

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
SEDE “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”
FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS

Trabajo de Grado

Título: Guía con cálculos rápidos para la inspección energética de sistemas de iluminación

Estudiante: George Dan Morejón Aguila.

Tutores: Dr. Arturo Padrón.

Msc. Roy Reyes Calvo.

Cienfuegos, 2019
“Año 61 de la Revolución”

Pensamiento

*...Las oportunidades son como los amaneceres, si
uno espera demasiado se las pierde...*

Pablo Coelho.

Agradecimientos

En primer lugar, a mi hermano que es y será siempre mi ejemplo a seguir constantemente.

A mis padres que me han brindado su apoyo absoluto a lo largo de estos años.

A mi novia la cual ha estado a mi lado dándome su apoyo incondicional y compañía absoluta.

A mis tutores Arturo Padrón y Roy Reyes por la orientación y estímulo constante en la realización de esta tesis.

A todos los amigos y familiares cercanos a mi presencia que de una manera u otra contribuyeron a la exitosa realización de esta tesis.

A todos y cada uno de ellos:

Muchas gracias....

Resumen

En este trabajo de grado se exponen las definiciones, las características y las generalidades correspondientes al proceso de diseño de sistemas de iluminación interior. Con la realización del presente trabajo se pretende exponer una guía con cálculos rápidos para inspeccionar los sistemas de iluminación en instalaciones interiores rigiéndose por la norma (NC-ISO 8995/CIE S 008: 2003. Iluminación de puestos de trabajo en interiores). Como estudio de caso, se aplica la metodología en las aulas del edificio docente de la sede Carlos Rafael Rodríguez, donde se diagnosticó el nivel de iluminación en las aulas tipo con iluminación natural y artificial existente. Los resultados definen como debían de estar estos sistemas de iluminación para que, cumpliendo con los requerimientos de los lux para la actividad que se realiza, minimice los costos energéticos.

Abstract

In this degree work the definitions, characteristics and generalities corresponding to the process of design of interior lighting systems are exposed. With the realization of this work is intended to expose a guide with rapid calculations to inspect the lighting systems in indoor installations governed by the standard (NC-ISO 8995 / CIE S 008: 2003. Lighting indoor workstations). As a case study, the methodology is applied in the classrooms of the Carlos Rafael Rodríguez teaching building, where the level of lighting in the classrooms with natural and artificial lighting was diagnosed. The results define how these lighting systems should be so that, meeting the requirements of the lux for the activity carried out, minimize energy costs.

Tabla de contenido

Introducción	1
Capítulo 1 . Generalidades de un sistema de iluminación	4
1.1 Conceptos básicos	4
1.2 Magnitudes Luminotécnicas y su relación	5
1.2.1 Diferencia entre candela, lumen y lux	10
1.3 Normativas técnicas sobre iluminación a nivel internacional	11
1.4 Normativas sobre iluminación en Cuba	12
1.5 Historia de la Luz Artificial	12
1.6 Visión e Iluminación	13
1.7 Combinación y elección de los colores	14
1.7.1 Aspectos del Color	16
1.8 Leyes fundamentales de la luminotecnia	17
1.9 Las luminarias. Distribución espacial del flujo luminoso	17
1.10 Medida de los niveles de iluminación	20
1.10.1 Procedimiento de medida de iluminación	21
1.10.2 Medida de las luminancias	22
1.10.3 Procedimiento de medida de luminancia	22
1.11 Fuentes de luz	22
1.12 Tipos de lámparas. Sistemas de iluminación	23
1.13 Sistemas de regulación y control	26
1.14 Vida de la Lámpara	27
1.15 Gestión y mantenimiento energético	28
1.16 Política para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética en Cuba. Antecedentes	29
Capítulo 2 . METODOLOGÍA. Descripción de la metodología para confeccionar Guía	32
2.1 Variables de estudio	32
2.2 Metodologías para los cálculos de la iluminación	32
2.2.1 Diagnóstico e inventario de luminarias	32

2.2.1.1 Método de muestreo y mapeo de iluminación _____	32
2.2.1.2 Medición de la dimensión del local o zona a iluminar _____	33
2.2.1.3 Fijar la altura del plano del trabajo _____	33
2.2.1.4 Determinación de la iluminancia media _____	34
2.2.1.5 Identificar el tipo de luminaria utilizada _____	35
2.2.1.6 Determinación del coeficiente de utilización y factor de mantenimiento _____	35
2.2.1.7 Inventarios de luminarias _____	37
2.2.1.8 Cálculos del flujo luminoso total _____	37
2.2.2 Algoritmo método de las cavidades zonales _____	41
2.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN _____	42
2.3.1 Análisis del proyecto _____	42
2.3.2 Definir parámetros del local _____	42
2.3.3 Seleccionar iluminancia media _____	42
2.3.4 Selección conjunto lámpara-luminaria _____	43
2.3.5 Calcular K, CU y FM _____	43
2.3.5.1 Índice de Cavidad del local K _____	43
2.3.5.2 Determinar coeficiente de utilización (CU) _____	43
2.3.5.3 Factor de mantenimiento (FM) _____	44
2.3.5.4 Flujo luminoso total requerido (ϕ tot) _____	44
2.3.5.5 Número de luminarias requeridas (N) _____	44
2.3.5.6 Flujo luminoso real (ϕ real) e Iluminancia promedio (E prom) _____	45
2.3.5.7 Valor de eficiencia energética de la instalación(VEEI) _____	45
2.4 Diseño de sistemas de iluminación con el software DIALux _____	47
2.5 Diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando Dialux _____	48
2.5.1 Interfaz de DIALuxprofessional _____	49
2.5.2 Ventana CAD _____	49
2.5.3 Barra de herramientas _____	50
2.5.4 Administrador de proyectos _____	50
2.5.5 Guía del proyecto _____	51
2.5.6 Algoritmo para el diseño de instalaciones de iluminación interior usando DIALuxprofessional _____	52
Capítulo 3 . Análisis de resultados. Aplicación en aulas del edificio docente _____	55
3.1 Alumbrado en instituciones educativas, salas de lectura y auditorios _____	55
3.2 Situación actual en las aulas de la docencia _____	56
3.3 Propuestas para mejoras de los Sistemas de Iluminación en las aulas de la docencia _____	69

Conclusiones parciales del capítulo	83
Conclusiones	84
Referencias Bibliográficas	86
Anexos	89
Tipos de lámparas	89

Introducción

Por lo general toda edificación en la cual se ha de realizar algún tipo de actividad, ya sea laboral o cotidiana, solicita de un ambiente que cuente con un buen nivel de iluminación para optimizar el rendimiento, la productividad, la seguridad y el confort al momento de ejecutar dichas actividades. Inicialmente las instalaciones de iluminación no eran diseñadas teniendo en cuenta diversos factores que alteran el efecto lumínico de las fuentes de luz de una u otra manera y tampoco existían reglamentos o especificaciones que deberían desempeñar éstos diseños, provocando así que las instalaciones de iluminación fueran mal diseñadas y no respondían a los niveles de iluminancia requeridos para cada tipo de espacio y actividad a consumir.

Para esto se establecieron además varias normas las cuales establecen las reglas generales que se deben tener en cuenta en los diseños de sistemas de iluminación interior y exterior (incluyendo el alumbrado público), inculcando el uso racional y eficiente de energía (URE) en iluminación.

De las razones establecidas con anterioridad, se podría establecer.

Problema científico:

Con el desarrollo tecnológico se introducen en el mercado nuevas tecnologías en los sistemas de iluminación para los cuales hay que actualizar los métodos de cálculo buscando así más eficacia y eficiencia.

Hipótesis:

Con la nueva Guía para inspección energética de sistemas de iluminación se viabilizan los cálculos ganándose rapidez y precisión, además de introducir en la base de datos las nuevas tecnologías.

Objetivo general:

Elaborar una Guía para inspección energética de sistemas de iluminación que ayude a mejorar los niveles de iluminación y reduzca el consumo eléctrico con las nuevas tecnologías.

Objetivos específicos:

1. Establecer los fundamentos científicos que sustentan esta investigación a través de una búsqueda bibliográfica sobre sistemas de gestión de iluminación.
2. Estudio de sistemas de control de iluminación.
3. Investigar metodologías sobre las mediciones de los niveles de iluminación.
4. Guía para inspección energética de sistemas de iluminación.
5. Aplicar resultados en las aulas del docente.

El presente trabajo consta de tres capítulos los cuales reflejan principalmente una guía con cálculos rápidos para la inspección energética de sistemas de iluminación. El primer capítulo muestra los principales conceptos y magnitudes necesarios para la confección de esta. El segundo capítulo expresa la metodología de cálculos básicos y rápidos para la confección e inspección a la hora de elaborar un sistema de iluminación. En el tercero y último capítulo se aplicarían los resultados de la realización de esta guía en las aulas de la docencia de nuestra sede universitaria buscando así nuevas oportunidades de mejora y ahorro para la institución y el país.

Capítulo I

Capítulo 1 . Generalidades de un sistema de iluminación

La eficiencia y el ahorro energéticos constituyen objetivos prioritarios para cualquier economía, y pueden conseguirse sin afectar al dinamismo de su actividad, ya que mejoran la competitividad de sus procesos productivos y reducen tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como la factura energética. El uso irracional de la energía y la contaminación lumínica suponen un impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo que, ante la escasez de recursos naturales, se hace imperativo evitarlos, en la medida de lo posible. En el presente capítulo se analizarán los fundamentos teóricos que, en uso de base a la investigación, se parte de conceptos básicos relacionados con los sistemas de iluminación, así como las normas fundamentales y los lineamientos principales que abordan la política industrial y energética en el periodo 2016-2021.

1.1 Conceptos básicos

A continuación, se describen algunos de los principales conceptos utilizados en el presente trabajo, los cuales serán útiles para una mejor comprensión de los temas abordados. Ellos son:

Altura de montaje: característica de una luminaria que indica la extensión que alcanza la luz en la dirección longitudinal del camino. Las luminarias se clasifican en: alcance corto, mediano o largo.

Bombillo o lámpara: término genérico para denominar una fuente luz fabricada por el hombre. También es un término denotado para fuentes que emiten radiación en regiones del espectro adyacente a la zona visible.

Coefficiente de Utilización (CU): relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie a iluminar (flujo útil) y el flujo total emitido por una luminaria.

Plano de trabajo: es la superficie horizontal, vertical u oblicua en la cual es usualmente realizado el trabajo, y cuyos niveles de iluminación deben ser medidos y específicos.

Depreciación lumínica: disminución gradual de la emisión luminosa durante el transcurso de la vida útil de una fuente luminosa.

Deslumbramiento: sensación producida por la luminancia dentro del campo visual que es insipientemente mayor que la iluminancia en la cual los ojos están adaptados y que es causa de molestias e incomodidad, hasta incluso perdida de la capacidad visual y de la visibilidad.

Diagrama polar: Gráfica que representa en coordenadas polares la distribución de las intensidades luminosas en planos definidos. Generalmente se representan los planos $C = 0^\circ-180^\circ$, $C = 90^\circ-270^\circ$ y plano de intensidad máxima.

Eficacia luminosa de una fuente: Relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente luminosa (lámpara o bombillo) y la potencia de la misma. La eficacia de una fuente se expresa en lumen/watt (lm/W).

Eficiencia de una luminaria: Relación de flujo luminoso, en lúmenes, emitido por una luminaria y el emitido por la bombilla o bombillas usadas en su interior.

Coefficiente de utilización de la luminaria (CU): Relación entre el flujo luminoso que llega a la calzada (flujo útil) y el flujo total emitido por la luminaria. Usualmente se aplica este término cuando se refiere a luminarias de alumbrado público.

Luminaria: Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas las cuales incluyen todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las bombillas, pero no las bombillas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación.

Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI): valor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona de actividad diferenciada, cuya unidad de medida es W/ m^2 por cada 100 lux. (Ramírez,2012)

1.2 Magnitudes Luminotécnicas y su relación

Las principales magnitudes y unidades luminotécnicas empleadas en el estudio y acondicionamiento de la iluminación en los puestos de trabajo son:

<i>Denominación</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Simbología</i>
<i>Flujo luminoso</i>	ϕ	<i>Lumen(lm)</i>	

<i>Rendimiento o eficiencia luminosa</i>	<i>H</i>	<i>Lumen por Watt(lm/W)</i>	$\eta = \Phi/\omega$
<i>Intensidad luminosa</i>	<i>I</i>	<i>Candela(cd)</i>	$I = \Phi/\omega$
<i>Iluminancia</i>	<i>E</i>	<i>Lux(lx)</i>	$E = \Phi/s$
<i>Luminancia</i>	<i>L</i>	<i>Candela por m²</i>	$L = I/S$

Tabla 1: Magnitudes Luminotécnicas (Elaboración propia).

Flujo luminoso (lumen): Energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. Teniendo en cuenta que la luz es la radiación visible apreciada de acuerdo con la sensibilidad del ojo humano, el flujo luminoso se define como la cantidad de energía luminosa radiada por una fuente en cada segundo. Es decir, el flujo luminoso es la potencia de la energía luminosa radiada por la fuente. La unidad del flujo luminoso es el lumen, el cual corresponde a una potencia de 1/680 Watt emitidos a la longitud de onda de 555 nanómetros, que es donde el ojo humano presenta la máxima sensibilidad. Una aplicación importante de estos conceptos consiste en la expresión del rendimiento luminoso de las lámparas (su eficiencia energética). De toda la potencia eléctrica consumida por una lámpara tan sólo una fracción se convierte en flujo luminoso.

El rendimiento luminoso (lúmenes/W): El rendimiento luminoso de una lámpara es la relación entre el flujo luminoso emitido por la lámpara y la potencia eléctrica en Watt consumida por la misma:

$$\eta = \Phi/\omega \text{ (lúmenes/W)} \quad 1.1$$

η : rendimiento

Φ : flujo luminoso

ω : potencia eléctrica

Así, por ejemplo, las lámparas incandescentes típicas tienen un rendimiento de 10 a 15 lúmenes/Watt, mientras que las lámparas fluorescentes suelen alcanzar los 80 lúmenes/Watt.



Figura 1: Flujo luminoso.

Fuente: Manual de Alumbrado INDALUX

Nivel de iluminación o Iluminancia(Lux): Se denomina nivel de iluminación o iluminancia, al flujo luminoso incidente por unidad de superficie. Su unidad es el lux. Un lux se define como el nivel de iluminación de una superficie de un metro cuadrado cuando sobre ella incide, uniformemente repartido, un flujo luminoso de un lumen.

$$E = \Phi/s$$

1.2

E : nivel de iluminación

Φ : flujo luminoso

S : superficie

El nivel de iluminación es la magnitud utilizada con mayor frecuencia para evaluar la cantidad de luz existente en los puestos de trabajo. Para ello se toman como referencia las tablas de niveles de iluminación existentes para distintos tipos de actividades.

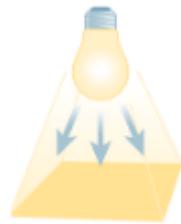
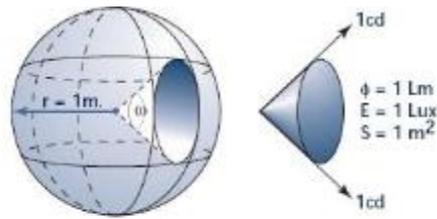


Figura 2: Iluminación.

Fuente: Manual de Alumbrado INDALUX

Intensidad luminosa (candela): La intensidad luminosa de una fuente de luz sólo se puede expresar referida a una determinada dirección y contenida en un ángulo sólido. El ángulo sólido podemos imaginarlo como el espacio contenido dentro de un cono (este sería el caso de un haz de luz). El ángulo sólido se expresa en estereorradianes. Si imaginamos una esfera de un metro de radio y desde su centro trazamos un cono que delimite en su superficie un casquete esférico de un metro cuadrado, el valor del ángulo sólido determinado por dicho cono es igual a un estereorradián.



ω (total) = 4π estereorradianes

Figura 3: Estereorradián (ángulo sólido).

Fuente: Manual de Alumbrado INDALUX

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una determinada dirección es igual a la relación entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada, y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes:

$$I = \Phi / \omega \text{ (cd)} \quad 1.3$$

I : intensidad luminosa

Φ : flujo luminoso

ω : ángulo sólido

El sólido que obtenemos recibe el nombre de sólido fotométrico. A continuación, se puede apreciar el sólido fotométrico de una lámpara incandescente.

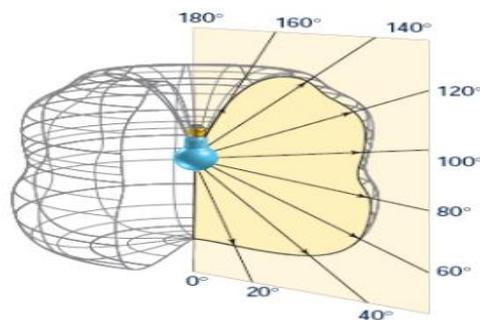


Figura 4: Sólido fotométrico de una lámpara incandescente.

Fuente: Manual de Alumbrado INDALUX

Si hacemos pasar un plano por el eje de simetría de la fuente luminosa, por ejemplo, un plano meridional, obtenemos una sección limitada por una curva que se denomina curva fotométrica o curva de distribución luminosa (Figura 5).

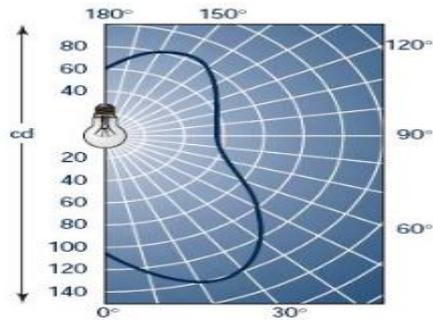


Figura 5: Curva fotométrica.

Fuente: Manual de Alumbrado INDALUX

Con estas curvas se puede calcular el nivel de iluminación proporcionado por la lámpara en una determinada dirección y a una distancia dada.

Luminancia (candelas/m²): La luminancia, o brillo fotométrico, es la magnitud que sirve para expresar el brillo de las fuentes de luz o de los objetos iluminados y es la que determina la sensación visual producida por dichos objetos. Esta magnitud es de gran importancia para evaluar el grado de deslumbramiento.

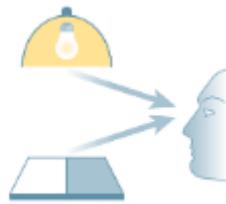


Figura 6: Luminancia.

Fuente: Manual de Alumbrado INDALUX

Se define como la intensidad luminosa por unidad de superficie aparente de una fuente de luz primaria (que produce la luz) o secundaria (que refleja la luz). La luminancia se puede expresar en candelas/m² o en candelas/cm².

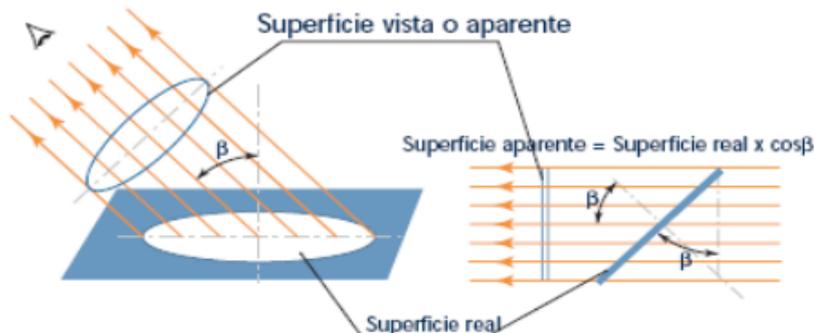


Figura 7: Luminancia.

