



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



Tesis en opción al Título de Ingeniera Industrial.

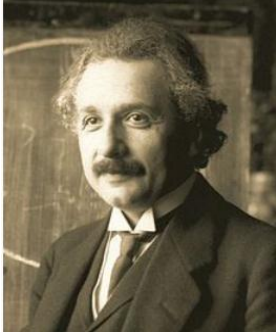
Título: *“Tecnología de cálculo para el número de lámparas (CFL) correspondiente al método general-localizado”*

Autora: *Glenda Rosada Ramírez.*

Tutor: *Ing. Dayron López Hernández.*

Pensamiento

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.



Albert Einstein

Dedicatoria

Dedico este trabajo a:

Mi madre por enseñarme a luchar por mis sueños, por no poner nunca en sus labios la palabra imposible, por apoyarme y amarme incondicionalmente.

Mis abuelos (mami y papi) por darme todo su cariño, paciencia, dedicación y por mostrarme que son los sentimientos, la humildad y la familia.

Mis hermanos en especial a Francito por tratar de hacer las cosas bien.

Mis tíos Willy, Pastor y Yamila por estar siempre ahí cuando los necesito.

Yaneisi por ser una hermana para mí.

Orelvis por levantar mis ánimos, por cada uno de sus consejos, por tenerme tanta paciencia y por ganarse cada día mi confianza y mi afecto.

Agradecimientos

Le agradezco a todas las personas que de una forma u otra estuvieron relacionados con la realización de este trabajo en especial a mi tutor el ingeniero Dairon López Hernández por toda su dedicación con la cual no hubiese sido posible la realización de este estudio, a todo el equipo de trabajo del departamento de ergonomía incluyendo a mis compañeros, a Cecilio, Dr. C Joaquín García y a los estudiantes de tercer año de ingeniería industrial.

A mi familia por apoyarme y preocuparse por mis estudios lo que ha sido el motor impulsor de cada letra y número que contiene esta tesis.

Declaración de autoridad.

Declaro ser el único autor de este Trabajo de Diploma, en calidad de lo cual autorizo a la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos de hacer uso del mismo con la finalidad que estimen conveniente.

Nota de Aceptación

Presidente del Tribunal

Tribunal

Resumen

El presente estudio se realizó en laboratorio de ergonomía de la universidad de Matanzas con el que se pretende elaborar una tecnología de cálculo para el número de lámparas fluorescentes compactas correspondiente al método de alumbrado general-localizado lo que para lograrlo se necesitó de un catálogo de curvas de distribución luminosas que se confeccionó a partir del procedimiento propuesto por Gonzales Imeno,2014 .Para ello se utilizó como instrumento de medición un luxómetro con certificado recientemente calibrado, el procesamiento y registro de los datos se realizó en Microsoft Excel 2013 . La tesis logro concretar el catálogo de curvas de distribución luminosa de las lámparas fluorescentes compactas de 5W, 8W, 11W, 14W y 15W que en el momento del estudio fueron las que se encontraban comercializando en la provincia y en un caso de estudio se comprobó el funcionamiento de la tecnología de cálculo para el número de lámparas (CFL) correspondiente al método de alumbrado general-localizado.

Abstract

The present study was carried out in laboratory of ergonomics of the university of Matanzas with which is sought to elaborate a calculation technology for the number of compact fluorescent lamps corresponding to the method of general-located illumination what was needed of a catalog of curved of luminous distribution to achieve it that was made starting from the procedure proposed by Gonzales Imeno, 2014. For it was used it like mensuration instrument a light meter with recently gauged certificate, the prosecution and registration of the data was carried out in Microsoft Excel 2013. The thesis achievement to sum up the catalog of curved of luminous distribution of the compact fluorescent lamps of 5W, 8W, 11W, 14W and 15W that were those that were marketing in the county in the moment of the study and in a case of study he/she was proven the operation of the calculation technology for the number of lamps (CFL) corresponding to the method of general-located illumination.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo 1: Marco teórico conceptual.	6
1.1 LA LUZ. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	6
1.1.1 <i>El espectro visible</i>	7
1.2 ILUMINACIÓN.....	7
1.3 MAGNITUDES Y UNIDADES DE LA ILUMINACIÓN.....	10
1.4.1 Geometría	12
1.4 CONTROL DEL HAZ DE LUZ (REFLEXIÓN).....	13
1.5 Diseño de alumbrado 1.	15
1.5.1 Diseño de alumbrado 2.....	16
1.5.2 Instrumento de medición para el nivel de iluminación	17
1.6 Curvas de distribución luminosas	18
1.7 <i>Tecnologías más utilizadas en interiores.</i>	19
1.7.1 <i>Comparación de las luminarias</i>	20
1.8 MÉTODO DE LAS SUSTITUCIONES SERIADAS	21
1.9 Conclusiones Parciales	21
CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.1 Selección de la tecnología a utilizar en el estudio	22
2.1.1 Selección de las lámparas	22
2.2 TECNOLOGÍA DE CÁLCULO PARA EL NÚMERO DE LÁMPARAS (CFL) CORRESPONDIENTE AL MÉTODO DE ALUMBRADO GENERAL-LOCALIZADO.	23
2.3 PROCEDIMIENTO a implementar para la obtención de las CURVAS DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA PROPUESTO POR GONZALES GENNEDIS, 2014.[21]	23
2.4 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA	26
2.4.1 Análisis Matemático	29
2.5 Conclusiones parciales	29
Capítulo 3: Análisis de los Resultados.....	30
3.1 Implementación del procedimiento de Gonzales Imeno, 2014	30
Atendiendo a las especificaciones del paso anterior los lugares seleccionados fueron de la universidad de Matanzas el laboratorio de ergonomía y a las afueras de la instalación el segundo.	31
3.2 Justificación matemática de los Resultados.....	33
3.3 Justificación física de los resultados	33
3.4 Comportamiento del crecimiento de la intensidad	35
3.5 Cálculo del número de lámparas (CFL). (Método de alumbrado general-localizado)	36
3.6 Conclusiones parciales	37
Conclusiones	38

