



**Universidad de Matanzas
"Camilo Cienfuegos"
Facultad de Ciencias Económicas e Informática
Departamento de Ingeniería Industrial**



Tesis de Diploma en opción al título de Ingeniero Industrial

Procedimiento para la determinación de las curvas de distribución luminosa en método de alumbrado General-localizado.

Autor: Gennedis González Imeno

*Tutores: Ing. Dayron López Hernández
Ing. Eduardo Lugo Tápanes*

Declaración de Autoridad

Por este declaro que soy el único autor del presente Trabajo de Diploma como parte de la culminación de los estudios de la especialidad de Ingeniería Industrial. Declaro la autorización a la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos" hacer uso del mismo que sea conveniente, y para que así conste.



Gennedis Gonzalez Imeno

Nota de Aceptación

Nota de Aceptación

Presidente del Tribunal

Tribunal

Tribunal

Matanzas, _____ de _____ de 2014

*You'll say I'm a dreamer
But I'm not the only one*

John Lennon

Dedicatoria y Agradecimientos

Dedicatoria

A mi madre Barbarita y a mi hermano Gennadys, por darme aliento en los momentos difíciles, por entregarme su amor y orientarme siempre por el buen camino.

Agradecimientos

A mi abuela, tíos y primos, por incitarme siempre a seguir adelante.

A Dayron, por ser más que mi tutor, un buen amigo.

A Eduardo, por ser como un hermano en todo momento.

A Glenda, Liliana, Manuel, Arian, Luis Miguel, Yanedis, Maylín, Liannys, Misleydis, Dahiris, Natalí y Jesse por su apoyo incondicional durante el desarrollo de la investigación.

A mis amistades que compartieron conmigo estos cinco años: Noslen, Javier, el Nene, Ernesto, Yandi, Heyker y Yandiel.

A Renier, Alvarado, Rosales, Yasser y los demás por los buenos momentos en los eventos deportivos.

A mis amigos del barrio: Adolfo, Alexander, Alián, Hervis, Jonathan y Víctor por estar a mi lado desde pequeños.

A Christian por su solidaridad.

A los profesores que han contribuido a mi formación como ingeniero industrial durante estos cinco años.

Resumen

Resumen

En la actualidad, las fuentes de iluminación introducidas por la Revolución Energética o importadas hacia el país, se encuentran entre las más eficientes y económicas. Estas forman parte de un conjunto de modelos y potencia entre las cuales las más utilizadas son: lámparas fluorescentes compactas (CFL) de 5 watt, 8 watt, 11 watt, 14 watt, 15 watt. La tendencia actual de los sistemas de alumbrado es tratar de aprovechar en mayor proporción la luz natural y alcanzar el nivel de iluminación necesaria prescindiendo de la iluminación artificial. Hasta el momento solo se disponían de las curvas de distribución luminosa obtenidas sin tener en cuenta el factor de reflexión del local, lo cual traía como consecuencia desestimar las reservas de aprovechamiento de luz por reflexión que presentaban las superficies del mismo. La presente investigación tiene como objetivo general: diseñar un procedimiento para la obtención de las curvas de distribución luminosa para el método de alumbrado General-localizado teniendo en cuenta la variable reflexión. Para dar cumplimiento a los objetivos trazados se utilizaron diversas técnicas, entre las que se encuentran: método de análisis de resultados, y el método punto por punto; y equipos de mediciones como: el luxómetro y el regulador de voltaje. El procesamiento de los datos se realiza utilizando el Microsoft Excel 2013. Como resultado de la investigación se obtiene la curva de distribución luminosa, para la CFL de 11W y los factores de reflexión de diferentes colores de superficies, presentando la misma un comportamiento creciente.

Abstract

Abstract

Today, light sources introduced by the Energy Revolution or imported into the country are among the most efficient and economical. These are part of a set of models and emission power which the most used are: compact fluorescent lamps (CFL) of 5 watt, 8 watt, 11 watt, 14 watt, 15 watt. The current trend of lighting systems is to try to use proportion of natural light and reach optimal level of illumination regardless of artificial lighting. So far, only possessed light distribution curves obtained without reflection factor of the local, which brought as a result dismissed reserves use of light by reflection surfaces presenting in it. This research has the general objective: design a process for obtaining the curves of light distribution for General - located lighting system taking in count reflection variable. To fulfill the objectives various techniques, were used such as method of analysis of results, point-by-point method and metering equipment as the light meter and the voltage regulator. Microsoft Excel 2013 performs processing data. As a result of the investigation the light distribution curve is obtained for 11W CFL and reflection factors of different colored surfaces, presenting all them a same growing behavior.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1: Marco Teórico Referencial.....	5
1.1 El ojo humano y la visión	5
1.2 La luz. Principales características.....	6
1.3 Iluminación	6
1.3.1 Magnitudes y unidades de la iluminación	9
1.3.2 Tipos de control del haz de luz	11
1.4 Método para el diseño de sistema de Iluminación General-localizado.....	13
1.4.1 Método de Punto por Punto	13
1.5 Curvas de distribución luminosas	13
1.6 Método de Sustituciones Seriadadas.....	15
1.7 Equipos a utilizar	15
1.7.1 Principio de funcionamiento del Luxómetro	15
1.7.2 Principio de funcionamiento del Regulador de voltaje	15
Capítulo 2: Marco Metodológico de la investigación.....	17
2.1 Procedimiento para la obtención de las curvas de distribución luminosa	17
2.1.1 Análisis de las condiciones óptimas para el experimento.....	17
2.1.2 Selección de las fuentes de iluminación	17
2.1.3 Determinar la distancia en el plano horizontal y de la fuente al punto	18
2.1.4 Realización de las mediciones y cálculos.	19
2.1.5 Cálculo de las intensidades luminosa	20
2.1.6 Confección de la curva de distribución luminosa	22
2.2 Análisis del comportamiento de la curva.....	23
Capítulo 3: Resultados de la implementación del procedimiento	25
3.1 Implementación del procedimiento para la obtención de las curvas	25
3.1.1 Análisis de las condiciones óptimas para el experimento.....	25
3.1.2 Selección de las fuentes de iluminación	25
3.1.3 Determinar la distancia en el plano horizontal y de la fuente al punto	26
3.1.4 Realización de las mediciones y cálculos.	27
3.1.5 Cálculo de las intensidades luminosa	28
3.1.6 Confección de la curva de distribución luminosa	30
3.2 Análisis de los resultados.....	30
Conclusiones	31
Recomendaciones.....	32
Bibliografía	
Anexos	

Introducción

La iluminación es tan antigua como las primeras formas de vida en nuestro planeta y su aprovechamiento de forma natural era posible en cortos periodos de tiempo. De ahí que su primer uso por parte de los humanos fue tras el control del fuego. Así pudo usarse mediante antorchas para iluminar algunos lugares a los cuales la luz natural no podía penetrar. Al ser este sistema tan engorroso y poco duradero fueron apareciendo luminarias con diferentes aceites y mechas que permitían iluminar durante más tiempo y de forma más cómoda.

Las primeras ordenanzas sobre alumbrado público que se conocen datan del siglo XVI. En Francia, por el año 1524 los vecinos venían obligados a colgar una luz en la puerta de sus casas y hasta 1558 no se colocaron faroles en las esquinas de las calles.

La primera utilización del alumbrado por gas para la iluminación pública fue en 1807, cuando Frederick Albert Winsor iluminó uno de los lados de la calle Pall Mall de Londres. Las primeras farolas eléctricas empleadas eran del tipo arco eléctrico. Se trataban de lámparas de arco eléctrico con electrodos de carbón que empleaban corriente alterna. Estos primeros experimentos de iluminación eléctrica fueron realizados por el químico británico Humphrey Davy, quien fabricó arcos eléctricos y provocó la incandescencia de un hilo fino de platino en el siglo XIX.

Aproximadamente a partir de 1840 fueron patentadas varias lámparas Incandescentes, aunque ninguna tuvo éxito comercial hasta que el inventor estadounidense Thomas Alva Edison lanzara su lámpara incandescente de filamento bambú carbonizado en 1879. Durante el mismo período fueron presentadas varias lámparas de arco. La primera de uso práctico se instaló en un faro, en 1862. El pionero estadounidense de la ingeniería eléctrica, Charles Francis Brush, produjo en 1878 la primera lámpara de arco que se comercializó. Los filamentos de carbono fueron sustituidos por filamentos de wolframio en 1907, y seis años más tarde se desarrollaron las lámparas incandescentes rellenas de gas. En 1938 se fabricó la lámpara fluorescente.

En Cuba se desarrolló la electrificación en la etapa colonial y neocolonial iniciándose, fundamentalmente, con el servicio público de alumbrado por arco eléctrico. Seguidamente se instaure un sistema eléctrico para el servicio público, con generación centralizada y redes de distribución dirigidas a algunas zonas de la capital.[1]

Introducción

Con el triunfo de la Revolución, dio inicio una nueva etapa en el desarrollo energético de nuestro país, pues se llevó a cabo la nacionalización de la compañía de eléctrica y se implementaron nuevas tareas, en progreso y bienestar de la población.

Con el derrumbe del campo socialista en Europa, se agudiza la situación económica en nuestro país al producirse un decrecimiento significativo en la disponibilidad de generación de energía eléctrica, esto trajo consigo la aparición de apagones lo que precisó un llamado a crear una conciencia de ahorro de energía, y por ello se emiten diferentes programas electroenergéticos.

Ante la difícil situación por la que atravesaba el país con el incremento de los cortes de luz eléctrica y el incremento de la solicitud de combustible para la generación de energía se implementa una estrategia para cubrir la solicitud y eliminar los mismos a lo largo de todo el país: El Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC), en 1997.[1]

Mediante el PAEC, se logró orientar al pueblo, en la aplicación de medidas sistemáticas y prácticas, de ahorro para la reducción de los consumos entre las que se encuentran:

- ✚ Apagar las luces que no se estuvieran utilizando.
- ✚ Emplear lámparas fluorescentes y reducir al máximo el uso de bombillos incandescentes.
- ✚ Pintar las paredes con colores claros, requiriendo así menos iluminación artificial.