Como se ha dicho, la luminancia debe considerarse como la intensidad luminosa por unidad de superficie aparente. La superficie aparente es la proyección de la superficie real sobre un plano perpendicular a la dirección de la mirada. Así pues, el valor de la superficie aparente será igual al de la superficie real multiplicado por el coseno del ángulo que forma la línea de visión con la perpendicular a dicha superficie real. (Figura 7). Por lo tanto, la expresión general de la luminancia de una superficie será:

$$L = I/S \cos(\theta) \quad 1.4$$

En el caso de que la línea de visión sea perpendicular a la superficie de la fuente luminosa, la luminancia observada en esa dirección será:

$$L = I/S \quad 1.5$$

L: luminancia de una superficie

I: intensidad luminosa

S $\cos(\theta)$: superficie real multiplicado por el coseno del ángulo que forma la línea de visión. (Sanz, 2014)

1.2.1 Diferencia entre candela, lumen y lux

Contar con la iluminación adecuada en cada estancia es muy importante. Para ello, resulta fundamental saber cómo elegir las bombillas que necesitamos para cada ocasión. Y es que a la hora de decantarnos por una u otra hay diversos aspectos a tener en cuenta, como su vida útil, la potencia, el consumo, el tipo de tecnología que utiliza, su forma, si es luz blanca o amarilla, etc. Por eso sirve de ayuda conocer la diferencia entre candela, lumen y lux.

- **Candela (cd):** Es la unidad del sistema básico internacional que mide la **intensidad luminosa** en una dirección dada. Se refiere a la intensidad de la salida de la luz. Dependiendo del ángulo de salida de la luz, la intensidad será mayor o menor. Así, un ángulo pequeño origina mayor intensidad y para zonas más lejanas, mientras que un mayor ángulo de salida de luz tiene menor intensidad y se recomienda para zonas más cercanas. Con un regulador de luz podrás controlar la intensidad de una bombilla.

- **Lumen (lm):** Es la unidad del sistema internacional que mide el **flujo luminoso**. Se trata de la medida de la potencia luminosa emitida por una

fuente en una dirección determinada por unidad de tiempo, es decir, la cantidad total de luz que percibimos en dicha dirección. De esta forma, a más lúmenes mayor intensidad de luz.

• **Lux (lx):** Es aquella unidad derivada del sistema internacional para el **nivel de iluminación**. Equivale a **lumen/m²** e indica con cuánta intensidad está iluminada una superficie. Es la sensación de luminosidad, la cantidad de luz que tenemos en un m². Por tanto, la diferencia entre lux y lumen reside en que el lux toma en cuenta la superficie sobre la que el flujo luminoso se distribuye.

1.3 Normativas técnicas sobre iluminación a nivel internacional

Las siguientes normas son utilizadas principalmente en España. Rigiéndose por el Ministerio de Empleo y Seguridad Social, y el Instituto Nacional e Higiene en el Trabajo.

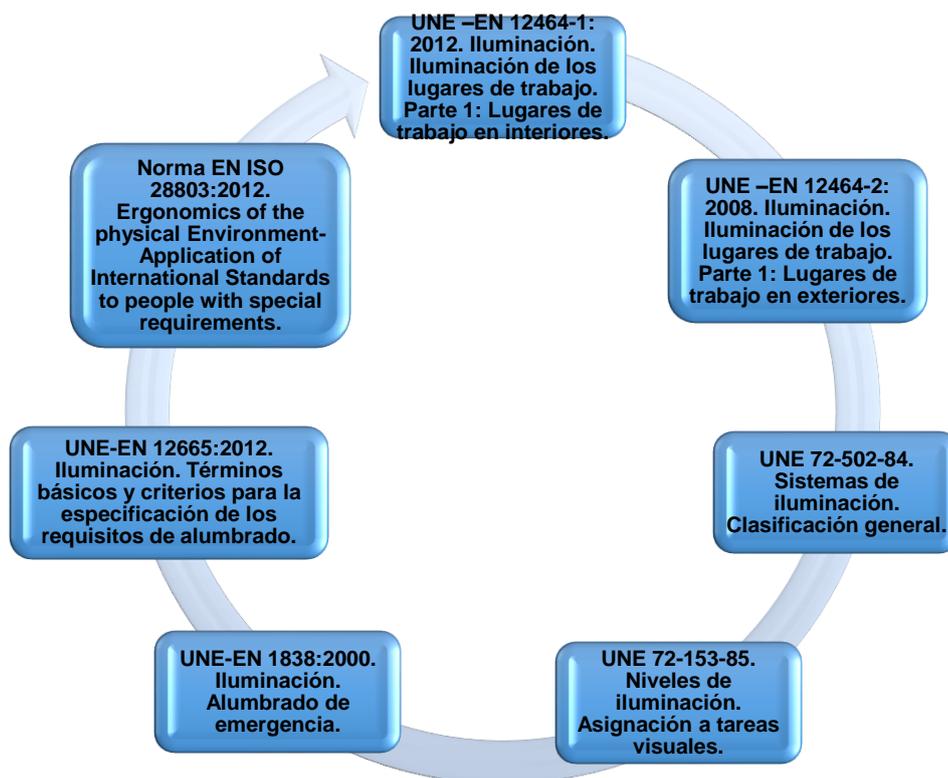


Figura 8: Diagrama. Normativas técnicas sobre iluminación en España. (Elaboración propia)

1.4 Normativas sobre iluminación en Cuba

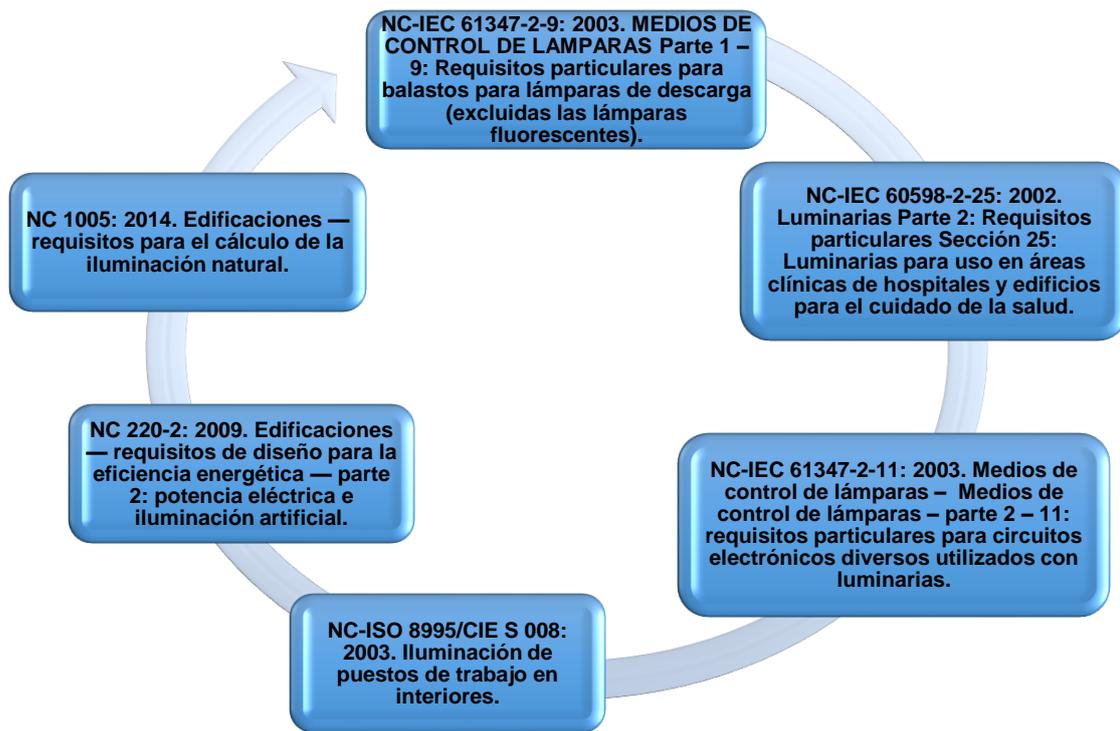


Figura 9: Diagrama. Normativas técnicas sobre iluminación en Cuba. (Elaboración propia)

1.5 Historia de la Luz Artificial

Antes de la llegada de la luz eléctrica, las fábricas y las oficinas basaban sus actividades apoyadas por la luz natural del día, por lo cual los edificios eran diseñados de acuerdo con esta situación. Hasta la década 1880, las empresas pudieron estar adecuadamente iluminadas independientemente de sus diseños dimensiones físicas. Con el tiempo, el aumento industrial impulsó la construcción de edificaciones verticales, con poca proyección de la luz natural y, consecuentemente, el incremento de las lámparas en los centros de trabajo. Para los años de la década de 1930, la utilización de la luz eléctrica pasó a ser habitual en las oficinas de Estados Unidos, lo cual produjo una serie de campañas relacionadas con la importancia de la iluminación para las correctas condiciones de trabajo. Fue entonces, que los expertos estuvieron de acuerdo en que la iluminación debería tener 55 lux. Lo suficiente para poder leer en una oficina en Estados Unidos; sin embargo, poco tiempo después esta medida llegó a los 250 lux o más.

Desde entonces, la investigación en la iluminación se ha enfatizado en la intensidad o brillo de la luz, así como en la visibilidad de los pequeños detalles. Los estudios sobre la calidad y la distribución de la luz están dirigidos al

problema del reflejo y la confortabilidad, relacionado con la iluminación y el rendimiento en las áreas de desempeño común de las oficinas. (Reyes,2016)

1.6 Visión e Iluminación

La visión considera muchos aspectos fisiológicos, los cuales cobran una gran importancia en el contexto de iluminación y la salud ocupacional, entre ellos:

1. Acomodación visual: es la capacidad que tiene el ojo para enfocar nítidamente objetos a diferentes distancias. Esta facultad se va perdiendo conforme pasan los años, debido a que se reduce la elasticidad muscular conocida como presbicia o vista cansada, que implica el aumento de la distancia focal y de la cantidad de luz necesaria para que se forme una imagen adecuada.

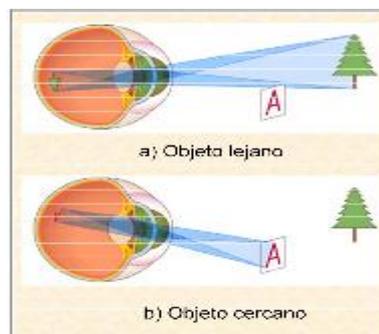


Figura 10: Acomodación del ojo.

2. Adaptación visual: es la capacidad que tiene el ojo para adaptarse automáticamente a variaciones de luminosidad. En este proceso el iris, actúa muy semejante a al diafragma de una cámara fotográfica, la cual regula la abertura de la pupila, y los cambios fotoquímicos en la retina.



Figura 11: Proceso de adaptación del ojo.

3. Agudeza visual: es la forma de percibir y discriminar visualmente los objetos o de distinguir dos puntos muy próximos entre sí. Es la medida

del detalle más pequeño que se puede diferenciar y está muy influenciada por el nivel de iluminación.

4. Contraste: es la diferencia relativa de intensidad entre una imagen y sus alrededores. Se produce por desigualdades entre colores o brillos.
5. Brillor: son las variaciones de iluminación que generan las sombras, y ellas contribuyen a mejorar la percepción del relieve. No obstante, si aparecen grandes diferencias de iluminación, se pueden crear zonas en sombras que impiden el buen despliegue de la capacidad visual.
6. Ambiente cromático: se determina por medio del calor, el cual es un atributo de la luz que interviene de manera radical en la conformación de un ambiente y en el desempeño de la capacidad visual.
7. Atributos de color: el color produce efectos y sensaciones como lo son: mayor o menor visibilidad, sensación de calor o de frío, sensación de amplitud o de estrechez, entre otros. (Reyes,2016)

1.7 Combinación y elección de los colores

La elección de los colores es muy relevante si se estudia conjuntamente con aquellas funciones en las que es importante identificar los objetos que se han de manipular. También es relevante a la hora de delimitar vías de comunicación y en aquellas tareas que requieren un contraste nítido.

La elección de la tonalidad no es una cuestión tan importante como la elección de las cualidades reflectantes apropiadas de una superficie. Existen varias recomendaciones que pueden aplicarse a este aspecto de las superficies de trabajo:

Techos: la superficie de un techo debe ser lo más blanca posible (con un factor de reflexión del 75 %), porque entonces reflejará la luz de manera difusa, disipando la oscuridad y reduciendo los brillos de otras superficies. A ello se añade el ahorro en iluminación artificial.

Paredes y suelos: las superficies de las paredes situadas a nivel de los ojos pueden provocar deslumbramiento. Los colores pálidos con factores de reflexión del 50 al 75 % suelen ser adecuados para las paredes. Aunque las pinturas brillantes tienden a durar más tiempo que los colores mate, son más reflectantes. Por consiguiente, las paredes deberán tener un acabado mate o semibrillante.

Los acabados de los suelos deberán ser de colores ligeramente más oscuros que las paredes y los techos para evitar brillos. El factor de reflexión de los suelos debe oscilar entre el 20 y el 25%.

Equipo: las superficies de trabajo, mesas y maquinaria deberán tener factores de reflexión de entre un 20 y un 40 %. Los equipos deberán tener un acabado duradero de un color puro - gris o marrones claros— y el material no deberá ser brillante. El uso apropiado de los colores en el ambiente de trabajo contribuye al bienestar, aumenta la productividad y puede tener efectos positivos para la calidad. También puede contribuir a mejorar la organización y a prevenir accidentes.

La iluminación, a diferencia de otros riesgos físicos del ambiente de trabajo, no se caracteriza por una relación directa entre su intensidad y los daños que produce en el organismo humano. Es decir, que el riesgo asociado a ella está caracterizado por su insuficiencia o deficiencia, tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo. En ocasiones se tiende a confundir el concepto de luz con el de iluminación, lo que resulta erróneo. Ya que puede existir una cantidad de luz muy grande en un puesto o local de trabajo y, sin embargo, no lograr la iluminación que satisfaga las necesidades de la tarea visual con calidad y seguridad.

En los casos que la iluminación no cumpla con los requerimientos visuales pueden originarse:

- Fatiga visual o general
- Dolores de cabeza
- Disminución del bienestar
- Disminución de la agudeza visual
- Pérdida paulatina de la visión
- Disminución de capacidad laboral
- Pérdidas de productividad y calidad
- Aumento del número de errores en las operaciones
- Propensión a la ocurrencia de accidentes de trabajo

El hombre, como ser natural vive mejor en condiciones de iluminación natural bajo ciertos parámetros a controlar, y toda iluminación de tipo artificial debe ser objeto de adaptación a las características del hombre. Es nuestro objetivo

ofrecer un conjunto de elementos de utilidad para la identificación, la evaluación y el control de los sistemas de iluminación en los ambientes de trabajo y específicamente en el interior de locales. (Sanz, 2014)

1.7.1 Aspectos del Color

Debemos distinguir dos importantes aspectos de las propiedades cromáticas de las fuentes de luz:

1. La apariencia de color de una fuente de luz o Temperatura de Color la cual se expresa en Kelvin (K), es la impresión de color recibida cuando miramos a la propia luz.
2. El rendimiento en color de la fuente de luz, es la capacidad de la luz para reproducir con fidelidad los colores de los objetos que ilumina.

Tanto la apariencia de color, como el rendimiento en color de una fuente de luz son completamente dependientes de la distribución espectral de la luz emitida. Una indicación de la apariencia de color puede obtenerse a partir de su temperatura de color. Cuanto más baja sea la temperatura de color, más “cálida” será la luz, y cuanto más alta sea, más azulada o “fría” será la luz que nos proporciona esa fuente.

Si la Temperatura de Color es inferior a 3.300K es una fuente de luz cálida, si se encuentra entre 3.300 y 5.000K se trata de un blanco neutro, y si está por encima de 5.000K la luz proporcionada por esa fuente será blanco frío. (Castro,2015)

<i>Temperatura de color</i>	<i>Grados Kelvin (K)</i>	<i>Efectos ambientales asociados</i>	<i>Aplicaciones Recomendadas</i>
<i>Cálido</i>	<i>2600-3400</i>	<i>Amigable Intimo Personal Exclusivo</i>	<i>Restaurantes Lobbies Boutiques Tiendas de ropa</i>
<i>Neutral</i>	<i>3500</i>	<i>Amigable Atrayente</i>	<i>Recepciones Salón de exposiciones Librerías Oficinas</i>
<i>Frio</i>	<i>3600-4900</i>	<i>Fresca Limpia Eficiente</i>	<i>Oficinas Salón de conferencias Escuelas Hospitales Tiendas comerciales</i>

<i>Luz del día</i>	<i>5000</i>	<i>Fresca Limpia Eficiente</i>	<i>Joyerías Consultorios Imprentas Hospitales</i>
--------------------	-------------	--	---

Tabla 2: Temperatura de color (Elaboración propia).

1.8 Leyes fundamentales de la luminotecnia

Ley principal de la iluminación: Esta ley establece que la iluminación de una superficie situada perpendicularmente a la radiación luminosa es directamente proporcional a la intensidad de la fuente e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que la separa de la misma.

Es decir que: $E = I/D^2$

Ley del coseno: La fórmula anterior sólo es válida cuando la superficie es perpendicular a la dirección del flujo de luz considerado. Ahora bien, si el plano forma un determinado ángulo con la dirección del flujo luminoso, (como sería el caso de un atril o del tablero de una mesa de dibujo), la nueva fórmula para calcular el nivel de iluminación sería:

$$E = I/D^2 \cos\theta \quad 1.6$$

Donde, θ es el ángulo formado por el plano de trabajo con el plano perpendicular a la dirección del flujo de luz. Cuando ambos planos coinciden $\cos(0) = 1$, con lo que la fórmula se convierte en la que vimos al principio.

1.9 Las luminarias. Distribución espacial del flujo luminoso

La elección del tipo de luminaria constituye otro aspecto importante en el proceso de diseño de la iluminación. Mediante los elementos que integran la luminaria es posible distribuir adecuadamente el flujo de luz de las lámparas y determinar la proporción de luz directa o indirecta requerida. De forma semejante, las luminarias permiten ocultar el cuerpo brillante de las lámparas evitando así el deslumbramiento.