Recomendaciones.....	39
Bibliografía	40
Anexo	41
Anexo -1: Aval de certificación del Luxómetro.....	41

INTRODUCCIÓN

La primera forma de iluminación artificial se lograba con las fogatas utilizadas para calentarse y protegerse de los animales salvajes. Las chispas que saltaban de estas fogatas se convirtieron en las primeras antorchas. Durante muchos milenios la antorcha continuó como una importante fuente de iluminación. En la edad media, las antorchas, portátiles o ancladas en soportes metálicos de las callejuelas y plazas, se convirtieron en el primer ejemplo de alumbrado público. Con el paso de los años surgieron las lámparas de aceite, las velas y las lámparas de gas. Los primeros experimentos de iluminación eléctrica fueron realizados por el químico británico Humphry Davy, quien fabricó arcos eléctricos y provocó la incandescencia de un hilo fino de platino en el aire al hacer pasar una corriente a través de él. 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 de filamento de carbono 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 las lámparas fluorescentes.[1]

En la actualidad existe un alto consumo de energía eléctrica, sobre todo en los países desarrollados, lo cual conllevó a un acelerado aumento de la tecnología de fabricación de fuentes de luz; en el mundo se fabrican diversas lámparas y bombillos fluorescentes de menos consumo energético (ahorradoras) y de mayor eficiencia luminosa

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 instaura un sistema eléctrico para el servicio público, con generación centralizada y redes de distribución dirigidas a algunas zonas de la capital. (Álvarez Lumpuy, 2007)[2]

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 electro energético.

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. (Álvarez Lumpuy, 2007)[2; 3]

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.[3]

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."[4]

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 como se demuestra en la comparación entre las principales lámparas. Estas forman parte de un conjunto de modelos y potencia entre las cuales las más comercializadas 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 el desarrollo de una mejor iluminación es importante realizar estudios que no se hayan abordado, llevando de la mano las tecnologías modernas y de marcada eficiencia como son las lámparas fluorescentes compactas también conocidas por sus siglas en inglés como **(CFL) Compact Fluorescent Lamp**. Para el método de alumbrado general existe una tecnología de cálculo de la iluminación como es el de los “Lúmenes”, el método localizado y general-localizado utiliza “Punto por punto” pero para el método general-localizado se debería tener en cuenta un procedimiento de cálculo que determine el número de lámparas necesario que proporcione una adecuada iluminación:

Problema científico: Inexistencia de una tecnología por la cual se pueda calcular el número de lámparas para el método de alumbrado general-localizado.

En función a esto se podría suponer como **preguntas científicas:**

- ¿Cómo se podría calcular el número de lámparas para el método de alumbrado general-localizado?
- ¿Cómo hallar el nivel de iluminación?
- ¿Cómo determinar las intensidades?

Teniendo en cuenta estas preguntas científicas, se plantea como **Objetivo General** el siguiente:

Elaborar una tecnología de cálculo para el número de lámparas correspondiente al método de alumbrado General-localizado.

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

- Realizar un estudio sobre el estado del arte de la iluminación.
- Elaborar tecnología de cálculo para el número de lámparas correspondiente al método de alumbrado general-localizado.
- Crear un catálogo de curvas de distribución luminosa de las lámparas puntiformes que más se utilicen.
- Implementar tecnología de cálculo para el número de lámparas correspondiente al método de alumbrado general-localizado.

Para dar cumplimiento a los objetivos anteriores, **la tesis fue estructurada** de la siguiente manera:

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

El **capítulo 1** se dedica al estudio y análisis de los aspectos relacionados al estado del arte en la temática investigada como son: Las principales características de la luz, la iluminación y sus magnitudes, las reflexiones, los métodos punto por punto y el de los lúmenes, curvas de distribución luminosa, las lámparas más utilizadas en interiores entre otros aspectos.

En el **segundo capítulo** se expone la tecnología de cálculo para el número de lámparas fluorescentes compactas (CFL) correspondiente al método de alumbrado general-localizado, se toma el procedimiento de Gonzales Imeno, 2014 como referencia para la creación de las curvas de distribución luminosa y se realiza una detallada descripción del procedimiento a seguir para la obtención de las mismas.