En Mayo de 2004 el Sistema Electro-energético Nacional se vio seriamente afectado, al producirse una avería durante un mantenimiento planificado de la Central Termoeléctrica Antonio Guiteras, causando severas afectaciones a la economía nacional. En ese contexto surge, como iniciativa del Comandante en Jefe Fidel Castro, la llamada Revolución Energética. Esta se basó en un programa de sustitución de las viejas Centrales termoeléctricas por generadores eléctricos, a fin de disponer de un sistema eléctrico sin fallas y suficiente para la nación.

Teniendo en cuenta la dimensión de esta tarea y por la importancia en el ámbito económico y social de la misma, la Asamblea Nacional del Poder Popular toma como acuerdo nombrar el año 2006: "Año de la Revolución energética en Cuba."

Dentro de las principales tareas que se desarrollaron durante la Revolución energética fue el cambio de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compacta o ahorradoras, pues estas eran mucho más eficientes y económicas.

En la actualidad, las fuentes de iluminación introducidas por la Revolución energética o importadas hacia el país, se encuentran entre las más eficientes y económicas. Estas

Introducción

forman parte de un conjunto de modelos y potencia entre las cuales las más utilizadas son: lámparas fluorescentes compactas de 5 watt, 8 watt, 11 watt, 14 watt, 15 watt.

La tendencia actual es hacer ambientes más iluminados y más abiertos. Los arquitectos en conjunto con los diseñadores de sistemas de alumbrado tratan de que en sus diseños se aproveche en mayor proporción la luz natural, correspondiéndole a la luz artificial el papel de completar, para alcanzar el nivel de iluminación necesaria. Para ello es preciso conocer entre otros datos las curvas de iluminación que nos relacionan la distribución de la intensidad de luz en un local determinado. Hasta el momento solo se disponían de las curvas obtenidas sin tener en cuenta el factor de reflexión del local, lo cual traía como consecuencia desestimar las reservas de aprovechamiento de luz por reflexión que presentaban las superficies del mismo y no se contaba con un procedimiento más económico que buscara los niveles de iluminación en diferentes puntos de los locales utilizando la reflexión de paredes y el techo. De ahí que se plantee como problema científico:

Problema científico: Carencia de un procedimiento para la determinación de las curvas de distribución luminosas, para la implementación del método de alumbrado General-localizado en los locales, teniendo en cuenta la variable reflexión.

En vistas a eso se podría considerar como **preguntas científicas**:

- ✚ ¿Cómo se comportarían las curvas de distribución luminosa al tener en cuenta el factor reflexión?
- ✚ ¿Tendrán la misma tendencia las curvas de distribución luminosa en locales cerrados con variación de los índices de reflexión, que en campo abierto de noche?
- ✚ ¿Se pudiera diseñar un procedimiento para la obtención de las curvas de distribución luminosa para el método de alumbrado General-localizado que incluya la variable reflexión?

Teniendo en cuenta estas preguntas científicas, se plantea como **objetivo general** el siguiente:

Diseñar un procedimiento para la obtención de las curvas de distribución luminosa para el método de alumbrado General-localizado teniendo en cuenta la variable reflexión.

Para lograr el mismo se plantean los siguientes objetivos **específicos**:

- ✚ Realizar una revisión y análisis del estado del arte en lo que se refiere a iluminación y curvas de distribución luminosa, sentando así las bases con el fin de conceptualizar los principales enfoques, objetivos y herramientas.

Introducción

- ✚ Desarrollar un procedimiento para la obtención de las curvas de distribución luminosa para el método de alumbrado General-localizado incluyendo la variable reflexión.
- ✚ Implementar el procedimiento para la obtención de las curvas de distribución luminosa para el método de alumbrado General-localizado incluyendo la variable reflexión.
- ✚ Analizar los resultados obtenidos.

En el desarrollo de la investigación se utilizan métodos como el análisis y síntesis, inductivo-deductivo, histórico-lógico, observación, medición y experimentos; técnicas como el método de punto por punto y método de sustituciones seriadas, apoyados en equipos de medición como el luxómetro y el regulador de voltaje y herramientas de Microsoft Office como Excel 2013.

La tesis fue estructurada de la siguiente manera:

Introducción, donde se plantea la importancia, situación, problema científico, los objetivos a vencer en la investigación y la estructura de la tesis.

El capítulo 1 se dedica al estudio y análisis del estado del arte en lo que se refiere a de los aspectos teóricos en la temática investigada.

En el segundo capítulo se profundiza en la descripción del procedimiento a seguir para la obtención de la curva de distribución luminosa.

En el último y tercer capítulo se materializan los resultados de la investigación y el análisis acometido en los precedentes capítulos.

En las conclusiones se expone una síntesis de los principales resultados y de las conclusiones parciales de cada capítulo.

Por último se presenta en este trabajo las **recomendaciones**, **bibliografía** y los **anexos** referentes al tema.

Capítulo 1: Marco teórico referencial

Capítulo 1: Marco teórico referencial

En este capítulo se exponen y analizan los principales aspectos teóricos que sustentan a la investigación realizada, y que están vinculados a conceptos como: el ojo humano y su funcionamiento, la luz, los tipos de iluminación, la intensidad, el flujo luminoso, nivel de iluminación, los fenómenos de reflexión, de transmisión y de refracción, el método de punto por punto y finalmente las curvas de distribución luminosa.

1.1 El ojo humano y la visión

De manera que el objetivo fundamental de la iluminación es hacer posible la visión, cualquier estudio de la misma tiene forzosamente que empezar con un estudio del ojo humano y el proceso visual.[2]

El órgano de la visión está compuesto por los párpados, los globos oculares, el aparato lagrimal y los músculos oculares externos. El globo ocular mide unos 25 mm de diámetro y se mantiene en su posición gracias a los músculos extraoculares. La visión binocular, con la participación de ambos ojos, permite apreciar las imágenes en tres dimensiones.[3]

Dentro de las partes que forman el ojo, se puntualizará en las más importantes para el desarrollo de la investigación. **(Figura 1.1)**

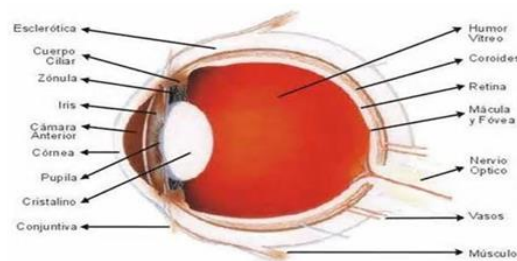


Figura 1.1: Partes del ojo humano

Fuente: Ross, L.H et al. Eye Histology: a text and atlas 2006.

La pared del ojo está formada por tres capas:

- ✚ La capa externa, que incluye la esclerótica (espesa, resistente y de color blanco) y en la parte anterior la córnea transparente.
- ✚ La capa media, incluye coroides, que contiene abundantes vasos sanguíneos, y el tejido conjuntivo del cuerpo ciliar y el iris.
- ✚ La capa interna se llama retina, en la que se encuentran las células sensibles a la luz (los bastones y los conos), recubiertas por una lámina externa de células epiteliales cúbicas que contienen melanina. Externamente, la retina descansa sobre las coroides; internamente, está en contacto con el humor vítreo.[4]

Capítulo 1: Marco teórico referencial

1.2 La luz. Principales características

A continuación se hace referencia a diversos conceptos sobre la luz según diversos autores.

Según (Resnick, Robert and Krane, Kenneth S, 2001)[5] la luz es una onda electromagnética, consistente en un campo eléctrico que varía en el tiempo generando a su vez un campo magnético y viceversa.

Según (Fernández, J. G. y O. Boix, 2004)[6] la luz puede definirse como la porción del espectro electromagnético que percibe el sistema visual del humano, comprendido entre las longitudes de onda de 380 a 760 nanómetros aproximadamente.

Según (Serway, Raymond A. and Jewett, John W, 2004)[7] la luz como si se tratase de un torrente de partículas sin carga y sin masa llamadas fotones, capaces de transportar todas las formas de radiación electromagnética.

Según (Real, Grether L y García Dihigo, J 2005)[8] la luz es considerada una onda electromagnética, ya que bajo ciertas circunstancias da lugar a los fenómenos que originan las ondas: difracción, interferencia y polarización.

Según (Días, I 2005)[9] la luz es una forma particular y concreta de energía que se desplaza o propaga, no a través de un conductor (como la energía eléctrica o mecánica) sino por medio de radiaciones, es decir, de perturbaciones periódicas del estado electromagnético del espacio; es lo que se conoce como "energía radiante".

Según (Alonso, A. 2007)[10] la luz o radiación electromagnética no es más que una combinación de campos eléctricos y magnéticos ondulatorios y perpendiculares entre sí, que se propagan en línea recta a una velocidad de $C=300\,000\text{ km/s}$ en el vacío. Se caracteriza por su frecuencia (f), por su longitud de onda (λ) y por su energía, la cual es proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a su longitud de onda.

Según (Expósito, Y. 2009)[11] La luz es una onda electromagnética cuyas características producen sensaciones visuales.

Después de analizados los diferentes conceptos relacionados con la luz se puede afirmar que es la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por la visión y se puede manifestar como onda y como partícula.

1.3 Iluminación

La iluminación industrial es uno de los principales factores ambientales que tiene como principal finalidad facilitar la visualización de las cosas dentro de su contexto espacial, de modo que el trabajo se pueda realizar en unas condiciones aceptables de eficacia comodidad y seguridad. Son innumerables los efectos negativos que puede ocasionar en los trabajadores la insuficiente iluminación, entre ellos:

Capítulo 1: Marco teórico referencial

- ✚ Fatiga visual o general
- ✚ Dolores de cabeza
- ✚ Disminución de la agudeza visual
- ✚ Pérdida paulatina de la visión

No sólo se producen efectos en los trabajadores sino en la eficiencia de la propia actividad laboral, ejemplos son: pérdidas de productividad y calidad del producto o servicio y aumento del número de errores en las operaciones.

De ahí que se pueda afirmar que si se consiguen los objetivos de la iluminación, las consecuencias no sólo repercuten favorablemente sobre las personas, reduciendo la fatiga, la tasa de errores y de accidentes, sino que además contribuyen a aumentar la calidad y cantidad del trabajo.

