación con las fuentes convencionales de luz, las cuales dependen del rendimiento y desempeño de la luminaria para direccionar la luz al plano útil, y no perder hasta más del 50% de la emisión luminosa. Este hecho es corroborado por el programa CALiPER del departamento de defensa de los Estados Unidos, donde además arrojan datos experimentales de la eficiencia de la lámpara lineal LED del orden de 84%.

En la figura 17 se observa un claro ejemplo de lo que se está tratando, donde para el 2009 la compañía KAKI proporcionaba tubos LED que ofrecían luz útil desde 75%, para el 2011 ya se consiguen fabricantes que ofrecen tubos LED con una luz útil de más del 90% (OSRAM, PHILIPS, entre otras).

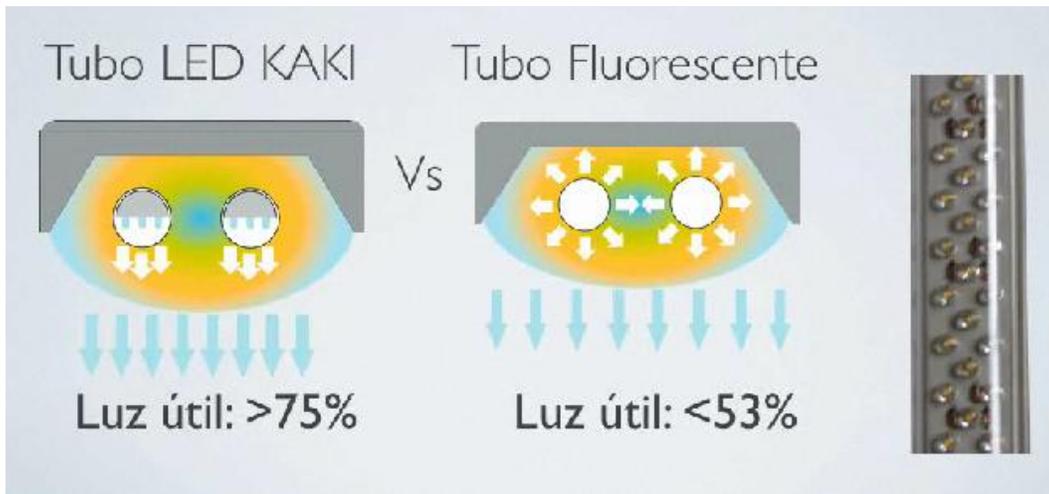


Figura 17. Eficiencia luminosa tubos LED KAKI vs fluorescentes. Catálogo KAKI 2009

Analizando la figura 17 se puede observar que las luminarias en iluminación convencional no logran aprovechar más de cierto porcentaje de luz, siendo este dato de “luz útil” o eficiencia de la luminaria muy poco común comercialmente, es necesario nombrarlo y entenderlo para justificar la diferencia entre los lúmenes emitidos por una lámpara convencional y los de lámparas LED. Haciendo un breve ejemplo de esto, veamos datos comerciales, por ejemplo un tubo T12 Westinghouse emite 2850 lm, un tubo LED De Enerled emite 1909lm y uno de OSRAM emite 1550 lm; tomando un tubo Westinghouse fluorescente, tenemos a continuación una tabla comparativa:

Tabla 5. Lúmenes útiles entre tecnología convencional y LED.

Tubo	Lúmenes iniciales	Eficiencia	Lúmenes útiles
Fluorescente WH	2850lm	53%	1511 lm
LED EnerLED	1690lm	93%	1571 lm
OSRAM SustiTUBE	1550lm	100%	1550 lm

Nótese que en la tabla 5, se muestra el flujo luminoso que va direccionado al plano de trabajo, de los cuales se observa que el flujo luminoso útil de la nueva tecnología está en el orden de la emisión de la luminaria convencional. Es importante tomar en cuenta que esta tabla posee datos de referencia que permiten formarse una idea de lo que ocurre entre ambas tecnologías; no deben tomarse estos datos de manera estricta ni formal.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DEL SISTEMA ACTUAL DE ILUMINACIÓN

3.1. Metodología del levantamiento de información.

ESTUDIO DE PLANOS EXISTENTES.

Se recopilaron planos de eléctricos de iluminación de la Estación Chacao, así como toda la información pertinente al sistema eléctrico auxiliar, de manera de conocer y analizar el sistema de iluminación actual. Estos planos fueron digitalizados a través de AutoCAD 2006 y al tratarse de planos como construido de la Estación, estos se modificaron a medida que se realizaba el levantamiento tal como se explica en la sección 3.2.

ESTUDIO DE LA CARGA ELÉCTRICA AUXILIAR DE LA ESTACIÓN.

La carga eléctrica auxiliar de la estación se obtuvo a través de los diagramas unifilares de fuerza de la estación de pasajeros Chacao que se encuentran en la planoteca de la Gerencia ejecutiva técnica de proyectos. En la sección 3.2 se exponen los resultados de la investigación sobre de la carga eléctrica auxiliar a través de la tabla 8.

RECOPIACIÓN DE DATOS.

Los datos obtenidos fueron tabulados en las tablas diseñadas por La C.A. Metro de Caracas especialmente para el proyecto de levantamiento. Las tablas se muestran en los ANEXOS N° 2,3,4,5 y 6, las cuales proporcionan información

pertinente sobre los diferentes ambientes de la estación, como: código y nombre del ambiente, largo (m), ancho (m), área (m²), altura (m), cantidad y tipo de lámparas, y nivel de iluminación medido.

PERMISOLOGÍA DE INGRESO Y MEDICIÓN.

Fue necesario obtener, a través del personal operativo, el respectivo permiso para efectuar las mediciones en las diferentes áreas de la Estación Chacao, así como también se requirió del acompañamiento de personal capacitado para realizar la labor y un operador de la Estación, ver ANEXO N° 7. El acceso a las diferentes áreas de la Estación es restringido por cuestiones de seguridad, por lo cual se tuvo que solicitar un permiso especial y tener una cuidadosa atención durante el periodo en que se realizó el levantamiento en estas áreas.

MEDICIONES REALIZADAS.

Las mediciones realizadas en cada ambiente en cuanto a largo, ancho, altura y área, fueron hechas a través de los planes arquitectónicos de la Estación. En cuanto al nivel de iluminación, las mediciones fueron utilizadas a través de un luxómetro YOKOGAMA modelo 3281, con rangos de medidas de 0-300 lux, 0-1000 lux y 0-3000 lux, ver ANEXO N° 8. La metodología realizada por Metro fue medir diferentes puntos, dependiendo del tamaño y forma del ambiente, a la altura respecto al plano indicada por las normas de iluminación de Metro expresadas en las tablas de los ANEXOS N° 2, 3, 4, 5, 6.

3.2. Informe técnico. Estación de pasajeros Chacao

GENERALIDADES

La CA. Metro de Caracas, en las diferentes edificaciones y trenes del Sistema Metro, y en particular en la estación de pasajeros Chacao, el sistema de iluminación está constituido por luminarias equipadas, según el ambiente, por tubos fluorescentes T12 de 40W, bombillos incandescentes de 100W y bombillos de vapor de mercurio de 175W.

El sistema está conformado por fuentes de iluminación normal y de emergencia, este último con lámparas normalmente encendidas, conectado a un sistema de potencia ininterrumpible (SPI) que permanentemente recibe energía desde el sistema de potencia normal de la estación; en caso de falla del servicio normal, la iluminación de emergencia es alimentada desde el SPI.

CRITERIOS DE DISEÑO

Iluminancia

En cuanto a nivel de iluminación (Lux) se consideró que la estación de pasajeros está conformada por zonas o áreas definidas como públicas, técnicas, operativas y administrativas; en tal sentido, según las actividades desarrolladas en cada ambiente está asignado el nivel de iluminación (Lux) requerido para lo cual se aplicó lo expresado en las Normas de Proyectos de la C.A Metro de Caracas, tal como se indica en la tabla 6.

Tabla 6. Niveles de iluminación de la Estación Chacao

IDENTIFICACIÓN DEL AMBIENTE	NIVEL DE ILUMINACIÓN (LUX)	PLANO RESPECTO AL PISO (m)
MEZZANINA Y PASILLOS CONEXOS	250	0,00
ANDENES Y PASILLOS CONEXOS	250	0,00
ESCALERAS FIJAS DE INICIO A FINAL	200	+ 0,15
ESCALERAS MECÁNICAS, INCLUYENDO INICIO Y FINAL	200	+ 0,15
SALA DE MÁQUINAS DE ESCALERAS MECÁNICAS	100	0,00
DEPÓSITOS DE VALORES	300	0,50
CUARTO DE CONTROL DE TRENES EN LOS PASILLO ENTRE BASTIDORES	300	0,00
CUARTO DE BATERÍAS	200	0,00
CUARTO DE EQUIPOS MECÁNICOS	120	0,50
CUARTOS CENTRO DE DISTRIBUCIÓN	120	0,50
TALLERES ELÉCTRICOS Y DE VENTILADORES DE EMERGENCIA	300	0,50
CUARTOS DE CONDUCTORES, PERSONAL DE MANTENIMIENTO Y DE DESAHOGO	300	0,50
DEPÓSITOS DE MATERIALES Y EQUIPOS	100	0,00
DUCTOS BAJO ANDÉN	40	0,00
RUTAS DE VENTILACIÓN	200	0,00
ZONAS FRENTE A LAS MÁQUINAS EXPENDEDORAS DE BOLETOS Y CAMBIADORAS DE DIERO	250	0,00
ZONAS SOBRE LA LÍNEA DE TORNQUETES	250	0,00
PUESTOS DE VENTA Y DE RECOPIACIÓN DE BOLETOS	300	0,76
OFICINA DEL SUPERVISOR Y ÁREA DE MANEJO DE DINERO	300	0,76
SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN: ÁREA DE CELDAS DE INTERRUPCION Y CUARTOS DE CONTROL	200	0,76
SUBESTACIÓN DE TRACCIÓN: ÁREA DE TRANSFORMACION Y CUARTO DE VENTILADORES	200	0,76
VESTUARIOS, BAÑOS Y EXTERIORES	150	0,15

MATERIALES Y EQUIPOS DE ILUMINACIÓN.

LUMINARIAS. Estas están equipadas y con requerimientos mínimos, según lo mostrado en la tabla 7. En particular, las luminarias del cuarto de control de trenes tienen cubiertas y difusores ópticos especiales para asegurar un factor de blindaje de radio frecuencia de 95%. Los balastos son de tipo que no permiten la alimentación de armónicas a los circuitos del sistema de iluminación.

Tabla 7. Luminarias instaladas en la Estación Chacao

CÓDIGO METRO	REFERENCIA SUPLIDOR	LÁMPARA VATIOS/ VOLTIOS	Nº TUBOS O BOMB.	MONTAJE	OBSERVACIONES
F-1A4	SVR WESTINGHOUSE	40/277	4	EMBTIDA PLAFOND	Dimensiones 1,2 m x 0,6 m
F-1A2	SVR WESTINGHOUSE	40/277	2	EMBTIDA PLAFOND	Dimensiones 1,2 m x 0,6 m
F-2A2	SNR WESTINGHOUSE	40/277	2	EMBTIDA PLAFOND	
F-2A4	SNR WESTINGHOUSE	40/277	4	EMBTIDA PLAFOND	Dimensiones 1,2 m x 0,36 m
F-3B2	INDUSTRIAL 10.21 WESTINGHOUSE	40/277	2	SUPERFICIAL TECHO	Dimensiones 1,2 m x 0,36 m
F-5A2	FVN4240 CG CROUSEHIND ELLK 700 40/40 SIEMENS	40/277	2	SUPERFICIAL TECHO	- A prueba de explosión - Dimensiones 1,35m x 0,38m
F-6A2	TUNELOL LAMP-0-LUX	40/277	2	SUPERFICIAL TECHO	- Con difusor de vidrio TEMPLEX
M-7A	MILLITE WESTINGHOUSE	250/277	1	COLGANTE TECHO	Acabado aluminio anodizado
M-12A	MODULOGO WESTINGHOUSE	25/277	1	SUPERFICIAL PARED	Acabado aluminio anodizado
I-2A	ITK-48 LAMP-O-LUX	100/120	1	SUPERFICIAL TECHO	Acabado aluminio anodizado
I-4A	IP-53 LAMP-O-LUX	100/120	1	SUPERFICIAL PARED	Acabado aluminio anodizado

Hay que tomar en cuenta que las luminarias para el cuarto de baterías, están diseñadas para máxima protección contra corrosión en ambientes con atmósfera ácida.

LÁMPARAS. Las lámparas fluorescentes son de arranque rápido, de 40W, 122cm de largo, T12, de 430_miliamperios; el color es blanco frío estándar. Los bombillos incandescentes son escarchados internamente. Los bombillos de vapor de mercurio son de color blanco Deluxe, con revestimiento interior fosfórico.

BALASTOS. Los Balastos para luminarias fluorescentes están previstos para una (1) o dos (2) lámparas de alto factor de potencia, de arranque rápido; para operación en 277 voltios-60Hz, 430 miliamperios. Clasificados para suministrar arranque confiable hasta 10°C durante la vida útil de la lámpara. La potencia consumida por el balasto para dos (2) lámparas de 40W está en el orden de 30,45 vatios.

Los balastos para lámparas de vapor de mercurio son de alto factor de potencia, nominados para voltaje primario de 277 voltios-60Hz. Son de potencia constante, capaces de mantener la potencia de la lámpara dentro de un rango de $\pm 2\%$ cuando la tensión de suministro varía en un rango de $\pm 13\%$ del valor nominal de la tensión de la línea. Especificados para permitir el encendido de forma confiable a 10°C, disponiendo del noventa por ciento (90%) de la tensión nominal de la línea. La potencia consumida por el balasto para un bombillo de 175W, está en el orden de 45W.

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Se efectuaron visitas a la estación de pasajeros Chacao, a fin de realizar el levantamiento del sistema de iluminación en cuanto a tipo, cantidad de fuentes de luz

y medición de los niveles de iluminación; así como las dimensiones de las áreas o ambientes que la constituyen. En este sentido, se obtuvo la información mostrada en los ANEXOS N° 2, 3, 4, 5 y 6, la cual permite determinar la potencia (kW) instalada por este concepto, alimentada por dicha Estación según cada tipo de iluminación de las diferentes áreas y otras aplicaciones a saber:

Iluminación Fluorescente tubo T12-40W

Iluminación general de la Estación:	2362	Und.
Iluminación vallas publicitarias:	336	Und.
Iluminación señales al público:	60	Und.
Iluminación túneles adyacentes a la Estación:	230	Und.
Balasto electromagnético para 2x40W:	1379	Und.
Balasto electromagnético para 1x40W:	230	Und.

De acuerdo a las referencias técnicas consultadas, en el tubo T12 de 40W, las pérdidas de potencia del balasto 1x40W es 20,0W y del balasto 2x40W es 30,45W. [5]. En este sentido la potencia requerida por concepto de iluminación fluorescente es: 166,11kW.

Iluminación General Mercurio.

Bombillo de vapor de mercurio 1x175W:	60	Und.
Balasto electromagnético para 1x175W:	60	Und.

Según las referencias técnicas investigadas, en el bombillo de mercurio de 175W, las pérdidas de potencia del balasto 1x175W es 45W. [5]. De esta forma tenemos que la potencia requerida por concepto de iluminación de vapor de mercurio es: 13,2kW.

Iluminación General Incandescente.

Bombillo de 1x100W: 57 Und.

En el caso de la iluminación incandescente, las referencias técnicas indican que de la potencia del bombillo, el 85% se transforma en calor. De manera que la potencia consumida por concepto de iluminación incandescente es de 5,7kW.

De esta manera se obtiene una potencia total por concepto de iluminación igual a 185,01kW, determinada por cada tipo de fuente existente en los diferentes ambientes de la Estación. Además considerando los factores de potencia ($F_p = 0,9$) y demanda requeridos, según las Normas de Proyectos de La C.A Metro de Caracas, resulta la potencia correspondiente a la carga de iluminación igual a 205,56 kVA; la cual representa un 32% respecto a la demanda eléctrica total de la estación de pasajeros Chacao.

DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN

El nivel de iluminación de cada ambiente de la Estación se determinó a través del “Método de cálculo de los lúmenes”; cuya aplicación considera factores que ocasionan pérdida de luz tales como lúmenes absorbidos por la luminaria, lúmenes dispersos hacia direcciones no útiles, suciedad de la luminaria y disminución gradual de la emisión de luz de las lámparas; con lo cual se obtiene el nivel de iluminación efectivamente requerido sobre el plano de trabajo. En este sentido, se utilizó el formato de cálculo indicado en el ANEXO N° 1, cuyo resultado se expresa en la distribución de luminarias, mostradas en los PLANOS.

DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS

La distribución de luminarias se encuentra en el marco de los resultados obtenidos a través del método de los lúmenes de manera de obtener un nivel de iluminación lo más homogéneo posible. En los PLANOS se muestra la distribución de luminarias para cada área de la estación de pasajeros Chacao. Estos son una modificación de los planos como construido (desarrollados durante los años 1986-1988), contrastados con el sistema actual de iluminación.

CARGA ELÉCTRICA AUXILIAR DE LA ESTACIÓN.

En la tabla 8 se presenta la carga eléctrica constituida por ventilación/extracción, bombas de agua, enfriamiento mecánico, escaleras mecánicas, iluminación, tomacorrientes de uso general y equipos de cobro de pasajes. Los factores de potencia (FP), de demanda (FD) y de diversidad (Fdiv=1,3) utilizados en el cálculo, responden a los requerimientos de las Normas de Proyectos de La C.A Metro de Caracas.

Tabla 8. Carga Eléctrica auxiliar en la Estación Chacao

Identificación Equipo	Código	Potencia		FP	FD	Demanda (Kva)	
		(HP)	(Kw)			normal	emergencia
Ventiladores de emergencia	EF-25	125	396,1	0,85	0,8		372,9
	EF-26	125					
	EF-27	125					
	EF-28	125					
Extractores bajo andén	UF-15	75	125,8	0,85	0,8		118,43
	UF-16	75					
Bombas hidroneumático	P-22	7,5	5,6	0,8	0,8	6,0	5,6
	P-23	7,5	5,6				
	CH-2	1/2	0,4				
Bombas aguas de drenaje	P-25	20	15	0,8	0,8	15,0	15,0
	P-26	20	15				
Bombas aguas servidas	P-27	5	4	0,8	0,8	4,0	4,0
	P-28	5	4				

Bomba agua contra incendio	P-24 P-19	60 5	59,6	0,85	0,8		56
Bombas agua helada	P-3 P-4	30 30	400	0,85	0,8	376,4	28,1
Generador de agua helada	GAH-1 GAH-2	145 145					
Unidades de manejo de aire	SSF-8 SSF-9	75 75					
Escaleras mecánicas	EM-1A EM-1B EM-2 EM-3A EM-3B EM-4 EM-5 EM-6	20 20 20 40 40 30 20 20	164	0,85	0,8	154,4	
Ventilador cuarto de ventilación	SSF-10 SSF-11	1 1	4,0	0,8	0,8	4,0	
Ventilador cuarto electricidad	SSF-12 SSF-13	1 1					
Ventilador cuarto de válvulas	SSF-14	1					
Ventilador cuarto control de trenes	SSF-15 SSF-16	7,5 7,5	5,6 5,6	0,85	0,8	5,3 28,1	5,3 28,1
Ventilador subestación tracción	SSF-17 SSF-18	40 40	30 30				
Extractor cuarto de baños y vestuarios	SEF-6	1/2	1,0	0,8	0,8	1,0	
Extractor cuarto de baterías	SEF-7	1/2					
Extractor cuarto de basura	SEF-8	1/2					
Iluminación mezzanina	LA31 LB31		42,04 44,04	0,85	1,0	230,8	

Iluminación andén	LA32		47,92				
	LB32		49,95				
Iluminación de emergencia	LE1		6,08				
	LE2		6,11				
Tomacorrientes mezzanina	TA33		21,65				
	TB33		20,35				
Tomacorrientes andén	TA34		18,30	0,8	0,4	40,0	
	TB34		19,25				
Equipos de cobro de pasajes	CPA35		14,80	0,8	1,0	37,0	
	CPB35		14,80				
TOTAL:						902,00	633,43
DEMANDA DIVERSIFICADA:							
						693,84	487,25

3.3. Análisis de resultados.

A continuación se expone de manera detallada los resultados obtenidos durante el levantamiento de información en la Estación Chacao, en cuanto a verificación, conteo, medición y observación.

VERIFICACIÓN Y CONTEO DE LUMINARIAS

Una vez digitalizados los planos como construidos, se dispuso a verificar la parte arquitectónica y de iluminación, considerando la antigüedad que tiene de elaborado el proyecto. En cuanto a la parte arquitectónica de la Estación, se observó que no existen modificaciones mayores. Al contrastar la posición y cantidad de luminarias de los planos con las instaladas, se consiguió discrepancia en algunas de las áreas de la Estación, de manera que estas diferencias se resolvieron modificando los planos digitalizados.

El conteo de luminarias se realizó por partes en la Estación, fue necesario cierto material preparado previamente y la colaboración del personal, de esta manera se obtuvo la cantidad real de luminarias en plano. Este es un dato importante, tabulado en la sección 3.2, el cual se utilizará en el siguiente capítulo para calcular los costos reales en cuanto a mantenimiento del sistema actual e instalación de la nueva tecnología.

MEDICIÓN DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN

Los niveles de iluminación medidos, estuvieron por debajo de los límites en general pero de todas maneras estaban en el orden de lo que se requiere en muchas de las aéreas de la estación como pasillos, partes de la mezzanina y el andén; algunos ambientes como los cuartos de ventilación y desahogo tienen niveles bajos con respecto a lo requerido, aunque su iluminancia ronda los 100lux en su mayoría y poseen buena visibilidad si acotamos que estas zonas en general suelen ser de paso y no se requiere maniobrar maquinarias. Es relevante resaltar que durante las mediciones ocurrió que faltaban una cantidad importante de tubos en las luminarias o muchos de estos se encontraban dañados; también se observó exceso de suciedad en las luminarias y de acuerdo al personal operativo de Metro, la mayoría de los tubos se estaban acercando a su vida útil por lo que la depreciación del flujo luminoso en los tubos era alta.

OBSERVACIONES EN ESTACIÓN

- En la Estación se pudo verificar lo dicho en plano en cuanto a la proporción de fuentes de luz, teniendo que la iluminación a través de tubos fluorescente comprende aproximadamente un 95% de la iluminación total de la estación Chacao; de esta manera, es necesario tomar especial cuidado en cuanto a la

sustitución de este tipo de tecnología al momento del diseño del nuevo sistema de sustitución.

- Un hecho importante que se observó fue que entre un 30% y 50% de los tubos fluorescentes del sistema estaban dañados o simplemente no estaban en la luminaria; además de esto, se hizo notar el exceso de polvo y el alto nivel de suciedad en las luminarias

CAPITULO IV

Una de las consideraciones que se toman en cuenta para el desarrollo del proyecto, es que el sistema de iluminación de la Estación Chacao está compuesto en casi su totalidad por la tecnología de tubos fluorescentes T12, la cual comprende aproximadamente más del 95% del sistema. Por tanto, se tomará especial cuidado en el diseño y el estudio económico a esta tecnología, tomando en cuenta que La C.A. Metro de Caracas tiene planeado eliminar del área pública los puntos de iluminación de mercurio, ya que ello no afecta de forma relevante el nivel de iluminación requerido en cada caso.

4.1. Diseño del sistema de iluminación con tecnología LED

4.1.1. Preliminares

Con el fin de seleccionar la iluminación apropiada para la estación de pasajeros Chacao, es necesario conocer la tarea visual a realizar y determinar la cantidad y tipo de iluminación que proporcione un rendimiento visual apropiado a la hora de sustituir la iluminación existente por la nueva tecnología. Para conseguir esto, se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

Análisis de la tarea visual. Hay que considerar el tamaño, el brillo, el contraste y el tiempo de percepción como características fundamentales que determinan la visibilidad de un objeto. A parte de estos, existen otra serie de factores que influyen en la tarea visual, los cuales ya están normados y fijados por CAMETRO, ver tabla 6, de manera que dependiendo del área de trabajo, existen diferentes valores para el nivel de iluminación requeridos.

Selección del equipo. Para la elección del sistema de sustitución, se contactó con un proveedor de tecnología LED, de manera que proporcionara la información pertinente a la nueva tecnología en cuanto a funcionamiento, rendimiento y costos. A continuación se extrae del ANEXO N° 12, la descripción del producto:

Tubo de luz LED (T8)

Modelo:	<u>T8/120cm</u>
Tipo de fuente de luz:	276 unidades de SMD
Temperatura del color:	6000-6500K, opcional
Flujo luminoso:	1500 lm (cubierta opaca)
Tensión de Operación:	110-220VAC, 50-60Hz
Potencia nominal:	16W (Equivalente tubo fluorescente de 40W)
IRC:	75Ra
Material:	Cubierta opaca, Tapa Negra: fundida a presión, vidrio templado.
Temperatura Trabajo:	-20-40°C
Tiempo de vida:	>40.000 horas (50.000 horas)
Tamaño:	120cm, T8

En las especificaciones del producto se observa que este cumple con los parámetros necesarios, una temperatura del color alta lo que nos supone un blanco similar al de un día despejado. También se nota que la emisión luminosa está en el orden de lo descrito en el marco teórico, además el fabricante asegura que es un equivalente para tubos fluorescentes de 40W T12 lo que hace suponer un buen desempeño para el reemplazo de estos. En cuanto la tensión de operación CAMETRO conversó con el fabricante y éste ofreció variaciones en cuanto al rango de tensiones de operación.

En cuanto a la tecnología de sustitución para lámparas incandescentes y de vapor de mercurio, se tomaron los datos y precios referenciales de una página de mayoristas[12]. Donde tenemos los siguientes datos:

Sustituto LED 12W para lámpara incandescente 100W.

Sustituto LED 80W para lámpara de vapor de mercurio 175W.

Las especificaciones se encuentran en el ANEXO N°12.

Es importante considerar que ninguna de las lámparas de sustitución cumple con los rangos de tensión de operación que requiere la estación de pasajeros Chacao, la cual es 277V. Por tanto, aunque se haya conversado con el fabricante y éste ajuste la circuitería para cumplir con la tensión nominal, es probable que se generen pérdidas adicionales en el controlador debido a que el arreglo de LED trabaja a corriente constante y al aumentar la tensión se disipará una potencia adicional en la circuitería del controlador.

Costos de mantenimiento. El costo de reposición para la nueva tecnología se tomará como nulo durante los primeros cinco años, debido a las referencias descritas en el marco teórico sobre la vida útil. De igual forma es necesario acotar que todo sistema está sujeto a fallas por lo que se recomienda tener una cierta cantidad en almacén. Este hecho supone un ahorro en el costo de mantenimiento, tomando como consideración que el costo por concepto de reemplazo de tubos fluorescentes es el mismo que el de la nueva tecnología en cuanto a horas hombre necesarias para el acceso y reemplazo de las lámparas.

4.1.2. Cálculo del número de lámparas, luminarias y separación entre éstas.

En este paso se escoge el método de cálculo para la determinación del número de lámparas y luminarias requeridas. Según la metodología de La C.A. Metro de Caracas, el método empleado debe ser por cálculo de los lúmenes. Debido a que este es un proyecto de reemplazo de una tecnología convencional por una nueva, se mantendrán las mismas luminarias existentes, y se reemplazaran los tubos y bombillos solamente

La simplificación del método de los lúmenes que utiliza la C.A. Metro de Caracas, viene dada a través del formato que se observa en el ANEXO N° 1. Este método, requiere factores como la reflexión del techo (ρ_c), paredes (ρ_w) y suelo (ρ_f), lúmenes por luminaria, factor de mantenimiento (FM), factor de depreciación (FD), relación de cavidad del local (viene dada por CCR, RCR y FCR) y a partir de estos datos se halla el coeficiente de utilización (CU), en las tablas dadas por el fabricante dependiendo del tipo de luminaria.

Haciendo un estudio detallado del método de los lúmenes, se llegó a la conclusión que para calcular el nivel de iluminación o cantidad de luminarias requeridas en un local, empleando la nueva tecnología LED, lo único necesario eran las tablas de coeficiente de utilización (CU) para la nueva tecnología LED. Lo curioso de esto es que al ser ésta una tecnología nueva, los fabricantes no proporcionan las tablas de CU y más aún, estos se muestran celosos muchas veces a la hora de suministrar información sumamente técnica. Debido a este hecho surgió la necesidad de comprobar mediante el simulador DIALux, un programa de simulación altamente aceptado por expertos y grandes compañías de iluminación.

VERIFICACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN.

Para corroborar los datos y afirmaciones de los fabricantes, se utilizará el simulador DIALux 4.9 el cual es *“una fusión de empresas modernas y activas del sector de la técnica de alumbrado y de edificios. Una unión fuerte de empresas líder en el mercado operando a escala mundial”* [13]. Empresas como General Electric, Philips y OSRAM, son algunas de las grandes empresas que avalan este programa de iluminación.

Una vez elegido el programa, se plantea un ejercicio de simulación para verificar que los niveles de iluminación generados por la tecnología LED, confirmen la afirmación del fabricante en cuanto a la equivalencia entre la lámpara fluorescente T12 de 40W y el tubo de luz LED de 16W.

En cuanto a los ejercicios de iluminación, es importante mencionar que el factor de mantenimiento utilizado por CAMETRO para los cálculos de iluminación es de 0,8; además en cuanto a los factores de reflexión del suelo, techo y paredes, se tomaron valores sugeridos por un arquitecto experto en cuanto a materiales y colores en las estructuras de las instalaciones de La C.A. Metro de Caracas.

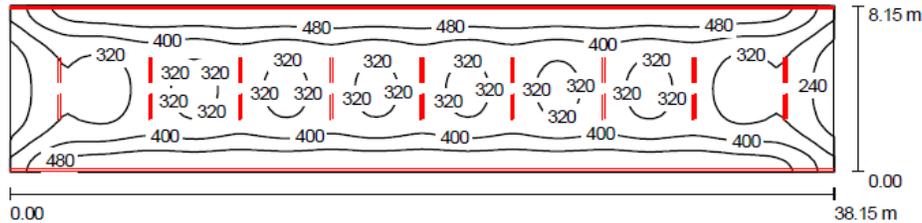
Existe una diferencia obvia entre el tubo LED seleccionado y el que se utilizó para la simulación, el criterio empleado fue la similitud en cuanto a la emisión luminosa de ambos tubos. También se debe considerar que CAMETRO conversó con el fabricante previamente y este argumentó que es posible variar en cierto grado la curva fotométrica de manera que se el tubo LED que se pida sea lo más parecido al utilizado en el ejercicio de simulación.

Ejercicio 1. Sector este del andén.

En este ejercicio se debe tomar en cuenta una doble altura que existe entre las luminarias que están de manera longitudinal en dirección de la vía y las luminarias

transversales que se encuentran en el centro del andén, ver figura 18, por tanto esto se ajustó en los parámetros de la simulación que se pueden detallar en el ANEXO N° 9.

Estación Chacao. Andén Sector Este / Resumen



Altura del local: 3.400 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:273

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	391	181	555	0.464
Suelo	0	388	190	545	0.489
Techo	55	54	23	145	0.430
Paredes (4)	35	328	73	3992	/

Plano útil:

Altura: 0.100 m
Trama: 128 x 32 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	160	OSRAM 4008321966063 ST8-SD4-765 (1.000)	1550	23.6
			Total: 248000	3776.0

Valor de eficiencia energética: $12.14 \text{ W/m}^2 = 3.11 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 310.92 m^2)

Figura 18. Simulación de luminarias andén este.

En la figura 18 se observa el resumen de los resultados de la simulación, donde “ ρ ” es el porcentaje de reflexión, E_m es la iluminancia media, E_{max} y E_{min} son los valores máximos y mínimos de iluminancia, E_{min}/E_m es el factor de uniformidad.

El nivel de iluminación requerido para el andén es de 250 lux, la simulación muestra valores superiores donde la iluminancia media en el suelo es de 388 lux. Fíjese que los valores del factor de uniformidad son superiores a 0,4 lo que nos indica que no existen riesgos mayores por deslumbramiento. En el ANEXO N° 9 se encuentran las hojas detalladas de los resultados de la simulación.

Ejercicio 2. Depósito cobro de pasajes.

Tomamos esta área debido a que el trabajo en este cuarto requiere gran atención visual, por lo que los niveles de iluminación deben cumplir obligatoriamente con lo requerido, en este caso 300 lux.

En la figura 19 se observa el resumen de los resultados de la simulación, donde “ ρ ” es el porcentaje de reflexión, E_m es la iluminancia media, E_{max} y E_{min} son los valores máximos y mínimos de iluminancia, E_{min}/E_m es el factor de uniformidad.

Observando la figura 19 podemos decir el nivel de iluminación promedio situado a 0,5m del suelo es de 466, en cuanto al deslumbramiento tenemos que muestra valores superiores a 0,5 para el factor de uniformidad. En el ANEXO N° 10 se encuentran las hojas detalladas de los resultados de la simulación.