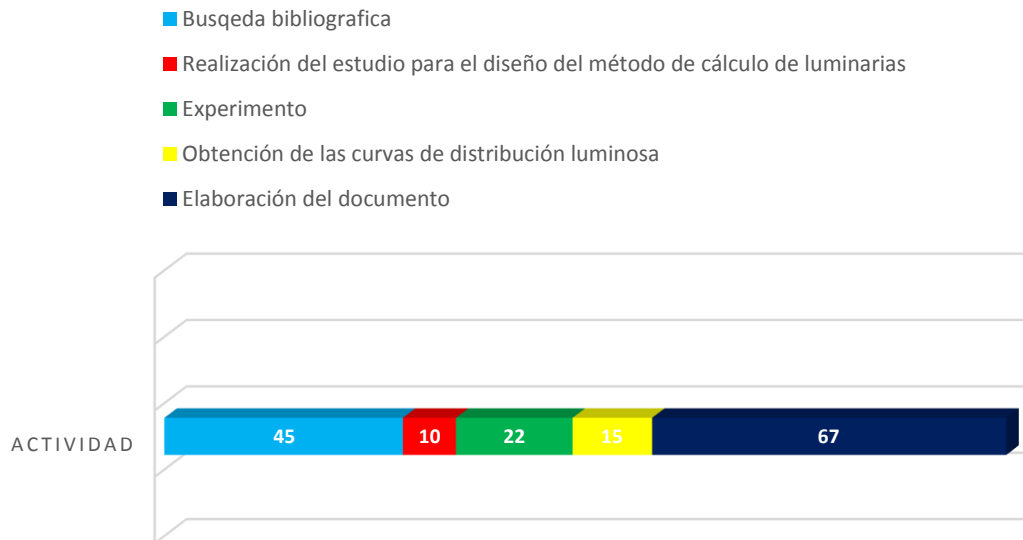
En el **tercer capítulo** se materializan los resultados de la investigación y el análisis acometido en los precedentes capítulos con la representación de una de las gráficas del catálogo de curvas de distribución luminosa y un caso estudio en el cual se implementa el método de cálculo del número de lámparas fluorescentes compactas.

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.

Cronograma

DÍAS DE TRABAJO



Para la realización del estudio se empleó 45 días en búsqueda bibliográfica 10 en la realización del estudio para el diseño del método de cálculo de lámparas, 22 en el experimento, 15 para la obtención de las curvas y 67 para la elaboración del documento.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

En este capítulo se exponen y analizan los aspectos teóricos conceptuales fundamentales que sustentan la investigación realizada, como: las principales características de la luz, los tipos de iluminación, las magnitudes fotométricas (intensidad, el flujo luminoso, nivel de iluminación), magnitud adimensional (ángulo sólido), geometría (esfera, casquete esférico, teorema de pitágoras), la reflexión, el método de punto por punto, el método de los lúmenes, el instrumento para medir niveles de iluminación, las curvas de distribución luminosa, la iluminación en interiores, comparación de las diferentes tecnologías y por último el método de sustituciones seriadas.

1.1 LA LUZ. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

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

Según Fernández, J. G. y O. Boix 2004, 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. [1]

Real, Grether L y García Dihigo, J 2005, plantean que 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[5].

Díaz, I 2005, afirma que 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"[6].

Según Alonso, A 2007, 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. [2]

El análisis los diferentes conceptos respectivos a la luz asevera que la luz es la parte de una radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano.

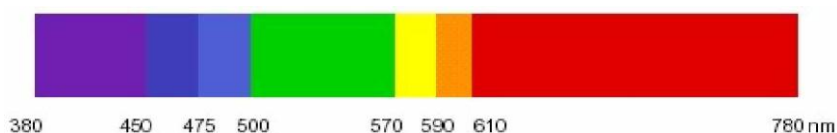
1.1.1 El espectro visible

Se dice que un objeto es rojo porque refleja las radiaciones luminosas rojas y absorbe todos los demás colores del espectro. Esto es válido si la fuente luminosa produce la suficiente cantidad de radiaciones en la zona roja del espectro visible.

El color viene dado por su longitud de onda. El espectro visible para el ojo humano es aquel que va desde los 380nm de longitud de onda para el color violeta hasta los 780 nm para el color rojo. Fuera de estos límites, el ojo no percibe ninguna clase de radiación. Entre estas están las longitudes de onda que el ojo percibe de color azul (450nm a 500 nm), de color verde (500nm a 570 nm), amarillo (570 nm a 590 nm) y naranja (590 nm a 610 nm), o sea, los colores del arcoíris. La región del espectro inmediata al extremo de las largas longitudes de onda del espectro visible se llama infrarroja por debajo del rojo ; junto al extremo de las cortas longitudes de onda, esta la región ultravioleta más allá del violeta (Figura 1.1).[7]

Figura 1.1: Espectro visible para el ojo humano. Tomado de Laszlo, Carlos 2005.

Fuente: Laszlo, Carlos. Manual de luminotecnia2005



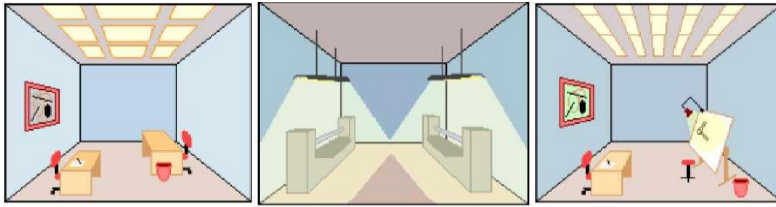
1.2 ILUMINACIÓN

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:

- 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



Alumbrado general

Alumbrado general localizado

Alumbrado localizado

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.** (Viña, S y Marsán, J 2007)[8]

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, rajan, 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.[9]

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. (Bruno, M 2006)[10]

(Viña, S y Marsán, J 2007) 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.[8]

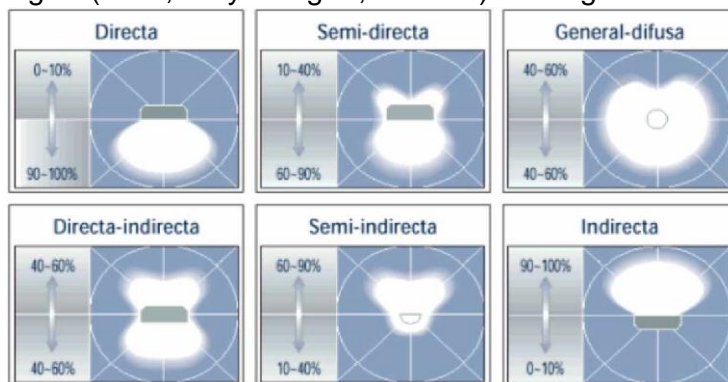
Según el tipo de luminaria (Figura 1.3), puede ser:

- **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.
- **Semiindirecta:** 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.[8]

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

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

Según (Viña, S. y Gregori, E 1986) 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.[11]

1.3 MAGNITUDES Y UNIDADES DE LA ILUMINACIÓN

Según Westinghouse, Manual de Alumbrado 1973, 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”. [12]

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[13].