Los sistemas de iluminación industrial pueden dividirse en varios grupos según el tipo de clasificación que se haga, atendiendo a las fuentes de iluminación se clasifican en: **Iluminación natural** e **iluminación artificial**. [12]

A continuación se hace referencia a cada uno de estos sistemas.

Iluminación Natural: Es sin duda la iluminación más económica y sana; es la que entra por las ventanas, puertas, rajadas, y claraboyas. Su calidad y cantidad dependen de la orientación (norte, sur, este, oeste, NE, NO, SE, SO), de la hora del día, de la estación, y de su ubicación. La iluminación exterior y las visuales conectan el interior con el exterior; son un beneficio, que para los sectores de permanencia prolongada tienen un rol psicológico importante. La tendencia actual es hacer ambientes más iluminados y más abiertos. La mayor iluminación se logrará con las ventanas ubicadas al Norte, Noreste, y Noroeste; y las ubicadas de la altura media de la habitación hacia arriba siendo la mayor iluminación la del cielorraso (claraboya). Recuerde que una pequeña raja, ubicada alta, así como una claraboya o ventana cenital puede brindar agradable iluminación. La iluminación natural es casi siempre general. Dependiendo de la ubicación geográfica y de la orientación (N, S, etc.) se requerirá controles para esta luz solar: persianas, postigones, parasoles, cortinas, etc. [12]

Iluminación Artificial: La iluminación no es sólo un elemento necesario para desarrollar actividades en ambientes u horarios en que no hay luz natural. Se logra aplicando una corriente eléctrica a un dispositivo, cuyos componentes convierten dicha corriente eléctrica en luz. Es también un elemento de decoración para darle carácter a sus ambientes. Los niveles de iluminación artificial han ido creciendo, junto con el desarrollo de nuevas lámparas, más eficientes, y económicas. [13]

Capítulo 1: Marco teórico referencial

Según (Viña, S y Marsán, J 2007)[12] distinguen tres tipos de alumbrado artificial según el grado de uniformidad deseado como se muestra en la **(Figura 1.2)**

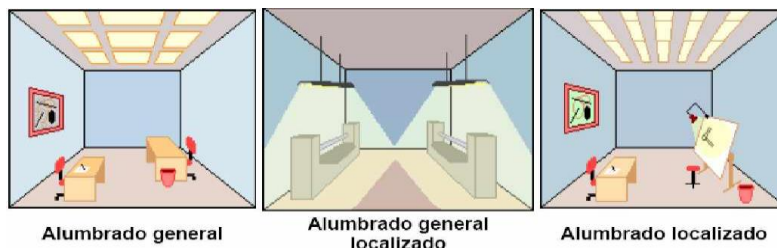


Figura 1.2: Tipos de alumbrado.

Fuente: Viña, S y Marsán, J. Seguridad y Salud en el Trabajo 2007

- ✚ Alumbrado general: es la iluminación necesaria para reconocer un espacio y para movilizarse con seguridad. Toma importancia si no se le acompaña de iluminación específica.
- ✚ Alumbrado general-localizado: proporciona una distribución no uniforme de la luz de manera que esta se concentra sobre las áreas de trabajo. El resto del local, formado principalmente por las zonas de paso se ilumina con una luz más tenue.
- ✚ Alumbrado localizado: cuando se necesita una iluminación suplementaria cerca de la tarea visual para realizar un trabajo concreto.

Según el tipo de luminaria **(Figura 1.3)**, puede ser:

- ✚ **Directa:** ilumina a los objetos o áreas directamente.
- ✚ **Semidirecta:** cuando la mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia el suelo y el resto es reflejada en techo y paredes.
- ✚ **Indirecta:** ilumina por reflejo: garganta de luz difusa, artefacto de pared iluminando hacia el cielorraso, etc.
- ✚ **Semidirecta:** cuando la mayor parte del flujo proviene del techo y paredes.
- ✚ **Directa-Indirecta o General difusa:** Si el flujo se reparte al cincuenta por ciento entre procedencia directa e indirecta.

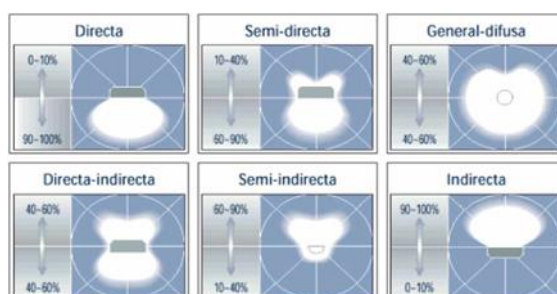


Figura 1.3: Distribución luminosa según la ubicación de la luminaria.

Fuente: Viña, S y Marsán, J Seguridad y Salud en el Trabajo 2007.

Capítulo 1: Marco teórico referencial

Según (Viña, S. y Gregori, E 1986)[14] fisiológicamente la iluminación más favorable para el hombre es la natural, además de ser más económica, por eso es necesario explotarla al máximo. Las tejas traslucidas, los monitores, la correcta ubicación de cristales y ventanas, etc., pueden ser formas de incrementar su explotación; pero resulta realmente imposible predeterminar la cantidad de luz natural a aprovechar por la gran variabilidad de las mismas. Lo óptimo corresponderá a sistemas naturales artificiales en los cuales se le asignarán siempre un máximo a la natural, correspondiéndole a la artificial el papel de completar para alcanzar el nivel de iluminación necesaria. El empleo de las células fotoeléctricas pudiera ayudar en este sentido.

1.3.1 Magnitudes y unidades de la iluminación

Según (Westinghouse, Manual de Alumbrado 1973)[2] en el campo de la iluminación se utilizan habitualmente varias magnitudes. La magnitud básica de la iluminación es la intensidad luminosa, siendo reconocido en 1967 por el sistema internacional de unidades (SIU), con el nombre de “candela”.

Las demás magnitudes de iluminación se establecen sobre la base de sus relaciones normales con la intensidad luminosa, tal como la define el Sistema Internacional de Unidades.

1. Magnitud: Intensidad Luminosa.

Unidad: Candela

Símbolo: Cd

Definición: su valor está determinado por la luz emitida por un patrón de laboratorio llamado cuerpo negro trabajando a una temperatura dada. Es la cantidad de luz que emite una fuente en todas las direcciones por unidad de ángulo sólido.

Se expresa por:

$$I = E \times D^2$$

Donde:

I: Intensidad luminosa, cd

E: Nivel de iluminación, lux

D: Distancia de la fuerza luminosa a la superficie, m.

Según (Fundación MAPFRE, Manual de Ergonomía 2010)[15] la intensidad luminosa es el flujo luminoso emitido en una dirección representada por un ángulo sólido determinado.

Capítulo 1: Marco teórico referencial

Se expresa por:

$$I = \frac{F}{\Omega}$$

Donde:

F : Flujo Luminoso, lm

Ω : Angulo Sólido, Estereorradián, sr

2. Magnitud: Flujo luminoso

Unidad: Lumen

Símbolo: lm

Definición: un lumen es la cantidad de flujo luminoso incidente sobre una superficie de un metro cuadrado dispuesta de tal manera que cada uno de sus puntos diste un metro de una fuente de luz teórica que emite uniformemente una candela en todas las direcciones. Es la cantidad de luz emitida por estereorradián por una fuente luminosa uniforme de 1 candela.

Se expresa por:

$$F = E \times S$$

F : Flujo luminoso, lm

E : Nivel de iluminación, lux

S : Superficie, m²

3. Magnitud: Iluminancia (E)

Unidad: Lux

Símbolo: lx

Definición: El lux es la iluminación de una superficie de 1 metro cuadrado cuando se incide sobre ella el flujo luminoso de 1lm. Es la densidad de flujo sobre una superficie o el número de lúmenes por metro cuadrado

Se puede expresar por el despeje de la ecuación del flujo luminoso:

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

Según (Westinghouse, Manual de Alumbrado 1973)[2] expresa también que la "ley inversa de los cuadrados" está basada en una fuente de luz puntiforme que radia uniformemente en todas las direcciones.

Según (Fundación MAPFRE, Manual de Ergonomía 2010)[15] plantea que la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia existente entre la fuente de luz y la superficie iluminada ya que a medida que la fuente se aleja, aunque la intensidad permanezca

Capítulo 1: Marco teórico referencial

constante y el ángulo sólido no varíe, la superficie que esta abarca es cada vez mayor. (Figura1.4)

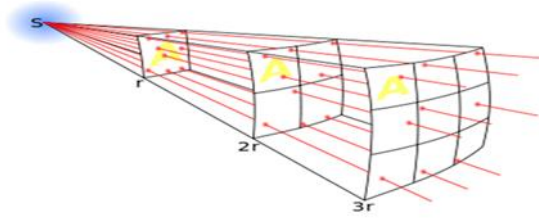


Figura 1.4: Ley inversa de los cuadrados
Fuente: Elaboración Propia

Se expresa por:

$$E = \frac{I}{D^2}$$

I: Intensidad luminosa, cd

D: Distancia entre la fuente de luz y el punto de interés en la superficie.

Se puede expresar también a través de la "ley del coseno" donde se plantea que la iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia (que es el ángulo formado por la dirección del rayo incidente y la normal a la superficie en el punto de incidencia)

Se expresa por:

$$E = \frac{I \cos \theta}{D^2}$$

θ : Ángulo de incidencia

1.3.2 Tipos de control del haz de luz

Según (Westinghouse, Manual de Alumbrado 1973)[2] la trayectoria e intensidad de un haz de luz emitido sobre una superficie por cualquier tipo de fuente luminosa pueden ser controladas de diversas maneras. Esto depende de las características propias de la superficie en que incide el haz de luz; ya sea de su regularidad, del color, la densidad, etc., dando lugar a los fenómenos de reflexión, transmisión y refracción.