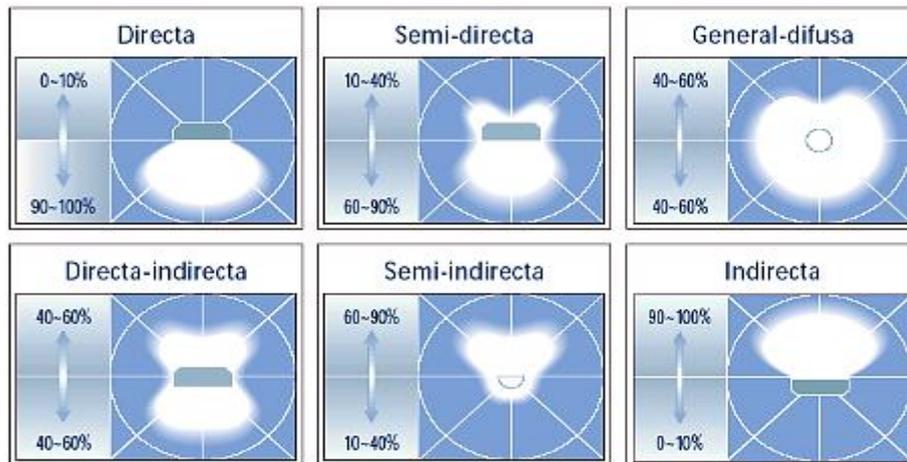


Figura 12: Clases de luminarias.

Fuente: Manual de Alumbrado INDALUX

Las luminarias también pueden ir equipadas con elementos difusores que dispersan la luz y reducen los reflejos originados en las superficies pulidas de la tarea o del entorno. Finalmente, a través de los reflectores las luminarias pueden concentrar en un haz más o menos estrecho el flujo luminoso procedente de las lámparas. Las luminarias pueden ser clasificadas de varias formas. Si consideramos la relación entre el flujo luminoso directo e indirecto, las luminarias pueden emitir la luz de forma directa, semi-directa, uniforme, directa-indirecta, semi-indirecta e indirecta. (Figura 12).

Iluminación directa: Con este tipo de iluminación todo el flujo luminoso se dirige directamente a la zona que se desea iluminar. En la práctica no se suele obtener una iluminación totalmente directa, dado que casi siempre existe una componente indirecta procedente de la reflexión de la luz en las paredes y techo de la sala. La iluminación directa se suele utilizar cuando se requieren altos niveles de iluminación en la zona de trabajo; por ejemplo, con iluminación localizada.

Este sistema resulta económico, pero produce sombras duras y aumenta el riesgo de deslumbramiento. Por otra parte, el sistema de iluminación directa presenta el inconveniente de dejar en sombra los techos y las paredes del local pudiendo originar grandes desequilibrios de luminancia.

Iluminación semi-directa: En este caso la mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia la zona que se desea iluminar, pero una pequeña parte se envía hacia el techo o las paredes con el fin de obtener una cierta componente de iluminación indirecta. Con este sistema las sombras no son tan duras como en

el caso de la iluminación directa y se reduce el riesgo de deslumbramiento y el desequilibrio de luminancias entre la zona de trabajo con respecto al techo y las paredes.

Un sistema de iluminación directa puede transformarse en un sistema de iluminación semi-directa añadiendo a las luminarias una placa o pantalla difusora de vidrio o plástico. El sistema de iluminación semi-directa es muy utilizado en locales de oficina y de talleres en general.

Iluminación uniforme: Con este sistema de iluminación el flujo luminoso se distribuye en todas las direcciones de manera que una parte de él llega directamente a la tarea mientras el resto se refleja en el techo y las paredes. La combinación de luz directa e indirecta que se obtiene produce sombras muy suaves. En general el efecto producido por este sistema de iluminación es agradable, dado que proporciona una distribución armoniosa de luminancias en todo el campo visual. Este tipo de iluminación también está indicado para locales de oficina y otras actividades diversas.

Iluminación semi-indirecta: En este caso sólo una pequeña parte del flujo luminoso se dirige directamente hacia abajo, en tanto que la mayor parte del mismo sufre varias reflexiones en el techo y las paredes antes de iluminar cualquier zona. Con este sistema se obtiene una buena calidad de iluminación, con sombras muy suaves y prácticamente sin riesgo de deslumbramiento. No obstante, el rendimiento obtenido es bajo porque una parte importante del flujo luminoso es absorbido por el techo y las paredes. Esto obliga a que dichas superficies se recubran con pinturas muy claras, que reflejen bien la luz. En las actividades que requieran una buena percepción de la textura y del relieve de los objetos no es recomendable este tipo de iluminación debido a la ausencia casi total de sombras, necesarias para favorecer la percepción de los objetos en sus tres dimensiones.

Iluminación indirecta: En este tipo de iluminación todo el flujo luminoso se dirige hacia el techo, quedando las luminarias totalmente ocultas. El observador no ve ningún objeto luminoso, únicamente aprecia las áreas iluminadas. Las sombras desaparecen casi por completo y también todo riesgo de deslumbramiento. Esta forma de iluminación es la que presenta una menor eficiencia energética; su utilización suele quedar reservada a los lugares donde

no se requieran niveles relevantes de iluminación, pero sea importante conseguir un ambiente relajante y agradable.

Atendiendo a la amplitud del haz luminoso emitido pueden clasificarse en intensivas, semi-intensivas, dispersoras, semi-extensivas, extensivas e híper-extensivas. (Figura 13)

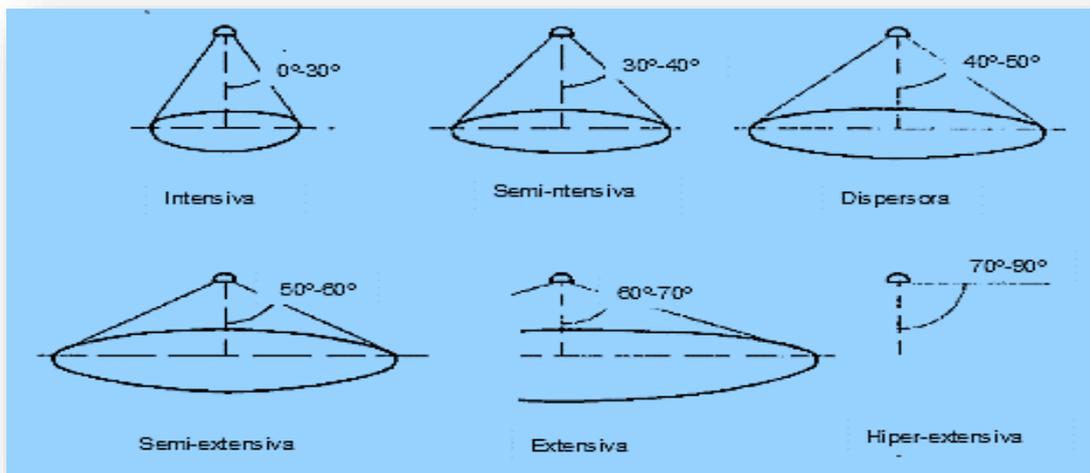


Figura 13: Amplitud del haz luminoso

Fuente: Manual de Alumbrado INDALUX

Otra clasificación de las luminarias es la que responde al tipo de lámpara que ha de contener. De este modo, hay que distinguir entre luminarias para: lámparas incandescentes normales, lámparas halógenas, lámparas fluorescentes, lámparas LED.

Finalmente, una vez trazado el perfil básico de la luminaria requerida es posible elegir entre los diferentes modelos existentes en el mercado atendiendo a otros criterios como: el grado de deslumbramiento que provocan, su apariencia estética, etc.(Pesántez,2014)

1.10 Medida de los niveles de iluminación

Para la medida de los niveles de iluminación se debe emplear un luxómetro con las siguientes características:

1. Equipado con una célula fotosensible con corrección de coseno. Esto es necesario para evitar los errores debidos al ángulo de incidencia de la luz sobre dicha célula.

2. Corregido en su respuesta espectral con la Comisión Internacional de la Iluminación(CIE).

El luxómetro debe ser objeto de calibraciones periódicas y los correspondientes registros deben ser consultados por el técnico encargado de realizar las mediciones. (Rodríguez,2012)



Figura 14: Luxómetro. Equipo para realizar mediciones de Lux, Obtenido de foto digital (Elaboración Propia)

1.10.1 Procedimiento de medida de iluminación

En la medida de niveles de iluminación es necesario adoptar las siguientes precauciones:

- Las mediciones deben ser efectuadas en las posiciones donde están situados los elementos de la tarea visual.
 - La célula fotosensible del luxómetro debe situarse en el plano de trabajo con su misma inclinación.
 - Las mediciones deben ser realizadas con el trabajador en su posición habitual de trabajo.
 - Durante la medición el técnico no debe perturbar las condiciones de ejecución de la tarea ni interferir la luz que llega a la zona de trabajo.
 - Cuando el área donde se realiza la tarea es pequeña, puede bastar con una sola medición en el centro de la superficie. Para obtener mediciones detalladas en un área de trabajo extensa se puede dividir la superficie en una cuadrícula para localizar las diferentes mediciones.
 - El resultado de la medición debe ir acompañado del grado de incertidumbre, por ejemplo: 350 ± 5 lux. Para determinar el grado de incertidumbre del resultado de la medida es necesario conocer el grado de exactitud del equipo y, en su caso, su curva de calibración.
- (Rodríguez,2012)

1.10.2 Medida de las luminancias

Para efectuar la medida de las luminancias se puede emplear un luminancímetro con las siguientes características:

1. Corregido en su respuesta espectral con la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE).
2. Para la mayoría de las aplicaciones es suficiente que el equipo tenga un ángulo de apertura de un grado. Para efectuar mediciones en detalles muy finos de la tarea visual se requeriría un ángulo de apertura más reducido, pero esto suele encarecer mucho el equipo.

El luminancímetro debe ser objeto de calibraciones periódicas y los correspondientes registros deben ser consultados por el técnico encargado de realizar las mediciones. (Rodríguez,2012)

1.10.3 Procedimiento de medida de luminancia

- Las medidas de luminancia deben ser efectuadas en las condiciones reales de trabajo.
- En los locales de trabajo con ventanas, utilizados de día y de noche, se debe medir en las dos situaciones.
- El luminancímetro debe estar situado a la altura de los ojos del trabajador y enfocarse hacia las fuentes de luz, los reflejos o las superficies cuya luminancia se quiere medir.
- En la mayoría de los casos, la distribución de luminancias en el lugar de trabajo está determinada principalmente por las siguientes superficies: tarea visual, entorno inmediato a la tarea, plano general del fondo de la tarea, planos verticales frente al observador, techos, luminarias y ventanas.
- El resultado de la medición debe ir acompañado de su grado de incertidumbre, por ejemplo: $540 \pm 5 \text{ cd/m}^2$. (Rodríguez,2012)

1.11 Fuentes de luz

Para lograr un sistema de iluminación adecuado es imprescindible seleccionar la fuente de luz adecuada. La finalidad fundamental de una fuente luminosa es la emisión de luz y la eficacia con que esto se lleva a cabo se expresa por el cociente de dividir la emisión luminosa en lúmenes por la potencia consumida en watt. Las fuentes de luz más utilizadas son:

- Luz del día
- Fuentes de luz artificial (las de uso más corriente son las lámparas de incandescencia, halógenas, las de descarga eléctrica en un vapor metálico mercurio o sodio, las fluorescentes, LED). (Saavedra,2017)

1.12 Tipos de lámparas. Sistemas de iluminación

Incandescentes no-Halógenas: también conocidas como lámparas de Servicios de Iluminación General (GLS), de filamento de tungsteno, es la tecnología de iluminación tradicional que todavía domina el mercado en la mayoría de los países. El 2010, alrededor del 52% de las ventas de lámparas en la UE eran lámparas GLS.

Incandescentes Halógenas: están comercialmente disponibles en dos variantes: lámparas con Recubrimiento Infrarrojo (IRC) y lámparas no-IRC, Las lámparas IRC utilizan un filamento diseñado con mayor precisión en una cápsula de cuarzo llena de gas halógeno, que se recubre con materiales espectralmente selectivos. El recubrimiento permite a la luz visible salir de la lámpara, pero refleja la luz infrarroja de nuevo en el filamento. Es una lámpara de mayor eficacia de luminancia porque se necesita menos energía eléctrica para mantener el filamento a una temperatura de funcionamiento dado. Las halógenas IRC son una nueva tecnología que está menos disponible en el mercado en comparación con la halógena no-IRC. Sin embargo, ellas pueden llegar a ser más importantes en un futuro próximo debido a que la inversión y la competencia están impulsando mejoras de eficacia y reducción de costos. En los países con programas avanzados de tecnologías de ahorro (Corea, Australia y el Reino Unido), el cambio de GLS por lámparas halógenas ha sido mayor de lo previsto.

Tubos fluorescentes lineales: están disponibles en tres diámetros: T12 (12/8" =38 mm), T8 (8/8" =26 mm) y T5 (5/8=16 mm). Los tubos T12 son considerados obsoletos. Así mismo se fabrican en los tipos: Pre Calentamiento, Arranque Instantáneo y Arranque Rápido.

Lámparas Fluorescentes Compactas (CFL): funcionan de manera similar a los tubos fluorescentes lineales. Se componen de 2, 4 o 6 seis pequeños tubos fluorescentes, ya sean integradas o no integradas. Las CFL integradas tienen una base común adjunta al balasto, mientras que las CFL-no integradas se

conectan a una luminaria que incluye el balasto. Las políticas de eliminación progresiva de las lámparas incandescentes GLS, implementadas en muchos países, se han traducido en una creciente participación de mercado de las CFL.

Lámparas de Sodio de Baja Presión: es la de más alta eficacia 200 lm/W, pero muy pobre IRC (Índice de Rendimiento Cromático), requiere de balasto para su operación y un tiempo de calentamiento para que alcance la máxima luminosidad. Son usadas donde el color no es importante porque tiene tonalidades amarillas o grises, siendo apropiadas para iluminación de cierto tipo de vías e iluminación de seguridad.

Lámparas de Inducción: operan mediante el suministro de una potencia de alta frecuencia a una bobina de inducción, que genera un campo electromagnético dentro de la lámpara. Este campo excita el material de plasma dentro de la cápsula de vidrio, causando que los átomos de mercurio emitan luz ultravioleta. Cuando la luz ultravioleta atraviesa el revestimiento de fósforo se convierte en luz visible de la misma manera que en las lámparas fluorescentes. Tiene alta eficacia, buen IRC y 100 000 horas de vida útil debido a que no tiene electrodos (motivo de falla de los otros tipos de lámparas), así como un arranque y re arranque instantáneos.

Lámparas de Descarga de Alta Intensidad (HID): se utilizan principalmente para la iluminación de vías, pero en ocasiones también se utilizan en otros entornos no domésticos. Están disponibles en el mercado en tres variantes principales:

- **Lámparas de Vapor de Mercurio de Alta Presión:** son de las más antiguas y usadas alrededor del mundo, en general, son de menor costo y todavía tienen presencia en el mercado a pesar de sus características de rendimiento y los costos de ciclo de vida notablemente menores que los ofrecidos por las lámparas de halogenuros metálicos y sodio de alta presión.
- **Lámparas de Vapor de Sodio de Alta Presión (HPS):** tienen la más alta eficacia de todas las lámparas HID, de 70 a 140 lm/W, pero producen una luz dorada de apariencia cálida, con bajo IRC. Tienden a ser utilizados donde las consideraciones cromáticas son menos importantes que la economía. En general, las lámparas de sodio de alta

presión tienen IRC de 21% a 83%, la Temperatura de Color de 1900 a 2500 K y vida útil de 5000 a 28000 h.

- **Lámparas de Halogenuros Metálicos (MH):** producen una luz más blanca, más natural, están estrechamente relacionadas con lámparas de vapor de mercurio, pero incluyen otros elementos metálicos que se dosifican como un haluro de metal, como yoduro de sodio y yoduro de escandio, en combinación con el mercurio. Tienen vida útil de 6000 a 20000 h, IRC de 65% a 92%, la Temperatura de Color de 3000 a 6500 K y eficacia inicial de 47 a 105 lm/W.
- **Luz Mixta:** Con el fin de corregir el color azulado de la luz producida en las lámparas de vapor de mercurio de alta presión, se mezcla adicionando un filamento incandescente al interior del bulbo. Siendo la mayor ventaja la mejora del IRC y que se puede conectar directamente a la red.
- **Diodo Emisor de Luz (LED):** La tecnología LED está teniendo un gran impacto en la industria de la iluminación. En la próxima década, se prevé que los LED reemplazarán más del 60% de todas las otras fuentes de iluminación. Tenemos un nuevo tipo de diodo emisor, el HB-LED (Diodo Emisor de Luz de Alto Brillo), en comparación con las fuentes de luz existentes muestra una mejor percepción visual, ahorro de espacio y gran energía. Actualmente se pueden conseguir HB-LED con eficacias de 92 lm/W, 119 lm/W, 169 lm/W. Dentro de las ventajas que ofrecen los LED están baja radiación de calor, no generan luz ultravioleta, no poseen partes móviles como filamentos que puedan deteriorarse por vibraciones y un tiempo de vida útil alrededor de 50000 horas continuas, además los HB-LED pueden generar luz blanca neutral, fría y cálida, que mejora la percepción visual de los espacios. El tiempo de encendido es prácticamente instantáneo y al utilizar luz blanca neutral fría se necesitan menos lúmenes para generar la misma sensación de iluminación que si se utiliza luz de color cálida (amarilla). Por otro lado, el ángulo de emisión de luz es menor a 180 grados, toda la luz generada está enfocada hacia la parte frontal del LED.
- **Diodo Emisor de Luz Orgánico (OLED):** son tecnologías más recientes de iluminación de alta eficiencia. La penetración de mercado

actual de LED y OLED es relativamente baja, pero se espera convertirse en líderes en tecnologías para la iluminación interior en el futuro. Esto es debido al alto costo y la falta de conocimiento del consumidor sobre los beneficios. Los OLED han estado disponibles en el mercado desde 2009, pero se utilizan principalmente en aplicaciones de visualización, como teléfonos móviles, televisores y computadoras. Actualmente sigue el rendimiento similar a los LED, a largo plazo se espera que los OLED logren un alta eficacia y uso generalizado en la producción de luz blanca, sin embargo, en este momento no hay comercialmente disponibles productos OLED de iluminación general, por otra parte, no es seguro que estarán disponibles en más de 100 lm/W. La investigación de OLED se centra en la fiabilidad, la cantidad y calidad de la producción de luz y el tiempo de vida de operación. (Saavedra,2017)

1.13 Sistemas de regulación y control

Los sistemas de regulación y control apagan, encienden y regulan la luz según interruptores, detectores de movimiento y presencia, células fotosensibles o calendarios y horarios preestablecidos. Permiten un mejor aprovechamiento de la energía consumida, reduciendo los costes energéticos y de mantenimiento, además de dotar de flexibilidad al sistema de iluminación. El ahorro energético conseguido al instalar este tipo de sistemas puede ser de hasta un 70 %. Como no todas las zonas requieren el mismo tratamiento, es importante controlar las luminarias de cada zona mediante circuitos independientes. Por ejemplo, las luminarias que se encuentren próximas a las ventanas deben poder regularse en función de la luz natural de distinta forma que el resto de las luminarias de una sala o habitación.

El sistema de control más sencillo es el **interruptor manual**. Su uso correcto, apagando la iluminación en periodos de ausencia de personas, permite ahorros significativos, más aún cuando en una misma sala hay varias zonas controladas por interruptores distintos de forma que una pueda estar apagada, aunque otras estén encendidas.