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, Intensidad luminosa es el flujo luminoso emitido en una dirección representada por un ángulo sólido determinado[14].

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 inicie 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:

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

Westinghouse, Manual de Alumbrado 1973 expresa también que la "ley inversa de los cuadrados" está basada en una fuente de luz puntiforme que radia uniformemente en todas las direcciones.[12]

Fundación MAPFRE, Manual de Ergonomía 2010 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 constante y el ángulo sólido no varíe la superficie que esta abarca es cada vez mayor.[14]

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

1.4.1 Geometría

Según (Resnick.2001) El ángulo sólido es el ángulo espacial que abarca un objeto visto desde un punto dado, que se corresponde con la zona del espacio limitada por una

superficie cónica. Es el área del casquete esférico, en una esfera de radio unidad, abarcado por un cono cuyo vértice está en el centro de la esfera.[15]

Para calcular el ángulo sólido bajo el cual se ve un objeto desde un punto, se proyecta el objeto sobre una esfera de radio R conocido, centrada en el punto de vista. Si la superficie de la proyección del objeto sobre la esfera es S , el ángulo sólido bajo el cual se ve el objeto es, por definición:

Se expresa por:

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

Ω : Angulo Sólido, Estereorradián, sr

S : Superficie de la proyección del objeto sobre la esfera.

R : Radio de la esfera

Según (Serway, Raymond A. Jewett, John W. 2004) Un **casquete esférico**, en geometría, es la parte de una esfera cortada por un plano. Si dicho plano pasa por el centro de la esfera, lógicamente, la altura del casquete es igual al radio de la esfera, y el casquete esférico será la semiesfera.

Si el radio de la esfera es r , el radio de la base del casquete a , y la altura del casquete h , el área de la superficie curva del casquete esférico.[16]

Se expresa por:

$$A = 2\pi r h$$

1.4 CONTROL DEL HAZ DE LUZ (REFLEXIÓN)

Según Westinghouse, Manual de Alumbrado 1973, 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.[12]

- **Reflexión:** es cuando una superficie devuelve un rayo de luz incidente. La

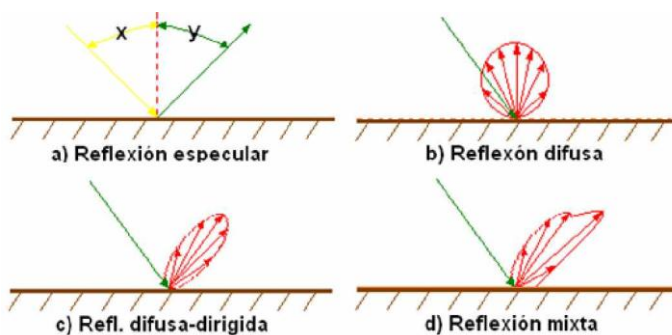
reflexión puede ser, especular (normal), difusa, difusa-dirigida y mixta. (Figura 1.6)

- **Reflexión Máxima:** es cuando una superficie devuelve un rayo de luz incidente a un valor muy aproximado al 100%.(Espejo dieléctrico)
- **Reflexión Óptima o Ideal:** 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 1%.(Oscuridad total)[12]

Figura 1.4: 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 la Tabla 1.1 aparecen los diferentes coeficientes de reflexión de los colores en las superficies, así como en diversas superficies.[12]

Tabla 1.1: Coeficientes de reflexión de algunos colores.

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

Fuente: Elaboración propia

1.5 Diseño de alumbrado 1.

Método de Punto por Punto

Rifaldi, A 2006 plantea que 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.[17]

Los diferentes autores coinciden en que esta ley sólo es aplicable si existe una distancia lo suficientemente grande entre la fuente y el punto a iluminar 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 y si esta es de forma irregular se debe tomar su mayor dimensión transversal. 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 1.4).

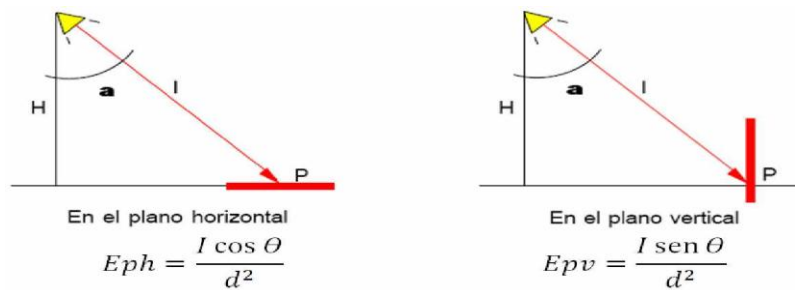


Figura 1.5: Cálculo de la iluminación en los planos vertical y horizontal por el método punto por punto.