- ✚ **Reflexión:** es cuando una superficie devuelve un rayo de luz incidente. La reflexión puede ser, especular (normal), difusa, difusa-dirigida y mixta. (Figura 1.5)
- ✚ **Reflexión Máxima:** es cuando una superficie devuelve un rayo de luz incidente a un valor muy aproximado al 100%. (Espejo dieléctrico)
- ✚ **Reflexión Óptima:** es cuando una superficie devuelve un rayo de luz incidente de forma tal que se alcanza un valor óptimo entre 75 y 85% para desarrollar cualquier actividad. (Blanco mate)
- ✚ **Reflexión Mínima:** es cuando una superficie absorbe un rayo de luz incidente a un valor muy aproximado al 0%. (Oscuridad total)

Capítulo 1: Marco teórico referencial

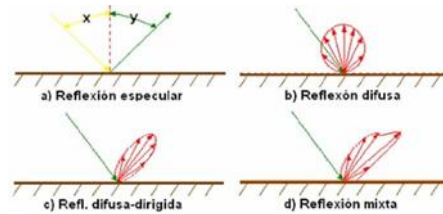


Figura 1.5: Reflexión de la luz.

Fuente: Westinghouse, Manual de Alumbrado 1973.

Unidad: Factor de reflexión. Es la relación de la luz reflejada por una superficie a la luz incidente sobre ella. Este se expresa como:

$$\frac{\text{Lectura}(A)}{\text{Lectura}(B)}$$

Lectura (A): Lectura del luxómetro hacia la superficie de 5 a 15 cm de separación de la misma.

Lectura (B): Lectura del luxómetro hacia la luz incidente.

En el **(Anexo 1)** aparecen los diferentes coeficientes de reflexión de los colores, así como en diversas superficies y materiales.

✚ **Transmisión:** cuando los rayos de luz pasan a través de materiales transparentes o translúcidos se dice que han sido transmitidos. (Figura 1.6)

Unidad: Factor de transmisión. Es la relación de la luz transmitida por el material a la luz incidente sobre él.

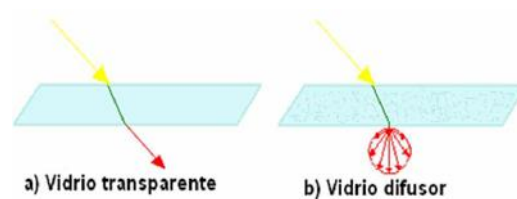


Figura 1.6: Transmisión de la luz.

Fuente: Westinghouse, Manual de Alumbrado 1973

✚ **Refracción:** Cuando un rayo de luz pasa en dirección oblicua de un medio transparente a otro también transparente pero de diferente densidad, ej. De aire a vidrio o viceversa. **(Figura 1.7)**

Capítulo 1: Marco teórico referencial

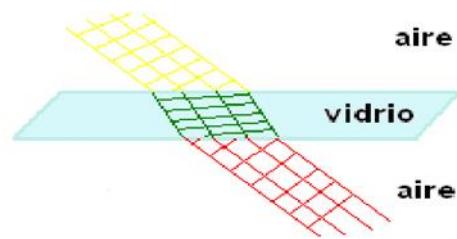


Figura 1.7: Refracción de la luz.

Fuente: Westinghouse, Manual de Alumbrado 1973.

Unidad: Índice de refracción. Es la relación entre la velocidad de la luz a través del aire y su velocidad a través del material cuyo índice de refracción se estudia.

1.4 Método para el diseño de sistema de Iluminación General-localizado

1.4.1 Método de Punto por Punto

Según (Rifaldi, A 2006)[16] este método se utiliza para el diseño de sistemas generales - localizados y localizados (suplementarios). Se basa en la cantidad real de luz que se ha producido en cada punto del área iluminada y se sustenta en la ley principal de iluminación, la cual 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 y se calcula por la ley inversa de los cuadrados antes expuesta.

Ocurre en muchos casos que el punto de interés se encuentra desplazado con relación al centro de la luminaria y que se encuentra en un plano horizontal o vertical. En estos casos el nivel de iluminación dependerá del ángulo que se forma entre la perpendicular al plano y la distancia entre la fuente y el punto de interés como se muestra en la **(figura 1.8)**

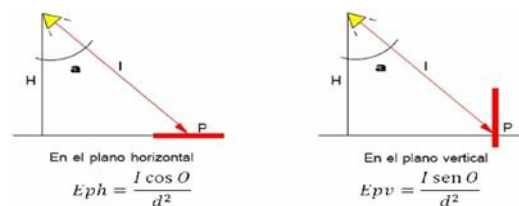


Figura 1.8: Cálculo de la iluminación en los planos horizontal y vertical por el método punto por punto.

Fuente: Rifaldi, A. Iluminación. Método punto por punto, 2006.

1.5 Curvas de distribución luminosas

Una instalación de alumbrado se proyecta para distribuir luz de diversas maneras, dependiendo de la finalidad para la cual se destine. Esta distribución de luz puede ser representada gráfica o numéricamente, mediante diversos métodos; el más corriente es el de la curva de distribución luminosa.[2]

La curva de distribución luminosa es el resultado de tomar medidas de intensidad luminosa

Capítulo 1: Marco teórico referencial

en diversos ángulos alrededor de una luminaria y transcribirlas en forma gráfica, ya sea en coordenadas polares o rectangulares. En general, la curva de distribución luminosa polar (**figura 1.9-a**) de una luminaria se representa mostrando dos de sus planos verticales; el transversal y el longitudinal (0° y 90°). Cuando la representación es en color, generalmente el plano transversal es rojo y el longitudinal azul o negro. Cuando se presenta en blanco y negro, el transversal es en trazo lleno y el longitudinal en punteado.[6]

En los casos en los que la distribución luminosa de una luminaria tiene el mismo comportamiento en todos sus planos verticales, la curva polar (**figura 1.9-b**) se representa mediante un solo trazo generalmente de color rojo o bien en negro de trazo lleno. Este es el caso de las luminarias de distribución luminosa con simetría alrededor de su eje vertical.

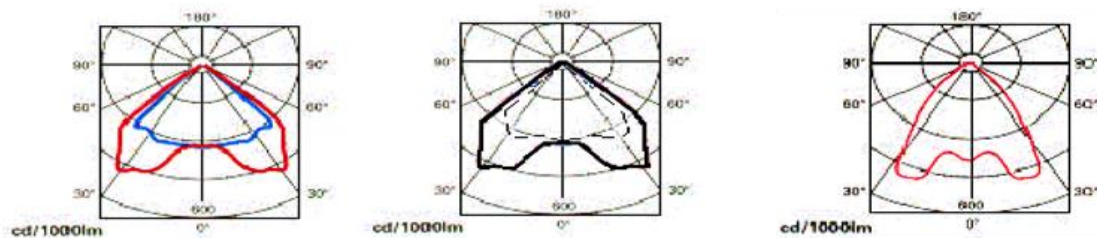


Figura 1.9-a): Curvas de distribución luminosa en coordenadas polares.

Figura 1.9-b): Curva de distribución luminosa en coordenadas polares.

Fuente: Fernández, J.G. y O. Boix. Cálculo de instalaciones de Alumbrado 2004

En el gráfico rectangular (**Figura 1.10**) el eje horizontal representa los grados de alejamientos al centro del haz de luz (de 5° a 30°) dado que a partir de los 30° se pierde demasiada luz. El eje vertical representa la intensidad de la fuente en candelas. La unión de las coordenadas da lugar a la curva de distribución luminosa.[6]

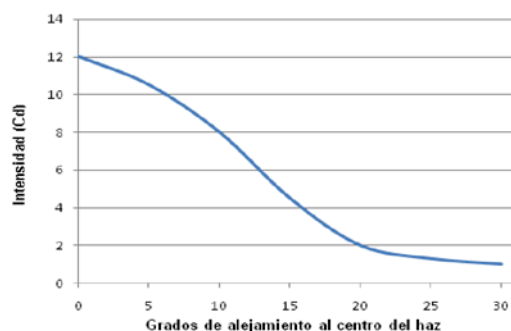


Figura 1.10: Curva de distribución luminosa en coordenadas rectangulares.

Fuente: Fernández, J.G. y O. Boix. Cálculo de instalaciones de Alumbrado 2004

Capítulo 1: Marco teórico referencial

Una vez conformada la curva de distribución luminosa, esta brindará la información fotométrica suficiente como para realizar los cálculos de un estudio de rendimiento de la luminaria, coeficiente de utilización, gráfico de luminancias, etc. También podrá calcularse la iluminancia que produce una luminaria en un punto de una superficie.

1.6 Método de Sustituciones Seriadas.

Método utilizado para comparar, uno a uno, los indicadores reales creando una matriz en la que tanto en las filas como en las columnas se colocan los indicadores obtenidos de la descomposición de la variable, exceptuando la primera de las filas, que es reservada para colocar la variable que se estudia.[17]

1.7 Equipos a utilizar

1.7.1 Principio de funcionamiento del Luxómetro

El luxómetro: Marca YEW, Modelo 3281y de fabricación japonesa (**Figura 1.11**) realiza las mediciones en un rango de 0 a 3000 lux gracias a poseer una célula fotosensible incorporada a la caja a través de una conexión eléctrica. Cuando la luz incide sobre la superficie de la célula, sensible a la luz, emita electrones que son recogidos por un colector de metal en contacto con el electrodo traslucido delantero. El aparato está calibrado para medir directamente en lux y posee un sesgo de error de 0,2%.



Figura 1.11: Luxómetro provisto con celda fotosensible.

Fuente: Elaboración Propia

1.7.2 Principio de funcionamiento del Regulador de voltaje

El Regulador de voltaje: Marca Forza y modelo Fvr-1211b 8 Thomas Protector (**Figura 1.12**). Es un dispositivo electromagnético que consiste en un transformador de potencia y un circuito electrónico de control. El Regulador de voltaje está diseñado para mantener un voltaje estable en una instalación eléctrica del tipo usado en casa habitación. Provee un voltaje adecuado para alimentar equipos electrodomésticos, alumbrado, equipo de bombeo y todos los equipos que tiene en su instalación eléctrica

Capítulo 1: Marco teórico referencial



Figura 1.13: Regulador de voltaje Forza

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones parciales del capítulo

- ✚ Se puede afirmar que la luz es la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por la visión y se puede manifestar como onda y como partícula según en el medio en que se propaga.
- ✚ Se compiló las magnitudes y las unidades requeridas para el cálculo de la iluminación
- ✚ Mediante el concepto de reflexión se pudieron establecer las definiciones de reflexión máxima, (espejo dieléctrico); reflexión óptima o Ideal,.(Blanco mate) reflexión mínima: (oscuridad total)

Capítulo 2: Marco Metodológico de la investigación

En este capítulo se describe la metodología para la obtención de las curvas de distribución luminosa para el método de alumbrado General-localizado con respecto a los grados de alejamiento al centro del haz, la altura de montaje de la fuente y el coeficiente de reflexión de las áreas experimentales. Este procedimiento tiene como importancia que utiliza las ventajas del método de alumbrado General y del Localizado. En uno se utiliza la reflexión por el método de los lúmenes y en el otro se enfoca en puntos específicos y utiliza la reflexión de paredes y el techo.