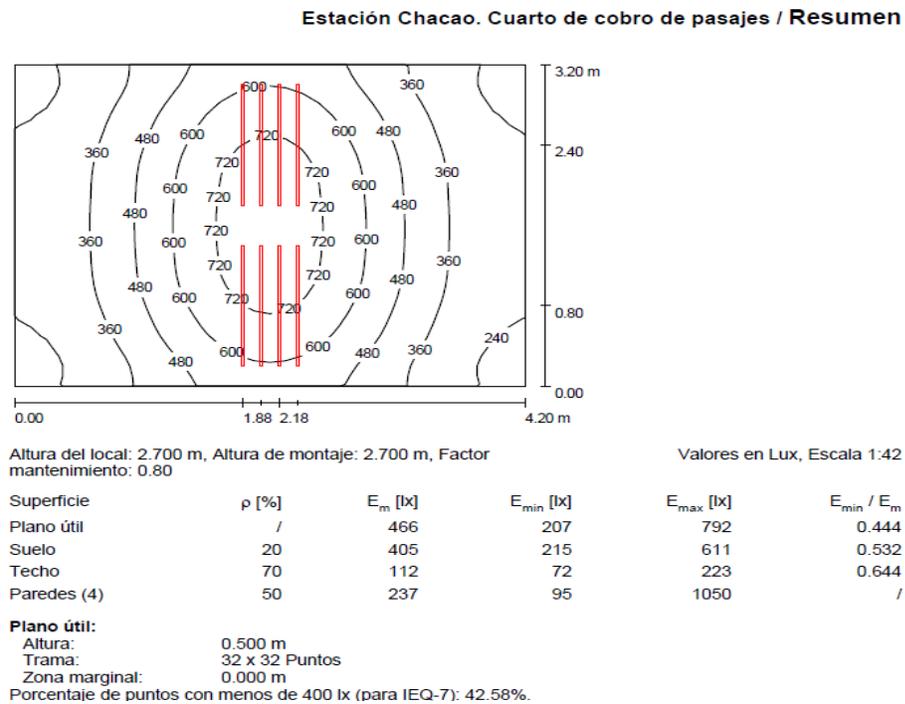


Figura 19. Simulación cuarto de cobro de pasajes.

ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN

Los resultados de la simulación son bastante claros, al menos para las dos áreas mostradas en esta sección, el resultado en cuanto a la sustitución ha sido positivo, de manera que es posible crearse un criterio a partir de estos valores. De todas maneras no es prudente realizar una afirmación concreta mas lo que arroja este estudio es que la tecnología LED está llegando a los niveles de iluminación en el orden de la tecnología T12.

Es indispensable tener en cuenta que la emisión luminosa del tubo LED utilizado en la simulación es de 1550 lm, ver ANEXO N° 11, lo cual está el orden del tubo LED del fabricante que se está estudiando. Otro hecho importante es que al no ser el mismo tubo, la curva fotométrica es distinta. Esto tendrá como consecuencia que la distribución luminosa y los niveles de iluminación arrojados en las simulaciones serán diferentes a los que se tendrán con el reemplazo por los tubos del fabricante seleccionado; aún así estos valores sirven como una buena referencia para generarse un criterio.

4.1.3. Sustitución de tubos fluorescentes por LED.

Una vez realizado el ejercicio de simulación en la sección anterior, se puede considerar el reemplazo de tubos fluorescente por tubos LED y de está maneta es posible obtener un ahorro importante en cuanto a la energía eléctrica requerida por el sistema de iluminación. De ser considerado el reemplazo de tecnología hay que tomar en cuenta que:

- No es necesaria la inversión de equipos adicionales: esto debido a que el reemplazo será sólo el cambio del tubo fluorescente por el tubo LED.
- Se mantendrán las canalizaciones actuales: debido a que la nueva tecnología consume menos potencia que la convencional, es un hecho que todo el

dimensionamiento del sistema eléctrico soportará sin ningún inconveniente el reemplazo.

- Deben retirarse los balastos: esto debido a que los tubos LED no requieren balasto, de esta manera se genera un ahorro adicional en cuanto a la potencia requerida del sistema de iluminación.
- La temperatura del ambiente: es probable que con la nueva tecnología se obtenga una mejor temperatura, debido a que ésta no genera tanto calor como la tecnología convencional; de esta forma se estaría liberando un poco el sistema de enfriamiento mecánico de la Estación.

Es importante considerar:

Al momento de realizar una decisión hay que tomar en cuenta que se debe estudiar primero al fabricante, debido a que según informes del departamento de energía de los Estados Unidos, existen fabricantes que no cumplen con los valores de emisión de luz que indican nominalmente, así como otras afirmaciones que suelen realizar la mayoría de los fabricantes. Se recomienda entonces realizar un estudio más experimental al momento de la inversión, preferiblemente realizar pruebas o sustituciones graduales parece ser la forma de realizar este tipo de inversiones y así también estudiar al fabricante. [9]

Debido a que ésta es una tecnología que se encuentra actualmente en desarrollo, es probable que más adelante los niveles de iluminación mejoren de manera que puedan sustituirse tubos T8 y T5, lo cual hoy en día parece no ser completamente viable según estudios del departamento de energía de los Estados Unidos. [11]

4.2. Ahorro de energía.

4.2.1. Calculo del ahorro energético.

Para el estudio energético, seleccionaremos los tubos de reemplazo LED mencionados en la sección 4.1 y además tomamos los datos obtenidos en el informe de levantamiento, ver capítulo III. También se considera la potencia del controlador para el caso más desfavorable un 15%, y así trabajar bajo la peor condición para la nueva tecnología. A continuación la potencia requerida por ambas tecnologías:

Tabla 9. Comparación de potencia convencional y LED.

Equipo	Cantidad	Potencia	Potencia General
Tubo T12	2.988	40,00 W	119,52 kW
Balasto para 1x40W	230	20,00 W	4,60 kW
Balasto para 2x40W	1.379	30,45 W	41,99 kW
Lámp. Vapor de Mercurio	60	175,00 W	10,50 kW
Balasto para 1x175W	60	45,00 W	2,70 kW
Lámp. Incandescente	57	100,00 W	5,70 kW
Consumo Total			185,01 kW
Tubo LED	2988	18,40 W	54,98 kW
Reemplazo V. Mercurio	60	92,00 W	5,52 kW
Reemplazo Incandescente	57	13,80 W	0,79 kW
Consumo Total			61,29 kW

Ahora el ahorro con respecto al sistema eléctrico auxiliar se supone en:

$$\% \text{ Ahorro} = \left(\frac{\text{Ahorro con sist. LED}}{\text{Demanda total diversificada}} \right) \times 100\%$$

Por lo que el porcentaje de ahorro de energía respecto a la demanda total de la Estación es aproximadamente **21%**.

4.2.2. Gráficas del Ahorro.

Las gráficas que se presentan en esta sección son del tipo comparativas.

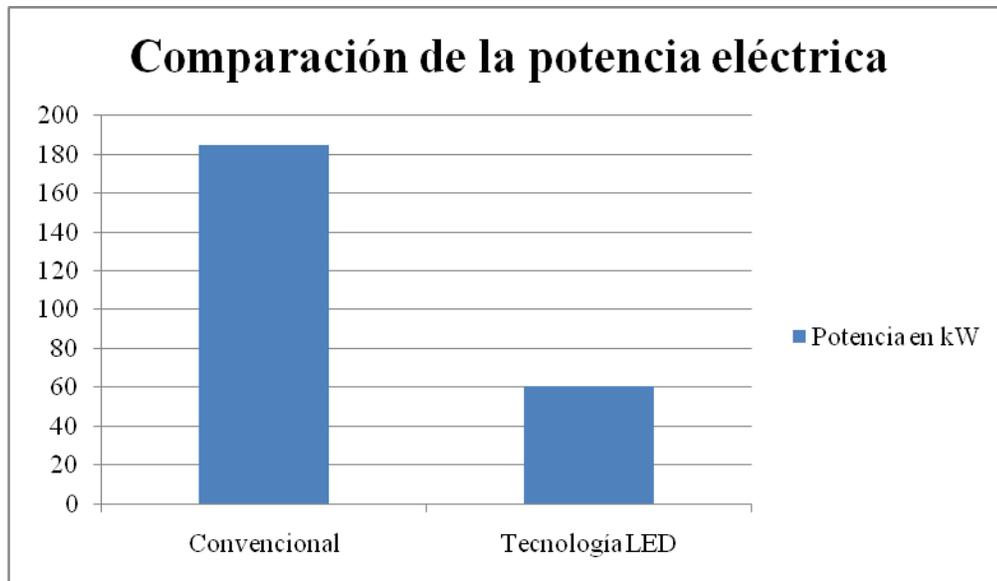


Figura 20. Gráfica del ahorro en Iluminación

En la figura 20, se muestra claramente la diferencia de potencia requerida, a favor de la nueva tecnología, respecto a la potencia del sistema de iluminación existente.

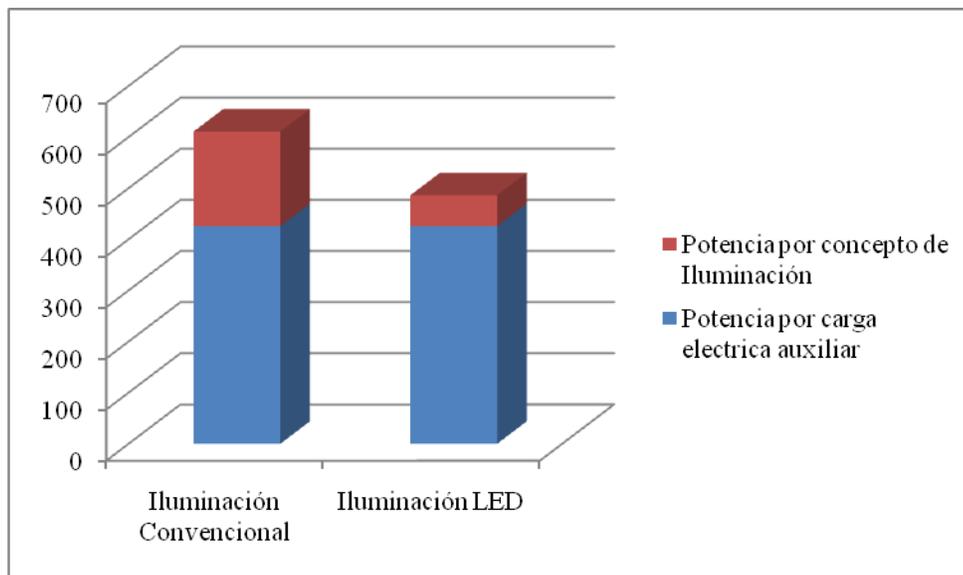


Figura 21. Carga eléctrica auxiliar de la Estación.

La figura 21 no es más que la gráfica de la figura 20 pero agregando el resto de la potencia diversificada de la carga eléctrica auxiliar de la Estación. Se puede observar que aunque la iluminación representa un 31% de la carga auxiliar de la Estación, al realizar el cambio de tecnología existe una clara disminución de la potencia eléctrica requerida, generando de esta manera que la iluminación represente un 10% la potencia total de la Estación. De esta manera, si se considera realizar el reemplazo sólo en cuanto a tubos fluorescentes es posible obtener un ahorro del **21%** con respecto a la carga total de la Estación

En la figura 22, se observa la proporción entre el ahorro implementando la tecnología LED y su consumo, donde el 100% representa la potencia por concepto de iluminación convencional.

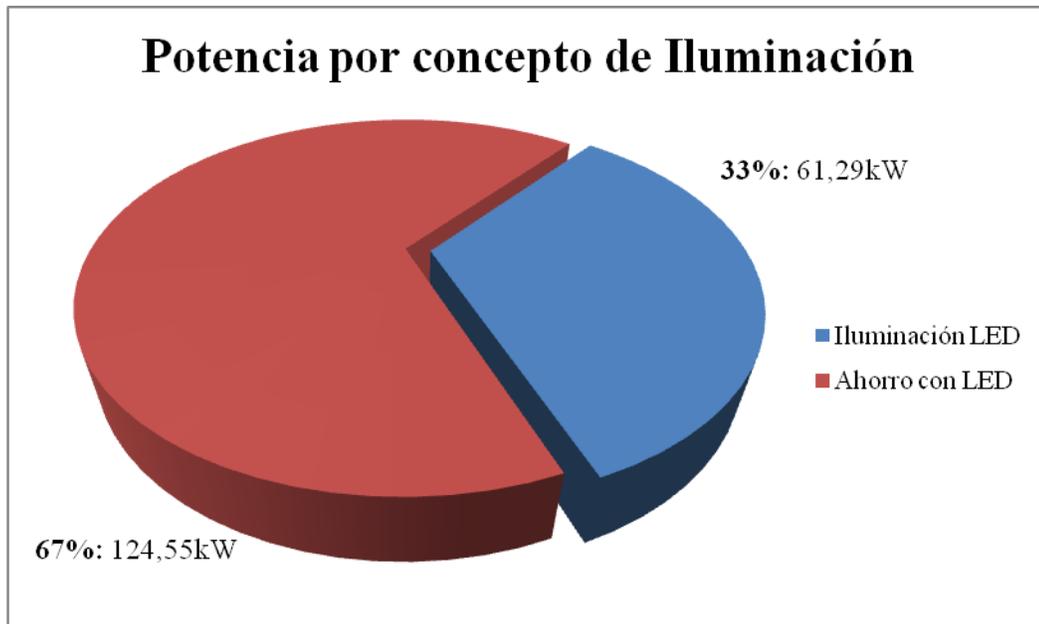


Figura 22. Gráfica del ahorro con LED en el sistema de iluminación.

4.3. Estudio económico.

Tomando en cuenta el alto costo de la inversión inicial en comparación con la tecnología convencional, tomaremos en consideración el ahorro energético logrado con la nueva tecnología, calculado en la sección 4.2, y también su mayor tiempo de vida.

4.3.1. Cálculo de costos.

COSTOS DE ILUMINACIÓN CONVENCIONAL

Costo por concepto de suministro, instalación y pruebas de los siguientes elementos, base mayo de 2011:

- | | |
|--|-------------|
| 1. Tubo fluorescente T12x40W | : Bs. 24,00 |
| 2. Balasto electromagnético 2x40W-277V | : Bs. 94,00 |

- | | |
|---|--------------|
| 3. Balasto electromagnético 1x40W-277V | : Bs. 56,00 |
| 4. Lámpara de V. Mercurio 1x175W-277V | : Bs. 546,00 |
| 5. Balasto electromagnético 1x175W-277V | : Bs. 570,00 |
| 6. Bombillo incandescente 1x100W-277V | : Bs. 4,00 |

COSTOS DE ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED

Este representa el costo por unidad del producto en USD, puesto en los puertos Shanghai/Ningbo/China para tubos LED y Shenzhen/Guangdong/China para lámparas de reemplazo incandescentes y vapor de mercurio. Siguiendo el criterio de CAMETRO se adiciona un 22% por concepto de transporte, nacionalización, instalación y pruebas:

Tubo de luz T8 LED	: USD 48,80
Bombillo LED 12W	: USD 18,30
Bombillo LED 80W	: USD 244,00

Aplicando el régimen de cambio para poder hacer una comparación en bolívares, tomamos la tasa de cambio actual en 4,30Bs/USD:

Tubo de luz T8 LED	: Bs. 209,84
Bombillo LED 12W	: Bs. 78,69
Bombillo LED 80W	: Bs. 1.049,20

Para el cálculo del costo se toma en cuenta ciertas condiciones desfavorables como la vida útil más conservadora para la tecnología LED, la mayor vida útil para tubos fluorescentes y la vida del balasto electromagnético en 5 años; además para el cálculo de los gastos anuales por operación y mantenimiento se considera en la tecnología convencional la frecuencia de sustitución de tubos fluorescente. Otra consideración importante es la compra extra de un 10% de tubos LED por concepto de fallas inesperadas.

Tabla 10. Datos a tomar en cuenta para el cálculo del costo.

Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo General
Tubo T12	2.988	Bs. 24,00	Bs. 71.712,00
Balasto para 1x40W	230	Bs. 56,00	Bs. 12.880,00
Balasto para 2x40W	1.379	Bs. 94,00	Bs. 129.626,00
Bombillo V. Mercurio	60	Bs. 546,00	Bs. 32.760,00
Balasto para 1x175W	60	Bs. 570,00	Bs. 34.200,00
Bombillo Incandescente	57	Bs. 4,00	Bs. 228,00
Inversión Inicial			Bs. 281.406,00
Reposición Anual			Bs. 104.700,00
Demanda anual	2.611,90 kVA	10,219 Bs/kVA	Bs. 26.691,00
Consumo anual	1.906.691,29 kWh	0,054 Bs/kWh	Bs. 78.524,64
Operación y mantenimiento anual			Bs. 209.915,64
Tubo LED	3287	Bs. 209,84	Bs. 689.744,08
Bombillo LED 80W	66	Bs. 1.049,20	Bs. 69.247,20
Bombillo LED 12W	63	Bs. 78,69	Bs. 4.957,47
Inversión Inicial			Bs. 763.948,75
Reposición de Tubos	0	Bs. 209,84	Bs. 0,00
Demanda anual	865,27 kVA	10,219 Bs/kVA	Bs.8.842,20
Consumo anual	536.900,40 kWh	0,054 Bs/kWh	Bs. 28.992,62
Operación y mantenimiento anual			Bs. 37.834,82

Los datos en la tabla 10 fueron tabulados tomando en cuenta que la tecnología LED tiene una duración de 50 mil horas o cinco años. Además se tomó como referencia del costo de la demanda y del consumo mensual de electricidad, datos suministrados por CAMETRO; en cuanto al factor de potencia, se utilizó 0.85 en todos los casos para simplificar cálculos, esto perjudica a la nueva tecnología debido a que ésta en general tiene un mejor valor.