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

1.5.1 Diseño de alumbrado 2

Método de los Lúmenes:

Según el manual de alumbrado de Westinghouse, 1979 para usar el Método de los lúmenes en la resolución de un problema de alumbrado general, se deben tener en cuenta seis puntos fundamentales[12]:

1. Determinar el nivel requerido de iluminación
2. Seleccionar el sistema de alumbrado y las luminarias
3. Determinar el coeficiente de utilización
4. Estimar el factor de conservación
5. Calcular el número de lámparas

El número de lámparas y luminarias puede calcularse mediante las formulas siguientes:

$$\text{Número de lámparas} = \frac{\text{Nivel luminoso en lux} \times \text{superficie en m}^2}{\text{Lúmenes por lámpara} \times \text{coeficiente de utilización} \times \text{factor de conservación}}$$

$$\text{Número de luminarias} = \frac{\text{Número de lámparas}}{\text{Lamparas por luminarias}}$$

6. Determinar el emplazamiento de las luminarias.

1.5.2 Instrumento de medición para el nivel de iluminación



Figura 1.5: Luxómetro provisto de célula fotosensible. Elaboración propia.

Funcionamiento: el instrumento realiza las mediciones gracias a que posee una célula fotosensible unida a la caja a través de una simple conexión eléctrica. Dicha célula fotosensible consiste en una película de material sensible a la luz colocada sobre una placa de chapa de metal y cubierta por una capa muy delgada y traslúcida de material pulverizado sobre una superficie exterior. Cuando la luz incide sobre la superficie de la célula hace que la materia semiconductor, sensible a la luz, emita electrones que son recogidos por un colector de metal en contacto con el electrodo traslucido delantero. De esta manera se establece una diferencia de potencial entre el colector y la placa de chapa y cuando se conecta un micro amperímetro entre ellos, este mide la corriente producida por la célula (Figura 1.6), ya que la corriente es proporcional a la luz incidente. El aparato esta calibrado para medir directamente en lux[1].

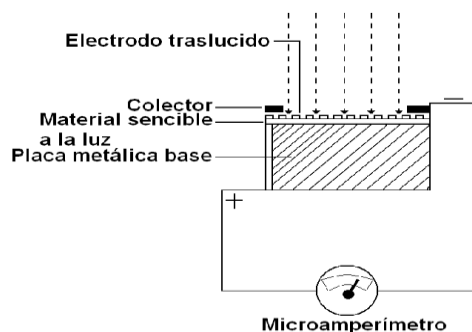


Figura 1.6: Esquema general eléctrico de un luxómetro. Tomado de Westinghouse, Manual de

1.6 Curvas de distribución luminosas

Según Westinghouse, Manual de Alumbrado 1973, 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[12].

Según (Fernández, J G y O Boix. Calculo de instalaciones de Alumbrado 2004) la curva de distribución luminosa es el resultado de tomar medidas de intensidad luminosa 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 1.6-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[18].

En los casos en los que la distribución luminosa de una luminaria tiene el mismo comportamiento en todos sus planos verticales, la curva polar (1.6-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[18].

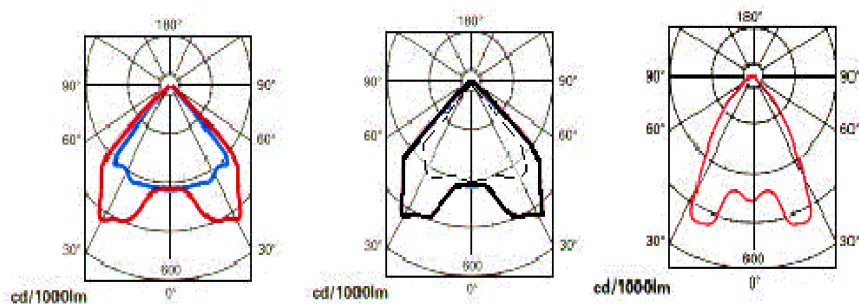


Figura 1.6-a): Curvas de distribución luminosa en coordenadas polares.

Figura 1.6-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 1.7) 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

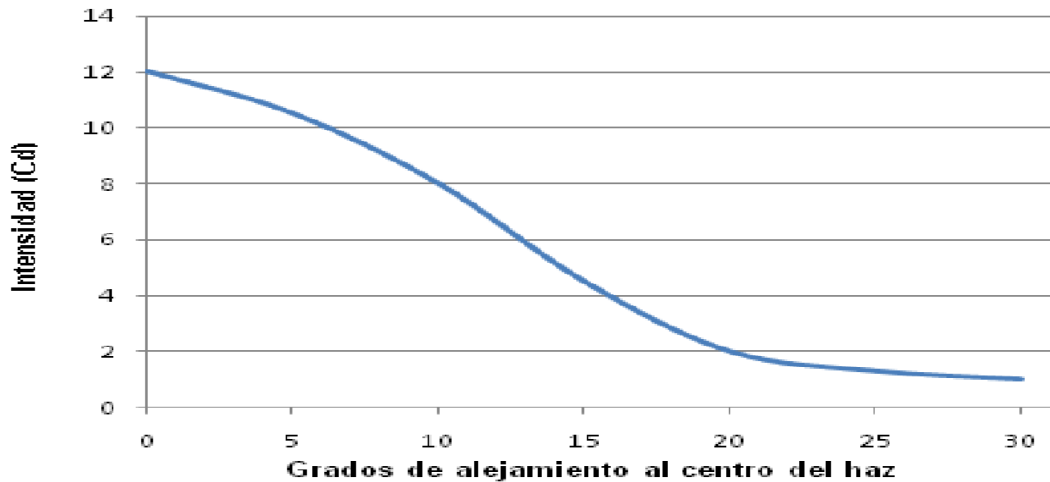


Figura 1.7: Curva de distribución luminosa en coordenadas rectangulares.