2.1 Procedimiento para la obtención de las curvas de distribución luminosa

2.1.1 Análisis de las condiciones óptimas para el experimento

En este paso es necesario valorar los diferentes factores que se deben tener en cuenta para las condiciones previas al experimento como son:

- ✚ **Local:** en el mismo se deben analizar determinados parámetros como:
 - Dimensiones: ancho, largo y altura del local.
 - Índice de Reflexión: Paredes, techos u objetos que pudieran reflejar parte de la luz emitida por la fuente, esto incluye la limpieza de esas superficies.
 - Voltaje: debe estar en función de las fuentes de luz que se desean utilizar y debe ser estable.
 - Hermeticidad: mejor aprovechamiento de la superficie y disminuir la interferencia de otras fuentes luz.
- ✚ **Campo abierto de noche:**
 - Temperatura: se debe mantener estable en un rango de 20°C a 25°C.
 - Corrientes de aire: evitar que estas produzcan interrupciones de tipo eléctricas y parpadeo.
 - Fuentes externas de iluminación:
 - naturales como: la luz de la Luna.
 - artificiales como: luces de alumbrado público entre otras.
- ✚ **Instrumentos:**
 - Comprobación de la certificación de los instrumentos de medición.
 - Estos deben estar previamente calibrados.
 - Normalización de los medios a las condiciones medioambientales.

2.1.2 Selección de las fuentes de iluminación

Se deben seleccionar las fuentes de luz teniendo en cuenta la condición de que deben ser puntiformes:

Capítulo 2: Marco Metodológico de la Investigación

Los diferentes autores coinciden en que debe existir una distancia lo suficientemente grande entre la fuente y el punto a iluminar, X como para considerar la fuente, un punto con respecto a la superficie (fuente puntiforme). Sin embargo, existen diferencias con relación a cuánto debe ser esa distancia, en este caso se considera que es al menos cinco veces mayor que el diámetro de la fuente Df y si esta es de forma irregular se debe tomar su mayor dimensión transversal.

$$X \geq 5Df$$

2.1.3 Determinar la distancia en el plano horizontal y de la fuente al punto

Inicialmente se determinan las distancias en el plano horizontal R_0 - R_n en metros a la cual se encuentran los ángulos en el eje al centro del haz de luz. Teniendo los ángulos correspondientes (0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40°), y la altura de montaje H .

(Figura 2.1)

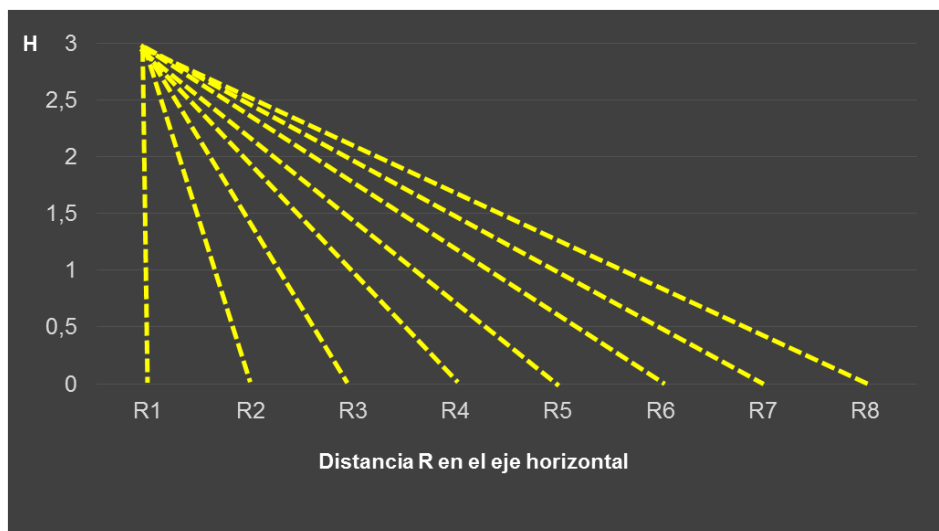


Figura 2.1: Relación de los ángulos que se forman entre la perpendicular al plano y la distancia entre la fuente y el punto de interés

Fuente: Elaboración propia

Las diferentes distancias R_0 - R_n se obtienen mediante el despeje de la razón trigonométrica:

$$\tan \theta = \frac{R}{H} \quad R = \tan \theta \times H$$

Estas expresiones se pudieron utilizar ya que la altura de montaje desde donde incide el haz de luz de forma perpendicular, con el eje horizontal y la distancia D en metros al centro del haz correspondiente al grado de alejamiento de cada ángulo, forman imaginariamente un triángulo rectángulo como se puede observar en la (figura 2.2)

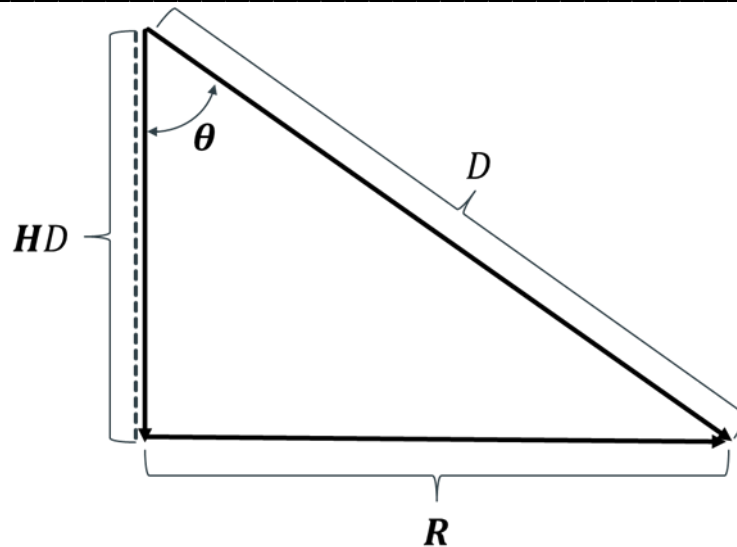


Figura 2.2: Triángulo formado por la perpendicular entre la altura y la horizontal.

Fuente: Elaboración propia

La distancia D se calcula por el Teorema de Pitágoras a través de la expresión:

$$D^2 = R^2 + H^2$$

Introduciéndose los datos en la **tabla 2.1**

Tabla 2.1: Cálculo de las distancias.

θ (o)	H(m)	R(m)	D^2
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			

Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Realización de las mediciones y cálculos.

1. Cálculo del factor de reflexión del local

Se coloca la célula del luxómetro hacia la superficie y se va retirando lentamente hasta obtener lecturas constantes entre los 5 y 15 cm (lectura A), después se gira el luxómetro para medir la luz incidente (lectura B) y se halla la razón entre las dos lecturas.

Capítulo 2: Marco Metodológico de la Investigación

2. Medición del nivel de iluminación

Se realiza para cada fuente de luz ubicando el luxómetro en la superficie del local, en cada una de las distancias R calculadas previamente. Para garantizar una mayor fiabilidad en las mediciones se deben tomar tres muestras en cada una de las distancias en el plano horizontal calculándose la media del nivel de iluminación para cada situación definida. Tabulándose los resultados en la **tabla 2.2**. Una para cada situación experimental.

Tabla 2.2: Niveles de iluminación medios para las dos situaciones experimentales.

$\theta(o)$	H(m)	R(m)	E(lux)	$\theta(o)$	H(m)	R(m)	E(lux)
0				0			
5				5			
10				10			
15				15			
20				20			
25				25			
30				30			
35				35			
40				40			

Fuente: Elaboración propia

2.1.5 Cálculo de las intensidades luminosa

Después de haber obtenido las lecturas de los niveles de iluminación correspondientes a cada una de las fuentes de luz, quedaría determinar los valores de los cosenos de los diferentes ángulos.

Tabla 2.3: Cálculo de los cosenos de los diferentes ángulos

$\theta(o)$	D^2	$\cos\theta$
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 2: Marco Metodológico de la Investigación

Teniendo en cuenta que se utiliza el método de alumbrado General-localizado se procede al cálculo de las intensidades luminosa utilizando el método punto por punto.

Para este método se aplica la expresión para el cálculo del nivel de iluminación para el plano horizontal y si se despeja la intensidad luminosa queda la expresión:

$$I = \frac{E \times D^2}{\cos \theta}$$

Donde:

E: Nivel de iluminación (lux)

D: Distancia entre la fuente de luz y el punto de interés en la superficie (m)

θ : Ángulo de incidencia

Para que resulte más organizado el trabajo con los cálculos los resultados se van tabulando en tablas diferenciadas según el área experimental que sea. Como se irían mostrando en las **tablas 2.4**.

Tablas 2.4: Intensidad luminosa y nivel de iluminación por factor de reflexión.

Reflexión 75%			Reflexión 0%			Reflexión media		
$\theta(o)$	E(lux)	I(Cd)	$\theta(o)$	E(lux)	I(Cd)	$\theta(o)$	Em(lux)	I(Cd)
0			0			0		
5			5			5		
10			10			10		
15			15			15		
20			20			20		
25			25			25		
30			30			30		
35			35			35		
40			40			40		

Fuente: Elaboración propia

También se tiene en cuenta el factor de reflexión al pintar la superficie con los colores que más se utilizan: amarillo claro, verde claro, azul claro y rojo claro, según la **tabla 2.5** para seguidamente hallar los valores de intensidad luminosa que se adquieren con las mismas.