DESARROLLO DEL CÁLCULO

Una vez tabulados y organizados los datos se procede al desarrollo del cálculo, el cual tomará en cuenta el flujo de dinero en el tiempo que se muestra en la Figura 23.

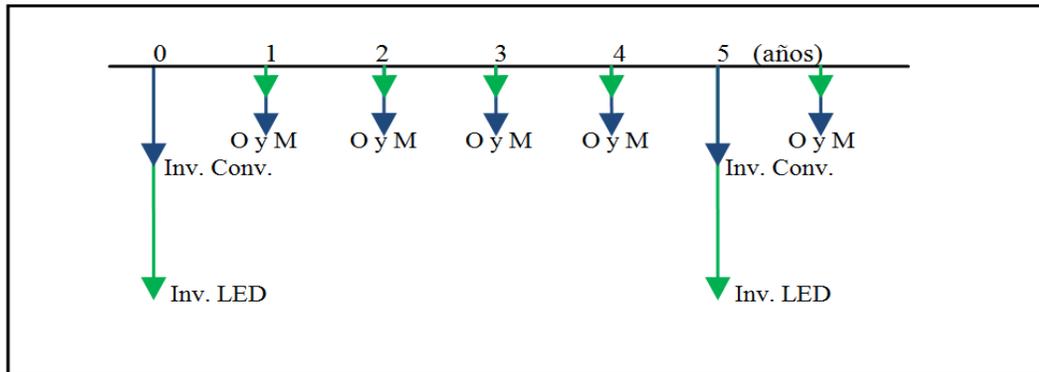


Figura 23. Flujos de dinero para ambas inversiones.

El cálculo del costo de amortización de la inversión se realizará tomando en cuenta la inflación, debido a que este es un factor que se encuentra presente en el país. Siguiendo el criterio de CAMETRO se tomaron los valores del IPC de los últimos 4 años que ha publicado el Banco Central de Venezuela y con el 2007 como año base, se calculó una inflación promedio de 27%.

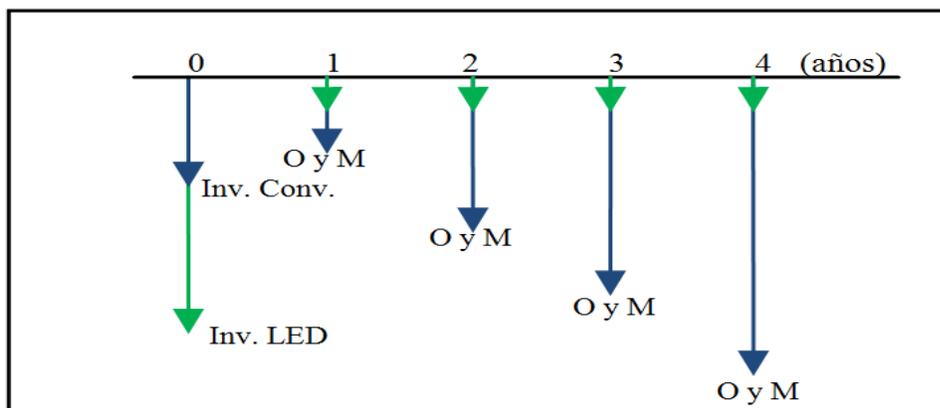


Figura 24. Flujo de dinero en el tiempo con inflación.

En la figura 24 se muestra un ejemplo de cómo sería el flujo de dinero en el tiempo tomando en cuenta que cierto porcentaje de inflación aumenta el costo del material de reposición para la tecnología convencional, generándose de esta manera un aumento de forma exponencial.

Dado el criterio de CAMETRO, la tasa activa de interés que se usará será el promedio de las ofrecidas por los tres siguientes bancos:

Banco del Tesoro:	17,13%
Banco Mercantil:	19,51%
Banco de Venezuela:	17,25%

Por lo que para mover dinero en el tiempo se utilizará un interés de **18%**.

Para generar el análisis económico no nos limitaremos a estudiar el tiempo de amortización sino que se desarrollarán tres métodos distintos de comparación:

Tiempo de amortización:

En este caso el valor de la inversión inicial será el costo inicial de la nueva tecnología menos el de la convencional. Se calcula el ahorro con la nueva tecnología. Finalmente se determina en cuantos periodos los ingresos por concepto de ahorro igualan o superan la inversión inicial.

Los cálculos se muestran en el ANEXO N° 11 donde se presentan las ecuaciones de la (2) a la (8) en MAPLE 14, a continuación los resultados del cálculo:

Tabla 11. Tiempo de amortización para distintos intereses.

Interés	0%	6%	12%	18%
Tiempo en años	2,17	2,36	2,58	2,83

En la Tabla 11 se observa el tiempo de retorno de la inversión para la nueva tecnología, tomando en cuenta diferentes valores de interés. Fíjese que el valor para 18% es el que interesa en este caso, en el cual se obtiene que la inversión se recupera antes de los cuatro (4) años.

Análisis por valor presente (Ahorro):

Se calcula el valor en el origen del tiempo para todos los movimientos de dinero que origina cada tecnología. Al tratarse de costos, el mejor proyecto será el que tenga menor valor presente.

Los cálculos se muestran en el ANEXO N° 11 donde se presentan las ecuaciones (10), (11) y (12) en MAPLE 14, a continuación se exponen los resultados del cálculo:

Tabla 12. Valores en el origen del tiempo.

Costo Total Convencional	Bs. 1.266.616,96
Costo Total LED	Bs. 882.264,70
Ahorro	Bs. 384.352,26

En la tabla 12 se muestra el costo total de las inversiones trasladadas al año cero a través del interés fijado en 18%. Se observa que el costo de la nueva tecnología resulta menor al de la tecnología fluorescente e incluso se genera un ahorro representado en el origen del tiempo con un valor de **Bs. 384.352,26**.

Tasa interna de retorno:

Se determina el flujo de dinero de igual forma que en los puntos anteriores y se calcula la tasa de interés que hace cero el valor de la serie en el origen del tiempo. Esta tasa de interés representa la relación a la cual se está recuperando el capital invertido debido a la reducción de costos que genera la nueva tecnología. El cálculo se muestra en el ANEXO N° 11 donde se presenta la ecuación (9) en MAPLE 14, ver ANEXO N°11. El resultado es un interés de **45,20%** anual.

4.3.2. Gráficas de costos.

En la gráfica de la figura 25 se refleja el valor en el origen del tiempo del costo de las inversiones cada año; de manera que las curvas aumentan en el tiempo a medida que se requiera ir efectuando gastos de operación como el consumo eléctrico o de mantenimiento como la sustitución de tubos fluorescentes año a año.

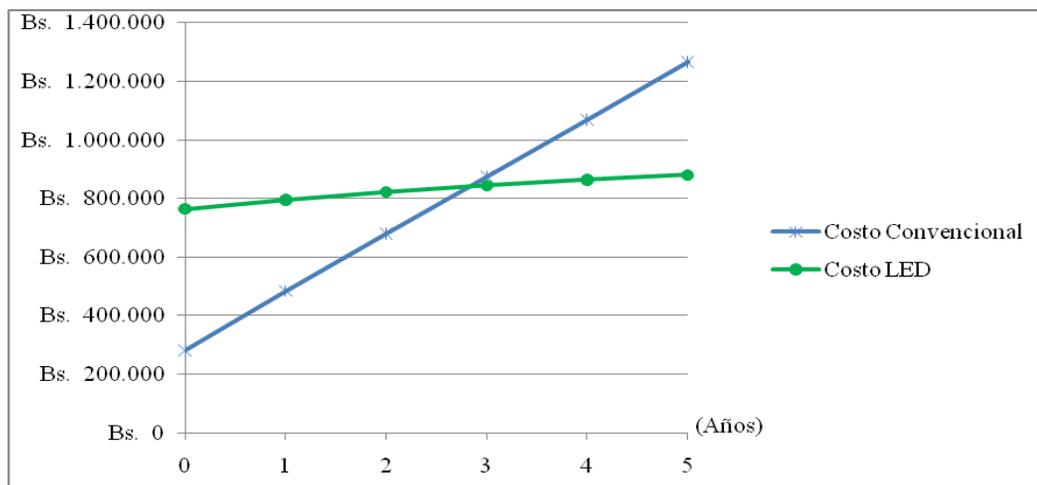
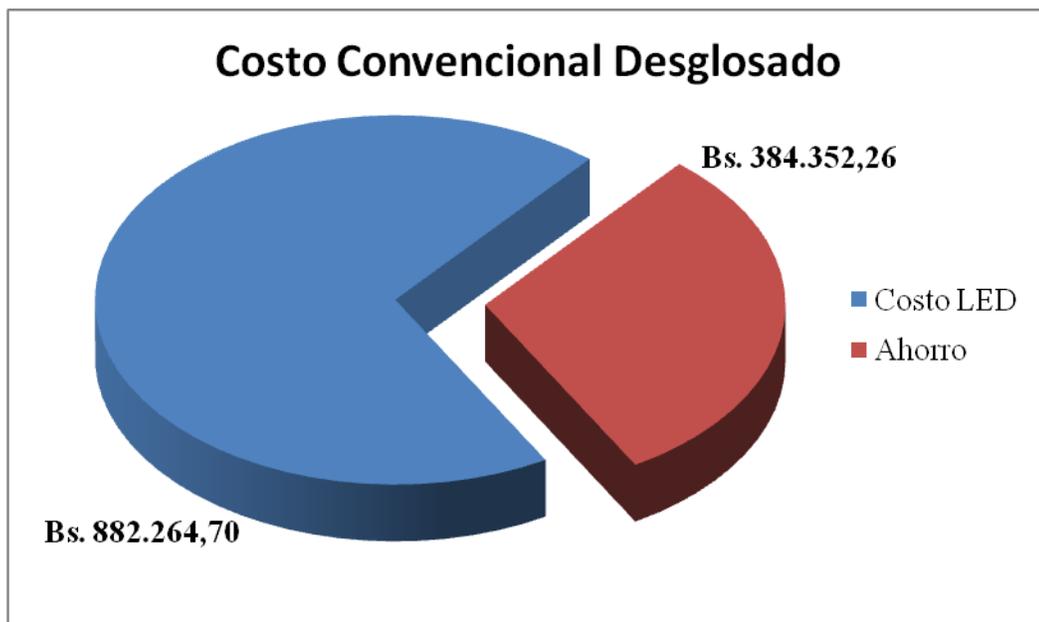


Figura 25. Gráfica de la evolución del costo de las inversiones con su valor referido al origen del tiempo.

En el caso de la tecnología LED, se puede observar en la figura 25 que su costo no incrementa de manera significativa en el tiempo, esto es debido a su bajo consumo eléctrico y mínimo índice de reposición en comparación a su alto costo de inversión. En la tecnología convencional, el aumento es bastante abrupto ya que a diferencia de la nueva tecnología, su consumo es bastante alto; otro factor que influye en que su pendiente sea mayor es el costo año a año por concepto de reemplazo de tubos fluorescentes que se ven afectados por la inflación.

Figura 26. Gráfica de comparación proporcional de costos.



En la gráfica de la figura 26 se observa una torta que representa el 100% del costo de la tecnología convencional, a su vez se nota que el costo de la tecnología LED es menor que la convencional y por tanto genera un ahorro. De esta manera se pueden comparar los valores de los costos referidos al año cero y así es posible crearse un criterio de lo que se está hablando.

CONCLUSIONES

El tiempo de vida útil de la nueva tecnología es cinco veces mayor que el de la tecnología fluorescente convencional. Además su tiempo de vida no se ve afectado por el encendido y apagado del sistema, lo cual si ocurre en la tecnología convencional.

El consumo eléctrico de la tecnología propuesta LED es un 67% menor respecto a la iluminación convencional. Esto se debe a que la iluminación LED es más eficiente y proporciona luz direccionada, además no posee pérdidas tan altas como la que generan los balastos.

La inversión inicial de la tecnología LED es tres veces mayor que la que requiere la tecnología convencional. Sin embargo el sistema de iluminación convencional en el tiempo resulta más costo que la nueva tecnología.

La tecnología LED requiere costo de mantenimiento en el orden de cinco veces menos que la convencional, debido a su mayor tiempo de vida, el cual se estima en cinco o más años y además no necesita accesorios adicionales para su funcionamiento.

La nueva tecnología propuesta resulta más ecológica que la convencional, ya que genera menor cantidad de desechos y no contiene elementos como el mercurio y plomo

La tecnología LED puede ser utilizada en sistemas de iluminación anteriores, ya que sus dispositivos de conexión son compatibles con los previstos en las luminarias existentes.

RECOMENDACIONES

- Es conveniente analizar y estudiar la propuesta del fabricante, de manera que se verifique la veracidad de las afirmaciones del mismo en cuanto a los valores nominales y características de sus productos. Por tanto es conveniente realizar estudio experimental de la nueva tecnología de manera que se efectúen pruebas de su desempeño a través de sustituciones progresivas, por ejemplo comenzando con una estación de pasajeros a fin de estudiar su desempeño y demás características, antes de asumir el reemplazo masivo de las edificaciones del sistema Metro.
- Para el caso de la elaboración de un nuevo proyecto de iluminación, es recomendable utilizar luminarias caracterizadas para la nueva tecnología debido a que éstas tienen un mejor desempeño comparada con la tecnología LED de reemplazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Walter Sturrock and K.A. Staley. *Fundamentals of light and lighting*. (Manual).— General Electric, 1956. p.p 3.
- [2] Miguel Ereú. *Alumbrado Público*, (Libro).— Caracas: Edición especial SIAP-CIER2004, 2009.
- [3] Obralux. *Luminotecnia*, (Manual): 2004
- [4] U.S. Department of energy: <http://www.energysavers.gov/> [Consulta 2001]
- [5] Westinghouse. *Manual del alumbrado*, (Libro).—Madrid: España: Ed. Dossat, 1979.
- [6] Philips. *Sección, ILUMINACION*, (Manual).—COEL: 2005
- [7] Philips. *Guía práctico de lámparas y balastos*, (Catálogo).— Noviembre, 2004.
- [8] ESEMETEC. *TECNOLOGÍA DE LEDS* (Catálogo): 2009
- [9] IESNA TM-16-05. Technical Memorandum on Light Emitting Diode (LED). (Artículo).-- New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2005.
- [10] Per-Accurate Inc. *Introduction of LED*, (Manual): 2009

- [11] Informe técnico: “Summary of Results: Round 11 of Product Testing”. DOE Solid-State Lighting CALiPER Program. Preparador por el Departamento de Energía en Pacific Northwest National Laboratory. Octubre 2010.
- [12] Mayoristas alibaba: <http://www.alibaba.com/>
- [13] DIAL GmbH: www.dialux.com. (Artículo) [consulta 2011]

BIBLIOGRAFÍAS

Libro. Ilis M. Alfonzo. Técnicas de Investigación Bibliográfica, Caracas, Venezuela: Contexto – Editores, 1991.

Libro. Adel S. Sedra y Kenneth C. Smith. Circuitos MICROELECTRÓNICOS, 5ta. Ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2006.

A. Gallo. Propuesta de diseño de un sistema de iluminación para aplicación automotriz basado en diodos emisores de luz de alta potencia. (Tesis).— Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2010.

Norma. Covenin (2249: 1993). ILUMINANCIAS EN TAREAS Y AREAS DE TRABAJO.- Caracas: Comisión Venezolana de Normas Industriales. Ministerio de Fomento.

Paper. R. R. Verdeber, O. Morse, F. Rubinstein, and M. Siminovitch. Measurement of Optical Efficiency of Fluorescent Luminaires. University of California.

Manual de referencia: ILUMINACIÓN DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO. UCV, Prof. Eugenia Villalobos, Caracas: 2006

Libro. Eduardo A. Arbones Malisani. Ingeniería económica. Barcelona, España: MARCOMBO, 1989.

ANEXOS

ANEXOS

[ANEXO N° 1]

Hoja de cálculo del nivel de iluminación de La C.A. Metro de Caracas.

PAG. _____

Contenido:	CAL.	
	REV.	
	FECH.	