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

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.

1.7 Tecnologías más utilizadas en interiores.

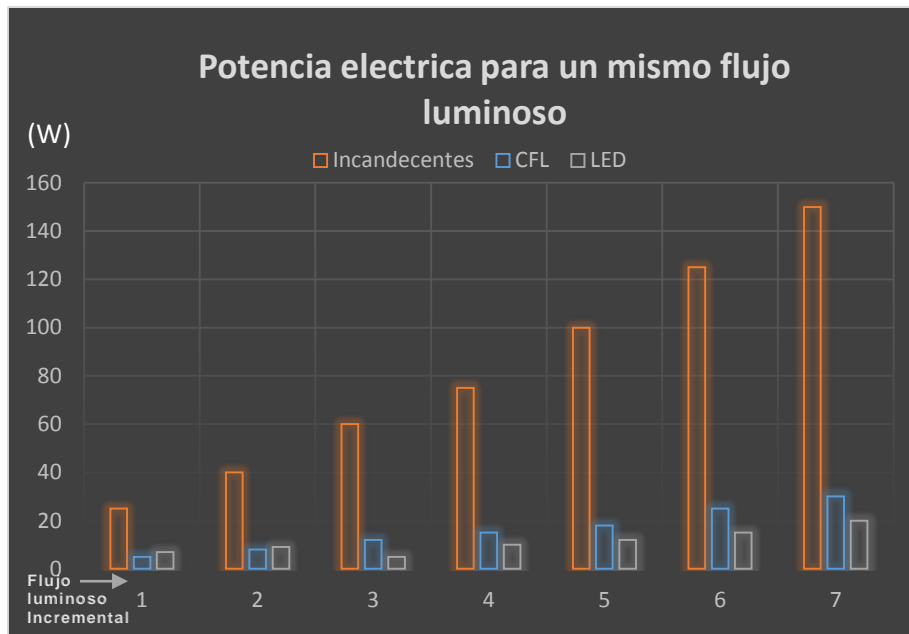
La iluminación interior de un edificio o vivienda es tan importante como los cálculos civiles de la obra o el diseño arquitectónico de la edificación. Por ejemplo, el bienestar y rendimiento de los empleados de una planta industrial dependerá en buena medida de la calidad de la iluminación.

Los bombillos ahorradores de energía compactos, al lado de las modernas lámparas de ledes; y los tubos fluorescentes F28T5 o F32T8, producen un ambiente fresco, agradable y relajado (aunque el cuidado para el funcionamiento adecuado de estos dos últimos también es cuantioso). Los resultados de esta iluminación son: sensación agradable en el ambiente ante una luz clara y fresca, mayor productividad, menos visitas al médico, menos costo de energía y de mantenimiento eléctrico de las lámparas (se ahorra de un 30 a un 70%, dependiendo de la tecnología empleada y horas de vida de las luminarias); además, hay que sumar a todo lo expuesto el posterior beneficio ambiental[19].

1.7.1 Comparación de las luminarias

De las luminarias más utilizadas en interiores se realizará una comparación de su consumo de electricidad

Grafico 1.1: Comparación de las tecnologías según la potencia eléctrica para un mismo flujo luminoso



Fuente: Elaboración propia.

Según la potencia eléctrica para un mismo flujo luminoso la que menor consumo de electricidad posee es la tecnología LED seguida muy de cerca por las CFL. No se incluyó las lámparas fluorescentes por que se conoce por medio del artículo (“Con tu ahorro ganamos todos”, 2010) lanzado por el instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE); *Hoy en día una CFL de 24W reemplaza a un tubo fluorescente de 40W o a una bombilla de 100W incandescente incluso con un mayor flujo luminoso.*

En la tabla siguiente se comparan distintos tipos de lámparas en cuanto consumo en cuanto a vida útil, rendimiento luminoso en lúmenes por watt y el impacto económico relacionando el consumo de energía eléctrica y el costo.

Tabla 1.2: Comparación de las diferentes lámparas.

Tecnologías	Consumo	Vida útil	Impacto ambiental	Costo de Producción	Mantenimiento
Incandescentes	alto	1000 h	reciclable	Prácticamente no se produce	bajo
CFL	Muy bajo	8000 h	No tiene norma de reciclaje pero está controlado	bajo	Muy bajo
Tubos Fluorescentes	bajo	5000 h	No tiene norma de reciclaje pero está controlado	bajo	alto
LED	extra bajo	superior	reciclable	alto	alto

Fuente: Elaboración propia

Como se ha visto, una adecuada y fresca iluminación se puede lograr con la instalación de las CFL; produce más comodidad, bienestar económico y personal; por ejemplo: gratitud de parte de los residentes de un edificio hacia su administrador en virtud de una inversión bien hecha: dinero que antes se invertía en el costoso mantenimiento de la iluminación podría ser aprovechado en otros gastos, necesidades particulares o generales.

1.8 MÉTODO DE LAS SUSTITUCIONES SERIADAS

Se utiliza para determinar las causas que provocan las desviaciones, consiste en crear una matriz en la que tanto en las filas como en las columnas se colocan los indicadores obtenidos de la descomposición de los elementos, exceptuando la primera de las filas, que es reservada para colocar el elemento que se estudia. El procedimiento consiste en ir comparando, uno a uno, los valores reales con los presupuestados o planificados e ir determinando su incidencia (positiva o negativa) en los resultados alcanzados[20].