Para el cálculo de la intensidad de estos factores de reflexión se utilizan las expresiones:

$$I_{65\%} = I_{75\%} - 0,1 \times I_{75\%}$$

$$I_{55\%} = I_{75\%} - 0,2 \times I_{75\%}$$

$$I_{50\%} = I_{75\%} - 0,25 \times I_{75\%}$$

$$I_{45\%} = I_{75\%} - 0,30 \times I_{75\%}$$

Capítulo 2: Marco Metodológico de la Investigación

Donde:

$I_{65\%}$: Intensidad que se obtendría para el color amarillo claro.

$I_{55\%}$: Intensidad que se obtendría para el color verde claro

$I_{50\%}$: Intensidad que se obtendría para el color azul claro

$I_{45\%}$: Intensidad que se obtendría para el color rojo claro

$I_{75\%}$: Intensidad que se obtendría para el color blanco mate

Tabla 2.5: Intensidad luminosa teniendo en cuenta factor de reflexión de 65%, 55%, 50% y 45%

$\theta(o)$	amarillo claro Refl. 65%	verde claro Refl.55%	azul claro Refl.50%	rojo claro Refl.45%
0				
5				
10				
15				
20				
25				
30				
35				
40				

Fuente: Elaboración propia.

Con todos estos datos se puede obtener la curva de distribución luminosa mediante cualquier programa de representación gráfica.

2.1.6 Confección de la curva de distribución luminosa

Se confecciona la base de datos en el Microsoft Excel 2013 con los grados alcanzados por el haz de luz en el plano horizontal y las intensidades luminosas y se conforma la curva de distribución luminosa. **(Figura 2.3)**

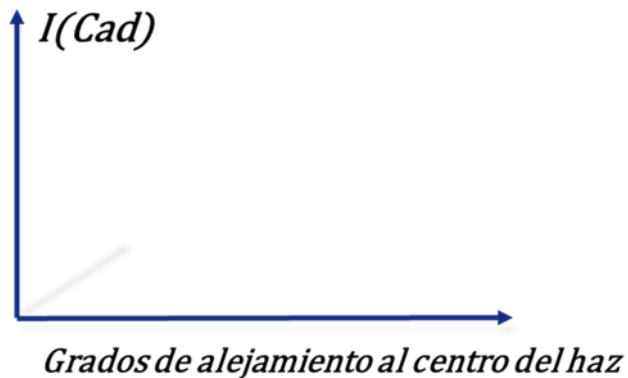


Figura 2.3: Gráfica para la construcción de la curva de distribución luminosa

Fuente: Elaboración propia

2.2 Análisis del comportamiento de la curva

Para realizar en caso de que se desee un análisis posterior de los resultados se recomienda la utilización del método de sustituciones seriadas, mediante el cual se pudieran comprobar aspectos tales como:

- ✚ La variable de mayor impacto independiente.
- ✚ La interrelación entre cada una de las variables, del indicador que se desee.

La **figura 2.4** muestra una breve explicación detallada de las diferentes partes que conforman la tabla para el método y que va en cada sección de la misma.

Capítulo 2: Marco Metodológico de la Investigación

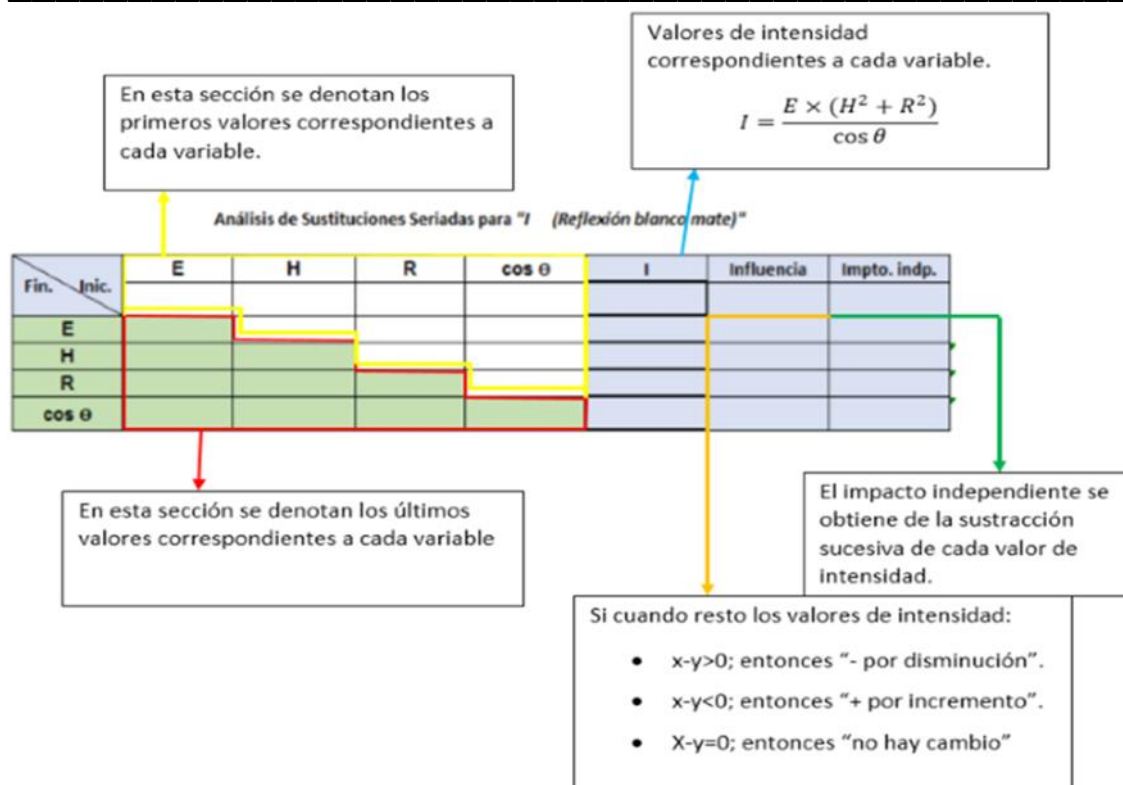


Figura 2.2: Explicación detallada de la tabla para el método de las sustituciones seriadas.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones parciales del capítulo

- ✚ Se elaboró la metodología para la obtención de las curvas de distribución luminosa para método de alumbrado General-localizado.
- ✚ Se puntualizó para el análisis posterior, el método de Sustituciones Seriadas.

Capítulo 3: Resultados de la implementación del procedimiento

En este capítulo se da a conocer el desarrollo del procedimiento reflejado en el capítulo anterior donde se llega a los resultados de la investigación y donde se realizan los análisis correspondientes.

3.1 Implementación del procedimiento para la obtención de las curvas

3.1.1 Análisis de las condiciones óptimas para el experimento

El experimento cuenta de dos etapas. La primera en un local de 3,48 m de largo; 2,75 m de ancho y 2,90 de altura cerrado completamente para el mejor aprovechamiento de la superficie y disminuir la interferencia de otras fuentes de luces y cubierto completamente con sábanas para obtener un color blanco mate. **(Anexo 2)** La segunda en un campo abierto por la noche de más de 20 m de largo y 15 m de ancho con piso de concreto oscuro sin la presencia de paredes u objetos. **(Anexo 3)** La temperatura oscila entre los 20°C y 25°C en ambas áreas, conveniente esto para evitar un calor extremo que pueda interferir en el correcto funcionamiento de las fuentes de luz. En este caso, la altura máxima de montaje es de 2,8 m sin variación para ambas etapas de realización de los experimentos. El voltaje fue controlado con un regulador de voltaje Marca Forza para 110 Volts, y así evitar variaciones del mismo. Con relación a la influencia de otras fuentes sólo se tuvo en cuenta la luz de la luna para el experimento nocturno ya que no intervenía la luz de otras fuentes emisoras. Para solucionar este problema se decidió efectuar las mediciones bajo luna nueva. También se tuvo en cuenta en el campo abierto por la noche la existencia de corrientes de aire fuertes que pudieran provocar interrupciones de tipo eléctrica y parpadeo en la luminaria.

Además resulta imprescindible analizar las condiciones técnicas en las que se encuentra el instrumento de medición a utilizar, en este caso el luxómetro. Este instrumento de fabricación japonesa bajo la marca YEW. El mismo está certificado como apto para el uso por el Departamento de Higiene del Trabajo perteneciente al Centro Provincial de Higiene y Epidemiología en Matanzas. **(Anexo 4)**

3.1.2 Selección de las fuentes de iluminación

Como la principal condición que se debía cumplir para la selección de las lámparas es que fueran puntiformes, entre las fuentes de luz que se pudiera utilizar están las lámparas fluorescentes compactas (CFL) por sus siglas en inglés. Estas utilizan un 80% menos de energía debido a que emiten mucho menos calor. Poseen una duración media de unas 8000 horas de funcionamiento. Son más económicas que las otras ya que

Capítulo 3: Resultado de la implementación del procedimiento

utilizando menos potencia cuando emiten un mismo flujo luminoso que las otras lámparas. Se pueden encontrar en las diferentes redes comerciales.

Para desarrollar el procedimiento se escogió la CFL 11W-Day Light (lámpara fluorescente compacta de 11 Watt). **(Figura 3.1)**



Figura 3.1: Lámpara Fluorescente Compacta (CFL) CFL 11W- Day Light,
Fuente: Elaboración Propia.

Como cualquier medida de iluminación viene determinada por las condiciones existentes en el momento en el que se realizan es importante registrar toda información pertinente, esto incluye el aparato con el que se realizan las mediciones; la limpieza de la instalación, las paredes y el techo, y el tiempo en el que las lámparas han sido utilizadas. Este es un factor determinante sobre todo con lámparas fluorescentes, cuya emisión luminosa cambia muy rápidamente durante las primeras horas de uso.

Por eso es importante que una instalación nueva de lámpara fluorescente debería lucir por lo menos cien horas antes de efectuar las medidas. Además se les debe dar un periodo de estabilización para permitir a la lámpara y a todas sus partes y accesorios el llegar al equilibrio de temperatura.[2]

3.1.3 Determinar la distancia en el plano horizontal y de la fuente al punto

Se determinó la distancia $R_0 - R_n$ en metros a la que se encuentran los ángulos en el eje horizontal al centro del haz mediante las expresiones descritas en el procedimiento. Teniendo el ángulo correspondiente (0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40°) y la altura de montaje H de 2,80 metros.

