



INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALÚRGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECÁNICA
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA

Trabajo de diploma

en opción al Título de Ingeniero Eléctrico

**Título: Viabilidad del uso de luminarias
LED en la empresa Comandante
Ernesto Che Guevara.**

Autor: Leandro Guerrero Cruz

Tutor: Ing. Roger Fonseca Bles

Dr. C. Secundino Marrero Ramírez

Curso: 2012-2013

‘Año 55 de la Revolución’

Declaración de autoridad

Yo, Leandro Guerrero Cruz, autor de este trabajo de diploma con título: “Viabilidad de la iluminación LED en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara”, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Leandro Guerrero Cruz

Diplomante

Ing. Roger Rafael Fonseca Bles

Tutor

Pensamientos

Hay la misma diferencia entre un sabio y un ignorante que entre un hombre vivo y un cadáver.

Las ciencias tienen las raíces amargas, pero muy dulces los frutos.

Aristóteles

Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma a mi familia, en especial a mis padres Luis Guerrero Pérez y Vilma Cruz Cruz, a mis hermanas Liudmila Guerrero y Lisbeth Guerrero por su incondicional apoyo.

Agradecimientos

Dedico mi Trabajo de Diploma en primer lugar a mi familia, quienes me han apoyado a lo largo de toda la carrera y que son una parte fundamental de mi vida.

Muy especial a Luis Guerrero Pérez, Vilma Cruz Cruz, Lisbeth Guerrero Cruz y Liudmila Guerrero Cruz, quienes siempre le estaré agradecido por el apoyo incondicional y su confianza en mí.

A mi tutor Roger Rafael Fonseca Bles por su ayuda incondicional.

A todos mis compañeros, en especial a los que compartieron mi vida de becado, quienes siempre estarán en un lugar importante de mi vida.

Resumen

En el trabajo se plasma un estudio del sistema de alumbrado de la sección administrativa y vía principal de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECG) con el objetivo de proponer un cambio de la tecnología convencional existente a tecnología LED. Primeramente se ejecuta un diagnostico en el edificio administrativo de la empresa ECG donde se encuentran varias deficiencias en cuanto a niveles de iluminación en los diferentes locales.

Se realiza un levantamiento de los diferentes tipos de lámpara y consumo nominal de las mismas, además de un estudio del nivel de iluminación normado para cada local y puesto de trabajo. Conjuntamente se caracterizaron las diferentes tecnologías existentes en el mercado para identificar la más eficiente actualmente.

También se hace un análisis técnico económico para justificar la sustitución de la tecnología tradicional existente por la que se propone.

Summary

In the work, a study of the system of illumination of the administrative section and the main avenue of the Comandante Ernesto Che Guevara's Enterprise (ECG) is carried out, with the objective of proposing a change from the conventional existent technology to technology LED. Firstly it is executed a diagnoses in the administrative building of the ECG where were found several deficiencies as for levels of illumination in the different ones local.

It's carried out a study of the different lamp types and nominal consumption of the same ones, besides a study of the level of illumination normed for each local and work position. Jointly the existent different technologies were characterized in the market to identify the most efficient at the moment.

A technical economic analysis is also made to justify the substitution of the traditional existent technology for which intends.

Índice

Pensamientos.....	II
Dedicatoria	III
Agradecimientos.....	IV
Resumen.....	V
Summary	VI
Introducción General	1
CAPÍTULO I. - Marco Teórico – Metodológico de la Investigación.....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Estado del arte	4
1.3 Base teórica de la Investigación.....	6
1.3.1 Definiciones.	6
1.3.2 Características comunes de las lámparas.	11
1.3.3 Métodos de iluminación.	14
1.3.4 Métodos de cálculo empleados.	16
1.4 Conclusiones.....	27
Capítulo 2 – Caracterización del sistema de iluminación.	28
2.1 Introducción.....	28
2.2 Descripción del circuito de iluminación.....	28
2.3 Caracterización del alumbrado que se utilizan en la actualidad.	29
2.4 Caracterización de las tecnologías de alumbrado a estudiar.	31
2.5 Mediciones de los niveles medios de iluminación (lux).....	39
2.5.1 Principales problemas que afectan la eficiencia del sistema de alumbrado actual.	44
2.6 Conclusiones.	44
Capítulo 3 - Propuesta para mejorar eficiencia energética en los Sistemas de Iluminación.	45
3.1 Introducción.....	45
3.2 Beneficios de la iluminación de los LED.....	45
3.2.1 Selección de la lámpara	48

3.3	Valoración económica.....	49
3.2.1	Ahorro por consumo.....	50
3.2.2	Análisis económico por medio de VAN, TIR, y PR.	53
3.2.3	Resultados Obtenidos	54
3.4	Impacto medio ambiental	55
3.5	Conclusiones.....	56
	Conclusiones.....	57
	Recomendaciones.....	58
	Bibliografía	59
	Anexo	60

Introducción General

El concepto de iluminación es el valor intrínseco de todo proyecto arquitectónico. La luz da vida a la obra y es, en cierta medida, el pincel al alcance del arquitecto. Estas ideas, que parecerían mera retórica, son una realidad que influye en el confort que se puede construir a partir de un adecuado manejo de la iluminación, y en el que uno de los retos principales ha sido igualar la calidad de la luz artificial con la natural manteniendo un bajo consumo y mínima contaminación medio ambiental.

La experiencia en muchos países es que existe un gran crecimiento de la demanda energética, que impone enormes presiones de costos a las compañías de servicios de energía para realizar inversiones adicionales en instalaciones de alumbrado, así como también considerables presiones ambientales. Adicionalmente, ante el rápido crecimiento de la demanda de energía, diversas organizaciones están implementando programas dirigidos a aumentar la eficiencia en el uso energético y buscando alternativas, limitando así el crecimiento en la demanda eléctrica que a su vez disminuye la emisión de gases de efecto invernadero, por generación de termoeléctricas. Ejemplo de esto es la iluminación LED, que se ha convertido en la tecnología de referencia en el mundo del alumbrado gracias al ahorro eléctrico y económico que consigue en las instalaciones donde está reemplazando a las lámparas tradicionales. Este ahorro está garantizado por su larga duración, su bajo consumo y la calidad de la luz que emiten. Los nuevos avances en iluminación con LED y la reducción de costes que generan, están situando a esta tecnología en el primer puesto en las nuevas instalaciones, acelerando el reemplazo tecnológico de las viejas lámparas tradicionales, que son mucho menos eficientes que los LEDs y que comienzan a desaparecer cada vez a mayor velocidad.

En la actualidad, la mayoría de los especialistas están de acuerdo en que la llegada de la fuente iluminación de estado sólido, el LED, va a revolucionar la industria del alumbrado, y la iluminación en particular. No hemos visto nada igual desde el descubrimiento de la luz eléctrica hace 126 años. La Iluminación de estado sólido se considera como la revolución más importante en tecnología de iluminación desde que



Edison inventase la bombilla incandescente. Aunque ha no se ha implementado dentro de los mercados de iluminación general, la creación de los LEDs de luz blanca hace algunos años ha transformado su potencial en el sector. Con el tiempo, la iluminación de estado sólido revolucionará el modo en que iluminamos nuestros hogares, nuestros coches, nuestras tiendas y nuestras ciudades.

Situación Problemática: Tanto a nivel nacional como en el sector industrial, se han tomado un conjunto de medidas asociadas a la reducción del consumo de energía en los sistemas de iluminación mediante la sustitución de lámparas a medida que avanza la tecnología con el objetivo de incrementar la eficiencia de estos sistemas. En estos momentos las reservas asociadas a estos tipos de lámparas, están en una etapa donde para poder continuar en la reducción de los costos de la energía en términos de iluminación, implica acometer un cambio tecnológico. La tecnología que hoy asoma en el mercado como una tecnología viable para poder reducir de modo significativo la energía consumida, es la tecnología LED.

En la actualidad, el alumbrado de estado sólido (LED) se considera la revolución más importante en tecnología de iluminación. Aunque aún los precios de esta tecnología son elevados, la empresa ECG apuesta por la misma debido a su bajo consumo y extensa vida útil entre otras ventajas, siendo necesario un estudio que demuestre la viabilidad de la utilización de esta, en la empresa.

Problema: Insuficiente conocimiento de los elementos técnicos y económicos que justifiquen la implementación de luminarias LED en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECG).

Objeto de estudio: Empresa ECG.

Campo de acción: Sistema de iluminación.

Hipótesis: De realizarse un estudio en el sistema de iluminación de la Empresa ECG, podría demostrarse la viabilidad de la implementación de una tecnología más eficiente (LED).



Objetivo: Demostrar la factibilidad técnico económica del uso de luminarias LED en la Empresa ECG.

Objetivos específicos:

- Caracterizar el estado del sistema de iluminación en una muestra de la Empresa ECG.
- Determinar insuficiencias y necesidades en cuanto a la calidad de iluminación.
- Proponer mejoras al sistema de acuerdo a los resultados obtenidos del estudio.
- Factibilidad económica.

Resultados a obtener:

- Determinar las reservas de energía asociadas al sistema de iluminación.
- Disminuir el consumo representado por concepto de iluminación en la empresa.
- Obtener el nivel de iluminación adecuado en las áreas seleccionadas.
- Conocer la viabilidad en el uso de luminarias led en la empresa.

CAPÍTULO I. - Marco Teórico – Metodológico de la Investigación.

1.1 Introducción

En el presente capítulo se desarrolla el basamento teórico que se intenta exponer en el trabajo a partir del problema existente, el cual mostrará la necesidad de la realización de dicha tesis y la perspectiva de los resultados para la futura aplicación de los mismos, pues se hace necesaria la indagación de nuevas variantes que aporten al mejoramiento de los sistemas de iluminación con el objetivo de engrandecer los índices de eficiencia de los mismos.

1.2 Estado del arte

Para el mejor entendimiento del objeto de estudio es preciso mencionar algunos trabajos precedentes sobre el tema a investigar, con la finalidad de determinar mediante sus resultados las deficiencias y los aportes que brindan entorno al tema propuesto. Diferentes publicaciones ya se han hecho acerca del contenido en cuestión, principalmente a nivel internacional, demostrando la gran importancia y el impacto de este en la esfera socio económico. A continuación se muestran algunos de los más influyentes para la realización de este trabajo.

(Monckey Coureaux, 2002). Este material constituye una guía metodológica para el proyectista eléctrico, puesto que recoge la información necesaria para la aplicación de un proyecto en un sistema de alumbrado, en el documento se brinda información así como conceptos primordiales luminotécnicos y los métodos de cálculo de iluminación para interiores y exteriores. También hace referencia sobre los aspectos de contaminación luminosa y sus principales fuentes, además nos brindan las afectaciones al medio ambiente, describiendo los aportes de contaminación medio ambiental que representa la iluminación artificial y el impacto de sus desechos.

(Cavaller, y otros, 2010) En este trabajo se hace énfasis en la aplicación de alumbrado tipo LED en exteriores, dando a conocer ventajas y desventajas de la iluminación LED sobre las tradicionales técnicas de alumbrado. Además expone el impacto medio ambiental que ocasionan estas viejas tecnologías y hace alusión sobre los parámetros

que brindan los fabricantes; por lo que el documento sirve de guía para la selección de la luminaria a escoger, teniendo en cuenta los diferentes parámetros luminotécnicos como la temperatura de color, vida útil entre otros. Por otra parte no tiene en cuenta la valoración económica de la propuesta a invertir.

(Cariluz, y otros, 2012) En este trabajo se recopila una variada gama de investigaciones afines al tema de estudio, los cuales son soporte a la investigación, así como también se desarrollan las bases teóricas y definición de términos básicos.

(Galí, 2010) Francisco Cavaller, de Carandini, plantea la influencia de diferentes parámetros, como la temperatura de funcionamiento de los led o su temperatura de color, en la eficacia lumen/watio y en la vida útil del led. También expone, como todos estos datos deben presentarse en la documentación técnica del producto o luminaria led para facilitar una mejor clasificación de la misma.

(Gandolfo, 2010) En este documento se hace un breve resumen de la evolución de la tecnología led y sus aplicaciones en las diferentes ramas de la iluminación, desde su aparición como fuente de luz, hasta en los últimos años y de lo que se espera de ella en el futuro, incluyendo la nueva tecnología Oled.

(Perujo, y otros, 2010) Explica las diferentes tecnologías de aplicación de estas fuentes de luz de led a los productos de iluminación exterior y la correspondiente mejora del factor de utilización. Esta investigación dio a conocer los diferentes tipo de LED, como están formados, su funcionamiento y construcción interna, como también sus diferentes aplicaciones. En este caso esta investigación da a conocer un poco más sobre el estudio de la tecnología LED y la diferencia de este respecto a los otros sistemas de iluminación que actualmente están siendo empleados en las industrias nacionales.

(David, 2010) El proyecto tiene como objetivo el diseño de un punto de luz para alumbrado comercial, que utilizará la tecnología del LED (diodo emisor de luz) para su funcionamiento. Esta investigación es de tipo experimental con diseño de campo, donde se utilizan la observación, encuesta, entrevistas y grabaciones, como instrumentos de recolección de datos, cuyos resultados arrojaron que la tecnología LED, rompe los

paradigmas en cuanto a iluminación se refiere ya que es un sistema de alta tecnología que hoy día se utiliza inclusive en los centros comerciales de alto consumo energético en los cuales se evidenció una reducción en el mismo y se demostró su efectividad y receptividad por los usuarios de este sistema de iluminación a través de la tecnología LED. El documento sirve como fuente de conocimiento y base de estudio para familiarizarse un poco más con esta nueva tecnología.

1.3 Base teórica de la Investigación

En este epígrafe se abordan los aspectos fundamentales a tener en cuenta en el trabajo como las definiciones luminotécnicas y los métodos de cálculo de iluminación. A partir de la valoración de estos métodos, se muestra un procedimiento general para el estudio o elaboración de proyectos de iluminación en interiores y exteriores, teniendo en cuenta los requerimientos actuales más importantes. Entre los aspectos que deben satisfacer a los usuarios, están, comodidad visual, rendimiento visual, entre otros.

1.3.1 Definiciones.

LED:

Viene de las siglas en inglés Lighting Emiting Diode (Diodo emisor de Luz). El LED es un diodo semiconductor que al ser atravesado por una corriente eléctrica emite luz. La longitud de onda de la luz emitida y por tanto el color, depende básicamente de la composición química del material semiconductor utilizado. Cuando la corriente atraviesa el diodo se libera energía en forma de fotón. La luz emitida puede ser visible, infrarroja o casi ultravioleta.

Flujo luminoso:

El flujo luminoso (F) es la parte del flujo de la energía emitida por una fuente de luz al espacio por unidad de tiempo, que provoca una sensación luminosa. Esta magnitud permite apreciar la cantidad de luz emitida por una fuente, se mide en lumen (lm). Como es lógico, la energía luminosa que desprenden las fuentes de luz es producto de la energía eléctrica que ellas consumen. Sin embargo toda esta energía eléctrica no se

transforma en luz visible o flujo luminoso ya que existen perdidas por calentamiento, radiación ultravioleta e infrarroja.