Existen **interruptores temporizados** que apagan la iluminación tras un tiempo programado y que son más convenientes en lugares dónde las personas

permanecen un tiempo limitadas. Por ejemplo, el pasillo de un edificio de viviendas o los servicios o escaleras de un edificio de oficinas.

Los **detectores de presencia o movimiento** encienden la iluminación cuando detectan movimiento y lo mantienen durante un tiempo programado. Son muy útiles para zonas de paso o permanencia de personas durante poco tiempo. Por ejemplo, en un edificio de viviendas se obtiene un elevado ahorro al instalar estos detectores en las escaleras, de forma que la iluminación se vaya encendiendo por zonas en lugar de encenderse todas las plantas a la vez.

En los edificios del sector terciario, por ejemplo, edificios de oficinas o edificios comerciales, en los que existe un horario definido, es posible encender y apagar la iluminación automáticamente por control horario, en función de los distintos días de la semana, incluyendo los tiempos libres (comidas, etc.), haciendo distinción entre fines de semana y días laborables, o incorporando periodos festivos.

En edificios destinados a usos múltiples (oficinas, hoteles, etc.) es interesante disponer de un sistema que permita el manejo y el control energético de las instalaciones de iluminación, de forma similar a los implantados para otras instalaciones como las de climatización. El control centralizado, compuesto por detectores (células fotoeléctricas, detectores de presencia, etc.) y por una unidad central programable, supone una serie de ventajas, entre las que destacan:

- Posibilidad de encendido/apagado de zonas mediante órdenes centrales, bien sean manuales o automáticas.
- Modificación de circuitos de encendido a nivel central sin obras eléctricas.
- Monitorización de estado de los circuitos y consumos de los mismos.
(Saavedra,2017)

1.14 Vida de la Lámpara

Las lámparas incandescentes dejan de funcionar de manera brusca, aunque mantienen prácticamente constante el flujo luminoso a lo largo de toda su vida; sin embargo, en el resto de fuentes de luz se produce una depreciación del flujo luminoso emitido a lo largo de su vida, por lo que es importante determinar

cuándo deja de ser funcional, pues suele ser mucho tiempo antes de dejar de funcionar.

Teniendo en cuenta lo anterior se establecen dos conceptos:

a) **Vida media:** indica el número de horas de funcionamiento a las cuales la mortalidad de un lote representativo de fuentes de luz del mismo tipo alcanza el 50 % en condiciones estandarizadas.

b) **Vida útil (económica):** indica el tiempo de funcionamiento en el cual el flujo luminoso de la instalación ha descendido a un valor tal que la fuente de luz no es rentable y es recomendable su sustitución, teniendo en cuenta el costo de la lámpara, el precio de la energía consumida y el costo de mantenimiento. (Saavedra,2017)

Tipo de fuente luminosa	Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
Vela de cera		10	
Lámpara incandescente	40	430	10.75
	100	1300	130.80
	300	5000	16.67
Lámpara Fluorescente compacta	7	400	57.10
	9	600	66.70
Lámpara Fluorescente tubular	20	1030	51.50
	40	2600	65.00
	65	4100	63.00
Lámpara de Vapor de Mercurio	250	13500	54.00
	400	23000	57.50
	700	42000	60.00
Lámpara de Mercurio Halogenado	250	18000	72.00
	400	24000	67.00
	100	80000	80.00
Lámpara de Vapor de Sodio Alta Presión	250	25000	100.00
	400	47000	118.00
	1000	120000	120.00
Lámpara de Vapor de Sodio a Baja Presión	55	8000	145.00
	135	22500	167.00
	180	33000	180.00
Lámparas Led	1.3	50	38.46
	5	250	50.00
	9	550	61.11
	18	1600	88.89
	30	2600	86.67

Tabla 3: Potencia, Flujo Luminoso y Eficacia de las lámparas.

Fuente: Manual de Alumbrado INDALUX

1.15 Gestión y mantenimiento energético

El paso del tiempo hace que disminuya la eficiencia energética de la iluminación debido a la depreciación del flujo luminoso de las lámparas a lo largo de su vida útil y la suciedad acumulada en las luminarias. Un mantenimiento de la iluminación permite alcanzar ahorros de hasta el 50 %.

El mantenimiento incluye:

- Limpieza de las luminarias.
- Sustitución de lámparas. Debe hacerse al final de la vida útil indicada por el fabricante, ya que, aunque no hayan fallado, su eficacia habrá disminuido. En grandes instalaciones es aconsejable sustituir las lámparas por grupos en lugar de individualmente para mantener los niveles de iluminación adecuados.
- Revisión periódica del estado de los distintos componentes de la instalación.

Las grandes instalaciones deben tener una gestión del alumbrado, prestando atención a:

- Seguimiento de los planes de mantenimiento (limpiezas, reposiciones de lámparas por grupos, etc.).
- Control de horarios de funcionamiento.
- Control de consumos y costes.
- Seguimiento de la tarificación.

1.16 Política para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética en Cuba. Antecedentes

1. Creación en 1997 del Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC).
2. Implementación, a partir del 2006, de los Programas de la Revolución Energética en Cuba:
 - Cambio de 9,4 millones de bombillos incandescentes por bombillos ahorradores y de 4,4 millones de equipos electrodomésticos ineficientes, de ellos 2,6 millones de refrigeradores.
 - Instalación de la generación distribuida con motores de alta eficiencia.
 - Rehabilitación de las redes de distribución eléctrica.
 - Ahorro y Uso Eficiente de la Energía en el sector estatal, principalmente en los altos consumidores.
 - Campañas de divulgación para la promoción de las políticas de ahorro en la población y con el público infantil.

- En el 2009 se incrementa el papel de la planificación de la electricidad y la exigencia del cumplimiento del plan de consumo a servicio eléctrico. Se fortalecen los **Consejos Energéticos Provinciales y Municipales**.
- Se aprueba la Resolución 136 de 2009 del extinto MINBAS que regula los estándares mínimos de eficiencia energética para los equipos de consumo final de la energía que se importen, produzcan o comercialicen en el país.
- En el 2012 se crea la **Oficina Nacional para el Control del Uso Racional de la energía (ONURE)** con el objetivo de fortalecer la inspección del uso racional y el control de portadores energéticos, el desarrollo de proyectos que fomenten la eficiencia energética y el diseño e implementación de una estrategia de divulgación que promueva una conciencia de ahorro de los combustibles, lubricantes y la energía eléctrica.
- En el 2015 se dejan de consumir 81.7 toneladas de combustible por cada millón de pesos del PIB con relación al 2005 como resultado de las políticas adoptadas y el cambio estructural hacia una economía mayoritariamente de servicio.

Capítulo II

Capítulo 2 . METODOLOGÍA. Descripción de la metodología para confeccionar Guía

En este capítulo se detalla el conjunto de procedimientos utilizados para alcanzar los objetivos trazados, basados en la identificación para la eficiencia en la iluminación, tanto en la calidad luminosa, así como en el consumo eléctrico. La metodología por utilizar es de carácter cuantitativo. El diagnóstico se basará en la medición de la iluminación por locales, donde se observará y se medirá la eficiencia lumínica, además los factores que influyen en su aumento. Dentro del aspecto más determinante para la recolección de datos cuantitativos, se encuentran la medición de las luminarias, por medio de un luxómetro se determinará los lux que tiene cada área, dependiendo de la actividad que se realice, de acuerdo con la normativa correspondiente. A su vez se investigará el tipo de luminarias que ahorre el consumo energético y brinde las características necesarias para las tareas en las edificaciones.

2.1 Variables de estudio

Una variable es aquello que puede tener una variación susceptible y a su vez puede ser medible u observable. Por consiguiente, el estudio analizará la variable de la iluminación artificial, a partir del sistema de iluminación actual, para diagnosticar los niveles de iluminación, la eficiencia eléctrica de las luminarias, la cantidad de lámparas, así como sus hábitos de consumo.

Una vez determinado el estado actual del sistema de iluminación del edificio, por medio del análisis de resultados del inventario y el diagnóstico del consumo eléctrico, se procede a realizar una propuesta de mejora en el lugar de estudio.

2.2 Metodologías para los cálculos de la iluminación

A continuación, se describen y se desarrollan las fases para lograr el ahorro energético en iluminación para locales. (Moreno,2010)

2.2.1 Diagnóstico e inventario de luminarias

En esta sección se darán los pasos para conocer y medir el sitio de estudio. Se recolectará la información necesaria para realizar el muestro con los datos necesarios para el estudio.

2.2.1.1 Método de muestreo y mapeo de iluminación

Este método se utiliza dividiendo el área en cuadrantes iguales y ajustables al plano de trabajo. Cada plano de trabajo debe estar dentro de un cuadrante

para que la medición no se vea afectada; la cual va depender de la ubicación de las lámparas y del área del trabajo.

Se debe medir el número mínimo de puntos. Se calcula a partir del índice local aplicable al interior analizado como se muestra en la siguiente ecuación:

Cálculo para el índice local

$$\text{índice local} = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{altura del montaje} \times (\text{largo} + \text{ancho})} \quad 2.1$$

El ancho y largo se refiere a las dimensiones del recinto y la altura del montaje es la fuente vertical entre el centro de la fuente de luz y el plano del trabajo. La relación mencionada se expresa de la siguiente forma:

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (x + 2)^2 \quad 2.2$$

Donde "X" es el número del valor del índice redondeado al entero superior para todos los valores del "índice local" iguales o mayores que 3, el valor de "X" es 4, debido a que la cantidad de puntos de medición sería muy alta. A partir de la ecuación se obtiene el número mínimo de puntos de medición.

Datos de entrada del local

Para hacer la medición son necesarios dos instrumentos: el luxómetro y el medidor de láser a distancia. En esta etapa se realiza las siguientes mediciones:

- Luxes
- Altura sobre el plano
- Plano (horizontal, vertical o inclinado)

2.2.1.2 Medición de la dimensión del local o zona a iluminar

Se mide el ancho (a), largo (b) y alto (H) de la zona donde se realizará la medición.

2.2.1.3 Fijar la altura del plano del trabajo

Las mediciones se efectúan sobre los planos de trabajo y se considera la inclinación existente. Si no se cuenta con el plano de trabajo, se mide sobre un plano imaginario.

Para medir la iluminancia general en un salón regular, se divide el área en cuadrados imaginarios y se realizan mediciones en el centro de cada cuadrado, a la altura de los planos de trabajo (0.75 metros para trabajo sedentario 0,85 m. para trabajo de pie). El promedio de las mediciones individuales equivale a la

iluminancia promedio del salón. Las mediciones se deben realizar en todas las estaciones de trabajo, debido a que las condiciones de iluminación, difícilmente son idénticas.

En caso de contar con un plano de trabajo, se deben tomar en cuenta la cavidad y el tipo de actividad a realizar. Para realizar el cálculo de la cavidad local se determinará lo siguiente:

Cálculo de la cavidad local

En cuanto al índice de las cavidades, existen tres cavidades, las cuales son: la cavidad local (espacio entre la lámpara y la superficie), la cavidad del techo (espacio arriba de las lámparas) y la cavidad del piso. Para obtener el valor de cada cavidad se debe utilizar, donde se obtiene el coeficiente de utilización. Una vez conocida la reflectancia de las superficies del techo y del piso.

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$$

2.3

Donde:

hm: Distancia que hay entre el plano de trabajo y el techo

l: Longitud del local

a: Ancho del local

K: Cavidad

2.2.1.4 Determinación de la iluminancia media

Este valor va a depender del tipo de la actividad del local en estudio. Se realizará por medio de la NC-ISO 8995/CIE S 008: 2003. Iluminación de puestos de trabajo en interiores, la cual define los parámetros recomendados para los distintos tipos de áreas, tareas y actividades, para un alumbrado que contribuye a alumbrar en cantidad y calidad los sistemas de iluminación para crear una comodidad visual a los usuarios.

<i>Tipo de interior, tarea o actividad</i>	<i>E_m (lux)</i>	<i>CUDI</i>	<i>R_a</i>	<i>Notas</i>
<i>Local de juegos (escuela)</i>	<i>300</i>	<i>19</i>	<i>80</i>	
<i>Aula de pre-escolares</i>	<i>300</i>	<i>19</i>	<i>80</i>	<i>La iluminación debe ser controlable (regulable)</i>
<i>Aula de habilidades pre-</i>	<i>300</i>	<i>19</i>	<i>80</i>	

<i>escolares</i>				
------------------	--	--	--	--

Tabla 4: Tareas y actividades en áreas interiores con especificación de la iluminancia, la limitación del deslumbramiento y la cualidad de color.

Fuente: Fragmentos de NC-ISO 8995/CIE S 008: 2003

2.2.1.5 Identificar el tipo de luminaria utilizada

Se debe investigar el tipo de lámpara y la luminaria, para determinar los lúmenes (lm).

2.2.1.6 Determinación del coeficiente de utilización y factor de mantenimiento

Para determinar el coeficiente de utilización (CU) de acuerdo con la lámpara y la fuente luminosa, se tiene que tomar en cuenta la cavidad local y las reflexiones (techo y piso), de acuerdo con la lámpara. Sin embargo, este cuadro tiene una reflexión de cavidad de piso diferente a la verdadera, por lo que se corrige por medio del factor de corrección para el dato CU.

Color	Refl. %	Material	Refl. %
Blanco	70-75	Revoque claro	35-55
Crema claro	70-80	Revoque oscuro	20-30
Amarillo claro	50-70	Hormigón claro	30-50
Verde claro	45-70	Hormigón oscuro	15-25
Gris claro	45-70	Ladrillo claro	30-40
Celeste claro	50-70	Ladrillo oscuro	15-25
Rosa claro	45-70	Marmol blanco	60-70
Marrón claro	30-50	Granito	15-25
Negro	4-6	Madera clara	30-50
Gris oscuro	10-20	Madera oscura	10-25
Amarillo oscuro	40-50	Vidrio plateado	80-90
Verde oscuro	10-20	Aluminio mate	55-60
Azul oscuro	10-20	Aluminio pulido	80-90
Rojo oscuro	10-20	Acero pulido	55-65

Figura 15: Poder reflectante de algunos colores y materiales.

Fuente: CARLOS LAZLO–MANUAL DE LUMINOTECNIA PARA INTERIORES <http://www.lazlo.com.ar>

TIPO DE LUMINARIA	REFLECTANCIAS EFECTIVAS												
	TECHO	80			70			50			30		
	PARED	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
	K	COEFICIENTES DE UTILIZACION											
REFLECTOR DE ALUMINIO DIFUSO CON PANTALLA	1	0,85	0,82	0,80	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,72	0,69	0,68	0,66
	2	0,76	0,72	0,68	0,74	0,70	0,66	0,68	0,65	0,62	0,63	0,61	0,58
	3	0,69	0,63	0,59	0,66	0,61	0,57	0,62	0,58	0,54	0,57	0,54	0,51
	4	0,62	0,56	0,51	0,60	0,56	0,50	0,56	0,51	0,47	0,52	0,48	0,45
	5	0,55	0,49	0,44	0,53	0,48	0,43	0,50	0,45	0,41	0,47	0,43	0,39
	6	0,50	0,43	0,39	0,48	0,42	0,38	0,45	0,40	0,36	0,42	0,38	0,35
	7	0,45	0,38	0,34	0,43	0,37	0,33	0,41	0,36	0,32	0,38	0,34	0,30
	8	0,40	0,34	0,29	0,39	0,33	0,29	0,37	0,31	0,28	0,34	0,30	0,26
	9	0,36	0,30	0,25	0,35	0,29	0,25	0,33	0,28	0,24	0,31	0,26	0,23
	10	0,33	0,26	0,22	0,32	0,26	0,22	0,30	0,25	0,21	0,28	0,23	0,20

Tabla 5: Ejemplo de Tabla de coeficientes de utilización de ELECTROCONTROL

La manera de interpolar estos datos en la (Tabla 5) es ubicándolos según correspondan en las casillas de reflectancias de techo y paredes y del índice K asumiendo que éste tiene un valor de 3. Los valores de reflectancia y de índice K que se encuentran en las tablas de CU son valores enteros así que se deben elegir los más cercanos. De esta manera se hacen las siguientes aproximaciones:

Reflexiones (ρ Techo): $0,60 \gg 0,5$

Reflexiones (ρ Paredes): $0,75 \gg 0,8$

El valor de K es fijo y solo hay que ubicarlo en la tabla. De esta manera como se aprecia en Tabla el CU para este ejemplo es de 0,50. En el caso del factor de mantenimiento, se relaciona la iluminancia promedio del trabajo después de un periodo determinado de uso de instalación y la iluminancia promedio obtenida al empezar a funcionar esta. Se determina por medio de la siguiente ecuación:

Cálculo para el factor de mantenimiento

Por lo general el factor de mantenimiento dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza local. Por lo general oscila de 0.6 (sucio) a 0.8 (limpio).

$$FM = FE \times DLB \times Fb$$

2.4

Dónde:

FM: factor de mantenimiento de instalación

FE: depreciación de la luminaria por ensuciamiento

DLB: depreciación por disminución del flujo luminoso de la bombilla

Fb: factor del balastro.

Frecuencia de limpieza (años)	1				2			
	P	C	N	D	P	C	N	D
Condiciones ambientales.	0,96	0,93	0,89	0,83	0,93	0,89	0,84	0,78
Luminarias abiertas.	0,96	0,93	0,89	0,83	0,93	0,89	0,84	0,78
Reflector parte superior abierta.	0,96	0,90	0,86	0,83	0,89	0,84	0,80	0,75
Reflector parte superior cerrada.	0,94	0,89	0,81	0,72	0,88	0,80	0,69	0,59
Reflectors cerrados.	0,94	0,88	0,82	0,77	0,89	0,83	0,77	0,71
Luminarias a prueba de polvo.	0,98	0,94	0,90	0,86	0,95	0,91	0,86	0,81
Luminarias con emision indirecta.	0,91	0,86	0,81	0,74	0,86	0,77	0,66	0,57

Tabla 6: Valores de FM sugeridos por la CIE.

En donde:

P: Pure - Puro o muy limpio

C: Clean - Limpio

N: Normal

D: Dirty - Sucio.

2.2.1.7 Inventarios de luminarias

Teniendo el plano arquitectónico del local, se ubica cada oficina para cumplir lo siguiente:

- Ubicar las luminarias
- Tipo de lámpara
- Distribución o ubicación de la luminaria
- Determinar el consumo en kW de la luminaria
- Determinar las horas aproximadas de utilización

Una vez estando en las diferentes áreas del edificio, se investiga la forma de distribución que tienen las iluminarias en el área, para determinar el tipo de lámpara y la cantidad total que existe en cada sección del edificio. Se lleva a cabo por medio de la revisión individual de cada una las luminarias que se distribuye en el área.

A su vez, se investigará a través del personal, las horas de uso que tienen las luminarias y así determinar el tiempo de uso de las luminarias y los hábitos de consumo que tiene la entidad.

2.2.1.8 Cálculos del flujo luminoso total

[Cálculo para alumbrado interior](#)

Cálculo del nivel de iluminación promedio en interiores

$$E_{prom} = (\Phi_{tot} * CU * FM) / A$$

2.5

Donde:

Φ_{tot} = Flujo luminoso total emitido por todas las lámparas.

A = Área del plano de trabajo en m^2

CU = Coeficiente o Factor de utilización para el plano de trabajo.