La distancia D en metros al centro del haz correspondiente al grado de alejamiento de cada ángulo se pueden obtener por el Teorema de Pitágoras.

En la **tabla 3.1** se puede apreciar el resultado de los cálculos de las distancias D y R ya que la altura de montaje H no varía

Capítulo 3: Resultado de la implementación del procedimiento

Tabla 3.1: Resultados del cálculo de las distancias.

$\theta(o)$	H(m)	R(m)	D ²
0	2,8	0	7,84
5	2,8	0,245	7,9
10	2,8	0,494	8,08
15	2,8	0,75	8,4
20	2,8	1,02	8,88
25	2,8	1,3	9,54
30	2,8	1,62	10,46
35	2,8	1,96	11,68
40	2,8	2,35	13,36

Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Realización de las mediciones y cálculos.

Una vez realizadas las mediciones de distancias, las cuales se utilizarán tanto en el local completamente blanco mate como el campo abierto por la noche, se procedió a realizar las mediciones con el luxómetro.

Primeramente se calculó el factor de reflexión del local donde se alcanzó un valor aproximado de 75% en el local blanco mate y de aproximadamente 0% en el campo abierto de noche con ausencia de luna.

Acto seguido se realizaron las mediciones del nivel de iluminación para la lámpara (CFL 11W-Day Light) ubicando el luxómetro en la superficie del plano horizontal de las superficies de las dos áreas experimentales, en cada una de las distancias **R** calculadas previamente. Para garantizar una mayor fiabilidad en las mediciones se tomaron tres muestras de cada tipo de fuente de luz, calculándose la media del nivel de iluminación para cada situación.

En las **tablas 3.2-a) y 3.2-b)** se muestran las lecturas realizadas para cada fuente de luz en las dos situaciones experimentales en correspondencia con las distancias **R** y **H**.

Capítulo 3: Resultado de la implementación del procedimiento

CFL 11W- Day Light (lámpara fluorescente compacta de 11 Watt modelo E27)

Tabla 3.2-a): Nivel de iluminación E (lux) para CFL 11W-Day Light, local blanco mate, factor de reflexión 75%

Tabla 3.2-b): Nivel de iluminación E (lux) para CFL 11W-Day Light, campo abierto por la noche con ausencia de luna, factor de reflexión 0%

$\theta(o)$	H(m)	R(m)	E(lux)	$\theta(o)$	H(m)	R(m)	E(lux)
0	2,8	0	158	0	2,8	0	17
5	2,8	0,245	157	5	2,8	0,245	17
10	2,8	0,494	156	10	2,8	0,494	16
15	2,8	0,75	155	15	2,8	0,75	16
20	2,8	1,02	153	20	2,8	1,02	15
25	2,8	1,3	151	25	2,8	1,3	15
30	2,8	1,62	148	30	2,8	1,62	14
35	2,8	1,96	145	35	2,8	1,96	12
40	2,8	2,35	138	40	2,8	2,35	10

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5 Cálculo de las intensidades luminosa

Después de haber obtenido las lecturas de los niveles de iluminación correspondientes a cada una de las fuentes de luz para cada área experimental se procede al cálculo de las intensidades luminosa utilizando el método de punto por punto ya que las fuentes de luz en ambas situaciones experimentales se consideran puntiformes.

En la **tabla 3.3** se muestra el resultado del cálculo de los datos que se necesitan para la obtención de las intensidades luminosas, los valores de los cosenos de los ángulos.

Tabla 2.3: Relación de los valores de los cosenos de los diferentes ángulos

$\theta(o)$	D ²	COS θ
0	7,84	1
5	7,9	0,996
10	8,08	0,985
15	8,4	0,965
20	8,88	0,939
25	9,54	0,906
30	10,48	0,866
35	11,56	0,819
40	13,36	0,766

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 3: Resultado de la implementación del procedimiento

En las **tablas 3.4-a) y 3.4-b)** a continuación aparece el resultado de las intensidades de la fuente de luz objeto estudio, en cada una de las áreas experimentales y la **tabla 3.4-c)** la media entre estas.

Tabla 3.4-a): Intensidad luminosa y nivel de iluminación E (lux) de la CFL 11W-Day Light, local blanco mate, factor de reflexión 75%

Tabla 3.4-b): Intensidad luminosa y nivel de iluminación E (lux) de la CFL 11W- Day Light, campo abierto por la noche con ausencia de luna, factor de reflexión 0%

Tabla 3.4-c): Intensidad luminosa y nivel de iluminación E (lux), factor de reflexión medio

Reflexión 75%			Reflexión 0%			Reflexión media		
$\theta(o)$	E(lux)	I(Cd)	$\theta(o)$	E(lux)	I(Cd)	$\theta(o)$	Em(lux)	I(Cd)
0	158	1239	0	17	133	0	87,5	686
5	157	1245	5	17	135	5	87	690
10	156	1281	10	16	131	10	86	706
15	155	1348	15	16	139	15	85,5	744
20	153	1446	20	15	142	20	84	794
25	151	1590	25	15	158	25	83	874
30	148	1786	30	14	169	30	81	978
35	145	2068	35	12	171	35	78,5	1120
40	138	2407	40	10	174	40	74	1291

Fuente: Elaboración propia.

En la **tabla 3.5** se encuentran los valores de intensidad luminosa que podría emitir la misma lámpara, hallados teniendo en cuenta el factor de reflexión al pintar la superficie de un local con los colores que más se utilizan: amarillo claro, verde claro, azul claro y rojo claro

Tabla 3.5: Intensidad luminosa de la CFL 11W-Day Light, local con factor de reflexión de 65%, 55%, 50% y 45%

$\theta(o)$	amarillo claro Refl. 65%	verde claro Refl.55%	azul claro Refl.50%	rojo claro Refl.45%
0	1115	991	929	867
5	1121	996	934	872
10	1152	1024	960	896
15	1214	1079	1011	944
20	1301	1156	1084	1012
25	1431	1272	1193	1113
30	1608	1429	1340	1251
35	1861	1655	1551	1448
40	2166	1925	1805	1685

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6 Confección de la curva de distribución luminosa

Con los datos de los ángulos y las intensidades luminosas con reflexión 75%, reflexión media y 0%; y además los valores de intensidad luminosa de los colores que se pueden pintar las superficies de un local con reflexión 65%, 55%, 50% y 45% programados en el en Microsoft Excel 2013 se pudo obtener la curva de distribución luminosa para la (CFL 11W-Day Light), (figura 3.2)

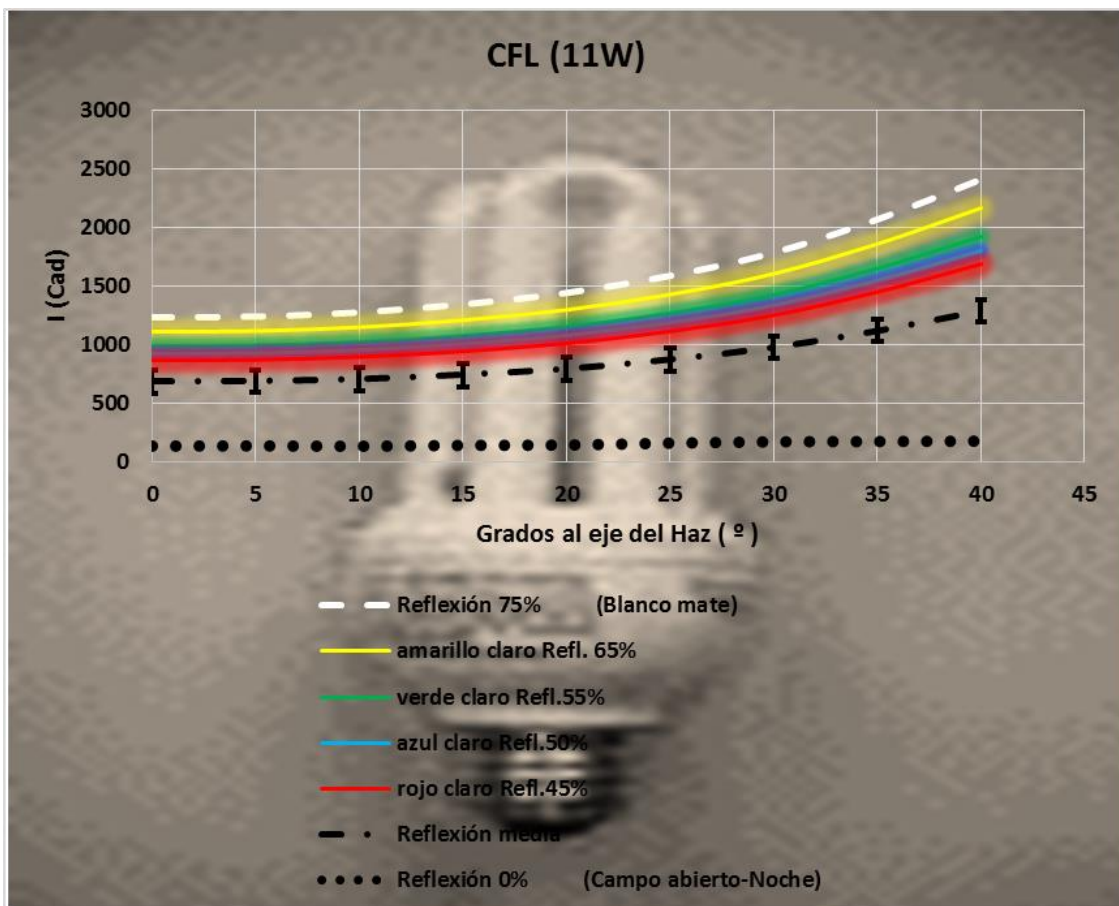


Figura 3.2: Curva de distribución luminosa para la CFL 11W- Day Light.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 Análisis de los resultados

Al analizar la curva de distribución luminosa obtenida se puede apreciar que a diferencia de las curvas que brinda la literatura, estas van en sentido creciente.