Para definir exactamente la unidad del flujo luminoso es preciso conocer el concepto de ángulo sólido.

El **Ángulo Sólido** (w) (ver figura 1.1) es el espacio limitado en una esfera por una zona de su superficie y los radios que van a su perímetro. Dicho ángulo tiene vértice en el centro de la esfera. La unidad del ángulo sólido es el estereorradián.

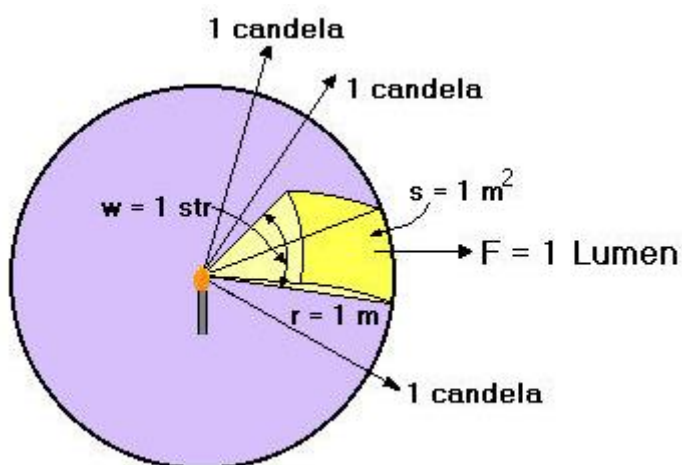


Figura 1.1 Definición de la unidad de flujo luminoso.

En general se define el flujo luminoso como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es Φ y su unidad es el lumen (lm). A la relación entre watts y lúmenes se le llama equivalente luminoso de la energía, y equivale a:

$$1 \text{ watt-luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$$

Intensidad luminosa.

La intensidad luminosa (I) es la densidad de flujo dentro de un ángulo sólido en una dirección determinada. Expresado en otros términos es la relación que existe entre el flujo luminoso que abandona una superficie y se propaga en un ángulo sólido, en una dirección dada. Dicho de otra forma, el flujo luminoso da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, por ejemplo una bombilla, en todas las direcciones del

espacio. Por contra, si pensamos en un proyector es fácil ver que sólo ilumina en una dirección. Parece claro que necesitamos conocer cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio y para eso definimos la intensidad luminosa.

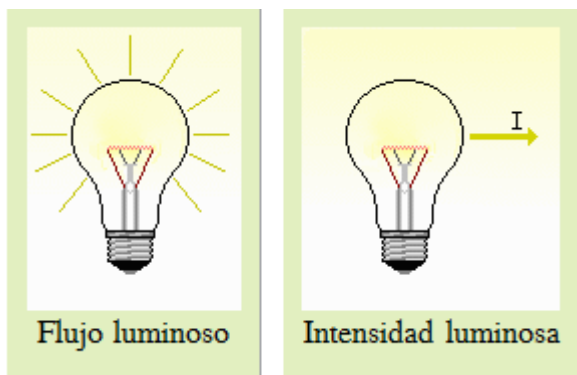
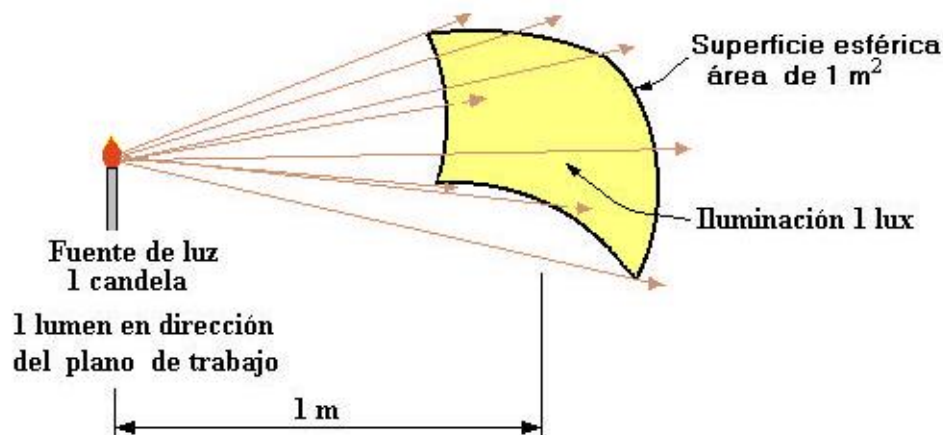


Figura 1.2 Diferencia entre flujo e intensidad luminosa

La unidad básica de la intensidad de una fuente es la Candela (cd), y se define como la intensidad luminosa producida por $1/6000000 \text{ m}^2$ de un cuerpo negro radiante a la temperatura de solidificación del platino ($t_s = 2046 \text{ K}$).

Un ejemplo de fuente de luz que emite 1 cd es una vela de cera en una dirección horizontal. La candela es considerada la unidad patrón y de ella se derivan otras unidades esto se muestra en la Figura 1.3.



$$1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lumen}}{1 \text{ m}^2} = \frac{1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ str}}{1 \text{ m}^2}$$

Figura 1.3 Definición de la unidad de iluminación (lux).

Iluminancia:

Tal vez haya jugado alguna vez a iluminar con una linterna objetos situados a diferentes distancias. Si se pone la mano delante de la linterna se puede ver que está fuertemente iluminada por un círculo pequeño y si se ilumina una pared lejana el círculo es grande y la luz débil. Esta sencilla experiencia recoge muy bien el concepto de iluminancia ver Figura 1.4.



Figura 1.4 Ejemplo de iluminación.

Su unidad es Lux (LX).

Un Lux equivale a un lumen por m^2 (lm/m^2). Se usa en fotometría como medida de la intensidad luminosa, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano.

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2 = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr} / \text{m}^2$$

El lux es una unidad derivada, basada en el lumen, que a su vez es una unidad derivada basada en la candela.

Un lux equivale a un lumen por metro cuadrado, mientras que un lumen equivale a una candela por estereorradián. El flujo luminoso total de una fuente de una candela equivale a 4π lúmenes (puesto que una esfera comprende 4π estereorradianes). A continuación en la tabla 1.1 se muestran ejemplos de iluminación. (Monckey Coureaux, 2002)

Tabla 1.1 Ejemplo de Iluminancia.

Ejemplo	Iluminancia
Noche con estrellas	0,001 Lx
Luna Llena	0,25 Lx
Vela a 1 metro	1 Lx
Iluminación de la calle	10 Lx
Iluminación de un pasillo	80-100 Lx
Salida o puesta de sol en un día despejado	400 Lx
Iluminación de una oficina	400-500 Lx
Estudio de Televisión	1.000 Lx
Invierno nublado	3.200 Lx
Pabellón de Operación	10.000 Lx
Luz solar en un día medio (mín).	32.000 Lx
Luz solar en un día medio (máx).	100.000 Lx
Luz solar en Desierto de Atacama (máx).	129.000 Lx

Temperatura del color:

La Temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un Cuerpo Negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo esta temperatura de color generalmente se expresa en kelvin, a pesar de no reflejar expresamente una medida de temperatura. En la siguiente figura se muestra los rangos de temperatura según los colores. (Monckey Coureaux, 2002)

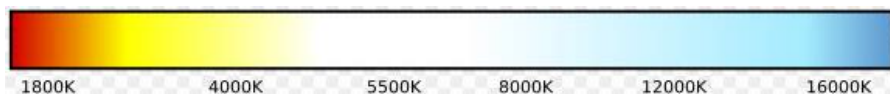


Figura 1.5 Temperatura de color.

Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa:

Anteriormente, al hablar del flujo luminoso, se menciona que de la energía consumida por la lámpara, no toda se transformaba en luz visible. Para hacernos una idea de la porción de energía útil, definimos el rendimiento luminoso como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida, que viene con las características de las lámparas. La unidad es el lumen por Watt (lm/W).

Deslumbramiento

El deslumbramiento es la sensación causada por una brillantez dentro del campo visual suficientemente mayor que aquella a la cual el ojo está adaptado, como para causar una pérdida del rendimiento visual. La incomodidad por deslumbramiento en los interiores de los edificios resulta molesta y disminuye la calidad de la iluminación es lo que ocurre cuando miramos directamente una bombilla o cuando vemos el reflejo del sol en el agua.

Existen dos formas de deslumbramiento, el perturbador y el molesto. El primero consiste en la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa; un ejemplo muy claro lo tenemos cuando conduciendo un coche se nos cruza otro con las luces largas. El segundo consiste en una sensación molesta provocada por la luz a nuestros ojos debido a que es demasiado intensa, por lo que llega a producir fatiga visual.

Se pueden originar deslumbramientos de dos maneras. La primera es por observación directa de la fuente de luz; por ejemplo, ver directamente las luminarias. El segundo es por observación indirecta o reflejada de las fuentes como ocurre cuando las vemos reflejada en alguna superficie (una mesa, un cristal, un espejo). (Monckey Coureaux, 2002).

1.3.2 Características comunes de las lámparas.

Rendimiento luminoso:

El rendimiento de una fuente de luz es una de las características más importantes a la hora de escoger el tipo de luminaria, y se determina dividiendo la salida (en lúmenes) entre la potencia de entrada (W). La unidad es lm/W.

Vida útil promedio:

La vida útil promedio nominal de una lámpara nos da una idea de que tan duradera puede ser la lámpara, la vida útil es el valor, en horas, al cual fallan la mitad de un grupo

grande de lámparas, en condiciones estándar de prueba. Cualquier lámpara particular o grupo de lámparas pueden descarriarse de los valores publicados de vida útil nominal.

Para lámparas fluorescentes y de descarga de alta intensidad, ese valor se ve afectado por el tiempo promedio que la lámpara está encendida antes de que sea apagada.

Depreciación del flujo luminoso:

A través del período de vida, las lámparas pierden su habilidad para originar luz debido a la caducidad. La depreciación del flujo luminoso simboliza el por ciento del flujo inicial en lúmenes que queda aproximadamente al 40 % de la vida nominal.

La depreciación del flujo luminoso se ve afectada por el tipo de balastro usado, por las tolerancias de voltaje y por el tiempo de encendido antes de que la lámpara sea apagada.

Índice de rendimiento del color:

El índice de reproducción cromática (IRC), caracteriza la capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz. El IRC ofrece una indicación de la capacidad de la fuente de luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz patrón de referencia. En la siguiente tabla se especifican los índices de rendimiento de color mínimos de las fuentes de luz expresados por grupos de calidad según la C.I.E.

Tabla 1.2 índice de color.

Grupo de rendimiento de color	Valores extremos IRC
1	≥ 85
2	70-85
3	≤ 70

Sistemas de Alumbrado.

En una instalación de alumbrado, de acuerdo a como se hace llegar la luz al plano de trabajo se obtiene el sistema de alumbrado. Las luminarias, como elemento que entrega la luz en el área a iluminar es quien define, en primera instancia al sistema de

alumbrado que se obtiene. La cantidad adecuada y buena calidad de la luz se puede obtener con diferentes sistemas de alumbrado, los cuales se han clasificado de acuerdo con la distribución luminosa vertical de las luminarias. La selección del sistema a utilizar se realiza sobre la base de las características físicas del local, la tarea visual a desarrollar y las condiciones de mantenimiento, lo que a su vez permite determinar el tipo de luminaria que se utilizará. La clasificación de los sistemas de alumbrado es la siguiente:

- 1- Indirecto: (90% -- 100% hacia arriba) (figura 1.6). El techo funge como fuente de luz secundaria. Es el sistema menos eficiente, presente una distribución sencilla, ausencias de sombras y brillos lo cual la hace aplicable en locales de baja altura (oficinas, escuelas, bibliotecas, etc.).
- 2- Semi-indirectos: (60% -- 90% hacia arriba) (figura 1.6). Es más eficiente que el indirecto, se logra una mejor relación de brillos entre la luminaria y el techo. Hay que tener cuidado con la producción de deslumbramiento.
- 3- General Difusa: (40% -- 60% hacia arriba) (figura 1.6). Es más eficiente que los sistemas anteriores ya que es mayor el porcentaje de luz que llega al plano de trabajo proveniente de la luminaria. La diferencia entre este sistema y el directo – Indirecto radica en la cantidad de luz emitida horizontalmente.
- 4- Semi-Directa: (60% -- 90% hacia abajo) (figura 1.6). Es más eficiente que lo sistemas anteriores. Evita el contraste entre la fuente y el techo, reduce el peligro de deslumbramiento. Es aconsejable su utilización para medianas alturas de emplazamiento de luminarias.
- 5- Directo: (90% -- 100% hacia abajo) (figura 1.6). Es el más eficiente de todos. Las luminarias para este tipo de sistema presentan curvas de distribuciones anchas o estrechas para ser utilizadas de acuerdo con las dimensiones del local y garantizar la menor pérdida de luz en las paredes, esto lo hace más económico. Se recomienda en instalaciones de grandes alturas.

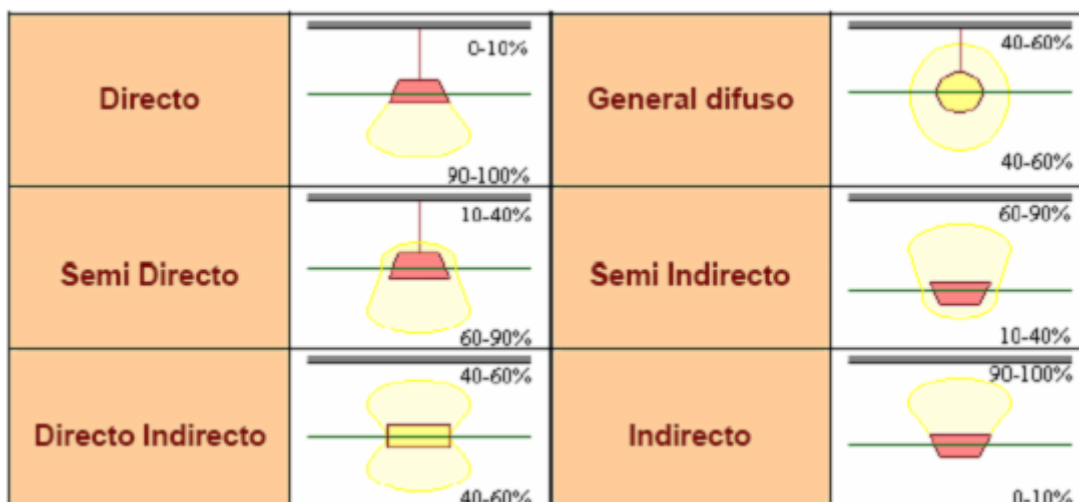


Figura 1.6 Representación de los sistemas de alumbrado.