1.9 Conclusiones Parciales

1. Las luminarias más eficientes son las lámparas fluorescentes compactas.

CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo expone los elementos esenciales para la realización detallada del procedimiento para el cálculo del número de lámparas (CFL) correspondiente al método de alumbrado General-Localizado. También presenta el modelo elaborado por Gonzales Imeno. 2014 para la obtención de las curvas de distribución luminosa; del cual se parte para confeccionar un catálogo. Además se describe la metodología y los materiales utilizados para la realización del estudio.

2.1 Selección de la tecnología a utilizar en el estudio

En el capítulo anterior se realizó una exhaustiva comparación entre las tecnologías incandescentes, las lámparas fluorescentes, las LED y las lámparas fluorescentes compactas (CFL) en la que estas últimas resultaron las más idóneas para ser utilizadas en las instalaciones de los sistemas de iluminación logrando beneficios como son: comodidad, frescura, ahorro de energía, prudencia económica.

2.1.1 Selección de las lámparas

Para realizar el experimento fue necesario seleccionar algunas de estas fuentes de luz, considerando para el estudio las que se encuentran hoy en día en el mercado: CFL 5W Tiger Edison E-27, CFL 8W Day Light Edison E-27, CFL 11W Day Light Edison E-27, CFL 14W Hi-light Edison E-27, CFL 15W Hi-light Edison E-27 (todas de 110V-115V). Tales dispositivos miden entre 9 y 15 cm de longitud. Su eficiencia luminosa varía desde los 50 lm/watt hasta los 85 lm/watt y su vida útil es aproximadamente 8000 horas.



Figura 2.1: De izquierda a derecha. Lámparas fluorescentes de : CFL 5W Tiger Edison E-27, CFL 8W Day Light Edison E-27, CFL 11W Day Light Edison E-27, CFL 14W Hi-light Edison E-27, CFL 15W Hi-light Edison E-27 (todas de 110V-115V) . Elaboración propia.

2.2 TECNOLOGÍA DE CÁLCULO PARA EL NÚMERO DE LÁMPARAS (CFL) CORRESPONDIENTE AL MÉTODO DE ALUMBRADO GENERAL-LOCALIZADO.

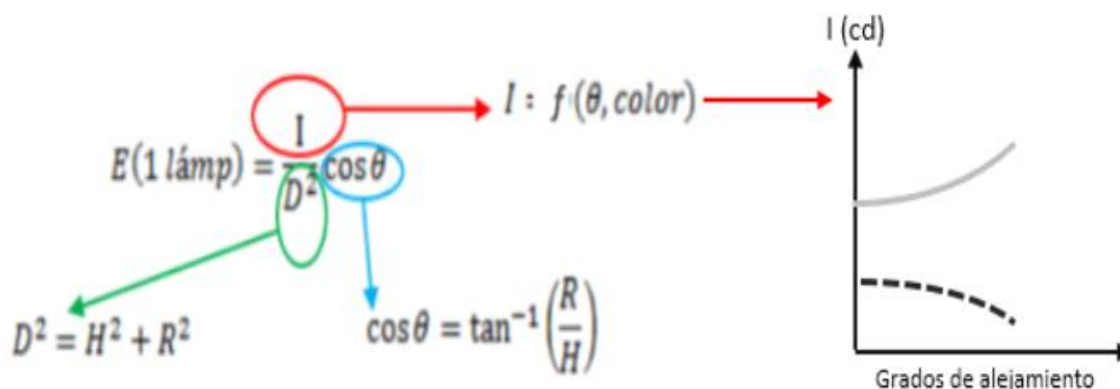
A través de este método se determinará el número de lámparas que se requiere para iluminar en el método de alumbrado general-localizado para el cual no existía ningún procedimiento. Este se realizó específicamente para la tecnología CFL.

Pasos

1.
$$N \text{ lámp} \approx \frac{E_{req}}{E(1 \text{ lámp})}$$

Donde:

- N lámp: Numero de lámparas
- E(req): Nivel de iluminación requerida(norma cubana)
- E (1 lámp): Nivel de iluminación de una lámpara.



Donde:

- I: Intensidad(Curvas de distribución luminosa determinadas a partir del procedimiento del diplomante HERNEDIS)
 - D^2 : Distancia del centro de la luminaria al punto a iluminar.
 - θ : Angulo que se forma entre la altura y el haz de luz
2. Si es más de una lámpara, poner en manojo
3. Aplicabilidad: En mostradores para operaciones comerciales, en los bancos de trabajo en las fábricas, para iluminación de maquinarias con comandos manuales.

2.3 PROCEDIMIENTO a implementar para la obtención de las CURVAS DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA PROPUESTO POR GONZALES GENNEDIS, 2014.[21]

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:
 - 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 luminarias que se desean utilizar.
 - Hermeticidad: mejor aprovechamiento de la superficie y disminuir la interferencia de otras fuentes luces.
 - Tipo de sistema de iluminación: alumbrado general, alumbrado general-localizado y alumbrado localizado.
 - ❖ **Medio ambiente:**
 - Clima:
 - Temperatura: se debe mantener estable en un rango según la literatura de 20 a 25°C.
 - Corrientes de aire: evitar que estas produzcan cortes y parpadeo
 - Fuentes externas de iluminación, naturales como: la luz de la Luna, y artificiales como: luces de alumbrado público entre otras.
 - ❖ **Instrumentos:**
 - Comprobación de la certificación de los instrumentos de medición.
 - Normalización de los medios a las condiciones medioambientales.
- 2. Selección del lugar del experimento**

Se debe seleccionar el lugar teniendo en cuenta las condiciones antes expuestas y que incluyan las restricciones deseadas para el experimento.