FM = Factor de mantenimiento.

Uniformidad del alumbrado

Iluminación del alumbrado en el área de análisis

$$I(A) = CU(LLD)(N_1)(N_2)(L)$$

2.6

Donde:

I : iluminación en el área en lux

A : área iluminada en m^2

N_1 : números de luminarias

N_2 : números de lámparas

L : lúmenes de las lámparas

CU : coeficiente de utilización

LLD : depreciación de la lámpara en lúmenes

LDD : depreciación de la fuente luminosa debida al polvo

El método tiene cuatro pasos básicos:

- Determinar los índices de las cavidades zonales
- Determinar la reflectancia efectiva de las cavidades
- Seleccionar el coeficiente de utilización
- Calcular el nivel promedio de iluminación

Flujo luminoso requerido

Indica el flujo luminoso total requerido para producir la iluminancia media (E medio) previamente especificada.

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

2.7

Donde:

φ_{tot} : Flujo luminoso total requerido (lm)

E_{medio} : iluminancia media requerida (lx)

A : área del local (m^2)

CU : coeficiente de utilización

FM: factor de mantenimiento

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \times n} \quad 2.8$$

Donde:

N: Número de luminarias requeridas

n: Número de bombillas por luminarias

φ_{tot} : Flujo luminoso total o requerido (lm)

φ_l : Flujo luminoso por bombilla (lm)

Después de calcular el N, normalmente da un número impar, por lo que se deberá escoger el número de iluminarias por utilizar más aproximado a N.

Establecer el emplazamiento de las luminarias

Una vez has calculado el número mínimo de luminarias que necesitas tiene que proceder a distribuir las sobre la planta del aula, es decir, tendrás que averiguar la distancia a la que debes instalarlas para iluminarla uniformemente.

En los locales de planta rectangular, si quieres una iluminación uniforme las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas:

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{l} * a} \quad 2.9$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{l}{a}\right) \quad 2.10$$

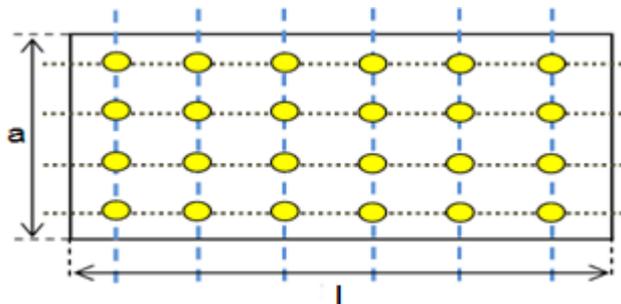


Figura 16: Distribución uniforme de luminarias

Calcular el flujo luminoso real (Φ_{real}) e iluminancia del promedio real (E_{prom})

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l \quad 2.11$$

Donde:

Φ real: Flujo luminoso real emitido (lm)

N: Número de luminarias requeridas

n: Número de bombillas por luminarias

ϕ L: Flujo luminoso por bombilla (lm)

Al tener ya calculado el ϕ real, se estima calcular la iluminancia promedio la cual se obtendrá con ese valor. La iluminancia promedio está determinada por la siguiente ecuación:

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\phi_{real} \times CU \times FM}{A} \quad 2.12$$

Donde:

ϕ real: Flujo luminoso real emitido por el número de luminarias (lm)

CU: Coeficiente o factor de utilización

FM: Factor de mantenimiento

A: Área de edificación (m²)

Valor de la eficiencia energética de la instalación

Con un valor de Eficiencia Energética de la instalación VEEI, expresado en (W/m²) por cada 100 luxes, mediante la siguiente expresión:

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}} \quad 2.13$$

Donde:

P: Potencia total instalada en las bombillas más los equipos auxiliares, incluyendo sus pérdidas (W)

S: Superficie iluminada (m²)

E_{prom} : Iluminancia promedio horizontal mantenida (lux)

Grupo	Actividad de la zona	VEEI máximo
1. Zonas de baja importancia lumínica.	Administrativa en general	3,5
	Andenes de estaciones de transporte	3,5
	Salas de diagnóstico	3,5
	Pabellones de exposición o ferias	3,5
	Aulas y laboratorios	4
	Habitaciones de hospital	4,5
	Zonas comunes	4,5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Parqueaderos	5
	Zonas deportivas	5
2. Zonas de alta importancia lumínica	Administrativa en general	6
	Estaciones de transporte	6
	Supermercados, hipermercados y almacenes	6
	Bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	Zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	Centros comerciales (tiendas excluidas)	8
	Hostelería y restauración	10
	Centros de culto religioso en general	10
	Salones de reuniones, auditorios, convenciones	10
	Tiendas y pequeño comercio	10
	Zonas comunes	10
	Habitaciones de hoteles	12

Tabla 7: Valores de VEEI, máximos permitidos. Fuente: García. 2006. Código Técnico de la Edificación, España

2.2.2 Algoritmo método de las cavidades zonales

El procedimiento para diseñar instalaciones de iluminación interior se puede resumir en el siguiente algoritmo.

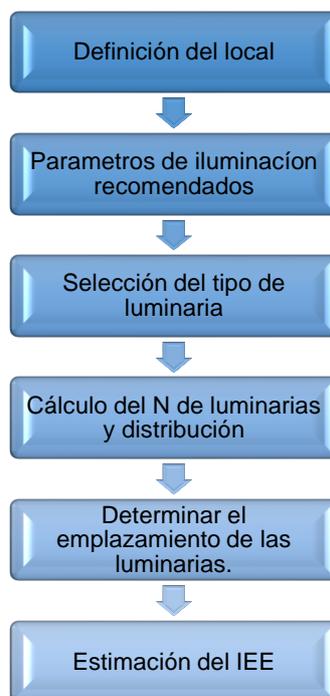


Figura 17: Algoritmo para el diseño de instalaciones de iluminación interior.

2.3 EJEMPLO DE APLICACIÓN

En esta sección se realizará el diseño de un sistema de iluminación para un taller de ensamble de pequeños motores, si bien este diseño no contará con un alto grado de dificultad, se realiza con el fin de exponer la metodología fundamental a emplear en cualquier diseño de iluminación interior. Para realizar este diseño se seguirán los pasos expuestos en el algoritmo de la figura anterior.

2.3.1 Análisis del proyecto

El local a iluminar es de forma rectangular y en él habrá bancos de trabajo sobre los cuales se realizará el ensamble o montaje de pequeños motores y bobinados. La iluminación requerida es del tipo general; es decir, se debe asegurar una iluminancia promedio en todo el local y no en lugares específicos.

2.3.2 Definir parámetros del local

Los parámetros del local hacen referencia a sus dimensiones, color o textura de paredes, techo y piso, y finalmente al tipo de local y el tipo de actividades que se realizarán allí. Estos parámetros son entonces los siguientes:

Dimensiones: Altura: 3m, ancho: 8m, longitud: 17m

Color de paredes y techo: Gris claro

Color del piso: Gris oscuro

Plano o altura de trabajo: 0,85m

Habiendo definido ya los colores o texturas de las paredes, piso y techo, se procede a asignar el valor de reflectancia para cada una de estas superficies. De esta manera las reflectancias efectivas quedan establecidas de la siguiente manera (Figura 15):

Reflectancia paredes y techo: 73%

Reflectancia piso: 25%.

2.3.3 Seleccionar iluminancia media

Luego de conocer el tipo de edificación a iluminar y la clase de actividad que se ha de realizar allí se debe especificar el nivel de iluminancia media requerida para dicha edificación. Se ubica un tipo de recinto y actividad que coincida, en este caso es Maquinado y trabajo de media precisión en banco, máquinas generalmente automáticas. De esta manera queda establecida la iluminancia media (E_{media}) como 500 lx (Objetivo de diseño).

2.3.4 Selección conjunto lámpara-luminaria

Para este tipo de locales es común emplear lámparas fluorescentes de dos tubos T8, en este caso se utilizarán las luminarias tipo reflector de aluminio difuso apantallada a 35°.

Además de su distribución luminosa también es necesario consultar los datos luminotécnicos correspondientes a la bombilla o lámpara a utilizar.

Lámpara: Fluorescente T8.

Potencia por lámpara: 32W

Flujo luminoso por lámpara: 2950lm

Eficacia: 92,2lm/W.

2.3.5 Calcular K, CU y FM

2.3.5.1 Índice de Cavidad del local K

Lo primero que se debe hacer es identificar las dimensiones del plano de trabajo del taller:

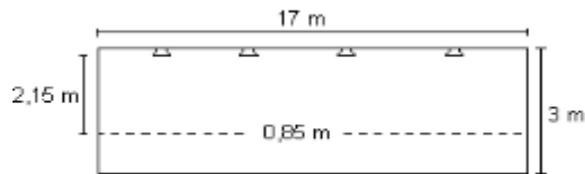


Figura18: Dimensiones del taller

Como se aprecia en la Figura, las cavidades zonales están delimitadas por el plano de 0,85 m correspondiente al plano de trabajo. Dado que la luminaria se aproximará directamente al techo el plano de montaje de luminarias es cero, hm se calcula usando la (Ecuación $K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$

2.3):

$$K = \frac{5 * 2.15 * (17m + 8m)}{17m * 8m} = 1.976$$

Debido a que en las tablas de CU el índice de cavidad del local es un número entero, se realizará la aproximación de 1,976 a 2. De esta manera la cavidad del local quedará establecida como $K = 2$.

2.3.5.2 Determinar coeficiente de utilización (CU)

Teniendo el índice de la cavidad del local y las reflectancias efectivas de cada superficie, se procede a determinar el coeficiente o factor de utilización por medio de las hojas de datos entregadas por los fabricantes. Para determinar el

CU se deben interpolar los valores de las reflectancias hallados en la **Sección 2.2.1.6**, en la (Tabla 5) entregada por el fabricante ELECTROCONTROL. Primero se ubica la del techo en el valor de 70, pues 73 no está disponible, luego de manera similar se ubica la de las paredes en 50 debido a que es el número máximo de reflectancia disponible.

Ubicando el valor de K en 2 se encuentra que CU = 0,74 hallados en la **Sección 2.2.1.6**.

2.3.5.3 Factor de mantenimiento (FM)

Para calcular el FM se utilizarán los valores sugeridos por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) de la Tabla ya que para utilizar la Ecuación 10 se deben obtener datos especiales de la lámpara los cuales solo se incluyen junto con su compra. Para calcular entonces el FM se asumirá que es un local de limpieza normal y que cuenta con un ciclo anual de mantenimiento. Sabiendo entonces que el tipo de luminaria escogida es del tipo abierta, el factor de mantenimiento quedará establecido en 0,89.

2.3.5.4 Flujo luminoso total requerido (φ_{tot})

Teniendo ya definidos los valores de CU, FM y E medio se procede a calcular el flujo luminoso total requerido (φ_{tot}) mediante la (Ecuación 2.7):

$$\varphi_{tot} = \frac{500lx * (17m * 8m)}{0.74 * 0.89} = 103\ 249.316\ lm$$

2.3.5.5 Número de luminarias requeridas (N)

Teniendo ya calculado el flujo luminoso total requerido y conociendo el flujo luminoso emitido por el tipo lámpara seleccionada, se procede a calcular el número de luminarias requeridas para proveer el flujo luminoso total utilizando

la ($N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_{lxn}}$ 2.8):

$$N = \frac{103\ 249.316\ lm}{2\ 950lm * 2} = 17.5\ luminarias$$

Debido a que se trata de un local rectangular el número de luminarias instaladas debe ser par a manera de contribuir con la uniformidad, por lo tanto, se tienen dos opciones a escoger: 16 o 18luminarias. Normalmente se evalúan en primer lugar las opciones más económicas (16luminarias en este caso).

2.3.5.6 Flujo luminoso real (ϕ real) e Iluminancia promedio (E prom)

Luego de conocer la cantidad de luminarias a utilizar se debe calcular el flujo luminoso que éstas emitirán utilizando la ($\Phi_{real} = N * n * \phi L$

2.11). Como se mencionó en la Sección

2.2.1.8, se deben evaluar las dos soluciones posibles, 16 o 18 luminarias:

Para 16 luminarias:

$$\phi_{real} = 16 * 2 * 2\,950\text{ lm} = 94\,400\text{ lm}$$

Luego con el flujo luminoso real se calcula usando la ($E_{prom} = (\Phi_{tot} * CU * FM)/A$ 2.5) la iluminancia promedio:

$$E_{prom} = \frac{94\,400\text{ lm} * 0.74 * 0.89}{17\text{ m} * 8\text{ m}} = 457.145\text{ lx}$$

Este valor de iluminancia promedio es aceptable, pues se encuentra dentro del rango establecido y además un poco cerca del valor medio ideal. A continuación, se utiliza el mismo procedimiento para evaluar la opción de 18 luminarias:

$$\phi_{real} = 18 * 2 * 2\,950\text{ lm} = 106\,200\text{ lm}$$

$$E_{prom} = \frac{106\,200\text{ lm} * 0.74 * 0.89}{17\text{ m} * 8\text{ m}} = 514.289\text{ lx}$$

Este valor de iluminancia promedio es mejor que el obtenido con 16 luminarias, pues su valor está más cerca del valor ideal, pero se debe tener en cuenta que un diseño de un sistema de iluminación no solo debe ser bueno desde el punto de vista técnico, sino también desde el punto de vista económico y energético, por lo tanto, se deben escoger 16 luminarias para el diseño, debido a que cumplen con los requisitos de iluminancia promedio y además son más económicas que 18 luminarias. De manera implícita o analítica se debe considerar que la luz solar aportará cierto nivel de iluminancia a la edificación.

2.3.5.7 Valor de eficiencia energética de la instalación(VEEI)

El VEEI de un sistema de iluminación depende principalmente de la eficacia de las lámparas utilizadas, de manera que entre más alta sea la eficacia de éstas, menor será el VEEI obtenido, lo cual es deseado. Para calcularlo se utiliza la

$$(VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}} \quad 2.13).$$

$$VEEI = \frac{(32\text{ W} * 2 * 16) * 100\text{ lx}}{17\text{ m} * 8\text{ m} * 457.145\text{ lx}} = 1.647 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 100\text{lx}$$

El taller de montaje estaría localizado en el (grupo 1) de la fila7 como “Otros recintos interiores “en el cual el VEEI máximo es 4,5. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético. Al cumplir los objetivos de iluminancia promedio y el de valor de eficiencia energética de la instalación se puede dar por terminado el diseño.

2.4 Diseño de sistemas de iluminación con el software DIALux

El software DIALux es un programa gratuito que permite realizar diseños de instalaciones de iluminación tanto interior como exterior, da la posibilidad de trabajar en conjunto con el software de diseño gráfico AUTOCAD lo cual facilita el proceso de diseño, pues cuando se utiliza ésta opción solo es necesario cargar el diseño de la edificación en el DIALux y sobre este realizar el diseño de la instalación de iluminación. Otras de las aplicaciones más importantes de DIALux consisten en que permite visualizar en gráficos tridimensionales los diagramas polares de la distribución luminosa de las luminarias utilizadas, representa gráficamente por medio de colores y líneas los niveles de iluminancia en la edificación y permite calcular los niveles de deslumbramiento. Aunque el software cuenta con muchos parámetros ya establecidos para su funcionamiento, posee la importante característica de incluir diseños o parámetros propios del usuario como, por ejemplo, se puede tomar una fotografía de una superficie e incluirla para su uso en el DIALux, de esta manera se puede estar seguro de que los datos obtenidos en la simulación sean lo más cercanos posible a los efectos reales que se presentarán una vez instalado el sistema de iluminación diseñado. También es posible mediante las figuras básicas (cubos, triángulos, cilindros) construir objetos propios y almacenarlos para su uso posterior, o simplemente se puede cargar un objeto tridimensional hecho en AUTOCAD e importarlo a DIALux. La manera en que DIALux modela sus luminarias y lámparas es a través de catálogos interactivos otorgados por los fabricantes de las mismas; en estos catálogos basta con seleccionar el tipo de aplicación de la instalación, tales como comercial, industrial, residencial o decorativa y aparecerán toda una gama de luminarias disponibles junto con sus datos luminotécnicos. Éstas luminarias se pueden insertar en la edificación bien sea una por una o se puede utilizar uno de los asistentes que posee este programa. Finalmente, cuando el diseño de un sistema de iluminación es terminado el programa se encargará de realizar la correcta organización de todos los aspectos del diseño en forma de documento de formato PDF, son tantos los resultados que entrega que se debe seleccionar de una gran lista los requeridos para la presentación del diseño según el tipo de parámetros medidos, aunque por supuesto algunos resultados son imprescindibles en la presentación del documento final. (Rodríguez,2012)

2.5 Diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando Dialux

El software DIALux está dividido en 2 aplicaciones, DIALux light y DIALux Professional. La aplicación Light como su nombre lo indica (liviano o ligero) sirve para el asesoramiento básico en un diseño de iluminación sencillo en cuanto a la simplicidad geométrica de la edificación a iluminar, mientras que la aplicación Professional permite una mejor determinación de los parámetros que definen el diseño de un sistema de iluminación. Aunque ambas aplicaciones sugieren soluciones al momento de determinar el número de luminarias requeridas para proveer una iluminancia promedio, la mejor opción es proponer y simular el resultado obtenido mediante el cálculo manual, ya que en definitiva el propósito de utilizar el software es la facilidad y la rapidez con la que se realizan los cálculos mas no esperar a que el software solucione el problema. Debido a que la aplicación Light es considerada un asistente más que un software de diseño, el estudio de este proyecto se hará sobre la aplicación Professional. Para realizar un proyecto utilizando DIALux Professional se cuentan con 3 opciones:

1. Empezar un proyecto nuevo desde cero, en el cual se deben tener en cuenta las características físicas del local tales como escaleras, escalones, plataformas, vigas y columnas, etc. Luego de diseñar el nuevo local con estas características se procede a diseñar el sistema de iluminación sobre este mismo.
2. Crear un proyecto nuevo con el asistente de DIALux en el cual solo se deben especificar las características geométricas del local, además algunas configuraciones geométricas preestablecidas para ciertos tipos de local.
3. Utilizar un plano o edificación diseñado en AUTOCAD y cargarlo en DIALux, y utilizando éste como referencia se crea el nuevo local.

Luego de terminado el diseño, hacer las debidas correcciones y obtenidos todos los datos luminotécnicos del diseño, la información de éstos aspectos y muchos otro será organizado en un documento formato PDF para su impresión y presentación; es decir, no hace falta hacer un trabajo escrito adicional detallando las características del diseño que se acaba de realizar. (Rodríguez,2012)

2.5.1 Interfaz de DIALuxprofessional

Antes de comenzar con el diseño de una instalación de iluminación utilizando este software, es de suma importancia entender la manera en la que éste entrega la información y la manera en la que se deben ingresar y manipular todo tipo de datos. Para ello, DIALux cuenta con una ventana muy completa con todos los comandos e instrucciones posibles a realizar al momento de crear un nuevo proyecto de iluminación. La interfaz cuenta con diversos botones y está dividida en cuatro áreas (Figura19): Ventana CAD, barra de herramientas, administrador de proyectos y guía de proyecto.