NIVEL REQUERIDO (LUX) _____

IDENTIFICACION LUMINARIA: _____

CATALOGO: _____ FABRICANTE: _____

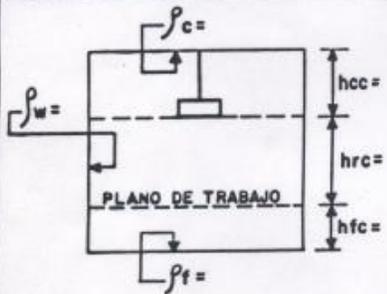
TIPO DE LAMPARAS: _____

LUMENES / LUMINARIA: _____

FACTOR DE MANTENIMIENTO (FM) _____ FACTOR DE DEPRECIACION (FD) _____

FM x FD = _____

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE UTILIZACION



DIMENSIONES.
 LONGITUD (L) :
 ANCHO (W) :
 L + W =
 AREA =

$$CCR = \frac{5 hcc (L + W)}{A} =$$

$$RCR = \frac{5 hrc (L + W)}{A} =$$

$$FCR = \frac{5 hfc (L + W)}{A} =$$

REFLECTANCIAS EFECTIVAS

$$\rho_{cc} = \quad ; \quad \rho_{fc} =$$

CU =
 F = LUM / LU x CU x (FM x FD) =
 F = () x () x () =

CALCULOS :

$$N^{\circ} \text{ DE LUMINARIAS} = \frac{E \cdot A}{F} =$$

NIVEL DE ILUMINACION LOGRADO :

Cálculo tipo del nivel de iluminación y número de luminarias.

MATERIA: <u>LINEA 3: ESTACION U.C.V.</u>	HOJA: <u>34</u> DE
	REVISION:
	FECHA:
PREPARADO POR: <u>J. MONTERO</u>	APROBADO POR:
	FECHA:

AMBIENTE: <u>M-36: CUARTO DE TABLEROS.</u>
NIVEL REQUERIDO (LUX) <u>300 LUX</u>

IDENTIFICACION LUMINARIA: <u>F-4T4 (4x40W)</u>
CATALOGO: <u>WEMCA.</u> FABRICANTE: <u>WESTINGHOUSE.</u>

TIPO DE LAMPARAS: <u>FLUORESCENTES.</u>
LUMENES / LUMINARIA: <u>2850 x 4 = 11400</u>
FACTOR DE MANTENIMIENTO (FM) <u>0,8</u> FACTOR DE DEPRECIACION (FD) <u>0,8</u>
FM x FD = <u>0,64</u>

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE UTILIZACION

DIMENSIONES:
 LONGITUD (L): 9,3m
 ANCHO (W): 6,68m
 L + W = 15,98m
 AREA = 62,12 m²

$$CCR = \frac{5 hcc (L+W)}{A} = 3,3$$

$$RCR = \frac{5 hrc (L+W)}{A} = 4,2$$

$$FCR = \frac{5 hfc (L+W)}{A} = 0$$

REFLECTANCIAS EFECTIVAS

$$\rho_{cc} = 23\% ; \rho_{fc} = 20\%$$

$$CU = 0,47$$

$$F = LUM/LU \times CU \times (FM \times FD) =$$

$$F = (11400) \times (0,47) \times (0,64) = 3429,12$$

<p>CALCULOS:</p> <p>Nº DE LUMINARIAS = $\frac{E \times A}{F} = 5,43 \approx 6$</p> <p>NIVEL DE ILUMINACION LOGRADO: <u>331 LUX.</u></p> <p>REF =</p> <p>REL =</p> <p>RET =</p>
--

[ANEXO N° 2]

Hoja de medición del nivel de iluminación y dimensiones de ambientes de La C.A. Metro de Caracas.



ESTACIÓN CHACAO
SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL

AMBIENTES MEZZANINA		DIMENSIONES			ÁREA	LUMINARIAS				LÁMPARAS			NIVEL	OBSERVACIONES
COD.		La	An	Al	m ²	CT	F	I	M	F	I	M	LUX	
M-1	CUARTO DE VENTILACIÓN DE EMERGENCIA	20,5	8	4,7	155*	10	2X40			20			45	F-3B2
M-1a	PASILLO ENTRE M-1 Y M-2	4,81	8	3,0	36,6	1	2X40			2			45	F-3B2
M-2	CUARTO DE EQUIPOS ELECT. N° 1	7,00	12	2,7	84	13	2X40			26			176	F-3B2
M-3	CUARTO DE VENTILACIÓN DE EST. N° 1	15,1	15,1	3,0	177*	14	2X40			30			124	F-3B2
M-3-1	CUARTO INTERNO DE M-3	5,3	9,1	4,7	48	6		1X100			6		61	I-2A
M-4	CUARTO DE CONTROL DE TRENES	8,0	7,8	2,7	62,4	15	2X40			30			178	F-4A2
M-5	CUARTO DE BATERÍAS	4,8	7,8	2,7	37,1	4	2X40			8			30	F-5A2
M-6	CUARTO DE ASEO	2,3	4,8	3,0	11	2	2X40			4			110	F-3B2
M-7	CUARTO PARA BASURA	2,3	4,8	3,0	11	1	2X40			2			90	F-3B2
M-8	PASILLO	1,8	8,6	3,0	15,5	3	2X40			6			110	F-1A2
M-9	VESTIBULO ENTRADA N° 1	4,65	32,6	3,0	151,6	33	2X40			66			181	F-2A2
M-9-1	VESTIBULO ENTRADA N° 1	8,7	3,7	3,0	28,5*	6	2X40			12			181	F-2A2
M-10	ÁREA LIBRE OESTE	14,6	8,8		128,5	18	2X40			36			190	F-2A2; F-2A4
						9	4X40			36				
M-11	VESTIBULO ENTRADA N° 2	14,6	8,8		128,5	47	2X40			94			190	F-2A2
						6	2X40			12				
M-12	ÁREA PAGADA	15,2	96,8	2,7	1.471	11			1x175w			11	226	M-6A
						79	2x40			158		F-2A2		
						79	2x40			158		F-2A2		
						76	4x40			304		F-2A4		
M-13	VESTIBULO ENTRADA N° 3	13,7	8	3,0	109,6	16	2X40			32			130	F-2A2
						6,8	14			21	2X40			

COD.: CÓDIGO CT: CANTIDAD F: FLUORESCENTE I: INCANDESCENTE M: MERCURIO

[ANEXO N° 3]

Hoja de medición del nivel de iluminación y dimensiones de
ambientes de La C.A. Metro de Caracas.



ESTACIÓN CHACAO
SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL

AMBIENTES MEZZANINA		DIMENSIONES			ÁREA	LUMINARIAS			LÁMPARAS			NIVEL	OBSERVACIONES	
COD.		La	An	Al	m ²	CT	F	I	M	F	I	M	LUX	
M-14	ÁREA LIBRE ESTE	14,6	8,8		128,5	18	2X40			36			220	F-2A2
						9	4x40			36				F-2A4
M-15	VESTIBULO ENTRADA N° 4	19	8	3,0	152	22	2X40			44			150	F-2A2
		4,8	11		52,8	16	2X40			32				F-2A2
M-16	PA SILLO	2,2	8,6	2,7	18,9	3	2X40			6			108	F-1A2
M-17	VESTUARIO HOMBRES	6	3,6	2,7	21,6	3	2X40			6			180	F-1A2
M-18	SANITARIO HOMBRES	2,6	1,6	2,7	4,1	1	2X40			2			230	F-1A2
M-19	VESTUARIO MUJERES	3	3,8	22,7	11,4	3	2X40			6			90	F-1A2
M-20	SANITARIO MUJERES	2,6	1,6	2,7	4,1	1	2X40			2			190	F-1A2
M-21	CUARTO DEL GUARDIA DE ESTADO	3	4,6	2,7	13,8	4	4X40			16			428	F-14A
M-22	PRIMEROS AUXILIOS	2,5	3,6	2,7	9	2	4X40			8			400	F-14A
M-23	PA SILLO	4,4	1,4	2,7	6,1	1	2X40			2			95	F-1A2
M-24	OFICINA DE COBRO DE PASAJES	4,2	2,8	2,7	11,7	4	4X40			16			348	F-14A
M-25	DEPÓSITO COBRO DE PASAJES	4,2	3,2	2,7	13,4	2	4X40			8			340	F-14A
M-26	CUARTO DE VENT DE EST N° 2	16,2	15,4	3,0	191,1*	14	2X40			28			135	F-3B2
		5,4	9,2	4,7	49,7	2	2X40			4			72	F-3B2
						6		100			6			
M-27	CUARTO DE Eq. ELECTRICOS N°2	14	7,7	2,7	100*	14	2X40			28			140	F-3B2
M-28	CTO DE VENTILACION DE EMERGENCIA N°2	32	8,0	4,82	200*	8	2X40			16			60	F-3B2
						1	4X40			4				F-4A4
		14	6,4		81*	1	2X40			2			115	F-3B2

COD.: CÓDIGO CT: CANTIDAD F: FLUORESCENTE I: INCANDESCENTE M: MERCURIO

[ANEXO N° 4]

Hoja de medición del nivel de iluminación y dimensiones de ambientes de La C.A. Metro de Caracas.



ESTACIÓN CHACAO SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL

COD.	AMBIENTES MEZZANINA	DIMENSIONES			ÁREA m ²	LUMINARIAS				LÁMPARAS			NIVEL LUX	OBSERVACIONES
		La	An	Al		CT	F	I	M	F	I	M		
M-29	ESTANQUE Y CUARTO DE VÁLVULAS	8,0	6,3	3,0	50,4	6	2X40			12			125	F-642
M-30	SANITARIO MUJERES	3,8	2,9	2,6	11,0	2	2X40			4			190	F-1A2
M-31	SANITARIO HOMBRES	2,8	3,6	2,6	10,0	2	2X40			4			200	F-1A2
M-32	DEPÓSITO	4,0	1,0	2,6	4,0	1	2X40			2			85	F-1A2
M-34	PASILLO	1,4	9,0	2,6	11,3*	2	2X40			4			92	F-1A2
M-35	CUARTO DE DESAHOGO	2,5	1,2	2,6	3	1	2X40			2			129	F-1A2
		3,3	5,0		16,5	2	4X40			8		F-1A4		
M-36	CTO PERSONAL DE MANTENIMIENTO	6,0	3,6	2,6	21,6	2	4X40			8			160	F-1A4
M-37	CTO RESPUESTOS DE MANTENIMIENTO	7,6	3,6	2,6	27,3	3	4X40			12			160	F-1A4
M-38	CTO AUXILIAR N°1	5,3	2,5	2,6	13,5	3	2X40			6			190	F-1A2
M-39	CTO AUXILIAR N°2	5,4	2,5	2,6	13,5	3	2X40			6			180	F-1A2
M-40	INSPECTOR	5,5	4,2	2,6	23,1	2	4X40			8			105	F-1A4
M-41	REFRIGERACIÓN	7,6	4,5	2,6	34,2	3	4X40			12			136	F-1A4
M-42	PASILLO	1,5	8,5	2,6	12,7	3	2X40			6			122	F-1A2
M-43	TAQUILLA DE VENTAS ESTE	2,4	3,7	2,1	9,0	3	4X40			12			320	F-3B4
M-44	TAQUILLA DE VENTAS OESTE	2,4	3,7	2,1	9,0	4	2X40			8			275	F-3B2
M-50	PASILLO FINAL CTO VENTILACIÓN	3,0	2,7	3,0	8,1	2	2X40			4			380	F-3B2

COD.: CÓDIGO CT: CANTIDAD F: FLUORESCENTE I: INCANDESCENTE M: MERCURIO

[ANEXO N° 5]

Hoja de medición del nivel de iluminación y dimensiones de ambientes de La C.A. Metro de Caracas.



ESTACIÓN CHACAO

SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL

COD.	AMBIENTES ANDEN	DIMENSIONES				ÁREA		LUMINARIAS			LÁMPARAS			NIVEL LUX	OBSERVACIONES
		La	An	Al	m ²	CT	F	I	M	F	I	M			
A-1	CTO DE VENT. DE EMERGENCIA N° 1	9,0	8,2	2,66	73,8	4	2X40				8			55	F-3B2
A-2	CAMARA DE COMPENSACION N° 1	12,9	8,0	2,66	103,0	6	2X40				12			90	F-3B2
A-3	EXTRACCION BAJO ANDEN N° 1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	90	A-2 y A-3 comparten la misma área
A-4	CAMARA DE COMPENSACION N° 2														No require Iluminación
A-5	SUMIDERO Y BOMBEO DE DRENAJES	6	2,5	2,66	15	2	2X40				4			115	F-3B2
A-6	CUARTO DE SERVICIO	5,3	1,8	2,66	9,5	2	2X40				4			195	F-3A2
A-7	CUARTO DE ESCALERA MEC. N° 5	5,3	1,8	2,66	9,5	2	2X40				4			190	F-3A2
A-8	VIA DEL TREN DIRECCION OESTE														No require Iluminación
A-9	ANDEN	8,2	150	3,4	1230	242	2X40				484			210	F-2A2
				3,0		48	4X40			96			F-4A2		
A-10	VIA DEL TREN DIRECCION ESTE														No require Iluminación
A-11	ARMARIO DE ASEO	5,3	1,8	2,66	9,5	2	2X40				4			180	F-3A2
A-12	CUARTO ESCALERA MEC. N° 6	5,3	1,8	2,66	9,5	2	2X40				4			190	F-3A2
A-13	CTO DE BOMBEO AGUAS NEG.	6	2,5	2,66	15	2	2X40				4			105	F-3B2
A-14	CAMARA DE COMPENSACION N° 3														No require Iluminación
A-15	EXTRACCION BAJO ANDEN N° 2	17,7	8,0	2,66	142,0	6	2X40				12			65	F-3B2
A-16	CAMARA DE COMPENSACION N° 4														No require Iluminación
A-17	CTO DE VENT. DE EMERGENCIA N° 2	7,0	8,0	2,66	56,0	4	2X40				8			80	F-3B2
BA	DUCTO NORTE	1,9	152	1,5	289	15		1X100				15		32	I-4A
	DUCTO MEDIO	1,8	148	1,5	266	15		1X100				15		30	I-4A
	DUCTO SUR	1,9	152	1,5	289	15		1X100				15		32	I-4A

COD.: CÓDIGO C: CANTIDAD F: FLUORESCENTE I: INCANDESCENTE M: MERCURIO **: DATOS POR CALCULAR

[ANEXO N° 6]

Hoja de medición del nivel de iluminación y dimensiones de ambientes de La C.A. Metro de Caracas.



ESTACIÓN CHACAO SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL

COD.	AMBIENTES ANDEN	DIMENSIONES				ÁREA		LUMINARIAS			LÁMPARAS			NIVEL LUX	OBSERVACIONES
		La	An	Al	m²	CT	F	I	M	F	I	M			
A-1	CTO DE VENT. DE EMERGENCIA N° 1	9,0	8,2	2,66	73,8	4	2X40				8			55	F-3B2
A-2	CAMARA DE COMPENSACION N° 1	12,9	8,0	2,66	103,0	6	2X40				12			90	F-3B2
A-3	EXTRACCION BAJO ANDEN N° 1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	90	A-2 y A-3 comparten la misma área
A-4	CAMARA DE COMPENSACION N° 2														No require Iluminación
A-5	SUMIDERO Y BOMBEO DE DRENAJES	6	2,5	2,66	15	2	2X40				4			115	F-3B2
A-6	CUARTO DE SERVICIO	5,3	1,8	2,66	9,5	2	2X40				4			195	F-3A2
A-7	CUARTO DE ESCALERA MEC. N° 5	5,3	1,8	2,66	9,5	2	2X40				4			190	F-3A2
A-8	VIA DEL TREN DIRECCION OESTE														No require Iluminación
A-9	ANDEN	8,2	150	3,4	1230	242	2X40				484			210	F-2A2
				3,0		48	4X40			96			F-4A2		
A-10	VIA DEL TREN DIRECCION ESTE														No require Iluminación
A-11	ARMARIO DE ASEO	5,3	1,8	2,66	9,5	2	2X40				4			180	F-3A2
A-12	CUARTO ESCALERA MEC. N° 6	5,3	1,8	2,66	9,5	2	2X40				4			190	F-3A2
A-13	CTO DE BOMBEO AGUAS NEG.	6	2,5	2,66	15	2	2X40				4			105	F-3B2
A-14	CAMARA DE COMPENSACION N° 3														No require Iluminación
A-15	EXTRACCION BAJO ANDEN N° 2	17,7	8,0	2,66	142,0	6	2X40				12			65	F-3B2
A-16	CAMARA DE COMPENSACION N° 4														No require Iluminación
A-17	CTO DE VENT. DE EMERGENCIA N° 2	7,0	8,0	2,66	56,0	4	2X40				8			80	F-3B2
BA	DUCTO NORTE	1,9	152	1,5	289	15		1X100				15		32	I-4A
	DUCTO MEDIO	1,8	148	1,5	266	15		1X100				15		30	I-4A
	DUCTO SUR	1,9	152	1,5	289	15		1X100				15		32	I-4A

COD.: CÓDIGO C: CANTIDAD F: FLUORESCENTE I: INCANDESCENTE M: MERCURIO **: DATOS POR CALCULAR

[ANEXO N° 7]

Luxómetro YOKOGAMA de La C.A. Metro de Caracas, utilizado en la medición del nivel de iluminación.