1.3.3 Métodos de iluminación.

Esta clasificación determina los diferentes métodos de iluminación a utilizar teniendo en cuenta varios aspectos, en lo fundamental, por: tarea visual a desarrollar, nivel luminoso exigido, ubicación de los puestos de trabajos y características estructurales del local. Para obtener un alumbrado adecuado para el confort visual, cabe actuar desde una iluminación sensiblemente uniforme de la superficie del local, o bien iluminar de una forma individual y especial el lugar de estudio según un criterio localizado. Por último, también puede producirse el caso de que para determinadas tareas, aun teniendo un alumbrado general satisfactorio, sea necesaria una exigencia mayor en determinados puntos, a los que se les suplementará la iluminación, para adaptarlos a ciertos valores específicos en lugares donde se realizan importantes trabajos visuales. Estos tres tipos de alumbrado se denominan: general, localizado y suplementario. La denominación de suplementario indica que no se utilizará de forma única, sino cualquiera de los dos sistemas anteriores.

En general, ni el alumbrado local ni el suplementario deberán emplearse nunca solos, sino combinarse con el general. El problema radica en evitar una relación de contrastes excesivos y violentos entre el punto de estudio y sus alrededores. Para que el ojo humano no detecte diferencias de iluminación, es deseable una uniformidad de repartición de luminarias superior al 60%; por ello, los niveles de alumbrado general y local deberán ser proporcionales entre sí.

Los métodos de iluminación son:

1-alumbrado general: A través de este método se obtienen niveles de iluminación razonablemente uniformes en el área estudiada mediante un emplazamiento simétrico de las luminarias, siempre cuidando que la relación entre la separación y la altura de montaje se encuentre dentro de los límites establecidos por el fabricante sobre la base de las características de distribución luminosa de las luminarias. Ver figura 1.7.



Figura 1.7 Método de alumbrado general.

Se recomienda el empleo de este método de iluminación en talleres, oficinas, aula y todos aquellos locales donde se requiera una buena uniformidad luminosa, con niveles luminosos entre medios y bajos.

2- Alumbrado General localizado: En este método las luminarias se colocan en zonas específicas de trabajo donde se necesitan altos niveles de iluminación y las áreas adyacentes reciben luz de estas. Ver figura 1.8.

Se recomienda la utilización de este método en locales con mayores requerimientos de iluminación que en el método anterior y donde las exigencias de uniformidad luminosa no sean tan rigurosas, aunque en general se recomienda relación de brillos. Los tipos de luminarias utilizadas deben ser: directas, semidirectas o directas – indirectas, debido a la necesidad de la componente directa sobre el plano de trabajo.

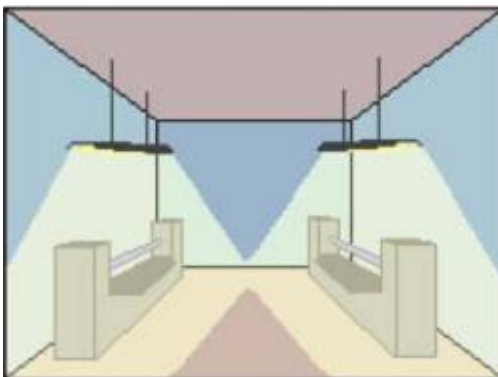


Figura 1.8 Método de alumbrado general localizado.

3- Alumbrado suplementario: Este método permite alcanzar altos niveles de iluminación en puntos específicos de trabajo mediante el enlazamiento de fuentes luminosas adicionales y su combinación con el alumbrado general o el localizado. Ver figura 1.9. Se recomienda fundamentalmente cuando se requieren altos niveles de iluminación, los cuales no sean económicamente alcanzables con el uso de otro método. Tiene su mayor aplicación en puestos de trabajos donde se requiere alta precisión, como son máquinas herramientas, mesas de dibujos, etc.

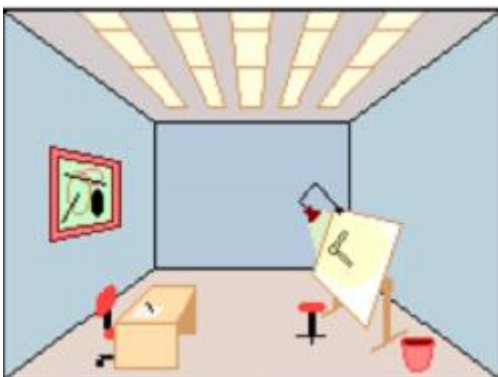


Figura 1.9 Método de alumbrado suplementario.

1.3.4 Métodos de cálculo empleados.

Para el tratamiento de este trabajo es obligatorio establecer el método de cálculo más conveniente, según las condiciones arquitectónica y característica de cada local. A continuación se realiza una descripción de los métodos utilizados.

❖ Método de lumen.

❖ Método de punto por punto.

El cálculo de una instalación de alumbrado depende de muchos factores, al igual que el diseño, la correcta valoración de los mismos posibilitará la toma de decisiones para alcanzar el fin propuesto con éxito. Al igual que otras aplicaciones técnicas, el cálculo de número de lámparas y luminarias para suministrar el nivel de iluminación requerido a una instalación puede requerir el uso de técnicas matemáticas complicadas o el uso de tablas, gráficas y fórmulas más sencillas. De hecho existen diferentes métodos abreviados para resolver este tipo de cálculo con distintos grado de exactitud y en dependencia del objeto que se desee alcanzar, los más importantes son:

Método de los lúmenes

La finalidad de este método es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos.

Datos a tener en cuenta.

- Dimensiones del local (figura 1.10) y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), normalmente de 0.85 m.

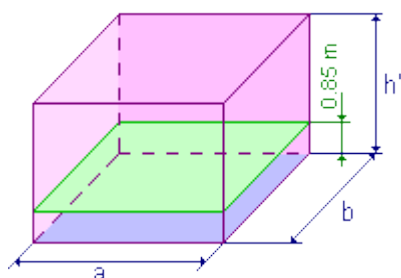


Figura 1.10 Dimensiones del local.

- Determinar el nivel de iluminancia media (E_m). Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrarlos tabulados en las normas y recomendaciones que aparecen en la bibliografía.

- Escoger el tipo de lámpara (incandescente, fluorescente, LED...) más adecuada de acuerdo con el tipo de actividad a realizar.
- Escoger el sistema de alumbrado que mejor se adapte a nuestras necesidades y las luminarias correspondientes.
- Determinar la altura de suspensión de las luminarias según el sistema de iluminación escogido. (ver figura 1.13 y tabla 1.14).

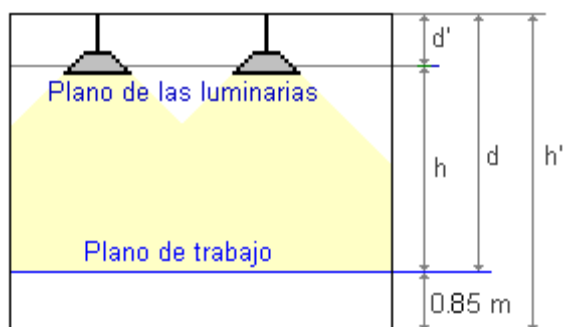


Figura 1.12 Altura del plano de trabajo y de suspensión de las luminarias.

donde:

h : altura entre el plano de trabajo y las luminarias

h' : altura del local

d : altura del plano de trabajo al techo

d' : altura entre el techo y las luminarias

Tabla 1.3 Formulas de la altura por tipo de local.

Tipos de local	Altura de las luminarias
Locales de altura normal (Oficinas, viviendas, aulas...)	Lo más altas posibles
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3} \cdot (h' - 0.85)$
	Máximo: $h = \frac{4}{5} \cdot (h' - 0.85)$
Locales con iluminación Indirecta	$d' \approx \frac{1}{4} \cdot (h' - 0.85)$ $h \approx \frac{3}{4} \cdot (h' - 0.85)$

- Calcular el índice del local (k) a partir de la geometría de este. En el caso del método europeo se calcula como se muestra en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Cálculo del índice del local.

Sistema de iluminación	Índice del local
Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0.85) \cdot (a + b)}$

Siendo **k** un número comprendido entre 1 y 10. A pesar de que se pueden obtener valores mayores de 10 con la fórmula, no se consideran pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

- Determinar los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo. Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado. Si no disponemos de ellos, podemos tomarlos de la siguiente tabla.

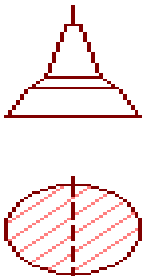
Tabla 1.5 Coeficiente de reflexión.

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	Claro	0.5
	Medio	0.3
Paredes	Claro	0.5
	Medio	0.3
	Oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

En su defecto podemos tomar 0.5 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo.

- Determinar el factor de utilización (η , CU) a partir del índice del local y los factores de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En las tablas encontramos para cada tipo de luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local (ver ejemplo tabla 1.6). Si no se pueden obtener los factores por lectura directa será necesario interpolar.

Tabla 1.6 Ejemplo de tabla del factor de utilización.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.54	.56	.52	.58	.56	.52	.58	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67	

- Determinar el factor de mantenimiento (f_m) o conservación de la instalación. Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual se puede tomar los valores de la tabla 1.7.

Tabla 1.7 Factor de mantenimiento.

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Cálculos

- Cálculo del flujo luminoso total necesario. Para ello aplicaremos la fórmula

$$\phi_T = \frac{E * S}{\eta * f_m} \quad (1.1)$$

donde:

- ϕ_T es el flujo luminoso total
- E es la iluminancia media deseada
- S es la superficie del plano de trabajo

- η es el factor de utilización
- f_m es el factor de mantenimiento
- Cálculo del número de luminarias.

$$N = \frac{\phi_T}{n * \phi_L} \quad \text{Redondeo por exceso} \quad (1.2)$$

donde:

- N es el número de luminarias
- Φ_T es el flujo luminoso total
- Φ_L es el flujo luminoso de una lámpara
- n es el número de lámparas por luminaria

Comprobación de los resultados

Por último, nos queda comprobar la validez de los resultados mirando si la iluminancia media obtenida en la instalación diseñada, es igual o superior a la recomendada en las tablas.

$$E_m = \frac{n * \phi_L * \eta * f_m}{S} \geq E_{tablas} \quad (1.3)$$

Método de Punto por Punto

Este método, como su nombre o indica, es empleado para determinar la iluminación en puntos específicos del área de trabajo en estudio. Es un método, que aunque tiene su mayor aplicación en la proyección de instalaciones de alumbrado viario, es complementario a cualquiera de los métodos vistos anteriormente, para su utilización en la determinación del nivel luminoso en puntos específicos del área en estudio. Para la aplicación de este método debe contarse con los datos fotométricos de la fuente luminosa empleada (curvas de distribución de intensidad luminosa), así como las dimensiones y características del local y el emplazamiento de las luminarias. Para la determinación de la componente directa de la iluminación en puntos situados

directamente debajo de la fuente luminosa, se aplica la Ley inversa de los cuadrados a través de las siguientes expresiones:

$$E = \frac{I}{H^2} \quad (1.4)$$

Es importante recordar que la validez de esta ley está condicionada al hecho de considerar a la fuente luminosa como puntual. Cuando los puntos en estudios se encuentran formando un cierto ángulo α respecto a la vertical, entonces se aplica la Ley del coseno.

$$E_H = \frac{I * \cos \alpha}{d^2} = \frac{I * \cos^2 \alpha}{H^2} \quad (1.5)$$

Si el punto en estudio está en un plano vertical, entonces se emplea la siguiente expresión:

$$E_H = \frac{I * \cos \alpha}{d^2} = \frac{I * \cos^2 \alpha^2 * \sin \alpha}{H^2} \quad (1.6)$$

A través de las expresiones anteriores se determina, para cada caso particular, la contribución de la componente directa de una fuente de luz al punto de estudio. Para obtener el valor total de dicha componente es preciso considerar el aporte de todas las fuentes de luz, obteniéndose finalmente:

$$E_d = \sum_{i=1}^n E_{d_i} \quad (1.7)$$

donde:

- E_d componente directa total de iluminación en el punto, (lux).
- E_{d_i} aporte de iluminación directa en el punto de estudio de la fuente i , (Lux).
- n número total de fuentes luminosas cuyos aportes son significativos al punto de estudio.

Además de determinar la componente directa de la iluminación proveniente de las fuentes luminosas, se puede estimar la componente indirecta, la cual es el resultado de

las múltiples reflexiones de la luz en las superficies del local. Este componente se considera uniforme en todo el plano de trabajo.

$$E_{ind} = \frac{F_{luminaria}}{\sum_{n=1}^i A_n} * \frac{\rho_{med}}{1 - \rho_{med}} \quad (1.8)$$

donde:

- E_{ind} componente indirecta de iluminación en el punto en estudio, (lux).
- $F_{luminaria}$ flujo luminoso de las luminarias, (lm).
- A_n Área de la superficie n, (m^2).
- ρ_{med} reflectancia media de las superficies del local. (%).
- i número de superficies consideradas en el local.

$$\rho_{med} = \frac{\sum_{n=1}^i (\rho_n * A_n)}{\sum_{n=1}^i A_n} \quad (1.9)$$

donde:

- ρ_n reflectancia de la superficie n, (%).

El valor E_{ind} , así calculado es válido no solo para el plano de trabajo sino también para las demás superficies del local, tanto verticales como horizontales.

Finalmente se puede obtener la iluminación inicial en el punto en estudio, según:

$$E_{toti} = E_d + E_{ind} \quad (1.10)$$

donde:

- E_{toti} iluminación inicial total en el punto, (lux).

También se puede obtener la iluminación mantenida en el punto tomando en cuenta el factor de pérdida de luz.

$$E_{totm} = KPL * (E_d + E_{ind}) \quad (1.11)$$

donde:

- E_{totm} iluminación mantenida total en el punto, (%).

Niveles de iluminación

Para los diferentes locales y zonas, se requieren diferentes niveles de iluminación, los cuales dependerán del trabajo o tareas que se requieran efectuar en cada lugar. El nivel de iluminación necesaria para conseguir una visión eficaz, rápida y confortable de la tarea encomendada, depende de cierto número de factores, entre los que podemos contar:

- Magnitud de los detalles, de los objetos que se trata de discernir.
- Distancia de estos objetos al órgano visual del observador.
- Factores de reflexión de los objetos observados.
- Contraste entre los detalles y los fondos sobre los que se destacan.
- Tiempo empleado en la observación de los objetos.
- Rapidez de movimiento de los objetos observados.

La mayor o menor dificultad de una tarea visual debe apreciarse en función de estos y otros elementos, tales como, las condiciones de los alrededores y el estado fisiológico de los ojos que han de ejecutar el trabajo, etc. Según la importancia de estos factores, se han prescrito distintos niveles de iluminación, mediante investigaciones científicas, para los distintos tipos de locales y las diferentes tareas visuales. Parte de los niveles de iluminación según norma cubana: ISO 8995/CIE S 008: 2003; se muestran en la tabla 1.8.

Tabla 1.8 Niveles de iluminación.