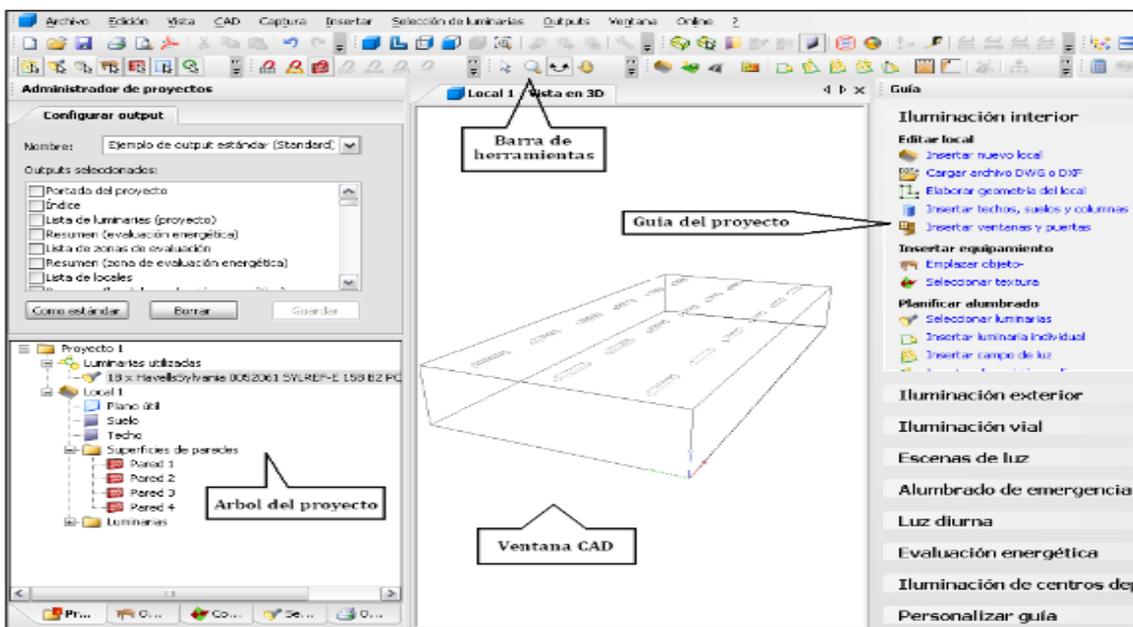


Figura19: Interfaz de DIALux Professional.

2.5.2 Ventana CAD

En este espacio se puede visualizar la edificación, luminarias y otros objetos que se deseen insertar en el proyecto. Es una de las herramientas más necesarias pues permite observar de manera física como está tomando forma la instalación de iluminación que se desea construir. En esta ventana se pueden realizar todo tipo de modificaciones al local y es la primera fuente de información que se tiene sobre el proyecto y se puede visualizar ya sea en 3D o en 2D. La principal herramienta para manipular la ventana CAD es el ratón, con el ratón se puede hacer rotar el local, moverlo, utilizar el zoom o desplazarse a través de él. En el botón central del ratón se dispone de la función "PAN" o "Mover". También está disponible la función "Zoom" en la

ruedecita de los Wheel-Mouse. El botón derecho del ratón es muy importante para el trabajo con DIALux, pues dispone de importantes funciones según el objeto, modo de programa o área de trabajo seleccionado. Además, es posible mover, modificar la escala, girar y seleccionar los objetos disponibles en el local. (Rodríguez,2012)

2.5.3 Barra de herramientas

Como en todo software de cualquier tipo de aplicación existe una barra en la parte superior de la pantalla, la cual como su nombre lo indica contiene diversos tipos de opciones y aplicaciones que se pueden activar o desactivar en cualquier momento durante el proceso de diseño.

A continuación, se presentan algunos elementos básicos de la barra de herramientas.

Símbolo	Nombre	Función
	Vista estándar 3D	Sirve para visualizar el local y todos los elementos ubicados en él, en 3D.
	Vista planta	Permite visualizar en 2D la planta del local; es decir, visto desde arriba.
	Vista lateral	Permite visualizar en 2D, el alto y el largo del local.
	Vista frontal	Permite visualizar en 2D, el alto y el ancho del local.
	Distribución luminosa	Representa en 3D la distribución luminosa de las luminarias.
	Isolíneas	Muestra en la ventana CAD las isolíneas de las iluminancias.
	Cinta métrica	Permite conocer las dimensiones de los distintos objetos del local y del mismo.
	Flecha	Activa la selección de objetos y superficies.
	Lupa	Amplía y disminuye la vista de la ventana CAD.
	Rotar vista	Permite rotar el local en cualquier dirección.
	Mover vista	Permite desplazar el local.
	Iniciar cálculos	Permite iniciar los cálculos lumínico-técnicos del diseño.

Tabla20: Componentes básicos de la barra de herramientas.

Básicamente la barra de herramientas permite entonces modificar la manera en la que se percibe el entorno mostrado en la ventana CAD; es decir, no altera los parámetros o variables del diseño. (Rodríguez,2012)

2.5.4 Administrador de proyectos

Esta parte de la interfaz se encarga de presentar de manera completa y ordenada todos los aspectos a definir sobre el proyecto tales como dimensiones del local, tipo de luminaria a emplear, colores y texturas de suelos, paredes y techo, objetos a introducir.

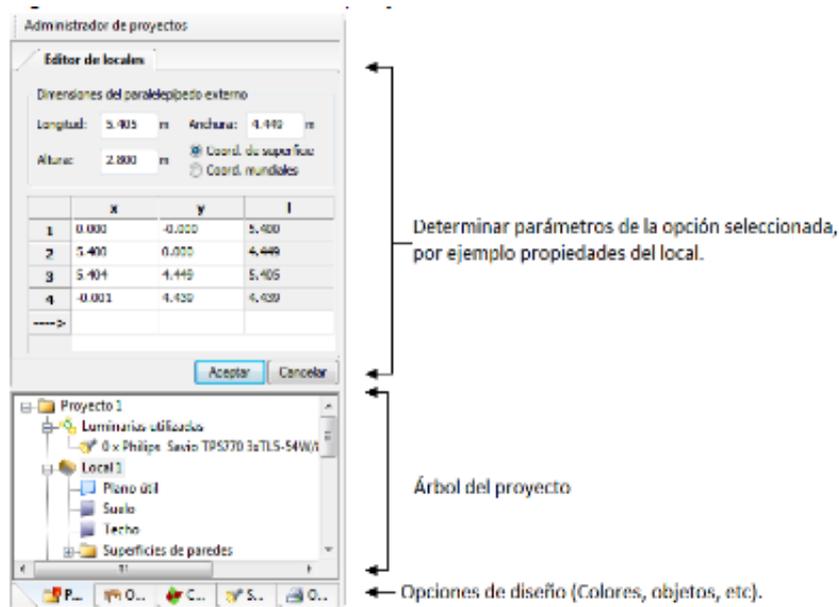


Figura21: Administrador del proyecto.

Esta parte de la interfaz muestra todos los aspectos que se deben definir para realizar el diseño de la instalación de iluminación adecuadamente. Para manipularlo se debe seleccionar una de las opciones del diseño, automáticamente se desplegará el árbol de opciones de dicha opción, una vez seleccionada una de las ramas del árbol, aparecerá en la parte superior las opciones y las características a modificar de dicha rama. (Rodríguez,2012)

2.5.5 Guía del proyecto

Esta guía sirve para cualquier tipo de diseño que se esté realizando, ya sea interior o exterior y otras aplicaciones.

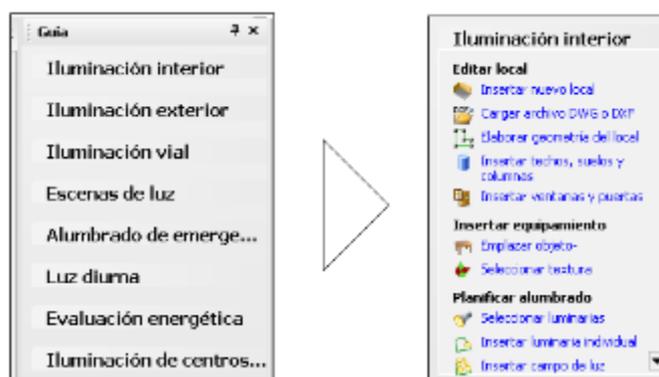


Figura22: Guía del proyecto

Al seleccionar la opción “Iluminación Interior” aparecerán una lista correspondiente a las opciones con que se cuentan al momento de estar trabajando en el diseño de una instalación de iluminación interior, esta lista

incluye botones de la barra de herramientas y opciones del administrador de proyectos. (Rodríguez,2012)

2.5.6 Algoritmo para el diseño de instalaciones de iluminación interior usando DIALuxprofessional

La metodología empleada para diseñar sistemas de iluminación con el DIALux será la siguiente.

1. Conocer el tipo de recinto y la actividad que se va a realizar allí y además el tipo de instalación de iluminación (general, local, decorativa, etc.)
2. Especificar todo lo relacionado al proyecto en el administrador del proyecto, por ejemplo, nombre del proyecto y del diseñador, factor de mantenimiento.
3. Construir la edificación incluyendo en esta todos sus atributos arquitectónicos tales como ventanas, vigas, columnas, etc.
4. Aplicar colores y texturas a las superficies del local ya sea usando las que se incluyen en el software o importar nuevas texturas (Recomendado).
5. Insertar los objetos correspondientes al tipo de local para así representar de la mejor manera la edificación real, si bien este paso no es obligatorio, es aconsejable realizarlo.
6. Por medio de los catálogos instalados en el DIALux, se selecciona el tipo de luminaria a emplear.
7. Se recomienda utilizar el método matemático, para determinar las luminarias requeridas, aunque es posible utilizar los asistentes del DIALux para hacerlo. Luego de manera manual o por medio de los asistentes se ubican éstas en el local.
8. El software calculará por defecto la iluminancia promedio en todo el local y el VEEI, en caso de que se requieran realizar mediciones adicionales de iluminancia o deslumbramiento, se deberán insertar los puntos de medida disponibles en la opción “Objetos” >> “Puntos de cálculo” del administrador de proyectos.
9. Se da inicio a los cálculos y terminados éstos se verifica el cumplimiento de los objetivos esenciales del diseño, los cuales son: Iluminancia promedio y el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI.

10. En caso de que no se cumpla alguno de los objetivos, se debe retomar el diseño desde el punto 6 o 7 según la gravedad del caso; es decir, si la solución del problema consiste solo en la reubicación de las luminarias, seleccionar otro tipo de luminarias o calcular nuevamente el número de luminarias requeridas. (Rodríguez,2012)

Capítulo III

Capítulo 3 . Análisis de resultados. Aplicación en aulas del edificio docente

Como parte del estudio se realiza una aplicación de la metodología en las aulas del edificio docente de la sede Carlos Rafael Rodríguez.

3.1 Alumbrado en instituciones educativas, salas de lectura y auditorios

La iluminación de aulas de clase, salas de lectura, requiere especial cuidado y una gran responsabilidad por parte de diseñadores y constructores de sistemas de iluminación, una iluminación deficiente en estos lugares puede generar serias afectaciones visuales que generalmente son irreversibles, especialmente en los jóvenes.

Iluminación de aulas de clase: El alumbrado de un aula de enseñanza debe ser apropiado para actividades tales como escritura, lectura de libros y de la pizarra.

- a) Iluminación de salas de lectura y auditorios.** En las salas de lectura y auditorios normalmente no hay luz diurna y sólo existe la artificial. En estos locales se debe tener en cuenta los siguientes requisitos:
- Niveles de iluminación requeridos para lectura y escritura.
 - Se debe tener especial cuidado en prevenir el deslumbramiento. Ver Figura anterior.
 - Se debe disponer de un equipo especial de regulación de flujo luminoso para la proyección de películas y dispositivas.
 - Se debe instalar un alumbrado localizado sobre la pizarra de la pared con una iluminancia vertical de 750 luxes.
 - Se debe contar con un panel de control que permita encender y apagar los distintos grupos de luminarias, manejar el equipo de regulación de alumbrado y eventualmente controlar el sistema automático de proyección.
 - En estos recintos se debe contar con instalación de un alumbrado de emergencia y de señalización de las salidas.

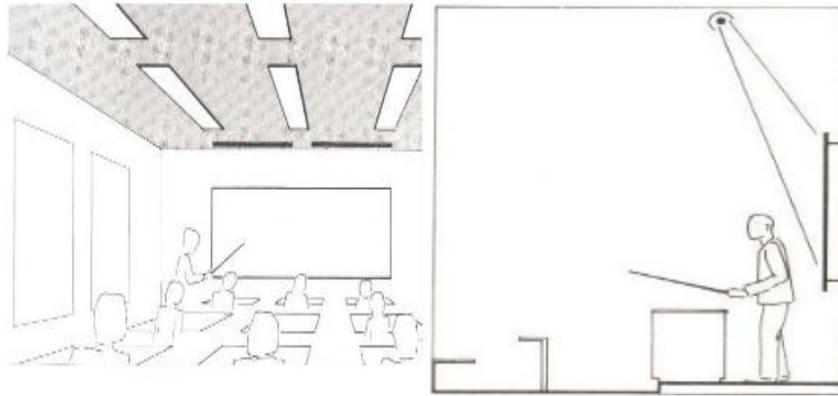


Figura 16: Aluminado en las aulas y sobre la pizarra.

3.2 Situación actual en las aulas de la docencia

Se aplica la Guía con cálculos rápidos para la inspección energética de sistemas de iluminación en las aulas de la docencia de nuestra universidad para buscar mejoras en cuanto el alumbrado interior; así como una mejor ergonomía hacia el estudiantado. Para esto se elabora un análisis de la situación actual en dichas aulas.

Parámetros de las aulas

- Color de las paredes y techo: blanco
- Color del piso: gris oscuro
- Reflectancia de las paredes y techo: 75 %
- Reflectancia del piso: 20%
- Tipo de laminarias: Fluorescentes T8 de dos lámparas (20W;40W), Fluorescentes T8 de una lámpara (20 W; 40 W),
- Flujo luminoso por lámpara: para 20W=1030lm y para 40W=2600lm
- Eficacia: para 20 W=51.50 lm/W y par 40W=65 lm/W

Aulas de análisis

Aula C4

Dimensiones:

Ancho (a): 11m

Longitud (l): 12m

Altura de trabajo (hm): 7m

Número de luminarias (N): 16

Cantidad de lámparas: 32

+ (en uso): 30

- (no en uso): 2

Tipo de lámpara: Fluorescentes 40W

Al realizar las mediciones con el luxómetro se obtiene una iluminación medio de **E med=186 lux** (con iluminación artificial) y con luz natural **E med=73 lux**.

Cálculo para el índice local

$$\text{índice local} = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{alturadelmontaje} \times (\text{largo} + \text{ancho})}$$

$$\text{índice local} = \frac{12 \text{ m} \times 11 \text{ m}}{7 \text{ m} \times (12 \text{ m} + 11 \text{ m})} = 1.48 \approx 2$$

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$\text{númerodepuntosmínimosdemedición} = (x + 2)^2$$

$$\text{númerodepuntosmínimosdemedición} = (2 + 2)^2 = 16$$

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$$

$$K = \frac{5 \times 7(12+11)}{12 \times 11} = 6.098$$

Con los valores obtenidos $K=6.098$; se busca en las tablas $CU=0.68$ y $FM=0.89$

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{186 \text{ lux} \times 132 \text{ m}^2}{0.68 \times 0.89} = 40609 \text{ lm}$$

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 16 * 2 * 2600 = 83200 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{83200 \times 0.68 \times 0.89}{132 \text{ m}^2} = 381 \text{ lux}$$

El valor de la iluminación promedio es ideal para los rangos establecidos.

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 * 2 * 16) \times 100}{132 \text{ m}^2 \times 381 \text{ lux}} = 2.54 \left(\frac{W}{\text{m}^2} \right) \times 100 \text{ lux}$$

Aula C2

Dimensiones:

Ancho (a): 11m

Longitud (l): 12m

Altura de trabajo (hm): 7m

Número de luminarias (N): 12

Cantidad de lámparas: 24

+ (en uso): 22

- (no en uso): 2

Tipo de lámpara: Fluorescentes 40W

Al realizar las mediciones con el luxómetro se obtiene una iluminación medio de **E med=184 lux** (con iluminación artificial) y con luz natural **E med=75 lux**.

Cálculo para el índice local

$$\text{índice local} = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{altura del montaje} \times (\text{largo} + \text{ancho})}$$

$$\text{índice local} = \frac{12 \text{ m} \times 11 \text{ m}}{7 \text{ m} \times (12 \text{ m} + 11 \text{ m})} = 1.48 \approx 2$$

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (x + 2)^2$$

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (2 + 2)^2 = 16$$

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$$

$$K = \frac{5 \times 7(12+11)}{12 \times 11} = 6.098$$

Con los valores obtenidos K=6.096; se busca en las tablas CU=0.68 y FM=0.89

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{184 \text{ lux} \times 132 \text{ m}^2}{0.68 \times 0.89} = 40241 \text{ lm}$$

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 12 * 2 * 2600 = 62400 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{62400 \times 0.68 \times 0.89}{132 \text{ m}^2} = 286 \text{ lux}$$

El valor de la iluminación promedio se queda por debajo los rangos establecidos cercanos al ideal.

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 * 2 * 12) \times 100}{132 \text{ m}^2 \times 286 \text{ lux}} = 3.39 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

Edificio de la Docencia

Aula 105 1erPiso

Dimensiones:

Ancho (a): 6.50m

Longitud (l): 12m

Altura de trabajo (hm): 2.43m

Número de luminarias (N): 12

Cantidad de lámparas: 12

+ (en uso): 12

- (no en uso): 0

Tipo de lámpara: 4 Fluorescentes 40W

8 Fluorescentes 20W

Al realizar las mediciones con el luxómetro se obtiene una iluminación medio de **E med=218 lux** (con iluminación artificial) y con luz natural **E med=114 lux**.

Cálculo para el índice local

$$\text{índice local} = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{alturadelmontaje} \times (\text{largo} + \text{ancho})}$$

$$\text{índice local} = \frac{12 \text{ m} \times 6.50 \text{ m}}{2.43 \text{ m} \times (12 \text{ m} + 6.50 \text{ m})} = 1.73 \approx 2$$

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (x + 2)^2$$

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (2 + 2)^2 = 16$$

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$$

$$K = \frac{5 \times 2.43(12+6.50)}{12 \times 6.50} = 2.88$$

Con los valores obtenidos K=2.88; se busca en las tablas CU=0.54 y FM=0.89

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{218 \text{ lux} \times 78 \text{ m}^2}{0.54 \times 0.89} = 34431 \text{ lm}$$

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} (40W) = 12 * 2600 = 31200lm$$

$$\Phi_{real} (20W) = 12 * 1030 = 12360lm$$

$$\Phi_{real}(tot) = \frac{\Phi_{real} (40W) + \Phi_{real} (20W)}{2} = 21780lm$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{21780lm \times 0.68 \times 0.89}{78 m^2} = 134 lux$$

El valor de la iluminación promedio se queda por debajo los rangos establecidos.