GERENCIA DE INGENIERÍA DE DISEÑO

Para: Ing. Ramón Muñoz / Gerencia de Electromecánica

Asunto: Plan de Ahorro de Energía Eléctrica . Estación Chacao.

Estimado Ingeniero:

En el marco del Plan de ahorro de energía eléctrica emprendido por la C.A. Metro de Caracas, la Gerencia de Ingeniería de Diseño asumió el desarrollo del proyecto de sustitución del sistema de iluminación convencional con fluorescente T12 por la nueva tecnología LED, para la estación de pasajeros Chacao; a través de Tesis de Grado en proceso de elaboración por el estudiante Aarón Guzmán.

En este sentido, de acuerdo a lo conversado se requiere su colaboración para realizar la medición de niveles de iluminación en dicha Estación, para lo cual se necesita el equipo luxómetro y la persona que usted designe para que apoye al citado estudiante en la ejecución de dicha actividad; para lo cual propongo iniciar el miércoles 22/09/10, hora 9:00 pm, punto de encuentro caseta principal de la mencionada Estación.

Le saluda.

Ing. Osman Ventura B.

[ANEXO N° 8]

Luxómetro YOKOGAMA de La C.A. Metro de Caracas, utilizado en la medición del nivel de iluminación.



[ANEXO N° 9]

Hoja de resultados del ejercicio 1 de simulación en Dialux.

Iluminación LED

C.A. Metro de Caracas



DIALux

09.05.2011

Proyecto elaborado por Aarón Guzmán
Teléfono
Fax
e-Mail

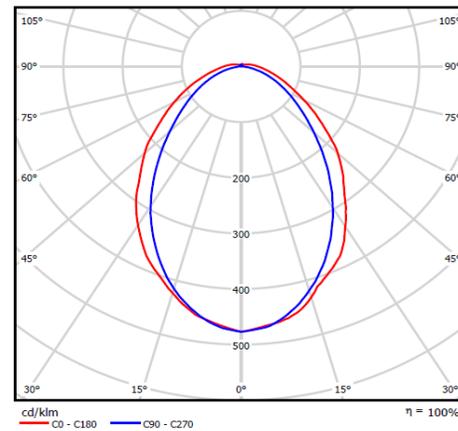
OSRAM 4008321966063 ST8-SD4-765 / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 97
Código CIE Flux: 55 82 95 97 100

SubstiTUBE; While luminaires with conventional control gear often produce more light than actually necessary due to their wide beam angle, the eco-friendly SubstiTUBE saves more than 40 % of energy. In contrast to the uncontrolled light of a T8 36 W fluorescent lamp, this user-friendly alternative conforms to standards while enabling an illumination which is even more than twice as bright. Special features: Very simple and reliable replacement for T8 36 W fluorescent lamps in existing CCG installations; Full ECG for reliable, compliant operation on 200...240 V or CCG; No rewiring of luminaires, just replace the starter (supplied); Illumination comparable to that of reflector luminaires; Extremely long average life of 50,000 hours (L70) for an attractive total cost package; RoHS-compliant and therefore mercury-free; Potential energy savings of up to 22 W in a luminaire with CCG; IP20 – suitable for indoor use or in an appropriately protected luminaire; Applications: Constant, economical operation in car parks, passageways and train stations; Background lighting in supermarkets, warehouses and retail outlets; Powerful illumination of kitchen work surfaces or cabinets

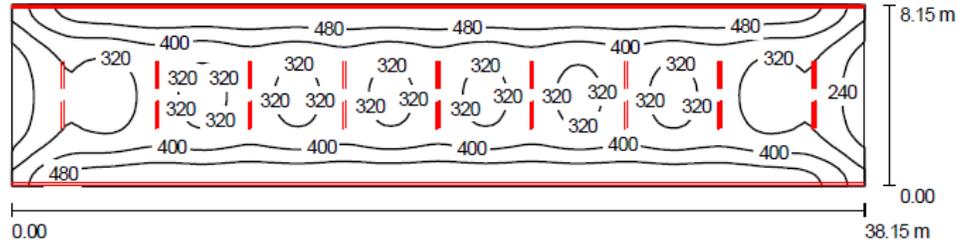


Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.



Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Estación Chacao. Andén Sector Este / Resumen



Altura del local: 3.400 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:273

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	391	181	555	0.464
Suelo	0	388	190	545	0.489
Techo	55	54	23	145	0.430
Paredes (4)	35	328	73	3992	/

Plano útil:

Altura: 0.100 m
Trama: 128 x 32 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	160	OSRAM 4008321966063 ST8-SD4-765 (1.000)	1550	23.6
Total:			248000	3776.0

Valor de eficiencia energética: 12.14 W/m² = 3.11 W/m²/100 lx (Base: 310.92 m²)

Proyecto 1

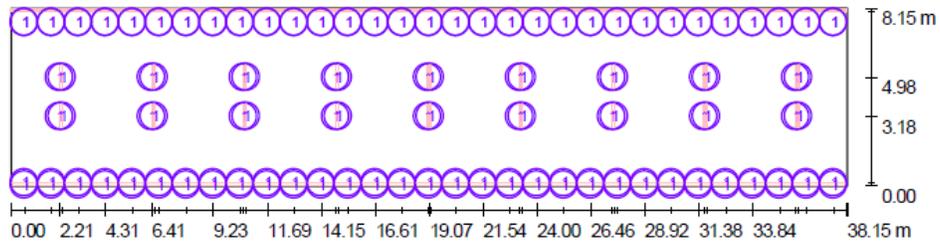


DIALux

06.06.2011

Proyecto elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail

Estación Chacao. Andén Sector Este / Luminarias (ubicación)



Escala 1 : 273

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación
1	160	OSRAM 4008321966063 ST8-SD4-765

Estación Chacao. Andén Sector Este / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 248000 lm
Potencia total: 3776.0 W
Factor mantenimiento: 0.80
Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	334	57	391	/	/
Suelo	331	57	388	0	0.00
Techo	8.13	46	54	55	9.43
Pared 1	318	41	359	35	40
Pared 2	129	49	178	35	20
Pared 3	319	41	360	35	40
Pared 4	130	49	180	35	20

Simetrías en el plano útil
E_{min} / E_m: 0.464 (1:2)
E_{min} / E_{max}: 0.327 (1:3)

Valor de eficiencia energética: 12.14 W/m² = 3.11 W/m²/100 lx (Base: 310.92 m²)

[ANEXO N° 10]

Hoja de resultados del ejercicio 2 de simulación en Dialux.

Iluminación LED

C.A. Metro de Caracas



08.05.2011

Proyecto elaborado por Aarón Guzmán
Teléfono
Fax
e-Mail

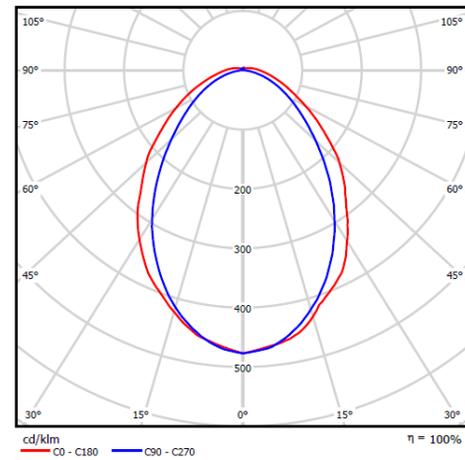
OSRAM 4008321966063 ST8-SD4-765 / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 97
Código CIE Flux: 55 82 95 97 100

SubstiTUBE; While luminaires with conventional control gear often produce more light than actually necessary due to their wide beam angle, the eco-friendly SubstiTUBE saves more than 40 % of energy. In contrast to the uncontrolled light of a T8 36 W fluorescent lamp, this user-friendly alternative conforms to standards while enabling an illumination which is even more than twice as bright. Special features: Very simple and reliable replacement for T8 36 W fluorescent lamps in existing CCG installations; Full ECG for reliable, compliant operation on 200...240 V or CCG; No rewiring of luminaires, just replace the starter (supplied); Illumination comparable to that of reflector luminaires; Extremely long average life of 50,000 hours (L70) for an attractive total cost package; RoHS-compliant and therefore mercury-free; Potential energy savings of up to 22 W in a luminaire with CCG; IP20 – suitable for indoor use or in an appropriately protected luminaire Applications: Constant, economical operation in car parks, passageways and train stations; Background lighting in supermarkets, warehouses and retail outlets; Powerful illumination of kitchen work surfaces or cabinets



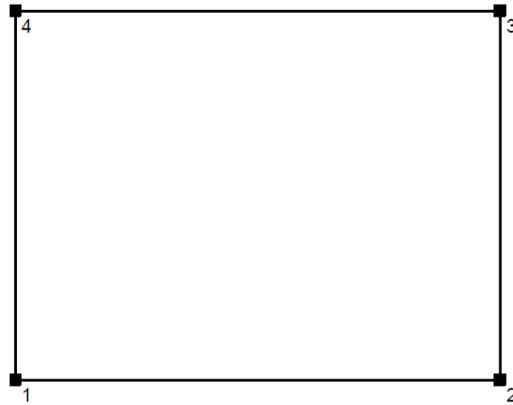
Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.

Estación Chacao. Cuarto de cobro de pasajes / Protocolo de entrada

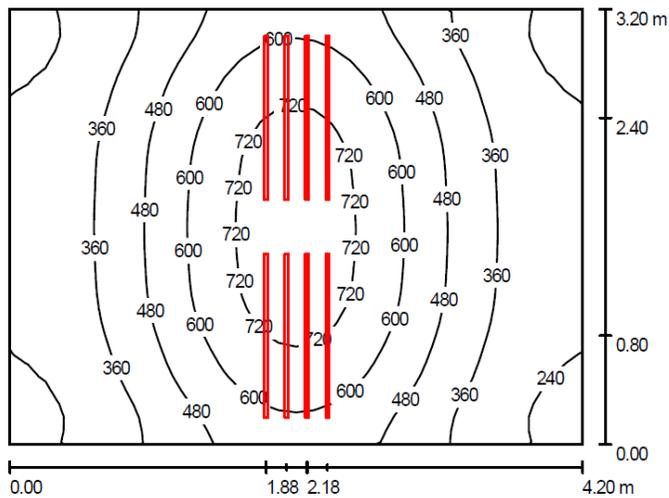
Altura del plano útil: 0.500 m
Zona marginal: 0.000 m

Factor mantenimiento: 0.80

Altura del local: 2.700 m
Base: 13.44 m²



Superficie	Rho [%]	desde ([m] [m])	hacia ([m] [m])	Longitud [m]
Suelo	20	/	/	/
Techo	70	/	/	/
Pared 1	50	(0.000 0.000)	(4.200 0.000)	4.200
Pared 2	50	(4.200 0.000)	(4.200 3.200)	3.200
Pared 3	50	(4.200 3.200)	(0.000 3.200)	4.200
Pared 4	50	(0.000 3.200)	(0.000 0.000)	3.200

Estación Chacao. Cuarto de cobro de pasajes / Resumen


Altura del local: 2.700 m, Altura de montaje: 2.700 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:42

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	466	207	792	0.444
Suelo	20	405	215	611	0.532
Techo	70	112	72	223	0.644
Paredes (4)	50	237	95	1050	/

Plano útil:

Altura: 0.500 m
 Trama: 32 x 32 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Porcentaje de puntos con menos de 400 lx (para IEQ-7): 42.58%.

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	8	OSRAM 4008321966063 ST8-SD4-765 (1.000)	1550	23.6
Total:			12400	188.8

Valor de eficiencia energética: $14.05 \text{ W/m}^2 = 3.01 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 13.44 m^2)

Iluminación LED



DIALux

08.05.2011

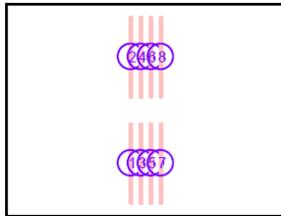
C.A. Metro de Caracas

Proyecto elaborado por Aarón Guzmán
Teléfono
Fax
e-Mail

Estación Chacao. Cuarto de cobro de pasajes / Luminarias (lista de coordenadas)

OSRAM 4008321966063 ST8-SD4-765

1550 lm, 23.6 W, 1 x 1 x OSRAM SubstiTUBE® ST8-SD4-765 (Factor de corrección 1.000).



N°	Posición [m]			Rotación [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	1.880	0.800	2.700	0.0	0.0	90.0
2	1.880	2.400	2.700	0.0	0.0	90.0
3	2.030	0.800	2.700	0.0	0.0	90.0
4	2.030	2.400	2.700	0.0	0.0	90.0
5	2.180	0.800	2.700	0.0	0.0	90.0
6	2.180	2.400	2.700	0.0	0.0	90.0
7	2.330	0.800	2.700	0.0	0.0	90.0
8	2.330	2.400	2.700	0.0	0.0	90.0

[ANEXO N° 11]

Desarrollo de los cálculos de los costos en Maple 14.

$$\begin{aligned}
 &> \text{restart; InvLED} := 763948.75; \text{InvConv} := 281406; \text{FactLED} := 37834.82; \text{FactConv} := 105215.64; \\
 &\quad \text{Reemp} := 104700; \alpha := 0.27; \\
 &\quad \quad \quad 763.948,75 \\
 &\quad \quad \quad 281.406,00 \\
 &\quad \quad \quad 37.834,82 \\
 &\quad \quad \quad 105.215,64 \\
 &\quad \quad \quad 104.700,00 \\
 &\quad \quad \quad ,27
 \end{aligned} \tag{1}$$

Se calcula el tiempo de amortización de la inversión para un interés de 0%, 6%, 12% y 18%:

$$\begin{aligned}
 &> \text{fsolve} \left((\text{InvLED} - \text{InvConv}) - (\text{FactConv} - \text{FactLED}) \cdot \lim_{i \rightarrow 0} \frac{((1+i)^n - 1)}{i \cdot (1+i)^n} - \text{Reemp} \cdot \text{evalf} \left(\lim_{i \rightarrow 0} \sum_{l=1}^n \left(\frac{1+\alpha}{1+i} \right)^l \right) = 0, n \right) \\
 &\quad \quad \quad 2.175830975
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 &> i := 0.06 \\
 &\quad \quad \quad 0.06
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 &> \text{fsolve} \left((\text{InvLED} - \text{InvConv}) - (\text{FactConv} - \text{FactLED}) \cdot \frac{((1+i)^n - 1)}{i \cdot (1+i)^n} - \text{Reemp} \cdot \text{evalf} \left(\sum_{l=1}^n \left(\frac{1+\alpha}{1+i} \right)^l \right) = 0, n \right) \\
 &\quad \quad \quad 2.366080961
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 &> i := 0.12 \\
 &\quad \quad \quad 12,00\%
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 &> \text{fsolve} \left((\text{InvLED} - \text{InvConv}) - (\text{FactConv} - \text{FactLED}) \cdot \frac{((1+i)^n - 1)}{i \cdot (1+i)^n} - \text{Reemp} \cdot \text{evalf} \left(\sum_{l=1}^n \left(\frac{1+\alpha}{1+i} \right)^l \right) = 0, n \right) \\
 &\quad \quad \quad 2.583221539
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 &> i := 0.18 \\
 &\quad \quad \quad 18,00\%
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 &> \text{fsolve} \left((\text{InvLED} - \text{InvConv}) - (\text{FactConv} - \text{FactLED}) \cdot \frac{((1+i)^n - 1)}{i \cdot (1+i)^n} - \text{Reemp} \cdot \text{evalf} \left(\sum_{l=1}^n \left(\frac{1+\alpha}{1+i} \right)^l \right) = 0, n \right) \\
 &\quad \quad \quad 2.835312131
 \end{aligned} \tag{8}$$

Se realiza el cálculo del interés atractivo de la inversión para la nueva tecnología, considerando el ahorro como un ingreso:

$$\begin{aligned}
 & \text{fsolve} \left((InvLED - InvConv) - (FactConv - FactLED) \cdot \frac{((1+ia)^5 - 1)}{ia \cdot (1+ia)^5} - Reemp \right. \\
 & \quad \left. \cdot \text{evalf} \left(\sum_{l=1}^5 \left(\frac{1+\alpha}{1+ia} \right)^l \right) = 0, ia \right) \\
 & \hspace{15em} 45,20\% \hspace{10em} (9)
 \end{aligned}$$