Tipo de interior, tarea o actividad	$\bar{E}_m$ lux	CUD_L	R_a	Notas
22. OFICINAS				
Archivo, copia, circulación, etc.	300	19	80	
Escritura, mecanografía, lectura, procesamiento de datos	500	19	80	Para trabajar en TPV, ver 4.10
Dibujo técnico	750	16	80	
Estación de trabajo CAD	500	19	80	Para trabajar en TPV, ver 4.10
Salas de conferencias y reuniones	500	19	80	La iluminación debiera ser controlable (regulable)
Buró (carpeta) de recepción	300	22	80	
Archivos	200	25	80	
23. VENTA AL DETALLE (al por menor)				
Área de ventas, pequeña	300	22	80	
Área de ventas, grande	500	22	80	
Área de (cajas) contadoras	500	19	80	
Mostrador (mesa) de envolver	500	19	80	

En la tabla anterior, formada por cinco columnas con cuatro de ellas realmente importantes podemos apreciar los diferentes niveles de iluminación establecidos por áreas según la tarea o actividad que se realiza en la misma. La primera columna contiene los locales destinados a funciones específicas, mientras que la segunda columna muestra el nivel medio de iluminación (E_m) requerido, asimismo, la tercera se refiere a la capacidad unificada de deslumbramiento (CUD) y la cuarta brinda el índice de rendimiento de color (R_a).



1.4 Conclusiones.

Durante el transcurso del presente capítulo se ha expuesto de manera detallada y de la forma más breve posible los principales aspectos relacionados a, características y métodos de cálculo existentes tanto para interiores como exteriores, dándole al interesado en el trabajo una introducción general sobre el tema que se pretende estudiar, además de los tipos y métodos de alumbrado principales logrando de esta manera un enfoque demostrativo generalizado acerca del objetivo a desarrollar.

Capítulo 2 – Caracterización del sistema de iluminación.

2.1 Introducción.

Este capítulo tiene como objetivo primordial caracterizar el sistema de alumbrado actual que se implementa en la empresa ECG, determinar las causas negativas y comparar estas tecnologías con la novedosa y eficiente tecnología LED, con el propósito justificar un remplazo por la misma. Este análisis partirá de las mediciones realizadas en las oficinas del edificio administrativo y en la avenida principal, que fueron escogidas como referente o muestra del resto de las áreas de la fábrica debido a que por sus condiciones de no contener locales con ambientes enrarecidos (polvo excesivo, gases, etc...) se prestan para acometer un primer estudio piloto que conlleve a estudios posteriores para la esparcimiento siempre que sea posible de esta tecnología. A través de los cálculos y simulación en el software "TROLL LITESTAR" se dejarán identificadas las deficiencias en los niveles de iluminación. Para realizar un buen estudio es necesario conocer los tipos de fuentes de luz, especialmente sus características y su funcionamiento, esto nos ayudará a tener una mejor idea de las ventajas de la tecnología LED sobre las actualmente utilizadas.

2.2 Descripción del circuito de iluminación

La Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara" de Moa es una empresa destinada a la producción de sulfuro de níquel más cobalto. El sistema de distribución eléctrico de iluminación está conformado como sigue:

Se enlaza con el Sistema Electro energético Nacional (SEN) a través de dos transformadores de 40 MVA los cuales alimentan al Dispositivo de Distribución Principal (DDP), este posee cuatro secciones de barras alimentados también por las secciones 1ra y 3ra con dos generadores de 12 MW.

El dispositivo de distribución principal le suministra energía a la propia central termo-eléctrica, así como las subestaciones de distribución 1SD, 2SD (que es reductora), 5SD y las subestaciones transformadoras ST6, ST7, ST8, ST12, ST14. Donde la 1SD es la encargada de suministrar energía a las subestaciones de alumbrado de la fábrica. Las

cuales tienen una potencia nominal de 630 kVA con una conexión delta estrella aterrado. Estas subestaciones están distribuidas por áreas a alimentar como se muestra en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Relación de subestación por área que alimenta.

Subestaciones	Carga
1TP 22 y 23	Lixiviación
1TP 24 y 25	Secadero
1TP 26	Recuperación
1TP 28	Calcinación
1TP 30 y 31	Hornos

El circuito de iluminación además de las áreas reflejadas en la tabla 2.1 posee un fragmento de la carretera Puerto-ECG, el área perimetral, cocina y comedor entre otras cargas. Debido al volumen de trabajo requerido se hace necesario tomar una muestra que sea suficiente como para evaluarla factibilidad de la tecnología a implementar, por lo que clasificando la iluminación en áreas de servicio y administración y en áreas de proceso se escoge para la parte experimental el edificio administrativo como ejemplo de iluminación interior siendo esta área una de las más grandes en esta clasificación. Como muestra para la implementación en exteriores se escogió la avenida principal por recoger las características típicas de este tipo de iluminación.

2.3 Caracterización del alumbrado que se utilizan en la actualidad.

Los fabricantes de luminaria actuales, han desarrollado durante los últimos años productos de muy alta eficiencia, pero si comparamos el producto actual con el que se utilizaba hace treinta años, nos asombrarían los resultados. Una lámpara de última generación ronda los 100 lúmenes/W mientras que una lámpara todavía hoy utilizada de vapor de mercurio a alta presión tiene una eficacia de 50 lúmenes/W, es decir, se ha duplicado el rendimiento. De igual modo, una luminaria actual dispone de reflectores con rendimientos del 80-85%, sistemas de regulación de lámpara que controlan la contaminación lumínica, etc. todo ello hace que sean elementos ya de por sí eficientes.

Es importante conocer los tipos de fuentes de luz (incandescente, luz mixta, mercurio y sodio), en especial sus principales características, funcionamiento y la distribución espectral; esto nos ayudará a seleccionar el tipo de fuente a utilizar en los cambios hacia las mejoras del nivel de iluminación. Los conjuntos formados por luminaria y lámpara son altamente eficientes, mucho mejores que de los que disponíamos hace años atrás. Así como, su evolución podría semejarse a la de la industria de automóviles, con menor consumo, más prestaciones, más velocidad, más comodidad, en fin, grande ventajas.

Estando ya agotadas las reservas de energía en materia de ahorro por eficiencia nos quedaría buscar en otra tecnología que reduzca los costos por concepto de consumo, siendo esta, en los momentos actuales, la iluminación de estado sólido o LED. A partir de la aparición del diodo con luz blanca, los conceptos de iluminación están migrando hacia modelos dotados de esta tecnología. La alta fiabilidad y larga vida del LED, junto con el bajo consumo eléctrico que precisa para su funcionamiento, hacen de la iluminación LED una de las grandes revoluciones del siglo XXI. La necesidad de reducir emisiones de CO₂ requiere de encontrar tecnologías más eficientes y respetuosas con el medio ambiente. Iluminar con esta tecnología ofrece reducciones en el consumo energético de entre un 50% y un 80% frente a los sistemas tradicionales en un mundo donde la iluminación supone el 20% del consumo energético mundial. Estas características nos obliga a conocer un poco más de su historia.

No cabe la menor duda de que en esta última década del siglo XXI, la iluminación está pasando por un momento histórico dentro del sector que está marcado por la aparición de una nueva tecnología: el diodo emisor de luz, o más comúnmente conocido como LED. Haciendo un breve resumen de la evolución histórica de esta nueva tecnología y partiendo de los diodos electrónicos, el primer hito importante es en el año 1962 cuando se desarrolla el primer led comercial que sólo emitía luz roja tenue de todos conocidos por su utilización para la señalización, o de funcionamiento en dispositivos electrónicos. Diez años después, en 1972, se industrializa su producción. Pero no es hasta finales de los años 80 y principios de los 90 cuando se incrementa sustancialmente el rendimiento de los led y se produce el hito más importante en la tecnología led, ya que además de

los led rojos, se desarrollan los materiales semiconductores para poder producir led que emitan luz en otras longitudes de onda dentro del espectro visible como son los amarillos, verdes y, sobre todo, los azules que son la base para la generación de “luz blanca” mayoritariamente utilizada en las aplicaciones de iluminación general. Durante la década de los 90, la tecnología LED sigue incrementando en rendimiento y conquista tanto la industria del automóvil como la industria de display o pantallas para dispositivos electrónicos comunes en telefonía, consolas, etc. Finalmente, durante los últimos 10 años, los esfuerzos de los fabricantes se han centrado en incrementar exponencialmente el rendimiento de los LED blancos hasta conseguir eficiencias que han permitido finalmente conquistar la industria de la iluminación mediante el desarrollo de productos o sistemas led acabados como pueden ser las lámparas LED, los módulos led, las luminarias LED y las estructuras constructivas led.

Los LED ya no solo son utilizados como bonitos indicadores lumínicos de color rojo o verde en los equipos electrónicos. El avance de la tecnología ha permitido que estos se estén utilizando como fuentes prácticas de iluminación. Los principales beneficios que brindan son, su larga vida útil, durabilidad y la eficiencia. Cuando se maneja adecuadamente un LED de potencia puede entregar decenas de miles de horas sin una degradación de la luz entregada.

2.4 Caracterización de las tecnologías de alumbrado a estudiar.

Para una mejor comprensión del objeto de estudio es necesario caracterizar las lámparas que se utilizan en la actualidad en la empresa ECG y a su vez la del estudio en cuestión. En la empresa, las lámparas que se utilizan son:

- Fluorescente.
- Vapor de Mercurio.
- Vapor de sodio de alta presión.
- Vapor de sodio de baja presión.

2.4.1 Lámparas fluorescentes:

La luminosidad se produce debido al fenómeno de la fluorescencia, que a partir de una descarga eléctrica dentro de un tubo cuya extensión es mucho menor que su diámetro,

en una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión. La radiación de mercurio en estas condiciones no es visible, por lo que se utilizan polvos fluorescentes, los cuales tienen la propiedad de cambiar la longitud de onda ultravioleta del arco, a longitudes de onda dentro del espectro visible.

Estas poseen la mejoría de no engendrar la luz desde un mismo punto focal, sino que lo hacen de forma suave y difusa por toda su extensión, sin producir resplandores ni sombras acentuadas. Por ello su luz aparece fresca y más eficiente, reduciendo el esfuerzo visual. La limitación de uso de lámparas fluorescentes se encuentra sobre todo en su altura de montaje, ya que para alturas superiores a los 3 metros, su aprovechamiento es reducido drásticamente.

Para operar una lámpara fluorescente es necesaria la presencia de un reactor o un balastro, apareciendo también para estos casos los balastros electrónicos. Generalmente los balastros se diseñan para operar a la vez un par de lámparas. De acuerdo a su tecnología de arranque, las lámparas fluorescentes se dividen en tres grupos:

1. Arranque instantáneo
2. Arranque rápido.
3. Arranque pro precalentamiento.

Arranque instantáneo. Estas también reciben el nombre “slim line”. A la vista se identifican por su casquillo de un solo contacto o pin en cada extremo. Estas lámparas no requieren calentamiento previo ni arrancador, pero requieren de un elevado voltaje de arranque. El balastro enciende las lámparas en serie una después de la otra una vez encendidas las dos lámparas, una parte del balastro deja de operar. En caso de que algunas de las lámparas se fundan, la otra puede seguir operando; no obstante, el balastro sigue funcionando y puede recibir daños de gravedad.

Arranque rápido. Las lámparas encienden en forma suave y con ligero retardo de hasta dos segundos. El balastro suministra una tensión de arranque menor que en caso Slim Line. No obstante, el balastro hace que los cátodos de las lámparas estén

permanentemente calientes. La identificación simple de estas lámparas se realiza observando sus dos contactos o pines en cada uno de los casquillos de sus extremos.

Arranque por precalentamiento. Estas lámparas requieren además del balastro, de un arrancador. Las lámparas, para poder operar, deben pasar primero por una corriente mayor que la de su operación normal, con la que se calientan sus cátodos. Estas lámparas se encuentran ya casi fuera del mercado. También presentan dos contactos o pines en cada extremo.

En la siguiente figura representamos el balance energético para una lámpara fluorescente, en el cual se evidencia las grandes pérdidas que sufren esta tecnología. Las pérdidas por calor representan el 71,5% de la energía eléctrica consumida por la lámpara, mientras que el 28% en luz visible. (Leonardo, 2011).

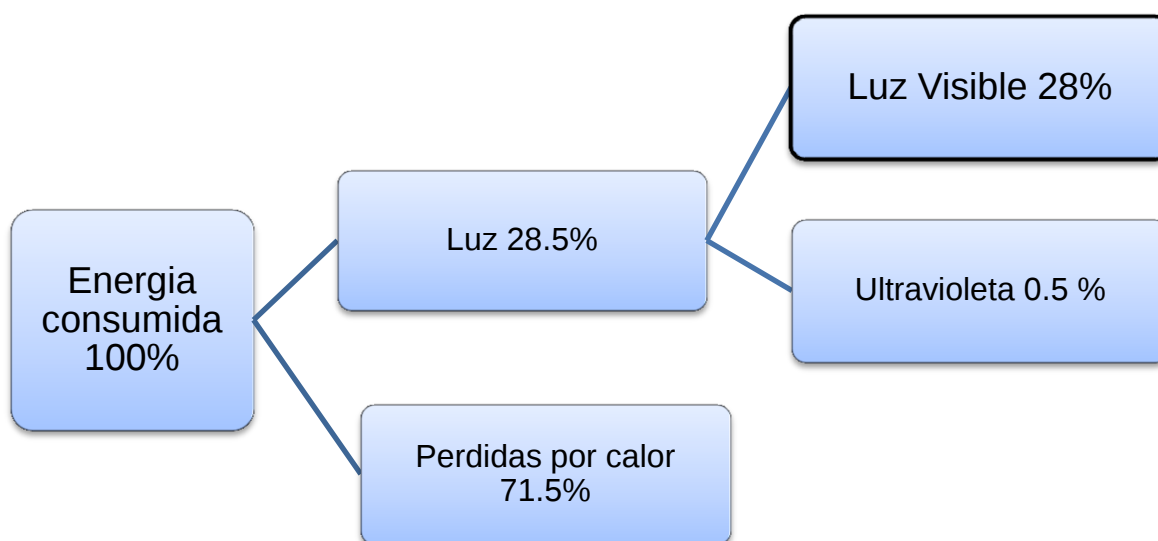


Figura 2.1 Balance energético de una lámpara fluorescente.

2.4.2 Lámparas de vapor de Mercurio.

Las lámparas de vapor de mercurio pertenecen a la familia identificada como lámparas de alta intensidad de descarga (HID). La luz se origina al paso de la corriente eléctrica a través de gas de mercurio gasificado de baja presión. Las lámparas de alta intensidad de descargas llevan un tubo de descarga gaseoso que va alojado en el interior de un bulbo protector. Este tubo de descarga opera a presiones y densidades y corriente de magnitud suficientemente alta para producir la radiación visible, cuando en sus electrodos se aplica una tensión que da lugar a un arco eléctrico que posteriormente ioniza el gas. Esto vaporiza el mercurio, calentándose rápidamente la lámpara, hasta alcanzar una condición estable.

La cantidad de mercurio puro que contiene una lámpara se gradúa con exactitud; también se incluye gas argón para facilitar la descarga eléctrica. Las lámparas producen una luz verde azulada blanquecina debido a la ausencia de radiaciones rojas que provoca la combinación mercurio – argón.