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI(40W) = \frac{(40 * 1 * 12) \times 100}{78 m^2 \times 134 lux} = 4.58 \left(\frac{W}{m^2}\right) \times 100 lux$$

$$VEEI(20W) = \frac{(20 * 1 * 12) \times 100}{78 m^2 \times 134 lux} = 2.29 \left(\frac{W}{m^2}\right) \times 100 lux$$

$$VEEI(tot) = \frac{VEEI(40W) + VEEI(20W)}{2} = 3.435 \left(\frac{W}{m^2}\right) \times 100 lux$$

Aula 106 1er Piso

Dimensiones:

Ancho (a): 6.50m

Longitud (l): 6m

Altura de trabajo (hm): 2.45m

Número de luminarias (N): 4

Cantidad de lámparas: 4

+ (en uso): 2

- (no en uso): 2

Tipo de lámpara: Fluorescentes 40W

Al realizar las mediciones con el luxómetro se obtiene una iluminación medio de **E med=236 lux** (con iluminación artificial) y con luz natural **E med=143 lux**.

Cálculo para el índice local

$$\text{índice local} = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{alturadelmontaje} \times (\text{largo} + \text{ancho})}$$

$$\text{índice local} = \frac{6 m \times 6.50 m}{2.45 m \times (6 m + 6.50 m)} = 1.27 \approx 2$$

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$\text{númerodepuntosmínimosdemedición} = (x + 2)^2$$

$$\text{númerodepuntosmínimosdemedición} = (2 + 2)^2 = 16$$

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$$

$$K = \frac{5 \times 2.45(6+6.50)}{6 \times 6.50} = 3.92$$

Con los valores obtenidos K=3.92; se busca en las tablas CU=0.60 y FM=0.89

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{236 \text{ lux} \times 39 \text{ m}^2}{0.60 \times 0.89} = 17254 \text{ lm}$$

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 4 * 1 * 2600 = 10400 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{10400 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{39 \text{ m}^2} = 142 \text{ lux}$$

El valor de la iluminación promedio se queda por debajo los rangos establecidos.

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 \times 1 \times 4) \times 100}{39 \text{ m}^2 \times 142 \text{ lux}} = 3.39 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

Aula 203 2do Piso

Dimensiones:

Ancho (a): 6.80m

Longitud (l): 6m

Altura de trabajo (hm): 2.45m

Número de luminarias (N): 6

Cantidad de lámparas: 6

+ (en uso): 5

- (no en uso): 1

Tipo de lámpara: Fluorescentes 20W

Al realizar las mediciones con el luxómetro se obtiene una iluminación medio de **E med=462 lux** (con iluminación artificial) y con luz natural **E med=285 lux**.

Cálculo para el índice local

$$\text{índice local} = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{altura del montaje} \times (\text{largo} + \text{ancho})}$$

$$\text{índice local} = \frac{6 \text{ m} \times 6.80 \text{ m}}{2.45 \text{ m} \times (6 \text{ m} + 6.80 \text{ m})} = 1.30 \approx 2$$

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (x + 2)^2$$

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (2 + 2)^2 = 16$$

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$$

$$K = \frac{5 \times 2.45(6+6.80)}{6 \times 6.80} = 3.84$$

Con los valores obtenidos K=6.096; se busca en las tablas CU=0.68 y FM=0.89

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{462 \text{ lux} \times 40.8 \text{ m}^2}{0.60 \times 0.89} = 35341 \text{ lm}$$

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 6 * 1 * 1030 = 6180 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{6180 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{40.8 \text{ m}^2} = 80.88 \text{ lux}$$

El valor de la iluminación promedio se queda por debajo los rangos establecidos.

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(20 * 1 * 6) \times 100}{40.8 \text{ m}^2 \times 80.88 \text{ lux}} = 3.63 \left(\frac{W}{\text{m}^2} \right) \times 100 \text{ lux}$$

Aula 210 2do Piso

Dimensiones:

Ancho (a): 6.80m

Longitud (l): 6m

Altura de trabajo (hm): 2.45m

Número de luminarias (N): 6

Cantidad de lámparas: 6

+ (en uso): 5

- (no en uso): 1

Tipo de lámpara: 2 Fluorescentes 40W

3 Fluorescentes 20W

Al realizar las mediciones con el luxómetro se obtiene una iluminación medio de **E med=444 lux** (con iluminación artificial) y con luz natural **E med=302 lux**.

Cálculo para el índice local

$$\text{índice local} = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{altura del montaje} \times (\text{largo} + \text{ancho})}$$

$$\text{índice local} = \frac{6\text{m} \times 6.80\text{m}}{2.45\text{m} \times (6\text{m} + 6.80\text{m})} = 1.30 \approx 2$$

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (x + 2)^2$$

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (2 + 2)^2 = 16$$

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$$

$$K = \frac{5 \times 2.45(6+6.0)}{6 \times 6.80} = 3.84$$

Con los valores obtenidos K=3.84; se busca en las tablas CU=0.60 y FM=0.89

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{444\text{ lux} \times 40.8\text{m}^2}{0.60 \times 0.89} = 33942\text{ lm}$$

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} (40W) = 6 * 2600 = 15600\text{ lm}$$

$$\Phi_{real} (20W) = 6 * 1030 = 6180\text{ m}$$

$$\Phi_{real}(tot) = \frac{\Phi_{real} (40W) + \Phi_{real} (20W)}{2} = 10890\text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{10890\text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{40.8\text{ m}^2} = 142\text{ lux}$$

El valor de la iluminación promedio se queda por debajo los rangos establecidos.

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI(40W) = \frac{(40 \times 1 \times 6) \times 100}{40.8 \text{ m}^2 \times 142 \text{ lux}} = 4.12 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

$$VEEI(20W) = \frac{(20 \times 1 \times 6) \times 100}{40.8 \text{ m}^2 \times 142 \text{ lux}} = 2.06 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

$$VEEI(tot) = \frac{VEEI(40W) + VEEI(20W)}{2} = 3.09 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

Calculo de consumo eléctrico

Número de luminarias (N): 4

Potencia por lámpara: 40W

Horas de uso: 10 h

Aula 304 3er Piso

Dimensiones:

Ancho (a): 6.80m

Longitud (l): 9m

Altura de trabajo (hm): 2.45m

Número de luminarias (N): 9

Cantidad de lámparas: 9

+ (en uso): 9

- (no en uso): 0

Tipo de lámpara: 8 Fluorescentes 40W

1 Fluorescentes 20W

Al realizar las mediciones con el luxómetro se obtiene una iluminación medio de **E med=619 lux** (con iluminación artificial) y con luz natural **E med=495 lux**.

Cálculo para el índice local

$$\text{índice local} = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{altura del montaje} \times (\text{largo} + \text{ancho})}$$

$$\text{índice local} = \frac{9 \text{ m} \times 6.80 \text{ m}}{2.45 \text{ m} \times (9 \text{ m} + 6.80 \text{ m})} = 1.57 \approx 2$$

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (x + 2)^2$$

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (2 + 2)^2 = 16$$

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$$

$$K = \frac{5 \times 2.45(9+6.80)}{9 \times 6.80} = 3.16$$

Con los valores obtenidos $K=3.16$; se busca en las tablas $CU=0.66$ y $FM=0.89$

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{619 \text{ lux} \times 61.2 \text{ m}^2}{0.66 \times 0.89} = 64570 \text{ lm}$$

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} (40W) = 9 * 2600 = 23400 \text{ lm}$$

$$\Phi_{real} (20W) = 9 * 1030 = 9270 \text{ lm}$$

$$\Phi_{real}(tot) = \frac{\Phi_{real} (40W) + \Phi_{real} (20W)}{2} = 16335 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{16335 \text{ lm} \times 0.66 \times 0.89}{61.2 \text{ m}^2} = 156 \text{ lux}$$

El valor de la iluminación promedio se queda por debajo los rangos establecidos.

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI(40W) = \frac{(40 \times 1 \times 9) \times 100}{61.2 \text{ m}^2 \times 156 \text{ lux}} = 3.75 \left(\frac{W}{\text{m}^2} \right) \times 100 \text{ lux}$$

$$VEEI(20W) = \frac{(20 \times 1 \times 9) \times 100}{61.2 \text{ m}^2 \times 156 \text{ lux}} = 1.87 \left(\frac{W}{\text{m}^2} \right) \times 100 \text{ lux}$$

$$VEEI(tot) = \frac{VEEI(40W) + VEEI(20W)}{2} = 2.81 \left(\frac{W}{\text{m}^2} \right) \times 100 \text{ lux}$$

Aula 306 3er Piso

Dimensiones:

Ancho (a): 6.80m

Longitud (l): 6m

Altura de trabajo (hm): 2.45m

Número de luminarias (N): 6

Cantidad de lámparas: 6

+ (en uso): 6

- (no en uso): 0

Tipo de lámpara: 4 Fluorescentes 40W

2 Fluorescentes 20W

Al realizar las mediciones con el luxómetro se obtiene una iluminación medio de **E med=413 lux** (con iluminación artificial) y con luz natural **E med=264 lux**.

Cálculo para el índice local

$$\text{índice local} = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{altura del montaje} \times (\text{largo} + \text{ancho})}$$

$$\text{índice local} = \frac{6 \text{ m} \times 6.80 \text{ m}}{2.45 \text{ m} \times (6 \text{ m} + 6.80 \text{ m})} = 1.30 \approx 2$$

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (x + 2)^2$$

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (2 + 2)^2 = 16$$

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times h \times m(l+a)}{l \times a}$$

$$K = \frac{5 \times 2.45(6+6.80)}{6 \times 6.80} = 3.84$$

Con los valores obtenidos $K=3.84$; se busca en las tablas $CU=0.60$ y $FM=0.89$

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{413 \text{ lux} \times 40.8 \text{ m}^2}{0.60 \times 0.89} = 34431 \text{ lm}$$

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} (40W) = 6 * 2600 = 15600 \text{ lm}$$

$$\Phi_{real} (20W) = 6 * 1030 = 6180 \text{ lm}$$

$$\Phi_{real}(tot) = \frac{\Phi_{real} (40W) + \Phi_{real} (20W)}{2} = 10890 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{10890 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{40.8 \text{ m}^2} = 142 \text{ lux}$$

El valor de la iluminación promedio se queda por debajo los rangos establecidos.

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI(40W) = \frac{(40 \cdot 1 \cdot 6) \times 100}{40.8 \text{ m}^2 \times 142 \text{ lux}} = 4.14 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

$$VEEI(20W) = \frac{(20 \cdot 1 \cdot 6) \times 100}{40.8 \text{ m}^2 \times 142 \text{ lux}} = 2.07 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

$$VEEI(tot) = \frac{VEEI(40W) + VEEI(20W)}{2} = 3.10 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

Aula 408 4to Piso

Dimensiones:

Ancho (a): 6.80m

Longitud (l): 9m

Altura de trabajo (hm): 2.45m

Número de luminarias (N): 7

Cantidad de lámparas: 7

+ (en uso): 7

- (no en uso): 0

Tipo de lámpara: 7 Fluorescentes 20W

Al realizar las mediciones con el luxómetro se obtiene una iluminación medio de **E med=272 lux** (con iluminación artificial) y con luz natural **E med=188 lux**.

Cálculo para el índice local

$$\text{índice local} = \frac{\text{largo} \times \text{ancho}}{\text{altura del montaje} \times (\text{largo} + \text{ancho})}$$

$$\text{índice local} = \frac{9 \text{ m} \times 6.80 \text{ m}}{2.45 \text{ m} \times (9 \text{ m} + 6.80 \text{ m})} = 1.58 \approx 2$$

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (x + 2)^2$$

$$\text{número de puntos mínimos de medición} = (2 + 2)^2 = 16$$

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$$

$$K = \frac{5 \times 2.45(9+6.80)}{9 \times 6.80} = 3.16$$

Con los valores obtenidos K=3.16; se busca en las tablas CU=0.66 y FM=0.89

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\phi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\phi_{tot} = \frac{272 \text{ lux} \times 61.2 \text{ m}^2}{0.60 \times 0.89} = 28326 \text{ lm}$$

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \phi L$$

$$\Phi_{real} = 7 * 1 * 1030 = 7210lm$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\phi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{7210lm \times 0.66 \times 0.89}{61.2 m^2} = 69.2 lux$$

El valor de la iluminación promedio se queda por debajo los rangos establecidos.

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(20 * 1 * 7) \times 100}{61.2 m^2 \times 69.2 lux} = 3.30 \left(\frac{W}{m^2} \right) \times 100 lux$$

Aula 401 4to Piso

Dimensiones:

Ancho (a): 6.80m

Longitud (l): 6m

Altura de trabajo (hm): 2.45m

Número de luminarias (N): 7

Cantidad de lámparas: 7

+ (en uso): 7

- (no en uso): 0

Tipo de lámpara: Fluorescentes 20W

Al realizar las mediciones con el luxómetro se obtiene una iluminación medio de **E med=528 lux** (con iluminación artificial) y con luz natural **E med=450 lux**.

Cálculo para el índice local

$$\acute{indice}_{local} = \frac{largo \times ancho}{altura del montaje \times (largo + ancho)}$$

$$\acute{indice}_{local} = \frac{6 m \times 6.80 m}{2.45 m \times (6 m + 6.80 m)} = 1.30 \approx 2$$

Cálculo para el número de puntos mínimos de medición

$$número de puntos mínimos de medición = (x + 2)^2$$

$$número de puntos mínimos de medición = (2 + 2)^2 = 16$$

Cálculo de la cavidad

$$K = \frac{5 \times hm(l+a)}{l \times a}$$

$$K = \frac{5 \times 2.45(6+6.80)}{6 \times 6.80} = 3.84$$

Con los valores obtenidos K=3.84; se busca en las tablas CU=0.60 y FM=0.89

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{528 \text{ lux} \times 40.8 \text{ m}^2}{0.60 \times 0.89} = 40351 \text{ lm}$$

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 7 * 1 * 1030 = 7210 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{7210 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{40.8 \text{ m}^2} = 94.36 \text{ lux}$$

El valor de la iluminación promedio se queda por debajo los rangos establecidos.

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(20 * 1 * 7) \times 100}{40.8 \text{ m}^2 \times 94.34 \text{ lux}} = 3.63 \left(\frac{W}{\text{m}^2} \right) \times 100 \text{ lux}$$

3.3 Propuestas para mejoras de los Sistemas de Iluminación en las aulas de la docencia

Datos generales:

- Iluminación media (E med): 300 lux
- Tipo de lámparas: Fluorescentes T8 (40 W)
- Flujo luminoso por lámpara: 2600 lm
- Eficacia: 65 lm/W

Aula C4

Con los valores obtenidos K=6.098; se busca en las tablas CU=0.68 y FM=0.89 (calculados con anterioridad):

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{300 \text{ lux} \times 132 \text{ m}^2}{0.68 \times 0.89} = 65432 \text{ lm}$$

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi L \times n}$$

$$N = \frac{65432 \text{ lm}}{2600 \times 2} = 12.5 \text{ luminarias}$$

Para 11 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 11 * 2 * 2600 = 57200lm$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{57200lm \times 0.60 \times 0.89}{132 m^2} = 263 lux$$

Para 13 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 13 * 2 * 2600 = 67600lm$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{67600lm \times 0.60 \times 0.89}{132 m^2} = 310 lux$$

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{l} * a}$$

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{13}{12} * 11} = 3.45 \approx 3$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{l}{a}\right)$$

$$N_{largo} = 3.45 * \left(\frac{12}{11}\right) = 3.76 \approx 4$$

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 * 2 * 13) \times 100}{132 m^2 \times 310 lux} = 2.54 \left(\frac{W}{m^2}\right) \times 100 lux$$

El aula está localizada en el grupo 1 así como otros recintos interiores en el cual el VEEI máximo es 4. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

Aula C2

Con los valores obtenidos $K=6.098$; se busca en las tablas $CU=0.68$ y $FM=0.89$ (calculados con anterioridad):

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{300 \text{ lux} \times 132 \text{ m}^2}{0.68 \times 0.89} = 65432 \text{ lm}$$

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \times n}$$

$$N = \frac{65432 \text{ lm}}{2600 \times 2} = 12.5 \text{ luminarias}$$

Para 11 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 11 * 2 * 2600 = 57200 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{57200 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{132 \text{ m}^2} = 263 \text{ lux}$$

Para 13 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 13 * 2 * 2600 = 67600 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{67600 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{132 \text{ m}^2} = 310 \text{ lux}$$

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{l} * a}$$

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{13}{12} * 11} = 3.45 \approx 3$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{l}{a}\right)$$

$$N \text{ largo} = 3.45 * \left(\frac{12}{11}\right) = 3.76 \approx 4$$

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 \times 2 \times 13) \times 100}{132 \text{ m}^2 \times 310 \text{ lux}} = 2.54 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

El aula está localizada en el grupo 1 así como otros recintos interiores en el cual el VEEI máximo es 4. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

Aula 105 1er Piso

Con los valores obtenidos $K=2.88$; se busca en las tablas $CU=0.54$ y $FM=0.89$ (calculados con anterioridad):

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{300 \text{ lux} \times 78 \text{ m}^2}{0.68 \times 0.89} = 48689 \text{ lm}$$

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \times n}$$

$$N = \frac{48689 \text{ lm}}{2600 \times 2} = 9.36 \text{ luminarias}$$

Para 8 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 8 * 2 * 2600 = 41600 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{41600 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{78 \text{ m}^2} = 263 \text{ lux}$$

Para 10 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 10 * 2 * 2600 = 52000 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{52000lm \times 0.60 \times 0.89}{78 m^2} = 320 lux$$

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{l} * a}$$

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{10}{12} * 6.50} = 2.32 \approx 2$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{l}{a}\right)$$

$$N_{largo} = 2.32 * \left(\frac{12}{6.50}\right) = 4.29 \approx 4$$

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 * 2 * 10) \times 100}{78 m^2 \times 320 lux} = 3.20 \left(\frac{W}{m^2}\right) \times 100 lux$$

El aula está localizada en el grupo 1 así como otros recintos interiores en el cual el VEEI máximo es 4. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

Aula 106 1er Piso

Con los valores obtenidos $K=3.92$; se busca en las tablas $CU=0.60$ y $FM=0.89$ (calculados con anterioridad):

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{300 lux \times 39 m^2}{0.68 \times 0.89} = 21910 lm$$

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \times n}$$

$$N = \frac{21910 lm}{2600 \times 2} = 4.21 luminarias$$

Para 3 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 3 * 2 * 2600 = 15600 lm$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\phi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{156000lm \times 0.60 \times 0.89}{39 m^2} = 214 lux$$

Para 5 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \phi L$$

$$\Phi_{real} = 5 * 2 * 2600 = 26000lm$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\phi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{26000lm \times 0.60 \times 0.89}{39 m^2} = 356 lux$$

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{l} * a}$$

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{5}{6} * 6.50} = 2.31 \approx 2$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{l}{a}\right)$$

$$N_{largo} = 2.32 * \left(\frac{6}{6.50}\right) = 2.14 \approx 2$$

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 * 2 * 4) \times 100}{39 m^2 \times 356 lux} = 2.30 \left(\frac{W}{m^2}\right) \times 100 lux$$

El aula está localizada en el grupo 1 así como otros recintos interiores en el cual el VEEI máximo es 4. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

Aula 203 2do Piso

Con los valores obtenidos K=3.84; se busca en las tablas CU=0.60 y FM=0.89 (calculados con anterioridad):