Por medio del Método de las Sustituciones Seriadas, en la **tabla 3.6**, se realiza un análisis de las variables que intervienen en el resultado de la intensidad para determinar cuál de estas posee un mayor impacto independiente en el resultado final de la curva.

Primeramente se tomó la curva de 75% de reflexión como referencia y se analizaron los valores iniciales, en fila; y finales, en columnas; de E , H , R y $\cos \theta$ para comparar el resultado de la I en cada una de las filas a través de la expresión:

Capítulo 3: Resultado de la implementación del procedimiento

$$I = E \times (H^2 + R^2) / \cos \theta$$

Así se realizó de forma escalonada alternando valores iniciales y finales de cada variable hasta obtener el último valor de I. Después se mantienen el primero y el segundo valor de I y se busca otro valor de la intensidad pero ahora alternando valores iniciales con uno final. De acuerdo a las expresiones:

$$I = E_i \times (H_f^2 + R_i^2) / \cos \theta_i$$

$$I = E_i \times (H_i^2 + R_f^2) / \cos \theta_i$$

$$I = E_i \times (H_i^2 + R_i^2) / \cos \theta_f$$

Acto seguido el impacto independiente de cada variable resulta de la sustracción del primer valor de I' con los demás I' y el mayor valor será el de mayor impacto independiente en el resultado de la intensidad.

Esta variable resultó ser R de ahí que sea la de mayor impacto independiente en el resultado de que la curva sea creciente.

Tabla 3.6: Método de sustituciones seriadas para la Intensidad luminosa de la CFL 11W-Day Light, local con factor de reflexión de 75%.

Fin. \ Inic.	E	H	R	cos θ	I	I'	Impto. Indep.
	158	2,80	0,00	1,00	1239	1239	
E	138	2,80	0,00	1,00	1082	1082	157
H	138	2,80	0,00	1,00	1082	1239	0
R	138	2,80	2,35	1,00	1844	2111	872
cos θ	138	2,80	2,35	0,77	2407	1611	372

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones parciales del Capítulo

- ✚ La lámpara seleccionada para el experimento fue la CFL 11W-Day Light.
- ✚ La altura a la que se estableció la lámpara para el experimento fue de 2,80 m sin variación.
- ✚ Se calculó la intensidad luminosa para locales con factor de reflexión de 65%, 55%, 50% y 45%.
- ✚ Se obtuvo la curva de distribución luminosa para los diferentes factores de reflexión presentando la misma un comportamiento creciente.
- ✚ Mediante el Método de Sustituciones Seriadas para la Intensidad luminosa de la CFL 11W-Day Light, local con factor de reflexión de 75%, se demostró que la variable de mayor impacto independiente en los resultados es la distancia en el plano horizontal **R**.

Conclusiones

Conclusiones

Después de realizada la presente investigación se pudo arribar a las siguientes conclusiones:

1. Se puede afirmar que la luz es la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por la visión y se puede manifestar como onda y como partícula según en el medio en que se propaga.
2. Se compiló las magnitudes y las unidades requeridas para el cálculo de la iluminación.
3. Mediante el concepto de reflexión se pudieron establecer las definiciones de reflexión máxima, (espejo dieléctrico); reflexión óptima, (Blanco mate) reflexión mínima: (oscuridad total)
4. Se elaboró la metodología para la obtención de las curvas de distribución luminosa para el método de alumbrado General-localizado.
5. La lámpara seleccionada para el experimento fue la CFL 11W-Day Light.
6. La altura a la que se estableció la lámpara para el experimento fue de 2,80 m sin variación.
7. Se calculó la intensidad luminosa para locales con factor de reflexión de 65%, 55%, 50% y 45%.
8. Se obtuvo la curva de distribución luminosa para los diferentes factores de reflexión presentando la misma un comportamiento creciente.
9. Mediante el método de Sustituciones Seriadas para la intensidad luminosa de la CFL 11W-Day Light, local con factor de reflexión de 75%, se demostró que la variable de mayor impacto independiente en los resultados es la distancia en el plano horizontal R .

Recomendaciones

Recomendaciones

A partir de esta investigación se recomienda:

1. Utilizar el procedimiento para el método de alumbrado General-localizado para obtener las curvas de distribución luminosa teniendo en cuenta la reflexión, de otras fuentes de luz.
2. Implementar el procedimiento para el método de alumbrado General-localizado para obtener las curvas de distribución luminosa en locales con varios factores de reflexión.

Bibliografía

Bibliografía

Bibliografía referenciada

1. Morejón Hernández, María del C., «Revolución Energética en Cuba: sus impactos», [en línea], 2007, [consulta: 4-3-2014], Disponible en: <<http://www.itlp.edu.mx/publica/revistas/revistaisc/RevEn.htm>>
2. Westinghouse, *Manual de Alumbrado*, Edición Revolucionaria, 1973, 1-16.
3. Tortora, H y Derrickson, G, *Anatomy and physiology principles* (11th), New York, Oxford University, 2006, 968-7988-77-0, 89-94.
4. Ross, L.H. et al, *Eye Histology: a text and atlas* (5th), Baltimor, Williams and Wilkins, 2006, 0-7817-7221-4, 142.
5. Resnick, Robert and Krane, Kenneth S., *Physics*, New York, John Wiley and Sons, 2001, 0-471-32057-9., 64.
6. Fernández, J. G. y O. Boix «Cálculo de instalaciones de alumbrado», [en línea], 2004, [consulta: 3-3-2014], Disponible en: <<http://edison.upc.es/curs/llum/interior/iluint2.html>>
7. Serway, Raymond A. and Jewett, John W, *Physics for Scientists and Engineers* (6th), New York, Brook and Cole, 2004, 0-534-40842-7., 78.
8. Real, Grether L y García Dihigo, J, *El Hombre y su ambiente laboral*, Matanzas, Universidad de Matanzas, Camilo Cienfuegos, 2005, 1235.
9. Diaz, I, «Normas vigentes sobre iluminación: Un equilibrio explícito de visibilidad vs. vulnerabilidad», [en línea], 2005, [consulta: 3-3-2014], Disponible en: <<http://www.nuevamuseologia.com.ar/iluminacio.htm>>
10. Alonso Becerra, Alicia, *Ergonomía* (Primera Edición), La Habana, Felix Varela, 2007, 978-959-07-0573-1, 235-280.
11. Expósito, Y, «“Obtención de las curvas de distribución luminosas de las nuevas lámparas introducidas en el país mediante la Revolución Energética”», [Ingeniería], Matanzas, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, 2009.
12. Viña Brito, Silvio y Marsán Castellanos, Juan, *Seguridad y Salud en el Trabajo*, La Habana, Felix Varela, 2007, 978-959-07-0418-5, 177-228.
13. Bruno, M, «Iluminación. Tipos de Alumbrado», [en línea], 2006, [consulta: 4-3-2014], Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/iluminacion_tipos-de-alumbrado.html>

Bibliografía

14. Viña Brito, Silvio y Gregori Torada, Enrique, *Ergonomía*, La Habana, Pueblo y Educación, 1986, RA01-49450-3, 160-178.
15. Farrer Velázquez, Francisco y Fundación MAPFRE, *Manual de Ergonomía*, II, La Habana, Felix Varela, 2010, LE-02-37-14, 438-446.
16. Rifaldi, A, «Iluminación.Método de punto por punto», [en línea], 2006, [consulta: 4-3-2014], Disponible en: <<http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/libros/>.>
17. Medina León, Alberto. *Herramientas Económico-Financiera para la toma de decisiones gerenciales*. Matanzas, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, 2004.

Bibliografía consultada

1. Begemann, S. H. A and Van den Beld, *Advances in Occupational Ergonomics and Safety*, I, Ohio, International Society for Occupational Ergonomics and Safety, 1996, 0-9652558-0-8, 191.
2. Kons, S and Jonhson, C, *Work Design. Occupational Ergonomics*, IV, Cincinnati, International Society for Occupational Ergonomic and Safety, 2004, 0-8574332-1-9, 113.
3. Lazlo, Carlos, «Manual de luminotecnia para interiores», [en línea], 2005, [consulta: 3-3-2014], Disponible en: <<http://www.laszlo.com.ar/manual.htm>.>

Anexos

Anexos

Anexo 1: Coeficientes de reflexión de los colores, así como en diversas superficies y materiales.

Colores	% Reflex.	Materiales	% Reflex.
Blanco	75-85	Espejos Dieléctricos	99,998
Crema claro	70-80	Espejos Boro-Silicato	99,3
Amarillo claro	60-70	Espejos sulfato de plata	95
Verde claro	45-65	Aluminio pulido	80-90
Celeste claro	40-60	Vidrio plateado	80-90
Rosa claro	45-70	Mármol blanco	60-70
Gris claro	45-70	Acero pulido	55-65
Amarillo oscuro	40-50	Aluminio mate	55-60
Marrón claro	30-50	Hormigón claro	30-50
Rojo oscuro	15-20	ladrillo claro	30-40
Azul oscuro	15-20	Madera clara	30-50
Verde oscuro	15-20	revoque oscuro	20-30
Gris oscuro	15-20	Hormigón oscuro	15-25
Negro	1	Granito	15-25

Anexo 2: Local cubierto con sábanas blancas para lograr factor de reflexión de 75%(blanco mate).



Anexos

Anexo 3: Campo abierto por la noche con ausencia de luna, factor de reflexión de 0%.



Anexo 4: Certificación de calibración del luxómetro.

Matanzas, febrero de 2009.
"Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución"

Centro Provincial de Higiene y Epidemiología.
Dpto. de Higiene del Trabajo:

El Dpto. de Higiene del Trabajo perteneciente al Centro Provincial de Higiene y Epidemiología, sito en la Calle Buena Vista entre Milanés y Contreras, haciendo uso de las facultades que les son conferidas, como centro de referencia para el análisis del estado técnico de instrumentos de medición, certifica el instrumento de medición "Luxómetro" bajo la marca YEW, modelo 3281 y fabricante Yokogawa. Tokyo Japón, como apto para el uso, tras haber pasado por la inspección requerida.


José Luis Bello Buil
J Dpto. de Higiene del Trabajo.

Anexos

Anexo 5: Componentes dentro de una Lámpara Fluorescente Compacta