Estas lámparas son una de las que menos eficientes ya que tan solo el 16.5% de la energía la transforma en luz visible contra un 15% 4% y 64.5 de luz infrarroja, ultravioleta y pérdidas por calor respectivamente. (figura 2.2). (Leonardo, 2011).

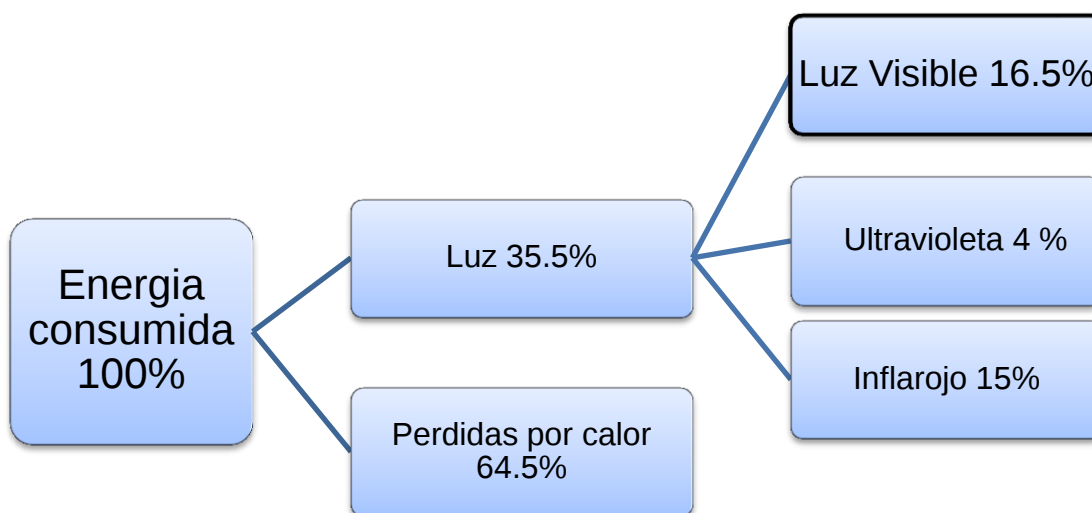


Figura 2.2 Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión.

2.4.3 Lámparas de Vapor de Sodio en Baja Presión (VSBP).

El principio de operación es el mismo que el de las demás lámparas de descargas, pero el gas de sodio se encuentra a baja presión y su geometría es de mayores dimensiones, llegando a presentar una longitud mayor a un metro. Este tipo de fuente luminosa es el de mayor eficacia luminosa, pero también la de menor rendimiento de color: tan solo 20%. Por ello, su brillantez, es totalmente monocromática en diferentes tonos de amarillo.

Para la iluminación de seguridad, las lámparas de sodio de baja presión ofrecen la mayor eficacia luminosa. Debido a que en el espectro de frecuencias que emite esta lámpara, está presente únicamente el color amarillo, se puede aplicar a lugares con mucha niebla y lugares con contaminación, ya que el ojo es más sensible a este color y facilita su visión.

Con respecto a su capacidad de convertir la energía en luz aventaja a las anteriormente estudiadas ya que llega a un 31% de eficiencia en este aspecto. Por otra parte genera gran cantidad de radiación infrarroja. ver figura 2.3 (Leonardo, 2011).

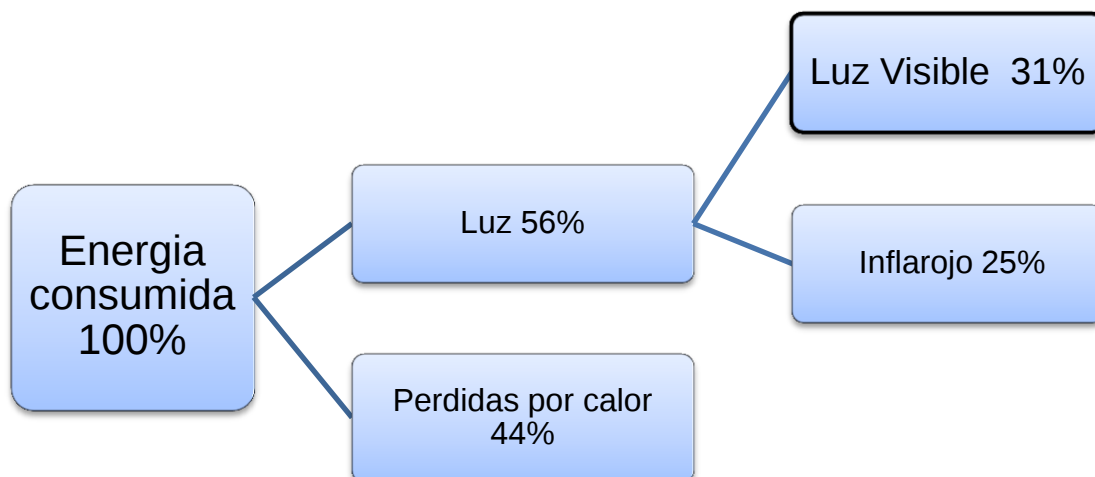


Figura 2.3 Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a baja presión.

2.4.4 Lámparas de vapor de Sodio en alta Presión (VSAP).

Estas lámparas trabajan bajo el igual principio que las de vapor de mercurio pero varían en sus componentes y geometría. Sus componentes son: sodio, mercurio y un gas noble que puede ser argón o xenón; el principal productor de la luz es el sodio que a diferencia de las lámparas de mercurio, se encuentra a alta presión. El mercurio en este caso es un corrector de color y controlador de voltaje; el xenón es empleado para iniciar la descarga eléctrica.

Estos tipos de lámparas son una de la más eficiente que está en funcionamiento en la fábrica. Esto se debe a su gran rendimiento el cual llega a un 40.55% de eficiencia, mientras que pierde un 56% en calor, nos tanto son de las utilizadas en la empresa más rentables. figura 2.4 (Leonardo, 2011)

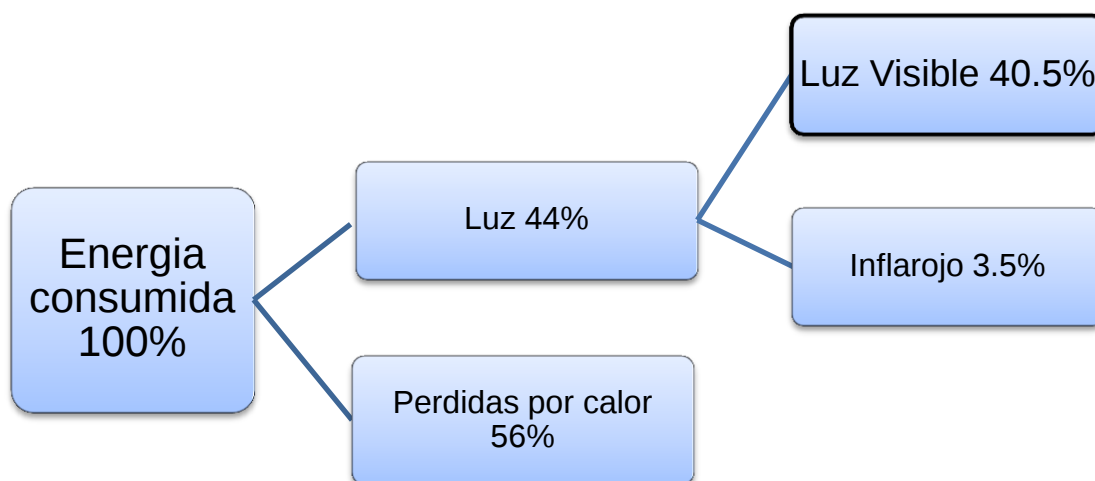


Figura 2.4 Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión.

2.4.5 Lámparas LED

Los LED son básicamente pequeñas ampollitas que se ajustan en un circuito electrónico, y que desprenden luz debido al movimiento de electrones en un material semiconductor. Un diodo es el dispositivo semiconductor más simple que existe. Se construye uniendo una sección de un material cargado positivamente, con otra de material cargado en forma negativa, y con electrodos en cada extremo, para que de

esta forma conduzcan electricidad (en la forma de electrones moviéndose libremente) en una dirección cuando se aplique voltaje al diodo. Los electrones se mueven en una serie de órbitas fijas alrededor del núcleo de los átomos. Cuando un electrón absorbe energía extra del voltaje introducido, salta a una órbita superior, y cuando regresa a la órbita inferior, emite la energía extra en forma de fotón.

A diferencia de los diodos comunes, en los que el material semiconductor absorbe la mayor parte de la energía lumínica antes de que ésta sea liberada, los LED están hechos para emitir una gran cantidad de fotones.

El color de la luz de un LED obedece a la cantidad de energía en ese fotón. A su vez, la cantidad de energía se dependerá del material utilizado para las capas. En la figura 2.5 se pueden observar los espectros de diferentes lámparas de LED dependiendo del material de su construcción y en la figura 2.6 se muestra físicamente su construcción. (Leonardo, 2011).

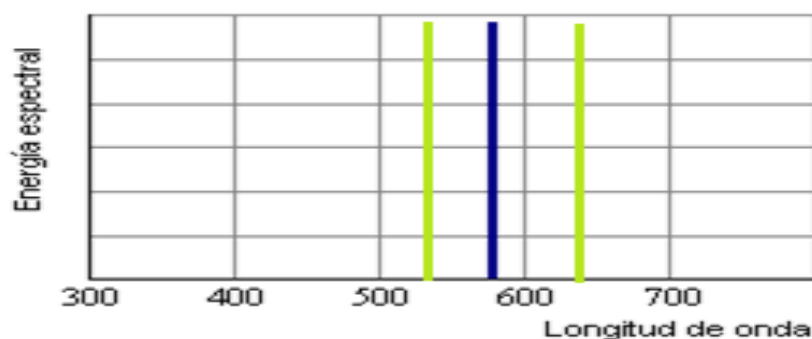


Figura 2.5 Espectros posibles de lámparas LED dependiendo del material utilizado.

La luz de un LED es direccional, por lo que se puede ajustar en la dirección que se requiera. No contienen ningún material peligroso, como mercurio, al contrario de las otras tecnologías. Gracias a la alta calidad de los materiales que lo componen y a su larga vida útil requieren ser reciclados menos a menudo.

Los LED de color, cubren todo el espectro de colores de luz visible, lo que ofrece al mercado innumerables posibilidades como se ve en la figura anterior. Además, poseen un alto índice cromático, gracias a lo cual los colores se ven más naturales. En la figura

se puede observar la construcción de un LED usado para lámparas de alumbrado público.

El tiempo medio de vida de una lámpara de LED para alumbrado público oscila entre 80.000 y 100.000 horas. La última tecnología de LED de montaje superficial y gran flujo luminoso está por encima de 100.000 horas.

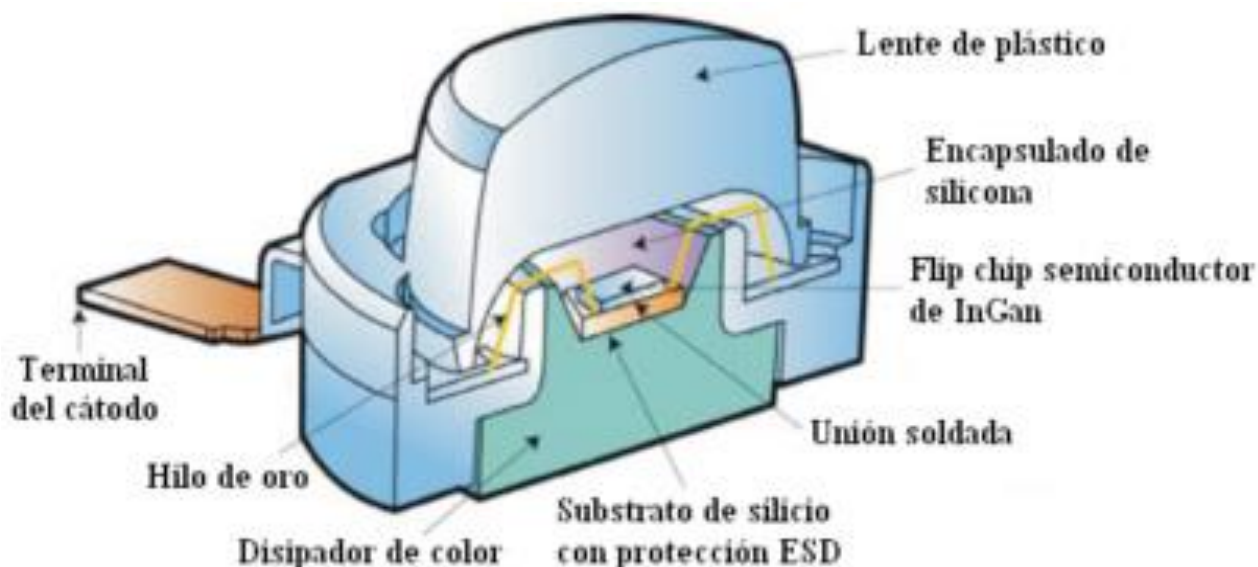


Figura 2.6 Construcción interna de un LED común usado en iluminación.

Una lámpara LED está compuesta de varias hileras de LEDs dependiendo del nivel de iluminación que se requiera. Las variaciones que se deben hacer son: número de ampollas y potencia de la fuente regulada de voltaje, de resto el esquema funcional es idéntico para reemplazar cualquier lámpara de otra tecnología de la potencia requerida. En la figura 2.7 se puede ver un diagrama de la eficiencia energética de una lámpara de estado sólido. Donde evidencia sus ventajas, como su 92.5% de energía consumida la convierte en luz visible con tan solo un 5% de pérdidas por calor (figura 2.7). (Leonardo, 2011).

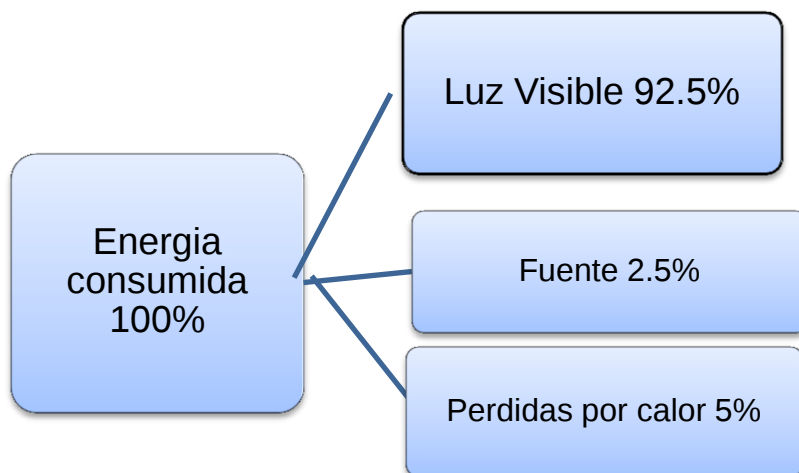


Figura 2.7 Balance energético de una lámpara LED.