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{300 \text{ lux} \times 40.8 \text{ m}^2}{0.68 \times 0.89} = 22922 \text{ lm}$$

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \times n}$$

$$N = \frac{22922 \text{ lm}}{2600 \times 2} = 4.40 \text{ luminarias}$$

Para 3 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 3 * 2 * 2600 = 15600 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{15600 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{40.8 \text{ m}^2} = 204 \text{ lux}$$

Para 5 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 5 * 2 * 2600 = 26000 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{26000 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{40 \text{ m}^2} = 340 \text{ lux}$$

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{l} * a}$$

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{5}{6} * 6.80} = 2.38 \approx 2$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{l}{a}\right)$$

$$N_{largo} = 2.38 * \left(\frac{6}{6.80}\right) = 2.1 \approx 2$$

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 \times 2 \times 5) \times 100}{40.8 \text{ m}^2 \times 340 \text{ lux}} = 2.80 \left(\frac{W}{\text{m}^2} \right) \times 100 \text{ lux}$$

El aula está localizada en el grupo 1 así como otros recintos interiores en el cual el VEEI máximo es 4. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

Aula 210 2do Piso

Con los valores obtenidos $K=3.84$; se busca en las tablas $CU=0.60$ y $FM=0.89$ (calculados con anterioridad):

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{300 \text{ lux} \times 40.8 \text{ m}^2}{0.68 \times 0.89} = 22922 \text{ lm}$$

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \times n}$$

$$N = \frac{22922 \text{ lm}}{2600 \times 2} = 4.40 \text{ luminarias}$$

Para 3 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 3 * 2 * 2600 = 15600 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{15600 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{40.8 \text{ m}^2} = 204 \text{ lux}$$

Para 5 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 5 * 2 * 2600 = 26000 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{26000 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{40 \text{ m}^2} = 340 \text{ lux}$$

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N \text{ ancho} = \sqrt{\frac{N \text{ total}}{l} * a}$$

$$N \text{ ancho} = \sqrt{\frac{5}{6} * 6.80} = 2.38 \approx 2$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N \text{ largo} = N \text{ ancho} * \left(\frac{l}{a}\right)$$

$$N \text{ largo} = 2.38 * \left(\frac{6}{6.80}\right) = 2.1 \approx 2$$

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 * 2 * 5) \times 100}{40.8 \text{ m}^2 \times 340 \text{ lux}} = 2.80 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

El aula está localizada en el grupo 1 así como otros recintos interiores en el cual el VEEI máximo es 4. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

Aula 304 3er Piso

Con los valores obtenidos $K=3.16$; se busca en las tablas $CU=0.66$ y $FM=0.89$ (calculados con anterioridad):

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{300 \text{ lux} \times 61.2 \text{ m}^2}{0.68 \times 0.89} = 31257 \text{ lm}$$

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \times n}$$

$$N = \frac{31257 \text{ lm}}{2600 \times 2} = 6.01 \text{ luminarias}$$

Para 5 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 5 * 2 * 2600 = 26000 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{26000lm \times 0.60 \times 0.89}{61.2m^2} = 250 lux$$

Para 6 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 7 * 2 * 2600 = 36400lm$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{36400lm \times 0.60 \times 0.89}{61.2m^2} = 350lux$$

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{l} * a}$$

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{7}{9} * 6.80} = 2.29 \approx 2$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{l}{a}\right)$$

$$N_{largo} = 2.29 * \left(\frac{9}{6.80}\right) = 3.01 \approx 3$$

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 * 2 * 7) \times 100}{61.2m^2 \times 340lux} = 2.61 \left(\frac{W}{m^2}\right) \times 100 lux$$

El aula está localizada en el grupo 1 así como otros recintos interiores en el cual el VEEI máximo es 4. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

Aula 306 3er Piso

Con los valores obtenidos K=3.84; se busca en las tablas CU=0.60 y FM=0.89 (calculados con anterioridad):

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{300 lux \times 40.8 m^2}{0.68 \times 0.89} = 22922 lm$$

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \times n}$$

$$N = \frac{22922lm}{2600 \times 2} = 4.40 \text{ luminarias}$$

Para 3 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 3 * 2 * 2600 = 15600lm$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{15600lm \times 0.60 \times 0.89}{40.8 m^2} = 204 lux$$

Para 5 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 5 * 2 * 2600 = 26000lm$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{26000lm \times 0.60 \times 0.89}{40 m^2} = 340lux$$

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{l} * a}$$

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{5}{6} * 6.80} = 2.38 \approx 2$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{l}{a}\right)$$

$$N_{largo} = 2.38 * \left(\frac{6}{6.80}\right) = 2.1 \approx 2$$

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 * 2 * 5) \times 100}{40.8 m^2 \times 340lux} = 2.80 \left(\frac{W}{m^2}\right) \times 100 lux$$

El aula está localizada en el grupo 1 así como otros recintos interiores en el cual el VEEI máximo es 4. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

Aula 401 4to Piso

Con los valores obtenidos $K=3.84$; se busca en las tablas $CU=0.60$ y $FM=0.89$ (calculados con anterioridad):

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{300 \text{ lux} \times 40.8 \text{ m}^2}{0.68 \times 0.89} = 22922 \text{ lm}$$

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \times n}$$

$$N = \frac{22922 \text{ lm}}{2600 \times 2} = 4.40 \text{ luminarias}$$

Para 3 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 3 * 2 * 2600 = 15600 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{15600 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{40.8 \text{ m}^2} = 204 \text{ lux}$$

Para 5 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 5 * 2 * 2600 = 26000 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{26000 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{40 \text{ m}^2} = 340 \text{ lux}$$

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{\text{ ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{ total}}}{l} * a}$$

$$N \text{ ancho} = \sqrt{\frac{5}{6} * 6.80} = 2.38 \approx 2$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N \text{ largo} = N \text{ ancho} * \left(\frac{l}{a}\right)$$

$$N \text{ largo} = 2.38 * \left(\frac{6}{6.80}\right) = 2.1 \approx 2$$

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 * 2 * 5) \times 100}{40.8 \text{ m}^2 \times 340 \text{ lux}} = 2.80 \left(\frac{W}{\text{m}^2}\right) \times 100 \text{ lux}$$

El aula está localizada en el grupo 1 así como otros recintos interiores en el cual el VEEI máximo es 4. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

Aula 408 4to Piso

Con los valores obtenidos $K=3.16$; se busca en las tablas $CU=0.66$ y $FM=0.89$ (calculados con anterioridad):

Cálculo del flujo luminoso requerido

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \times A}{CU \times FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{300 \text{ lux} \times 61.2 \text{ m}^2}{0.68 \times 0.89} = 31257 \text{ lm}$$

Calcular el número de luminarias requeridas

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \times n}$$

$$N = \frac{31257 \text{ lm}}{2600 \times 2} = 6.01 \text{ luminarias}$$

Para 5 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi_l$$

$$\Phi_{real} = 5 * 2 * 2600 = 26000 \text{ lm}$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{26000 \text{ lm} \times 0.60 \times 0.89}{61.2 \text{ m}^2} = 250 \text{ lux}$$

Para 6 luminarias:

Cálculo para el flujo luminoso real

$$\Phi_{real} = N * n * \varphi L$$

$$\Phi_{real} = 7 * 2 * 2600 = 36400lm$$

Cálculo para la iluminancia promedio real

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times CU \times FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{36400lm \times 0.60 \times 0.89}{61.2 m^2} = 350lux$$

Cálculo del número de filas de luminarias a lo ancho (a) del local

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{l} * a}$$

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{7}{9} * 6.80} = 2.29 \approx 2$$

Cálculo del número de columnas de luminarias a lo largo (l) del local

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{l}{a}\right)$$

$$N_{largo} = 2.29 * \left(\frac{9}{6.80}\right) = 3.01 \approx 2$$

Cálculo para el valor de la eficiencia energética de la instalación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

$$VEEI = \frac{(40 * 2 * 7) \times 100}{61.2 m^2 \times 350lux} = 2.61 \left(\frac{W}{m^2}\right) \times 100 lux$$

El aula está localizada en el grupo 1 así como otros recintos interiores en el cual el VEEI máximo es 4. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto, el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

Cálculo del ahorro de energía anual

Aula C4

$$Ahorro de Energía Anual = \frac{[(N_e \times P) - (N_p \times P)] \times Horas de uso}{1000}$$

Donde:

Ne: Número de luminarias existentes.

Np: Número de luminarias propuestas

P: Potencia por lámpara

$$\text{Ahorro de Energía Anual} = \frac{[(32 \times 40W) - (24 \times 40)] \times 2000h/año}{1000}$$

$$= 640 \text{ KWh/año}$$

Aula 203 2do Piso

$$\text{Ahorro de Energía Anual} = \frac{[(N_e \times P) - (N_p \times P)] \times \text{Horas de uso}}{1000}$$

$$\text{Ahorro de Energía Anual} = \frac{[(6 \times 20W) - (4 \times 40)] \times 2000h/año}{1000}$$

$$= -319.88 \text{ KWh/año}$$

Conclusiones parciales del capítulo

- La Guía con cálculos rápidos para la inspección energética de sistemas de iluminación, ayuda a crear sistemas de iluminaciones los cuales no estén por debajo o por encima de los rangos establecidos.
- Entre las propuestas de mejora de sistemas de iluminación se propone en el caso de aulas como C4 y C2 bajar la altura de las luminarias.
- Con la aplicación de esta guía se detectó que la mayoría de las aulas analizadas poseen niveles de iluminación muy bajos. Lo cual están dados por el mal estado de las luminarias y lámparas.
- Se propone la utilización de la cantidad necesaria de luminarias y lámparas para no crear un sobre dimensionamiento luminoso y contribuir con el ahorro energético de la institución y el país.

Conclusiones

1. Existe una amplia bibliografía sobre los temas de iluminación, se estudiaron varios métodos de cálculos, todos tienen como premisa, cumplir los niveles de iluminación para cada tipo de actividad.
2. Se confeccionó el marco teórico que sirvió de soporte a la indagación y como referencia para el estudio de conceptos, términos y magnitudes, así como los efectos de la exposición a niveles deficientes de iluminación para la salud del hombre con enfoques ergonómicos.
3. De los métodos de cálculo de iluminación estudiados se seleccionó el método de los lúmenes por ser más adecuado para aplicar en cálculos rápidos durante una inspección energética de sistemas de iluminación en interiores.
4. La aplicación de la metodología en las aulas del edificio docente de la sede Carlos Rafael Rodríguez permitió conocer que: Algunas aulas tienen niveles de iluminación por encima de la norma, lo que provoca un exceso de consumo de energía eléctrica y otras (la mayoría) presentan niveles de iluminación deficientes para la actividad que se realiza.

Recomendaciones

5. Continuar adicionando variantes a los cálculos rápidos para incluir los cambios en la altura de instalación de las luminarias.
6. Adicionar una base de datos con las características técnicas de las luminarias LED.

Referencias Bibliográficas

- Calle Franco, L. I., & Pucha Guayllazaca, A. F. (2017). *Gestión de mantenimiento para el alumbrado público del centro urbano de la ciudad de Cuenca*. (Tesis de grado.). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca - Ecuador.
- Moreno Martín L. S. (2010.). Luminotecnia. Cálculo según el método de los lúmenes. En Construcciones Arquitectónica.
- Castro, A., & Juzefiszyn, M. S. (2014). *Instalaciones Eléctricas y Acústica*. (Tesis de grado). Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. Argentina
- Castro Guaman, C. L., & Posligua M. (2015). *Diseño de iluminación con luminarias tipo led basado en el concepto eficiencia energética y confort visual, implementación de estructura para pruebas*. (Tesis de grado). Universidad politécnica Salesiana sede Guayaquil, Ecuador.
- Chabla Auqui, L. L. (2015). *Eficiencia energética en el alumbrado público del centro histórico de Cuenca: Telegestión y sustitución de luminarias*. (Tesis de grado). Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador.
- Chaco Gómez, J. M., Sotomayor Solís, P. E., & Delgado Quiñonez, N. D. (2013). *Diseño e implementación de un sistema automático de Alumbrado Led Público Inteligente controlado vía Wireless e instalado en la Casa de Don Bosco de Guayaquil*. (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Ecuador.
- Erráez, D. (2015). *Eficiencia energética en el alumbrado público del centro histórico de Cuenca: Telegestión y sustitución de luminarias*. (Tesis de grado). Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería Escuela de Eléctrica. Ecuador.

- Flores Arias, J. M. (2013). *Confiabilidad de los sistemas de alumbrado público en el contexto de la Smart Grid*. (Tesis de doctorado). Universidad de Córdoba. Argentina. Recuperado de <http://www.uco.es>
- García Sanz, M.P. (s.f.). Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para su evaluación y acondicionamiento.
- Guasch, J. (2012). La iluminación en el puesto de trabajo. Volumen 1, 14.
- Rodríguez Ramírez J. A. y Alejandro Llano, C. (2012). *Guía para el diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando Dialux*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira-Colombia.
- International Finance Corporation IFC. (2015). Sistema de gestión ambiental y social. Versión 1.2. Recuperado de <http://www.ifc.org/sustainability>
- Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas, AC. (2014). Manual de alumbrado público.
- Molina Góngora, M. (2013). *Diseño de sistema de iluminación general en la línea de fabricación de barras corrugadas de la empresa ACINOX Tunas*. (Tesis de grado). Universidad Las Tunas “Vladimir Ilich Lenin”, Las Tunas.
- Oficina Nacional de Normalización (NC). (2003). Iluminación de puestos de trabajo en interiores (ISO 8995:2002/CIE S 008 2001, IDT). Ciudad de La Habana, Cuba.
- Pesántez Pesántez, F. E., & Valdez Salamea, A. V. (2014). *Diseño de un sistema de optimización de energía eléctrica para iluminación en sectores críticos de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca*. (Tesis de grado.). Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca, Cuenca - Ecuador.
- Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior. Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre. (2018).

- Reyes Pérez, P. (2016). *Propuesta para una iluminación eficiente en el edificio de Ciencias Forenses y Medicina Legal de San Joaquín de Flores, Heredia*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.
- Sanz Merinero, J. A. (2014). *Evaluación y acondicionamiento de la iluminación en el puesto de trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (Vol. 1). Madrid.
- Saavedra, E., Luyo, J., & Rey, F. J. (2017). *Sistemas de iluminación, situación actual y perspectivas*. Lima-Perú.
- Valero Verdú, S., Muñoz Gómez, R., & Brotons Sánchez, J. C. (2015). *Guía técnica Verificaciones, inspecciones y mantenimiento de instalaciones de alumbrado público*. Federación de Empresarios del Metal de la Provincia de Alicante – FEMPA. Alicante.
- Vargas Guevara, C. L. (2015). *Control inteligente de iluminación fotovoltaica para autopistas en Ecuador*. (Tesis de grado). Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.

Anexos
Tipos de lámparas

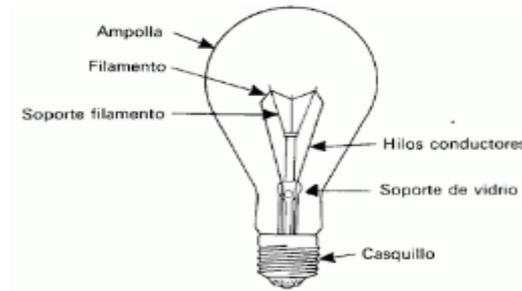


Figura. Partes de una lámpara incandescente.

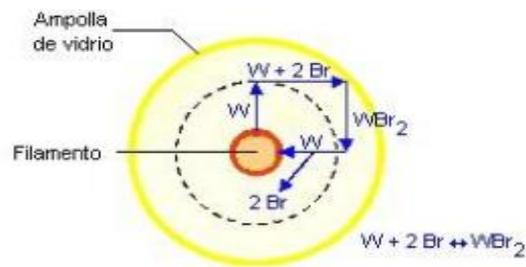


Figura. Ciclo del halógeno.

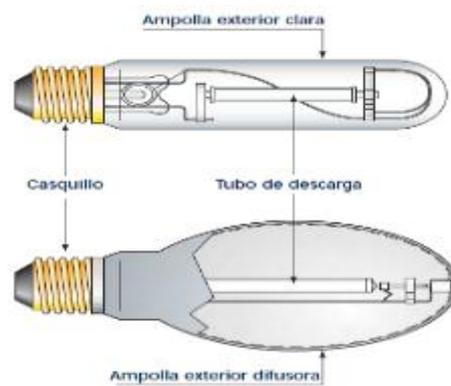


Figura. Partes de lámpara de vapor de sodio.

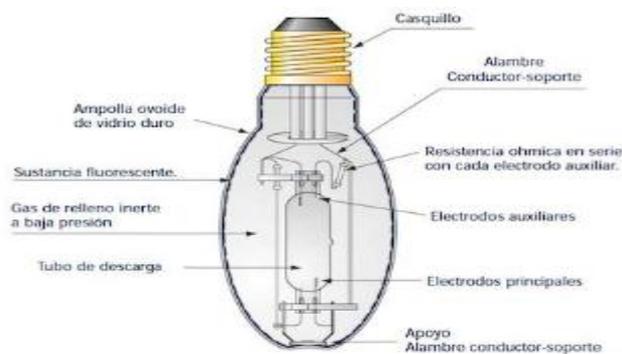


Figura. Partes de lámpara de vapor de mercurio.

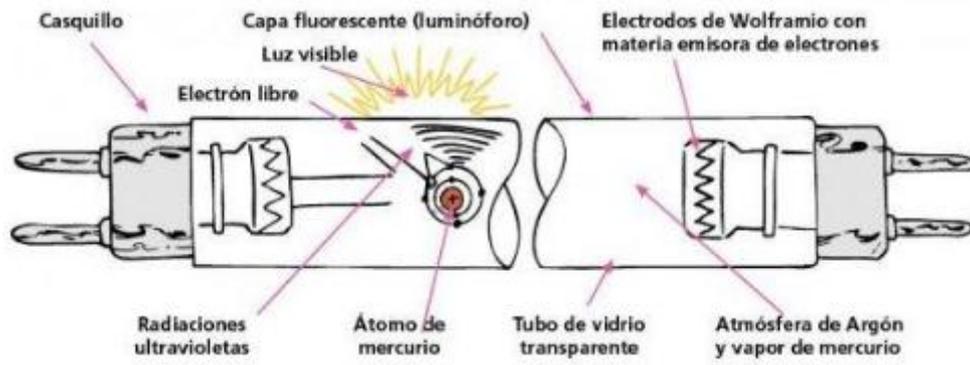


Figura. Partes de una lámpara fluorescente.

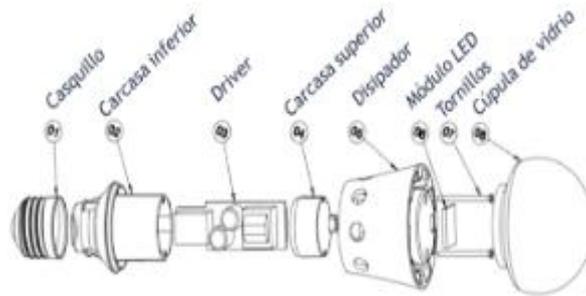


Figura. Partes de una lámpara LED.