Se calcula el costo total en el año "cero" de las dos inversiones para los cinco años y su respectivo ahorro:

$$\begin{aligned}
 & \text{CCONV} := \text{fsolve} \left(\text{CCONV} = InvConv + FactConv \cdot \frac{((1+i)^5 - 1)}{i \cdot (1+i)^5} + Reemp \right. \\
 & \quad \left. \cdot \text{evalf} \left(\sum_{l=1}^5 \left(\frac{1+\alpha}{1+i} \right)^l \right), \text{CCONV} \right) \\
 & \hspace{15em} 1.266.616,96 \hspace{10em} (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{CLED} := \text{fsolve} \left(\text{CLED} = (InvLED) + (FactLED) \cdot \frac{((1+i)^5 - 1)}{i \cdot (1+i)^5}, \text{CLED} \right) \\
 & \hspace{15em} 882.264,70 \hspace{10em} (11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Ahorro} := \text{CCONV} - \text{CLED} \\
 & \hspace{15em} 384.352,26 \hspace{10em} (12)
 \end{aligned}$$

Se calcula el costo total en el año "cero" de las dos inversiones año a año:

$$\begin{aligned}
 & \text{for } n \text{ from 1 by 1 to 5 do} \\
 & \quad \text{fsolve} \left(\text{CConv} = InvConv + FactConv \cdot \frac{((1+i)^n - 1)}{i \cdot (1+i)^n} + Reemp \cdot \text{evalf} \left(\sum_{l=1}^n \left(\frac{1+\alpha}{1+i} \right)^l \right), \right. \\
 & \quad \left. \text{CConv} \right) \\
 & \text{end do} \\
 & \hspace{15em} 483.257,39 \\
 & \hspace{15em} 680.101,88 \\
 & \hspace{15em} 874.669,81 \\
 & \hspace{15em} 1.069.425,03 \\
 & \hspace{15em} 1.266.616,96 \hspace{10em} (13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{for } n \text{ from 1 by 1 to 5 do } \text{fsolve} \left(\text{CLEDI} = (InvLED) + (FactLED) \cdot \frac{((1+i)^n - 1)}{i \cdot (1+i)^n}, \text{CLEDI} \right) \text{ end do} \\
 & \hspace{15em} 796.012,16 \\
 & \hspace{15em} 823.184,53 \\
 & \hspace{15em} 846.211,97 \\
 & \hspace{15em} 865.726,75 \\
 & \hspace{15em} 882.264,70 \hspace{10em} (14)
 \end{aligned}$$

InvLED: Inversión tecnología LED // InvConv: Inversión tecnología Convencional // Fact: costo por facturación // Reemp: Costo por reposición de tubos // alfa: Inflación // i: interés // n: número de años // ia: Interés atractivo de la inversión // CCONV: Costo Convencional // CLED: Costo LED

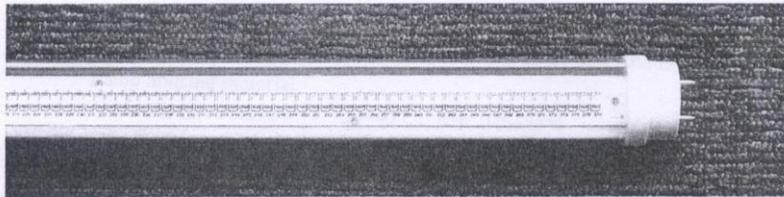
[ANEXO N° 12]

Hoja de descripción del producto tubo de luz LED (T8), descripción tanto en características y precio; adicionalmente términos y condiciones de la compra.

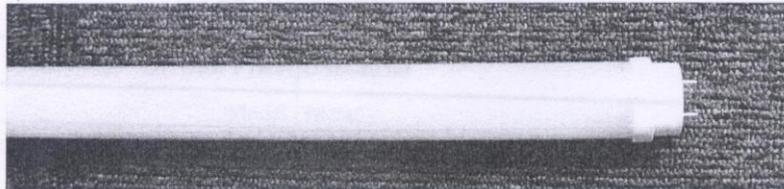
LED Tube Light (T8)	
Description of Goods: LED Tube Light (T8)	
Model: T8/120	
Light Source Type:	SMD, 276pcs
Color Temperature:	6000-6500K, optional
	Transparent PC Cover: 1200LM; Opaque PC Cover: 1500LM
Luminous Flux:	
Operation Voltage:	110VAC/220VAC, 50-60Hz
Rated Input Power:	16W (Equivalent to old fluorescent lamp: 40W)
Color Vendor Index:	75Ra
Material:	Cover: PC (transparent/opaque); Back: Aluminium Die-cast Aluminum and Extrusion Aluminum, Tempered Glass
Lamp housing material:	
Work Environment:	T: -20~40°C; RH: 10%-95%
Theoretical Life Time:	>40000 hours
Size:	120cm (4feet), T8
Packing:	12pcs/Carton, 1238*187*146mm/Carton, 7KG/ Carton
FOB Port:	Shanghai / Ningbo, China
MOQ:	100 PCS
Unit Price: USD 40.00	
Model: T8/240	
Light Source Type:	SMD, 552pcs
Color Temperature:	6000-6500K, optional
Luminous Flux:	Transparent PC Cover: 2400LM; Opaque PC Cover: 3000LM
Operation Voltage:	110VAC/220VAC, 50-60Hz
Rated Input Power:	32W (Equivalent to old fluorescent lamp: 80W)
Color Vendor Index:	75Ra
Material:	Cover: PC (transparent/opaque); Back: Aluminium Die-cast Aluminum and Extrusion Aluminum, Tempered Glass
Lamp housing material:	
Work Environment:	T: -20~40°C; RH: 10%-95%
Theoretical Life Time:	>40000 hours
Size:	240cm (8feet), T8
Packing:	12pcs/Carton, 2438*187*146mm/Carton, 12KG/ Carton
FOB Port:	Shanghai / Ningbo, China
MOQ:	100 PCS
Unit Price: USD 79.60	
Terms & Conditions:	
1. Price term: FOB	
2. Payment term: For samples: T/T, 100%	
For mass orders: T/T, 30% Deposit & 70% balance Before Shipment	

3. Delivery date: For samples : Around 10 days after price accept.
For mass production orders : 30 days after receipt of Deposit & sample approved
4. Remarks: Unit price follow the quantities, the size, and the artwork.
5. Validity : The quotation is valid for 30 days
5. Warranty : 1 year.

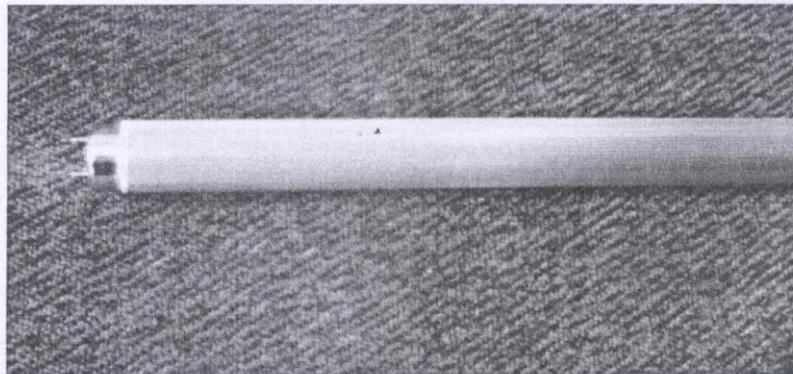
附图片: SMD / Transparent PC Cover:



SMD / Opaque PC Cover:



Aluminium Back:



Terms & Conditions:

Especificaciones de lámpara LED 12W reemplazo para incandescente de 100W.

(Fuente: <http://www.alibaba.com/>)



Quick Details

Place of Origin: Guangdong China (Mainland)	Brand Name: TOPTEC	Model Number: TTCLBE271001
Lamp Holder/Base: E27	Input Voltage: 220v	Lamp Holder: E27
Material: Aluminium	Shape: Round	Light: Color Scanning
Correlated Color Temperature: 3000k-7000k	Usage: Landscape Accent	LED Quantity: 10pcs
Power source: Epistar / CREE LED	Watt: 12W	Lumen: 910lm
Color: white	Material: aluminium	style: LED bulb e27
Size: Dia 80*145mm	Certification: CE/FCC/ROHS	Cap: E27

Packaging & Delivery

Packaging Detail:	Quantity: 50pcs / package Packing size: 420*460*335mm
Delivery Detail	< 100pcs 10-15days, 100-1,000pcs 15-20 days, >1,000pcs 20-25days

Specifications

- LED bulb e27, e27 led bulb
- 1. 12W 220V LED bulb e27
- 2. replace 75-100W incandescent bulb
- 3. CE / FCC / RoHS
- 4. Aluminium

LED bulb e27, e27 led bulb 12w directly replace 75-100w incandescent lamp

Especificaciones de lámpara LED 80W reemplazo para vapor de mercurio de 175W. (Fuente: <http://www.alibaba.com/>)



Shenzhen Forever-Light Electronics Co., Ltd

Quick Details

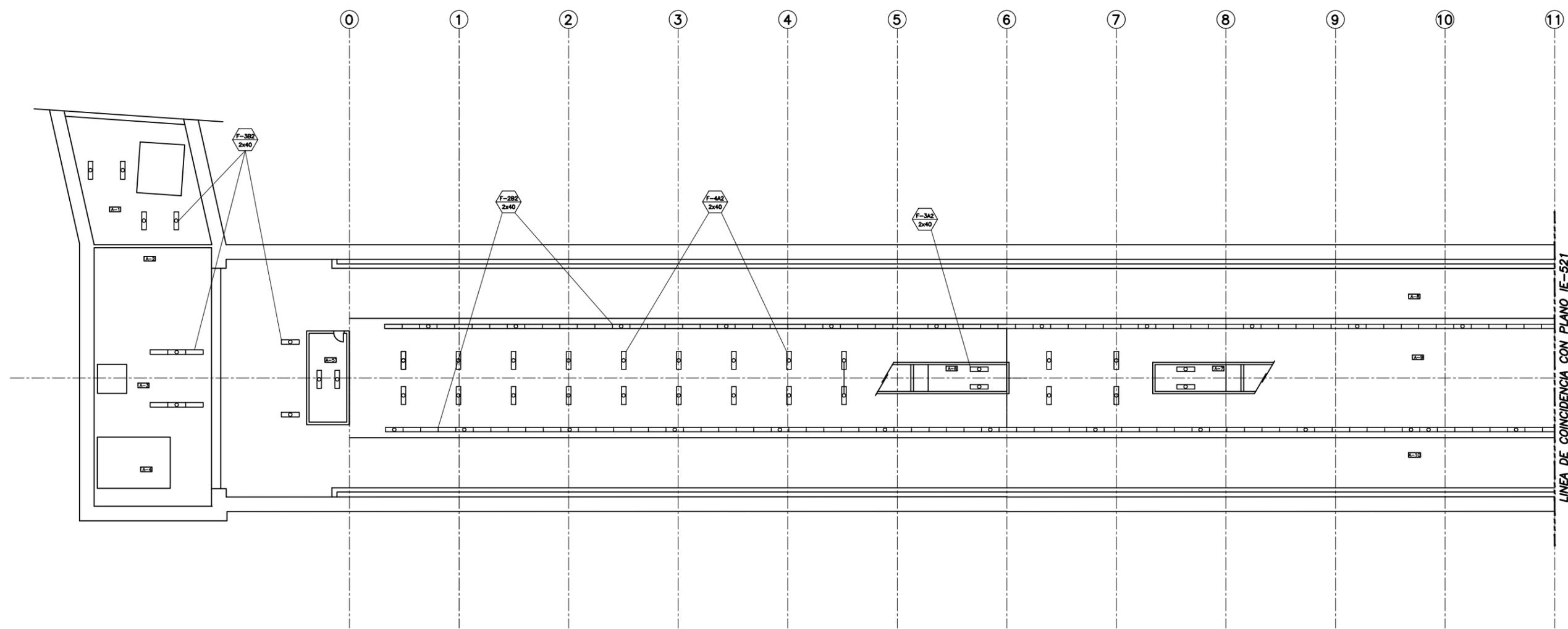
Place of Origin: Guangdong China (Mainland)	Brand Name: Agelong	Model Number: XL400GK80W
Work Voltage: AC 85V-265V / frequency 50-60Hz...	Power Factor(PF): more than 0.9	Luminous Efficiency: 70-80lm/W
Initial luminous Flux: 5600-6400lm	Beam Angle: 40	Color Temperature: 2700K-7000K
Life Span: 50000Hr	Net Weight(kg): 3.9	

Packaging & Delivery

Packaging Detail: Carton packing
Delivery Detail 10-25 DAYS FOR MOQ

Specifications

-
- 1.CE certificate
 - 2.High-purity Aluminium reflector
 - 3.High powerful LED light source
 4. 80W led
 - 5.Ten years manufacturer



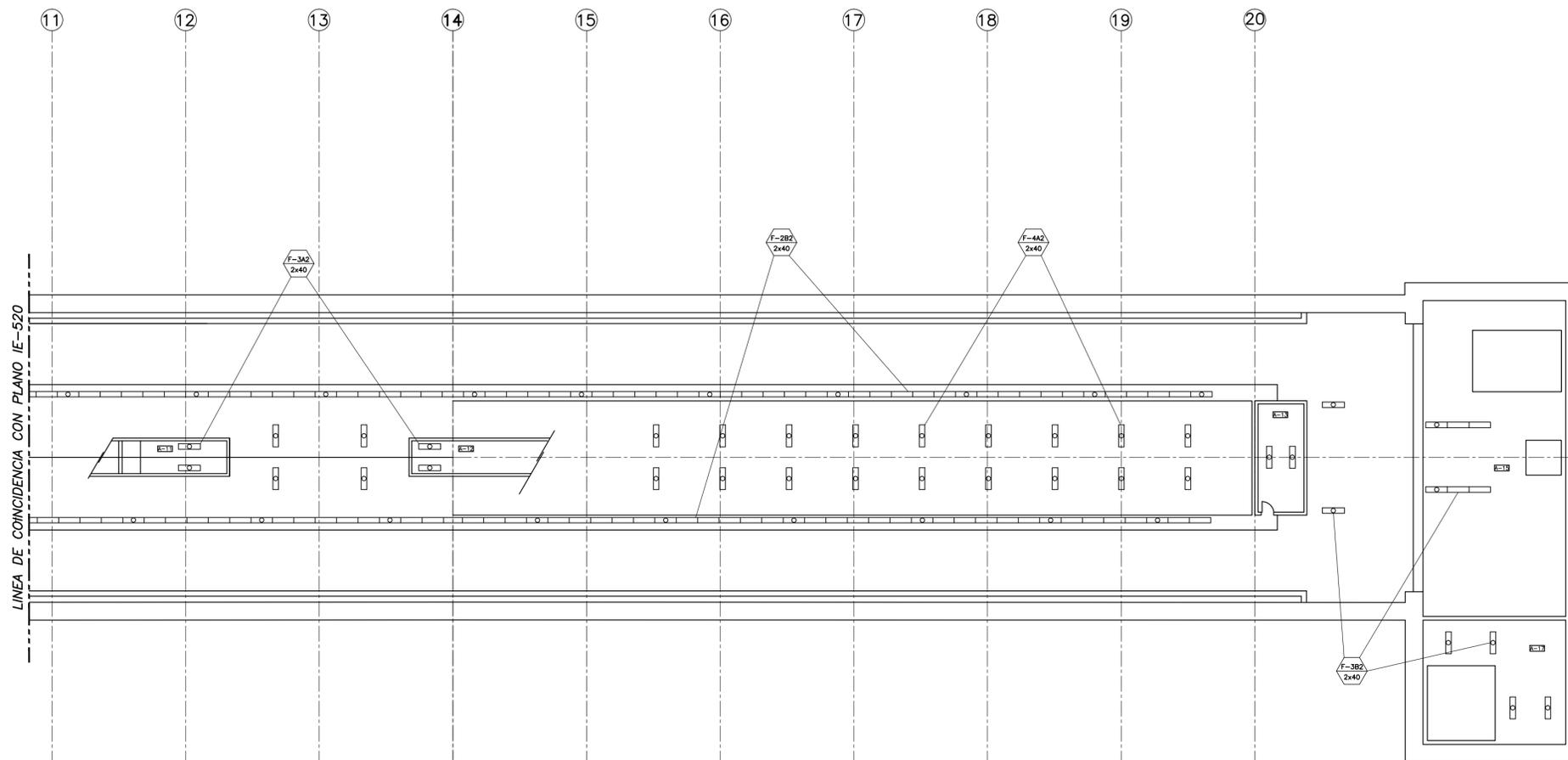
LEYENDA:

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TABLERO ELECTRICO PRINCIPAL 480/277V
	LUMINARIA FLUORESCENTE DE (1.20x.80)
	LUMINARIA FLUORESCENTE DE (1.20x.30)
	LUMINARIA INCANDESCENTE
	LUMINARIA DE MERCURIO (ALUMINIO ANODIZADO)
	TIPO DE LUMINARIA IDENTIFICACION DE LAMPARA CANTIDAD DE LAMPARAS Y WATIOS c/u
	IDENTIFICACION DE AMBIENTES