Para hacer una pequeña reseña de las ventajas de la tecnología LED que después profundizaremos, están el ahorro de entre un 75% y un 90% en consumo energético, sin sacrificar intensidad lumínica, no generan rayos ultravioletas (UV) ni infrarrojos (IR), libres de mantenimiento y menor costo a largo plazo. La tecnología de construcción de LED ha venido mejorando con el tiempo y ya se pueden conseguir LED de menor tamaño, mejor rendimiento y menores costos. Entre las aplicaciones más divulgadas están:

- Alumbrado público de autopistas, avenidas, calles principales y secundarias.
- Iluminación en túneles, caminos y puentes.
- Iluminación de playas de estacionamiento, maniobras, descarga, muelles, etc.
- Iluminación de calles y áreas especiales en barrios, clubes, fábricas, etc.
- Iluminación en hipermercados centros comerciales Iluminación en hipermercados centros comerciales, exposiciones, etc.
- Iluminación en ambientes explosivos.

2.5 Mediciones de los niveles medios de iluminación (lux).

Las mediciones de lux se realizaron en el interior y exterior de la empresa en los locales ya expuestos, el trabajo fue hecho según la metodología explícita en la bibliografía, a

los valores obtenidos se les calculó el valor medio para luego trabajar con este resultado. Para lograr la representatividad del trabajo experimental se obtuvo el valor medio, el cual se comprobó a través de un análisis estadístico previo.

Para ejecutar las mediciones se tuvieron en cuenta los siguientes requisitos.

En caso de interiores:

- ✓ Se colocó el instrumento de medición lo más cerca posible al plano de trabajo.
- ✓ Se realizaron diversas lecturas en diferentes puntos del área a medir para poder obtener el valor medio y evitar la introducción de errores.

En caso de exteriores:

Se obtuvieron mediciones a niveles de suelo en diferentes puntos bajo las luminarias, donde dichos puntos corresponden al método de cálculos de viales.

Descripción del equipo de medición.

Las mediciones se realizaron con un luxómetro digital, portátil destinado para las mediciones de iluminación en las empresas industriales u otras áreas:

Marca: HIOKI.

Lux Máximo: 3420 lux.

Measurement Range: 0,00 ~ 19,99 / 199,9 / 1,999 / 19,990 / 199,900 Lx.

En la realización de las mediciones se tuvo en cuenta los conceptos luminotécnicos estudiados en el capítulo anterior, así como los métodos de alumbrado.

En la siguiente tabla se muestra parte de las mediciones hechas en el edificio administrativo (tabla 2.2 y anexo 1), además se realizó un levantamiento de las luminarias existentes por local (anexo 2).

Tabla 2.2 Mediciones en el edificio administrativo.

Local	Dimensiones (a*b)	Nivel de iluminación
Servicios Generales	6*3	255
Jefe de Seguridad y Protección	6*3	362
Director de economía y finanzas	3*6	311
Oficina de Cobros y Pagos	3*6	385
Oficina de Cobros y Pagos	6*6	287
Administrador de finanzas	6*3	314
UJC	4*4	246
PCC	3*6	182
Especialista Principal	3*5	402
Inventario	6*6	304
Contabilidad general	9*6	347
Contabilidad general	6*6	309
Entrega de Níquel	3*6	214
Control de la Producción	3*6	134
Financiamiento e inversiones	6*6	228
Salón de Protocolo	9*6	272
Grupo de planificación	3*6	243
Jefe de personal	3*6	234
Jefe de capacitación	3*6	293
Asesoría Jurídica	6*6	325
Seguridad Social RRHH	3*6	275
Archivo de recurso humano	3*6	276
Biblioteca	9*9	321

Para acreditar estos resultados de las mediciones se realizó una simulación con software profesional de iluminación de la firma TROLL, el cual permitió validar los resultados obtenidos en este capítulo. En las figuras 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10 se muestran la simulación hecha en el local escogido, las curvas de distribución de las luminarias, el nivel de iluminación que se proyecta en el puesto de trabajo y el gráfico tridimensional del punto de luz respectivamente. En el local el nivel de iluminación resultó ser de 134 lux, aquí es una evidencia de la inadecuada iluminación que presenta dicho local. Las simulaciones comprueban que la oficina presenta una mala iluminación. Además de decir que es un local donde se realiza trabajo con equipos de informática donde se recomienda un nivel medio de 500 lux.



Figura 2. 7 Simulación de la oficina Control de la Producción.

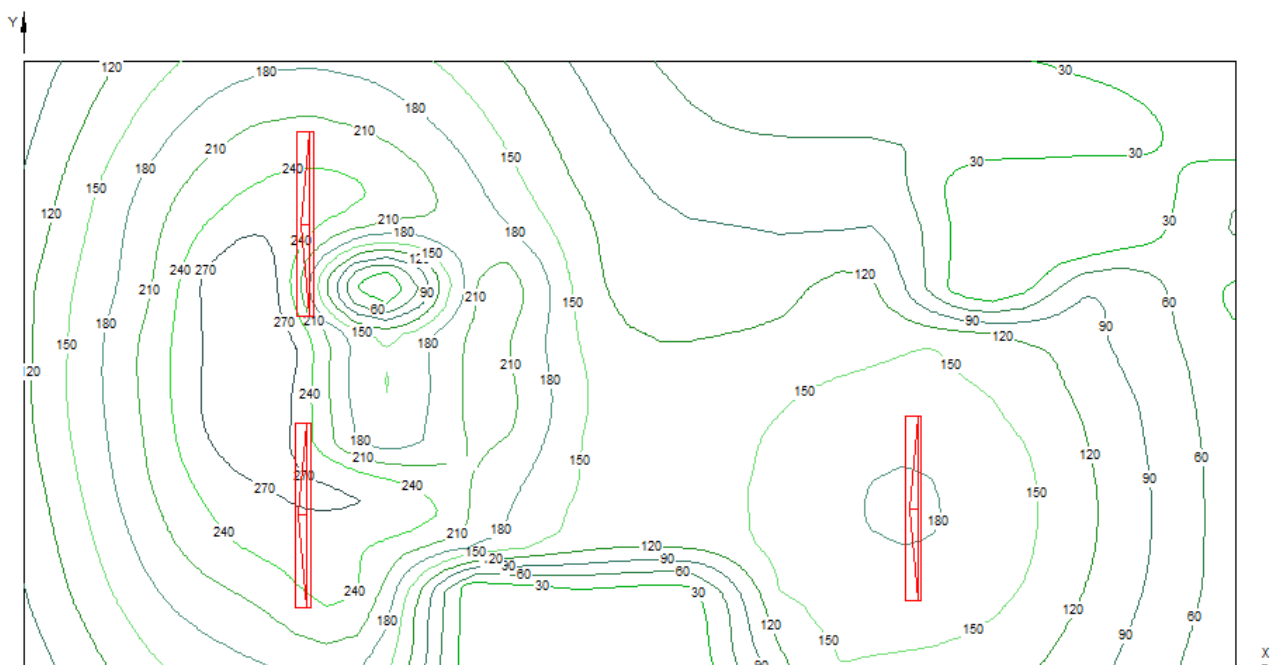


Figura 2.8 Curva de distribución de las luminarias.

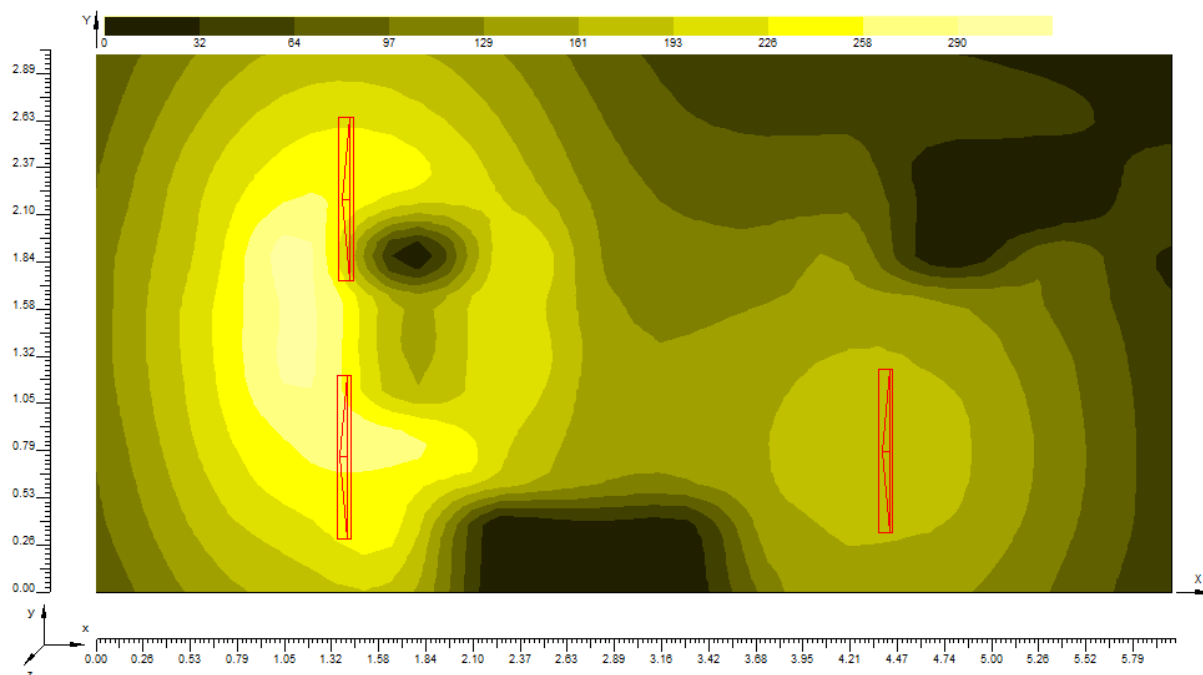


Figura 2.9 Nivel de iluminación que se proyecta sobre el plano de trabajo.

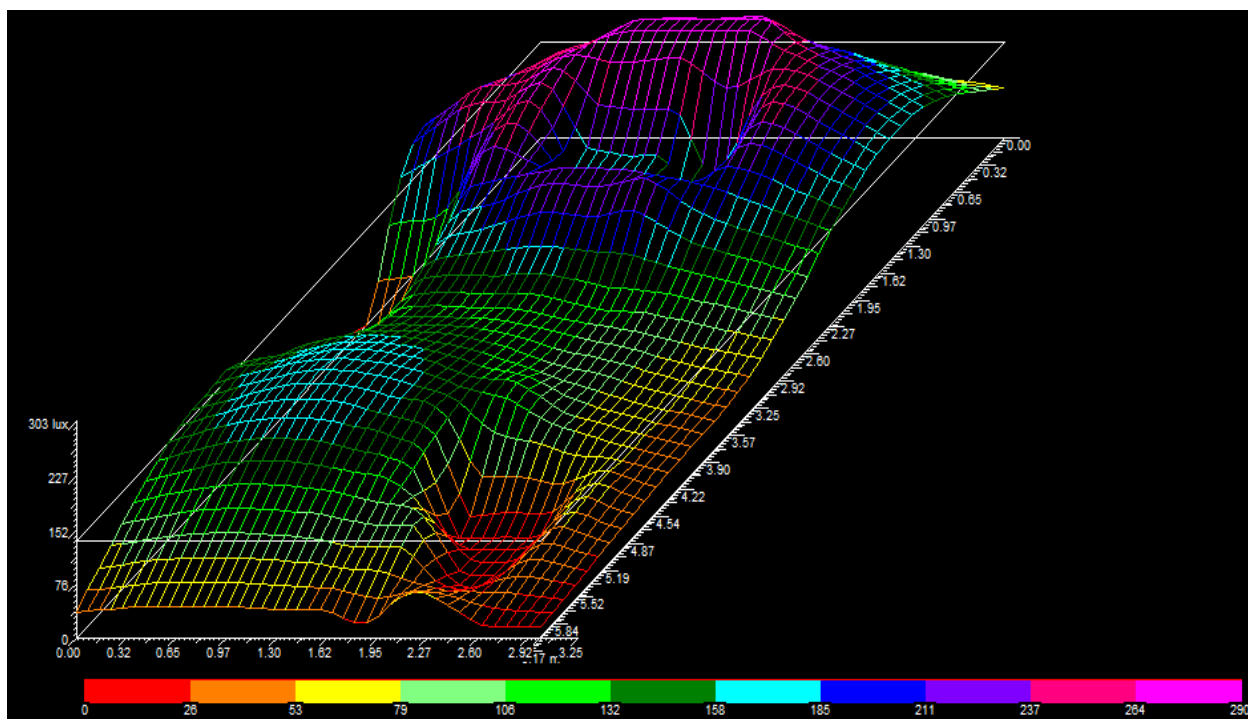


Figura 2.10 Grafico tridimensional del punto de luz.

2.5.1 Principales problemas que afectan la eficiencia del sistema de alumbrado actual.

Con el levantamiento realizado en las áreas escogidas de la empresa ECG. Se recogieron varias particularidades en el alumbrado de la instalación y se comprobó que las mayores dificultades del mismo son:

- Las pantallas protectoras sucias (cubierta de polvo.)
- Los niveles de iluminación en casi todos los locales interiores no cumple con las normas cubanas.
- Muy bajos niveles de iluminación en todos las áreas exteriores.
- La falta de luminarias completas (ausencia de pantallas protectoras).
- La falta de torres de alumbrado y/o la necesidad del mantenimiento de las existentes.
- No se realiza el mantenimiento requerido a las luminarias.
- La altura en algunos casos no se corresponde con su flujo luminoso.
- La necesidad de restituir el conductor.
- Falta de lámparas y sustitución de las rotas.
- La existencia de lámparas con bajo flujo luminoso por perder su tiempo de vida útil.
- La disposición de las luminarias en algunos casos no es la más conveniente.
- El uso de diferentes tipos de lámparas y luminarias para una misma instalación.

2.6 Conclusiones.

En el presente capítulo se evidencian las deficiencias en materia de niveles de iluminación mediante las mediciones y las simulaciones. Además se caracterizan los diferentes tipos de luminarias teniendo en cuenta sus principales particularidades como son, consumo, balance energético, vida útil, etc... con el objetivo de realizar una comparación técnica que justifique la implementación de la tecnología que se propone.

Capítulo 3 - Propuesta para mejorar eficiencia energética en los Sistemas de Iluminación.

3.1 Introducción.

En este capítulo se pretende dar solución al problema expuesto en este documento, tomando la variante más económica y factible. Se realizarán todos los cálculos en cuanto a valoración económica del trabajo a realizar para efectuar dichas mejoras en la iluminación,

3.2 Beneficios de la iluminación de los LED

En las instalaciones modernas de alumbrado interior y exterior, ya no basta con suministrar sobre la superficie de trabajo una cantidad de luz que permita realizar la tarea. No es suficiente con preguntarse si el trabajador podrá realizar la tarea en unas determinadas condiciones de iluminación, es necesario conseguir que el operario esté en un entorno adecuado para realizar la tarea. Para ello se introducen los conceptos de visibilidad y acción visual. Pero ni si quiera es suficiente con esto, hay que conseguir que la instalación de alumbrado sea lo más respetuosa posible con el medio ambiente, lo que es sinónimo de bajo consumo de energía y esto, a su vez, de ahorro energético.

La tecnología de iluminación de estado sólido ha avanzado mucho. En la actualidad podemos acondicionar e incorporarlos a un 90% de todos los dispositivos de iluminación actual. Gracias a su reducido tamaño, capacidad para generar luz y la variedad de colores que podemos generar, los LED son cada vez más usados. Además, con respecto a la iluminación tradicional de lámparas incandescentes o fluorescentes estos tienen ventajas que los hacen muy interesantes como sustitutos de la iluminación. Vamos a conocer las principales ventajas de la iluminación LED.

➤ Alta eficiencia.

La iluminación LED consume un 80-90% menos de electricidad que una bombilla corriente de similares características. Esto significa un 90% de ahorro en la factura eléctrica. Con las lámparas de LED se ha conseguido la mayor eficiencia lumínica,

llegando hasta 130-150 lúmenes por vatio en las bombillas más eficientes, y a 80 lúmenes por Vatio en las más populares. Como ejemplo la eficiencia lumínica de un halógeno es tan solo de 20 a 25 lúmenes por vatio.

➤ Muy bajo consumo.

Consumen 2,5 veces menos que una bombilla de bajo consumo convencional y 8,9 veces menos que una bombilla incandescente de las de toda la vida, esto conlleva un impresionante ahorro económico, que puede llegar al 90% en la factura de la luz, y una rápida amortización de la inversión.

➤ Duración.

Las bombillas LED no tienen filamentos u otras partes mecánicas de fácil rotura y fallo por "fundido". No existe un punto en que cesen de funcionar, su degradación es gradual a lo largo de su vida. Se considera una duración entre 30.000 y 50.000 horas, hasta que su luminosidad decae por debajo del 70%, eso significa entre 10 y 30 años en una aplicación de 10 horas diarias 300 días/año, reduciendo los costes de mantenimiento y remplazo.

➤ Calidad de la luz emitida.

El CRI o índice aleatorio de color, nos proporciona una medida de la calidad de la luz, las bombillas LED poseen un CRI alrededor de 90, consiguiendo que se aprecien mucho más los matices de la luz. La obtenida por fluorescentes y bombillas llamadas de "bajo consumo", además de no ser instantáneas en su encendido, poseen una luz muy poco natural, con un CRI muy bajo en torno a 44.

➤ Baja tensión.

La posibilidad de alimentarse a 12 y 24 Volt. Reduce los riesgos de electrocución, además el cableado puede ser netamente inferior en sección, ahorrando dinero en las instalaciones.

➤ Baja emisión de calor.

Al consumir poca energía, las bombillas LED emiten poco calor. Es la llamada luz fría. Por ejemplo, una bombilla halógena gasta de 50W, 45 aproximadamente en emisión de calor, esto supone un gasto extraordinario en aire acondicionado, siendo necesarios unos 70W adicionales para deshacerse del calor generado por esa bombilla.

- Respuesta instantánea.

El encendido y apagado de las bombillas LED es rapidísimo, a diferencia de otros sistemas no se degrada por el número de encendidos; lo que los hace muy útiles en sistemas de apagado y encendido por detección de movimiento.

- Regulables.

Algunos de nuestros modelos LED son regulables, permitiendo el control del gasto energético y la creación del ambiente deseado.

- Ecológicos.

Las bombillas LED son totalmente reciclables y ecológicas ya que no contienen mercurio, ni materiales tóxicos como las lámparas fluorescentes, o CFL.

- Resistencia.

Las lámparas LED son mucho más resistentes a los golpes, e incluso aquellas que poseen un bulbo de cristal pueden seguir funcionando si este se rompe.

- Emergencia.

Su bajo consumo las hace ideales para sistemas de iluminación de emergencia mediante un sistema de baterías o de generador auxiliar, por lo que pueden ahorrar en sistemas paralelos de iluminación. Se harán imprescindibles en hospitales y lugares que requieran una iluminación a prueba de fallos.

- Versatilidad.

Todo tipo de colores, incluso la mezcla de ellos mediante los LED RGB. Todo tipo de lámparas, tubos, paneles planos, tiras de LED, farolas LED, focos industriales, etc.

- Menores emisiones de CO₂.

Según el Ministerio de Energía de USA (DOE), la iluminación consume el 22% de la electricidad producida en los EE.UU., por lo que la expansión del uso de bombillas LED podría ahorrar una gran cantidad de las emisiones de CO₂, el gas al que se considera responsable del calentamiento global.

- Mantienen su rendimiento luminoso para variaciones de frecuencia y de tensión de alimentación del orden del $\pm 20\%$
- No parpadean.
- No las afectan los ciclos de encendido y apagado. No las afectan los ciclos de encendido y apagado.
- No necesitan “arrancar” por lo que no requieren complejos circuitos especiales que consuman energía y agreguen motivos de falla agreguen motivos de falla
- No emiten rayos ultravioleta. Por lo que atraen menos insectos.
- No necesitan circuitos adicionales para aprovechar toda la energía suministrada por la red eléctrica (Factor de potencia 0.95) potencia: > 0.95)
- Ideales para uso en ambientes explosivos por su bajísima temperatura de funcionamiento y la ausencia de balastos o generadores balastos o generadores

3.2.1 Selección de la lámpara

Para una correcta selección de la lámpara se tuvo en cuenta las características de ellas conjunto con el precio haciendo una selección con las características económicas de la empresa. Basado en lo planteado anterior se escogieron las siguientes lámparas en el catalogo (poner de).

TUBO PL 2G11 LED T8-20W.

- ✓ PL 2G11 T8-20W
- ✓ Diámetro 26 mm (rectilíneos).
- ✓ Temperatura de color 5000 K.
- ✓ Potencia: 20 W.



- ✓ Porta lámpara: G-13.
- ✓ Longitud: 1200mm.
- ✓ Flujo luminoso: 2016 lm.
- ✓ Posición de funcionamiento: cualquiera.
- ✓ Tiempo de duración (horas) = ≥ 50000 h.

Serie L1luminaria Vial L2 – 120W

- 85V -265V, 60 Hz, 120W.
- Flujo (lm) =9600Lm - 14400Lm.
- Dimensiones (mm), 720x270x70mm
- Lumen/ Watt = 100 lm/W
- Temperatura del color (Kelvin) = 2500K - 7000K
- Tiempo de duración (horas) = ≥ 50000 h.
- Temperatura de trabajo -40 a 55 grado cercios
- Vida útil ≥ 50000 h



3.3 Valoración económica.

En este epígrafe realizaremos un análisis del impacto económico y medio ambiental que brindarían los LED al sustituir las tecnologías de alumbrado presente en la empresa. Con respecto a la esfera económica nos apoyamos en el VAN, el TIR y PR, las cuales son herramientas para una mejor análisis estadístico del tema en cuestión. En el desarrollo de este rótulo aremos alusión a sus conceptos.

Para la valoración económica se realizó en base a la tecnología LED. Se plantean dos opciones: reubicar las existentes (tecnología antigua) o instalar luminarias nuevas se sugiere utilizar estas últimas debido a que:

Poseen una mejor apariencia que las actuales, acorde con el cambio de imagen que se busca y con estos tiempos. Sí se desea una adecuada efectividad del sistema de iluminación, sería bueno aprovechar para cambiar las luminarias que estéticamente son mucho mejores y dan mayor confort visual.

En cinco años, quizá, acorde con la modernización de la empresa y la necesidad mundial de ahorro energético, estas luminarias viejas se verán anticuadas, no acordes con una empresa que utiliza últimas tecnologías, ya que estas son más energéticamente más eficientes que las existentes, disminuyendo el monto mensual de la facturación de energía eléctrica.

Las existentes deben dedicarse más horas de mantenimiento en comparación que las nuevas, generando ahorro en mano de obra y disminuyendo molestias a los empleados al momento de dañarse una lámpara.

3.2.1 *Ahorro por consumo.*

Para justificar el posible cambio de tecnología es necesario revisar el ahorro en base de consumo teniendo en cuenta el correcto número de lámparas que deberían existir en los locales de estudio, esto está justificado por los cálculos hechos en el software. Primero se encuentra el consumo de la tecnología existente para luego encontrar el de la propuesta, encontrando así el ahorro que significaría el remplazo.

Para la fluorescente de 32 W y 36 W.

P (consumida en un mes)= # de luminaria de 32 W x 66.66 W x horas de trabajo x 30 días.

P (consumida en un mes)= 166 x 66.66 x 8 x 30.

P (consumida en un mes)= 2655, 7 kW

P (consumida en un mes)= # de luminaria de 36 W x 82 W x horas de trabajo x 30 días.

P (consumida en un mes)=49 x 82 x 8 x 30

P (consumida en un mes)= 964,3 kW

P (consumida en un mes en total)= 3620 kW

Para LED de 20 W.

P (consumida en un mes)= # de luminaria x 20 W x horas de trabajo x 30 días.

P (consumida en un mes)= 432 x 20 x 8 x 30.

P (consumida en un mes)= 2073,6 kW

Ahorro de energía = 1546,4 kW

Tras haber hecho los cálculos solo queda representar en un gráfico el resultado obtenido. Mostrando un 42.4% de consumo menos que la fluorescente.

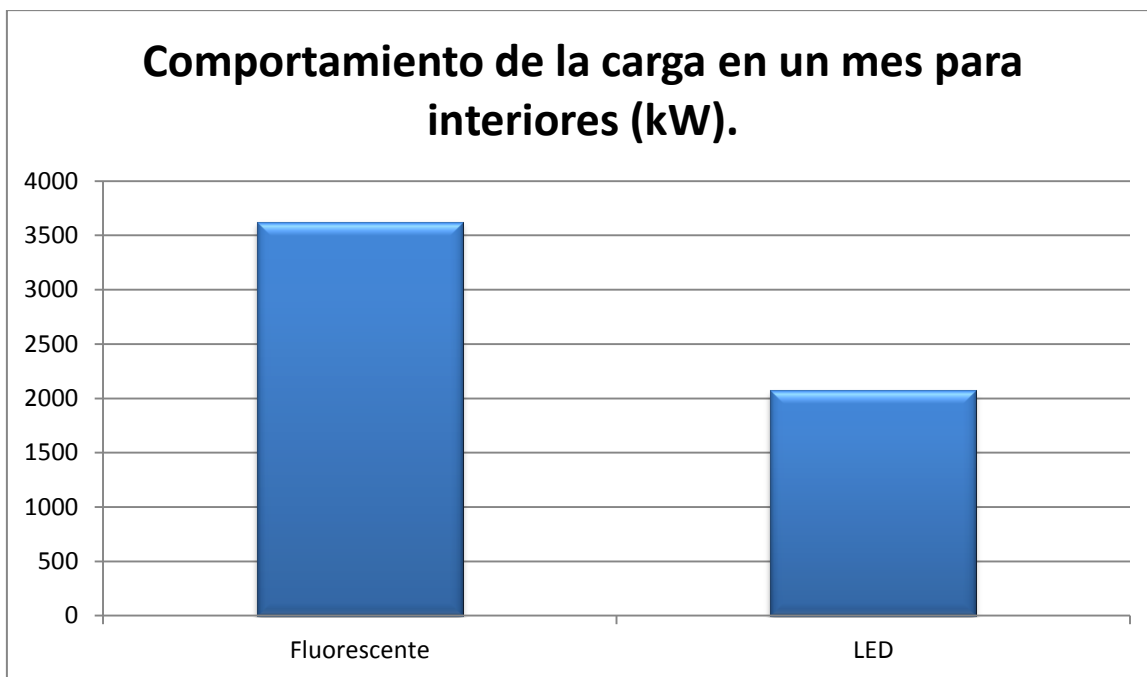


Figura 3.1 Comportamiento de la carga en un mes para interiores.

En caso de vial

Para Vapor de sodio de 250 W

P (consumida en un mes)= # de luminaria x 250 W x horas de trabajo x 30 días.

P (consumida en un mes)= 30 x 250 x 12 x 30

P (consumida en un mes)= 2700. kW

Para LED vial de 120 W

P (consumida en un mes)= # de luminaria x 120 W x horas de trabajo x 30 días.

P (consumida en un mes)= 30 x 120 x 12 x 30

P (consumida en un mes)= 1296.000 kW.

Ahorro de energía = 1404 kW

En la gráfica que se muestra a continuación se evidencia el ahorro que significaría los LED con respecto a la iluminación basada en la tecnología de sodio. Evidenciando un gran ahorro por concepto de consumo llegando a 52% menos de carga que la de vapor de sodio.

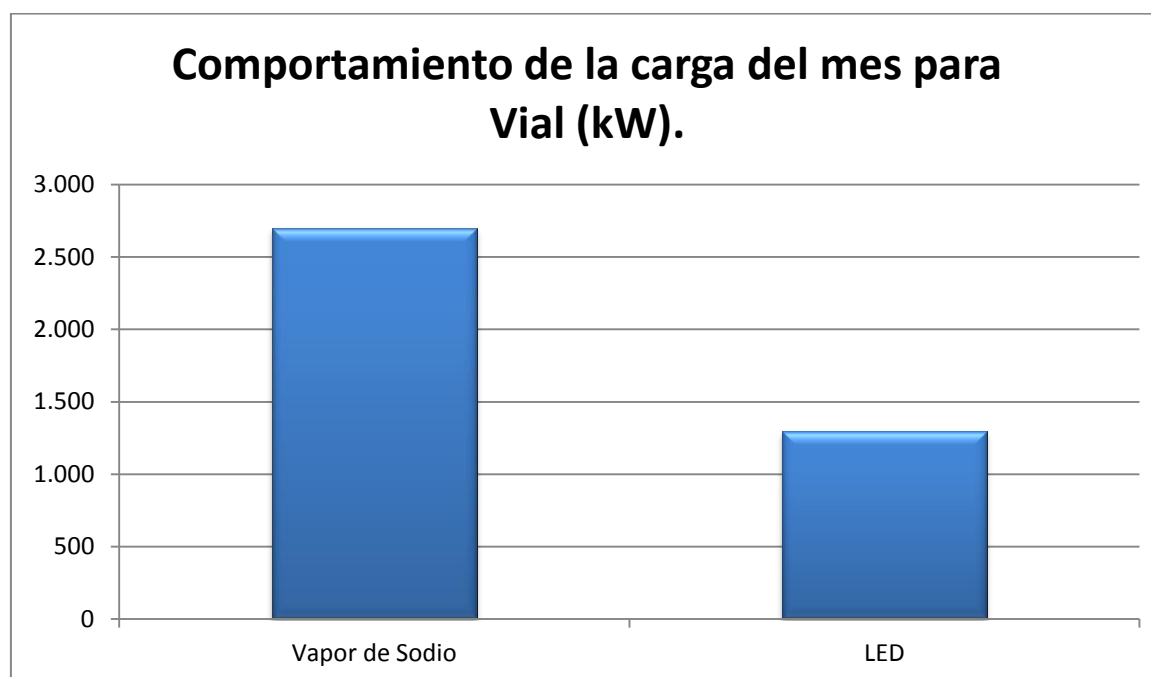


Figura 3.2 Comportamiento de la carga en un mes para viales.