1 EST. CHACAO – ILUMINACION NIVEL ANDEN
 IET-520 PLANTA PARCIAL ENTRE COMIENZO DE ESTACION Y EJE 11 ESC. 1:100

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
 C.A. METRO DE CARACAS
 TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
 "PROYECTO DE ILUMINACION EN BASE A
 TECNOLOGIA LED DE ALTA EFICIENCIA"
 AUTOR: AARON GUZMAN PROF. GDA: A. CEPEDA TUTOR: OSMAN VENTURA FECHA: MAYO 2011





LEYENDA:

SIMBOLO	DESCRIPCION
	TABLERO ELECTRICO PRINCIPAL 480/277V
	LUMINARIA FLUORESCENTE DE (1.20x.60)
	LUMINARIA FLUORESCENTE DE (1.20x.30)
	LUMINARIA INCANDESCENTE
	LUMINARIA DE MERCURIO (ALUMINIO ANODIZADO)
	TIPO DE LUMINARIA IDENTIFICACION DE LAMPARA CANTIDAD DE LAMPARAS Y WATIOS c/u
	IDENTIFICACION DE AMBIENTES

1 EST. CHACAO - ILUMINACION NIVEL ANDEN
 (IE-521) PLANTA PARCIAL ENTRE EJE 11 Y FIN DE ESTACION ESC. 1:100

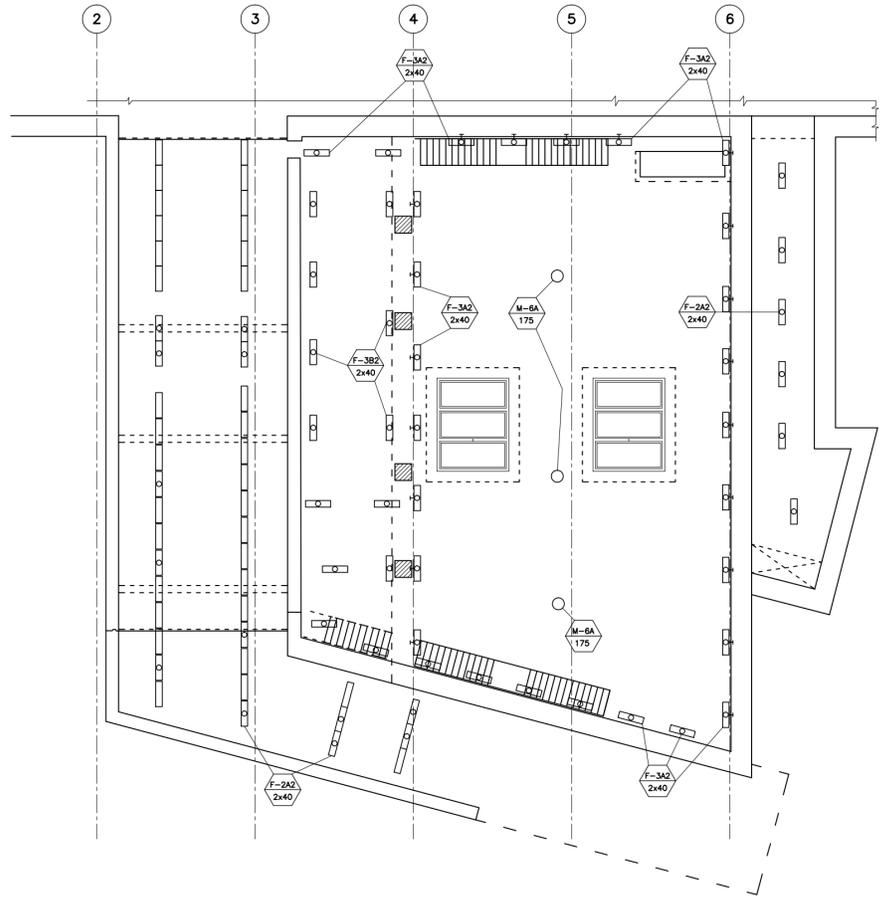
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
 TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
 PROYECTO DE ILUMINACION EN BASE A
 TECNOLOGIA LED DE ALTA EFICIENCIA

AUTOR: AARON GUZMAN PROF. GUIA: A. CEPEDA TUTOR: OSMAN VENTURA FECHA: MAYO 2011

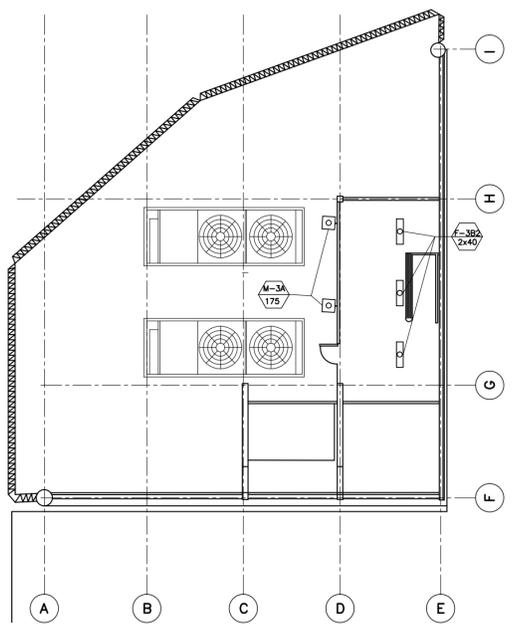


LEYENDA:

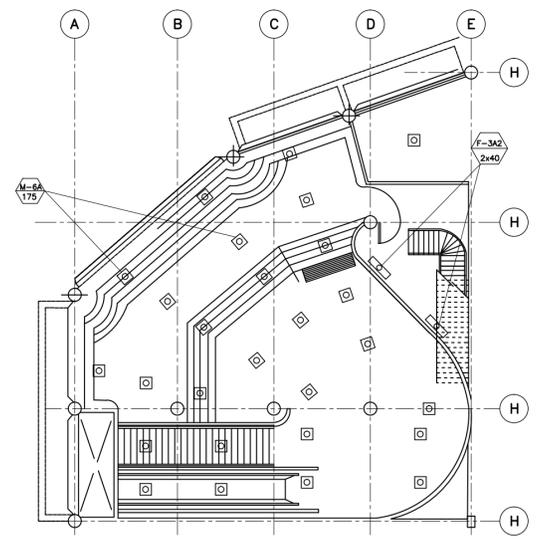
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TABLERO ELECTRICO PRINCIPAL 480/277V
	LUMINARIA FLUORESCENTE DE (1.20x.60)
	LUMINARIA FLUORESCENTE DE (1.20x.30)
	LUMINARIA INCANDESCENTE
	LUMINARIA DE MERCURIO (ALUMINIO ANODIZADO)
	TIPO DE LUMINARIA IDENTIFICACION DE LAMPARA CANTIDAD DE LAMPARAS Y WATOS c/u
	IDENTIFICACION DE AMBIENTES



1 SUB-ESTACION DE TRACCION – PLANTA ILUMINACION
ENTRADA N° 2 – GALERÍA DE SERVICIOS ESC. 1:100
IET-540



2 PLANTA DE REFRIGERACION LOCAL – ALUMBRADO ESC. 1:100
IET-523

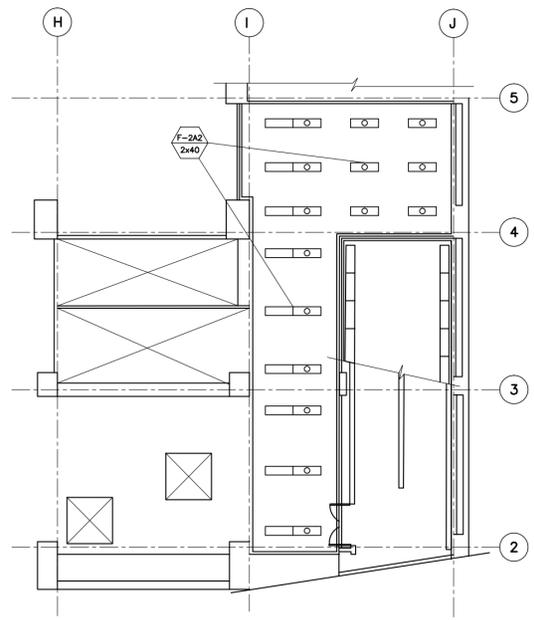


1 ENTRADA 2 – PLANTA ILUMINACION
NIVEL CALLE ESC. 1:100
IET-540

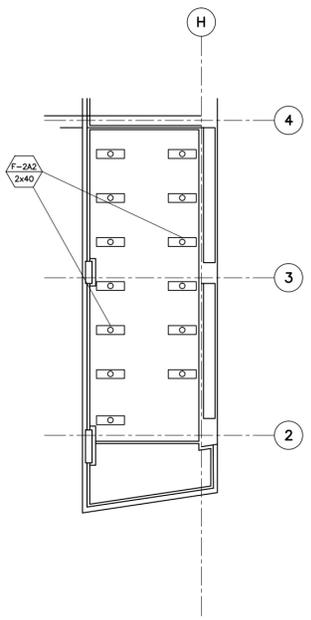
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
"PROYECTO DE ILUMINACION EN BASE A
TECNOLOGIA LED DE ALTA EFICIENCIA"

AUTOR: AARON GUZMAN PROF. GUIA: A. CEPEDA TUTOR: OSMAN VENTURA FECHA: MAYO 2011

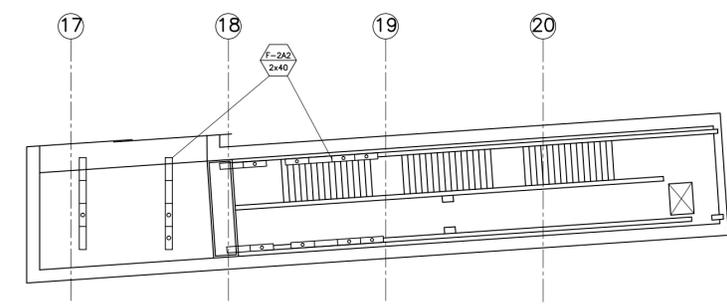




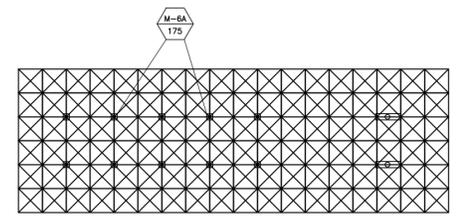
1 ENTRADA 1 - PLANTA ILUMINACION
 IET-545 PLANTA SOTANO NIVEL I ESC. 1:100



2 ENTRADA 1 - PLANTA ILUMINACION
 IET-545 PLANTA NIVEL CALLE ESC. 1:100



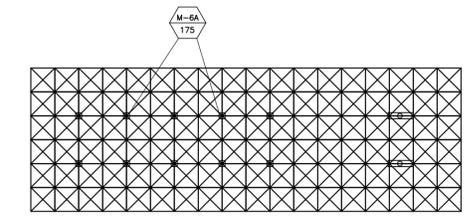
1 ENTRADA 4 - PLANTA ILUMINACION
 IET-526 PLANTA NIVEL LOSA ESC. 1:100



2 ENTRADA 4 - PLANTA ILUMINACION
 IET-526 PLANTA NIVEL CALLE - TECHO REFLEJADO ESC. 1:100

LEYENDA:

SIMBOLO	DESCRIPCION
	TABLERO ELECTRICO PRINCIPAL 480/277V
	LUMINARIA FLUORESCENTE DE (1.20x.60)
	LUMINARIA FLUORESCENTE DE (1.20x.30)
	LUMINARIA INCANDESCENTE
	LUMINARIA DE MERCURIO (ALUMINIO ANODIZADO)
	TIPO DE LUMINARIA IDENTIFICACION DE LAMPARA CANTIDAD DE LAMPARAS Y WATOS c/u
	IDENTIFICACION DE AMBIENTES

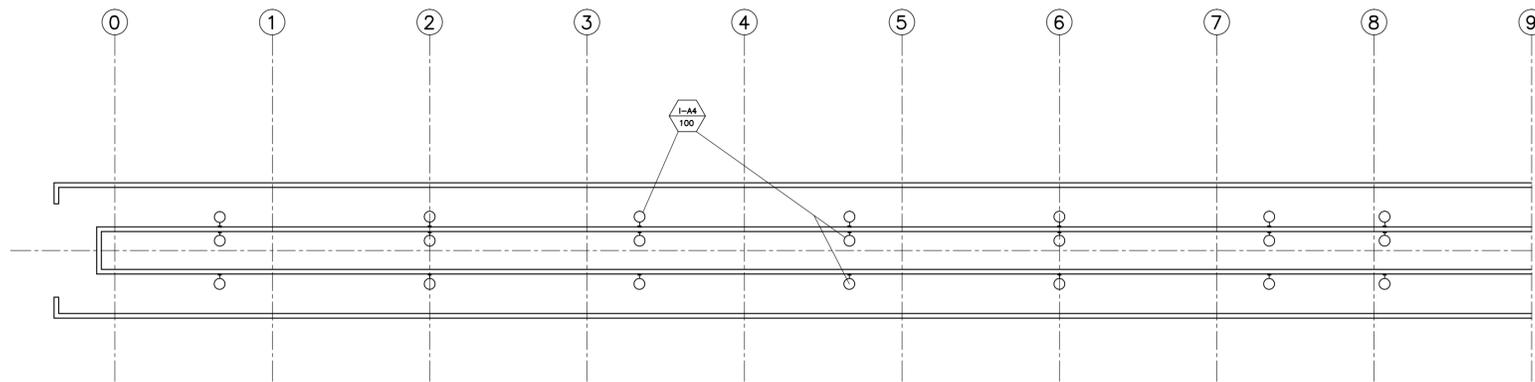


2 ENTRADA 3 - PLANTA ILUMINACION
 IET-525 PLANTA NIVEL CALLE - TECHO REFLEJADO ESC. 1:100

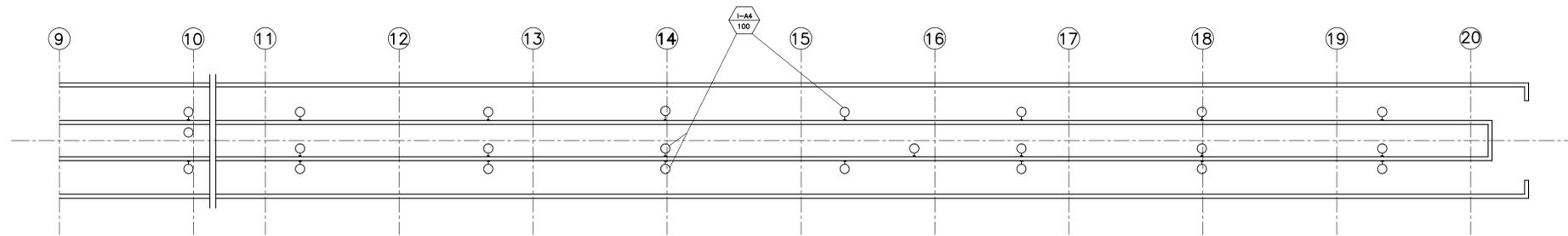
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
 C.A. METRO DE CARACAS

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
 "PROYECTO DE ILUMINACION EN BASE A
 TECNOLOGIA LED DE ALTA EFICIENCIA"

AUTOR: AARON GUZMAN PROF. GUIA: A. CEPEDA TUTOR: OSMAN VENTURA FECHA: MAYO 2011



1 EST. CHACAO - ILUMINACION NIVEL BAJO ANDEN
 IET-534 PLANTA PARCIAL ENTRE EJE 0 Y 9 ESC. 1:100



2 EST. CHACAO - ILUMINACION NIVEL BAJO ANDEN
 IET-534 PLANTA PARCIAL ENTRE EJE 9 Y 20 ESC. 1:100

LEYENDA:

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
■	TABLERO ELECTRICO PRINCIPAL 480/277V
○	LUMINARIA FLUORESCENTE DE (1.20x.60)
○	LUMINARIA FLUORESCENTE DE (1.20x.30)
○	LUMINARIA INCANDESCENTE
○	LUMINARIA DE MERCURIO (ALUMINIO ANODIZADO)
FLP	TIPO DE LUMINARIA
1-11	IDENTIFICACION DE LAMPARA
1-11	CANTIDAD DE LAMPARAS Y WATOS c/u
1-11	IDENTIFICACION DE AMBIENTES

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
 C.A. METRO DE CARACAS
 TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
 "PROYECTO DE ILUMINACION EN BASE A
 TECNOLOGIA LED DE ALTA EFICIENCIA"

AUTOR: AARON GUZMAN PROF. GUIA: A. CEPEDA TUTOR: OSMAN VENTURA FECHA: MAYO 2011