Ahorro de energía en total de las dos áreas = interiores + exteriores

Ahorro de energía en total de las dos áreas = 2950,4 kW

Ahorro anual total de las dos áreas en cuc = Ahorro total x 12 x Tarifa de la empresa

Ahorro anual total de las dos áreas en cuc = 10975,5

A continuación se muestra la relación de precio de la propuesta de luminaria a implementar con su cantidad a comprar. Tabla 3.1. Es necesario decir que elemento precio se localizó por medio de internet, debido a esto están sujetos a cambios en el

futuro ya que el fabricante no brinda el precio verdadero por cuestión del mercado que están variante.

Tabla 3.1 Número de lámparas con sus precios.

Lámparas LED	Precio unitario (cuc)	Cantidad	Total del monto
TUBO PL 2G11 LED T8-20W	\$66	432	\$28 512
Serie L1luminaria Vial L2 – 120W	\$470	30	\$14 100
Total			\$42 612

3.2.2 Análisis económico por medio de VAN, TIR, y PR.

Valor Actual Neto (VAN).

Para calcular el VAN de un proyecto cualquier a se calcula simplemente el valor actual de las entradas futuras al costo apropiado de capital y del resultado se resta el desembolso original. El criterio para aceptar o rechazar de acuerdo con el VAN es el siguiente.

Expresado por medio de símbolos.

$0 \geq \text{VAN}$	Aceptar
$0 < \text{VAN}$	Rechazar

Es importante destacar que el VAN no sólo es un indicador que permite hacer un “ranking” de varios proyectos. Mide además, el valor o excedente generado por el proyecto, por encima de lo que será producido por los mismos fondos si la inversión se colocase en un plazo fijo con interés igual a la Tasa de Descuento.

Tasa Interna de Rendimiento (TIR).

La Tasa Interna de Rendimiento, o tasa de rendimiento como se le llama a veces para abreviar, es la tasa de descuento capaz de igualar la serie de ingresos futuros con el

desembolso original. Dicho de otro modo, es aquella tasa de descuento que da al proyecto un VAN de cero. Expresado en símbolo, la TIR vendría a ser lo que la empresa recupera por cada peso invertido, si la TIR calculado resulta ser por ejemplo 35 % eso significa que la empresa recuperara 35 centavos por cada peso invertido.

Periodo de Recuperación (PR).

El periodo de recuperación es una medida de la rapidez con que el proyecto reembolsara el desembolso original de capital. Este periodo es el número (#) de años que la empresa tarda en recuperar el desembolso original mediante las entradas de efectivo que produce el proyecto.

Los proyectos que ofrezcan un periodo de recuperación inferior a cierto número de año(N) determinado por la empresa, se aceptarán. Los que ofrezcan un periodo mayor que el número de años determinado se rechazarán dependiendo de la necesidad de la entidad, en este caso.

3.2.3 Resultados Obtenidos

El cálculo para la valoración económica mediante el VAN, TIR y PR, se realiza con la aplicación para manejar hojas de cálculo "Microsoft Excel", la cual se utiliza normalmente en tareas financieras y contables. Este software ya contiene implícito fórmulas que calculan el VAN y el TIR. Para el cómputo, se tomaron fijos por el periodo de tiempo del estudio los flujos de la caja y los intereses, debido a que este proyecto es atípico ya que es una inversión de reemplazo y no genera ganancias sino que un ahorro.

El Valor Actualizado Neto es el resultado de sumar todos los años del proyecto para tener cual es la masa de dinero que se tendrá al término de la vida útil del proyecto, evaluada en el día de hoy. Esto resultaría una suma algebraica, teniendo en cuenta que el dinero pierde valor en el tiempo, y a cada año se afecta por un factor decreciente, que depende de la tasa de actualización que se estime. Esta tasa con frecuencia se toma entre un 10 a 15 %.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	(...)Año 15
Imp. de cons. de tec. antigua	25.904,16	25.904,16	25.904,16	25.904,16	25.904,16
Importe de cons. de tec. LED	3.888,00	3.888,00	3.888,00	3.888,00	3.888,00
Ahorro	20.140,80	22.016,16	22.016,16	22.016,16	22.016,16
Ahorro neto	13.091,52	14.310,50	14.310,50	14.310,50	14.310,50
Depreciación	-2705,6	-2705,6	-2705,6	-2705,6	-2705,6
Reserva	2130,6	2130,6	2130,6	2130,6	2130,6
Flujo de fondos	12.516,52	13.735,50	13.735,50	13.735,50	13.735,50
VAN	46.152,03				
TIR	32%				
PR (Años)	4,10	49	meses		

Figura 3.3 Valores obtenidos del cálculo del VAR, TIR y PR.

3.4 Impacto medio ambiental

Los impactos ambientales del proyecto son dos, uno a nivel local y otro más general. En cuanto a lo que tiene que ver con el impacto local lo principal es:

- Al tener una mayor duración la tecnología LED, es menor la cantidad de residuos que genera, esto es, 4 veces menos que las de vapor de sodio.
- Las lámparas de LED no necesitan de vapores o gases contaminantes para su operación al contrario de las de vapor de sodio. Estos gases con los que trabajan las lámparas de vapor de sodio son contaminantes y generan impacto al momento de dañarse las lámparas y también al finalizar su periodo de vida y no tener un buen sitio de disposición final para ellas.

- Al ser más eficientes las lámparas de LED que las de vapor de sodio en el uso de la energía el impacto sobre las fuentes de donde se obtiene esta energía es menor. Menos impacto sobre ríos y fuentes de agua.
- Por necesitar menos o ningún mantenimiento las lámparas de LED con respecto a las de vapor de sodio, se generan ahorros en combustibles para desplazamientos y se usan menos componentes como cables, soldaduras, ceras, pomadas y otros que son contaminantes.
- Las de LED necesitan menor número de componentes constitutivos de las lámparas en comparación con las de vapor de sodio y ello afecta en el sentido de un menor impacto a la hora de la extracción de los elementos para la construcción de las lámparas.

3.5 Conclusiones

En este capítulo se presentó una base de datos técnicos económicos sobre la iluminación LED, presentando las ventajas que poseen esta tecnología sobre la actual implementada en la fábrica. Además se realizó un estudio cambiario donde se arrojaron excelentes resultados teniendo en cuenta las características de las mismas como su alto precio. El tiempo de amortización de la inversión es menor de cinco años, la cual es baja si se tiene en cuenta el tiempo de vida de la iluminación LED. Además se expusieron los principales impactos que producen con relación al medio ambiente.

Conclusiones.

1. Se realizó un estudio de las características y condiciones del sistema de alumbrado en las áreas del edificio administrativo y a la vía central de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.
2. Se determinó que los niveles de iluminación no cumplen con las normas de seguridad establecidas.
3. La valoración económica y medio ambiental manifiestan la factibilidad de su implementación práctica:
 - Desde el punto de vista económico, la implementación de las luminarias es viable.
 - Desde el punto de vista medio ambiental, contribuye a mitigar la emisión de gases efecto invernadero a la atmósfera lo que cumple con las exigencias de las instituciones medio ambientales en la actualidad.



Recomendaciones.

1. Extender la implementación a otras áreas de la empresa donde las características sean similares a las estudiadas.
2. Hacer un estudio del comportamiento de esta tecnología en ambientes enrarecidos o contaminados para una posible utilización en los mismos.
3. Utilizar estos sistemas en el alumbrado de emergencia de la empresa, debido al bajo consumo que representa frente a las otras tecnologías.
4. Analizar el sistema de suministro de alumbrado ya que la nueva tecnología representa solo un 60% (aproximadamente) de la carga que está actualmente instalada, lo que conlleva a que los transformadores estén subcargados y generen pérdidas.

Bibliografía

Asociación española de fabricantes de iluminación – anfalum . 2010. *Cómo seleccionar y comparar luminarias led's para aplicaciones de alumbrado exterior.* Madrid : s.n., 2010.

Cariluz, Diaz, y otros. 2012. *Tecnología LED como alternativa de solución para el ahorro energético .* 2012.

Carlos, Dorremocha Herranz y Josep, Martorell Ollé. *La iluminación con led y el problema de la contaminación lumínica.*

Cavaller, Francisco, y otros. 2010. *Cómo seleccionar y comparar luminarias LED para aplicaciones de alumbrado exterior.* Madrid : s.n., 2010.

David, Acosta. 2010. *Diseño de un Sistema de iluminación con tecnología LED.* 2010.

Eustorgio, Millán Alvarez y Omar, Mockey Coureaux Israel. 2003. *Metodología para el estudio de instalaciones de alumbrado viario.* 2003.

Galí, Francisco Cavaller. 2010. *La influencia o importancia de la temperatura en los LEDS.* Madrid : s.n., 2010.

Gandolfo, Mar. 2010. *Leds un futuro sostenible, avance tecnológico en los próximos años.* Madrid : s.n., 2010.

Iluminacion led: eficiencia energetica. Renewable. 2011. Renewable, pág. 8.

Leonardo, Rivera Abaunza Luis. 2011. *Análisis comparativo de parámetros generales entre las lámparas de alumbrado público de vapor de sodio y las de tecnología LED en la ciudad de Ibagué.* 2011.

Monckey Coureaux, Israel Omar. 2002. *Iluminacion Artificial.* Santiago de Cuba : s.n., 2002.

Perujo, Miguel Ángel Ramos y García-Baños, Ana. 2010. *Fotometría luminarias LED.* Madrid : s.n., 2010.

Anexo 1 Tabla de mediciones del nivel de iluminación.

Local	Dimensiones (a*b)	Nivel de iluminación	Nota
Servicios Generales	6*3	255	
Servicios Generales	3*6	285	Oficina adyacente
Jefe de Seguridad y Protección	6*3	362	
Seguridad y Protección	3*6	276	Oficina adyacente
Grupo de cuadros	6*3	311	
Grupo de cuadros	6*3	591	
Grupo de cuadros	6*3	183	
Grupo de cuadros	6*3	158	
Director de economía y finanzas	3*6	311	
Economía y finanzas	3*6	268	Oficina adyacente
Oficina de Cobros y Pagos	3*6	385	
Oficina de Cobros y Pagos	6*6	287	
Administrador de finanzas	6*3	314	
UJC	4*4	246	
UJC	3*4	255	
PCC	3*6	182	Oficina adyacente
PCC	3*3.5	196	Oficina adyacente
PCC	3*3.5	197	Oficina adyacente
PCC	4*6	384	Oficina adyacente
PCC	3*4	252	Oficina adyacente
Especialista Principal	3*5	402	
Inventario	6*6	304	
Contabilidad general	9*6	347	
Contabilidad general	6*6	309	Oficina adyacente
Control de la Producción	6*6	266	
Entrega de Níquel	3*6	214	
Control de la Producción	3*6	134	
Financiamiento e inversiones	6*6	228	
Economía Energética	6*6	442	
Especialista de Inversiones	6*6	271	
Especialista de Inversiones	4*5	301	Oficina adyacente
Salón de Protocolo	9*6	272	
Divulgación y Propaganda	6*3	250	
Jefa del Buro Sindical	6*3	390	
Buro Sindical	6*3	212	
Buro Sindical	3*4	203	Oficina adyacente
Buro Sindical	3*4	400	Oficina adyacente
Grupo de planificación	3*6	243	
Grupo de planificación	6*6	339	Oficina adyacente
Local	Dimensiones	Nivel de iluminación	Nota



	(a*b)		
Caja	6*6	139	
Jefe de personal	3*6	234	
Oficinas de personal	3*6	261	
Oficinas de personal	3*6	348	Oficina adyacente
Oficinas de personal	3*4	224	Oficina adyacente
Jefe de capacitación	3*6	293	
Atención a la población	3*6	324	
Grupo de capacitación	3*6	298	
Capacitación	3*6	316	
Dirección de Recursos Humanos	3*6	260	
Recursos Humanos	3*6	310	
Asesoría Jurídica	6*6	325	
Archivos de Asesoría jurídica	6*3	355	
Seguridad Social RRHH	3*6	275	
Archivo de recurso humano	3*6	276	
Biblioteca	9*9	321	
Aula de capacitación	6*6	172	
Auxiliares de limpieza	6*6	527	
Auditoría	6*6	217	
OCCI	3*4	392	
Servicio General	6*6	266	

Anexo 2 Relación de local por número de lámparas.

Local	# de luminaria	# de tubos por luminaria	Potencia (W)
Servicios Generales	3	1	32
Servicios Generales	3	1	32
Jefe de Seguridad y Protección	4	1	32
Seguridad y Protección	2	1	32
Grupo de cuadros	4	1	32
Grupo de cuadros	5	1	32
Grupo de cuadros	3	1	36
Grupo de cuadros	2	1	36
Director de economía y finanzas	2	1	32
Economía y finanzas	6	1	32
Oficina de Cobros y Pagos	5	1	32
Oficina de Cobros y Pagos	4	1	32
Administrador de finanzas	1	1	32
UJC	1	1	32
UJC	2	1	32
Local	# de	# de tubos	Potencia



	luminaria	por luminaria	(W)
PCC	2	1	32
PCC	2	1	32
PCC	6	1	32
PCC	3	1	32
PCC	4	1	32
Especialista Principal	6	2	32
Inventario	9	2	32
Contabilidad general	6	1	32
Contabilidad general	4	2	32
Control de la Producción	3	1	32
Entrega de Níquel	3	1	32
Control de la Producción	4	1	32
Financiamiento e inversiones	7	2	32
Economía Energética	6	1	36
Especialista de Inversiones	4	1	32
Especialista de Inversiones	5	1	32
Salón de Protocolo	3	1	32
Divulgación y Propaganda	2	1	36
Jefa del Buro Sindical	1	1	36
Buro Sindical	2	1	36
Buro Sindical	2	1	32
Buro Sindical	3	2	36
Grupo de planificación	8	2	36
Grupo de planificación	8	1	32(2) 40(3) 36(2)
Caja	3	1	32
Jefe de personal	4	1	32
Oficinas de personal	4	1	32
Oficinas de personal	2	1	32
Oficinas de personal	3	1	32
Jefe de capacitación	3	1	32
Atención a la población	2	2	32
Grupo de capacitación	2	2	
Capacitación	3	1	32
Dirección de Recursos Humanos	2	4	32
Recursos Humanos	4	2	32
Asesoría Jurídica	2	2	32
Archivos de Asesoría jurídica	3	2	36
Seguridad Social RRHH	2	2	32
Archivo de recurso humano	18	2	36
Biblioteca	6	2	36
Local	# de	# de tubos	Potencia



	luminaria	por luminaria	(W)
Aula de capacitación	4	1	36
Auxiliares de limpieza	4	1	32
Auditoria	4	1	32
OCCI	6	1	32