3. Determinar la distancia en el plano horizontal.

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 ($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$) y la altura de montaje H .

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 2.1

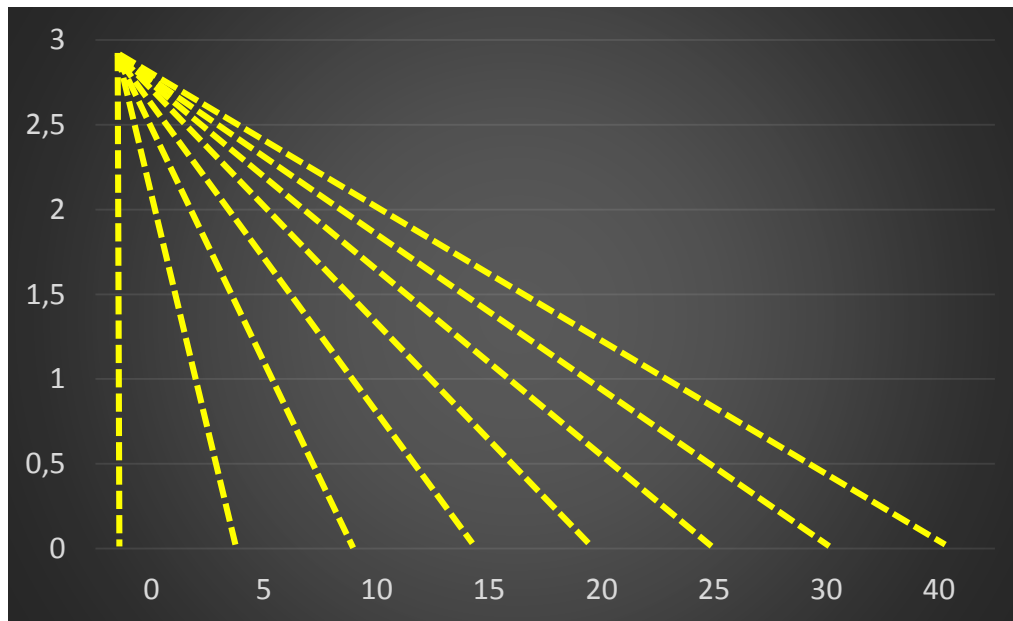


Figura 2.2: Grado de alejamiento de cada ángulo con respecto a la fuente.

Fuente: Elaboración propia

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

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

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.

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.

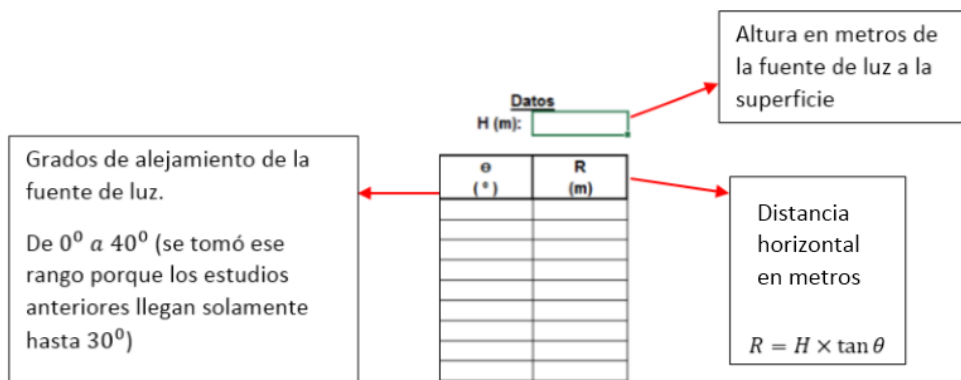
5. Cálculo de las intensidades luminosa

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

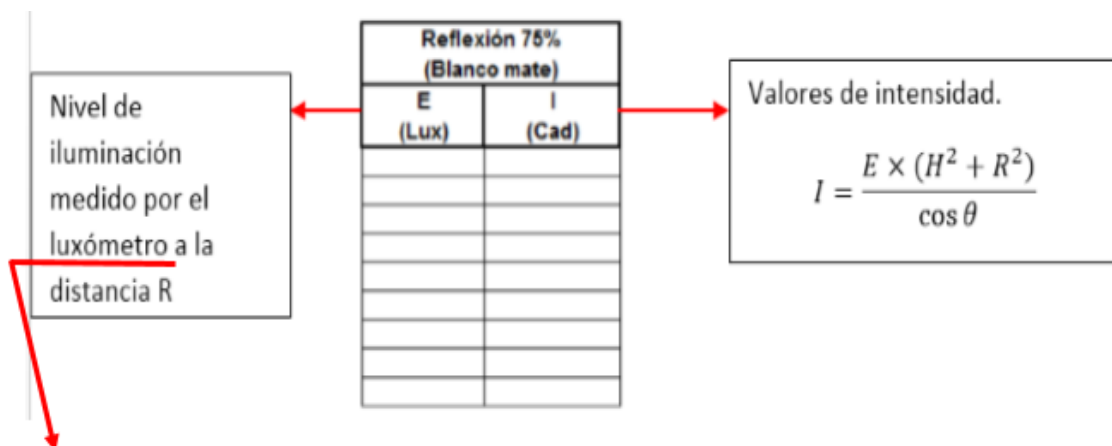
2.4 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA

Para la determinación de las curvas el registro y procesamiento de los datos se realizó en Microsoft Excel 2013 a continuación se explica detalladamente qué se hizo.

1. ¿Cómo se halló la distancia horizontal que dista del eje de la fuente de luz?



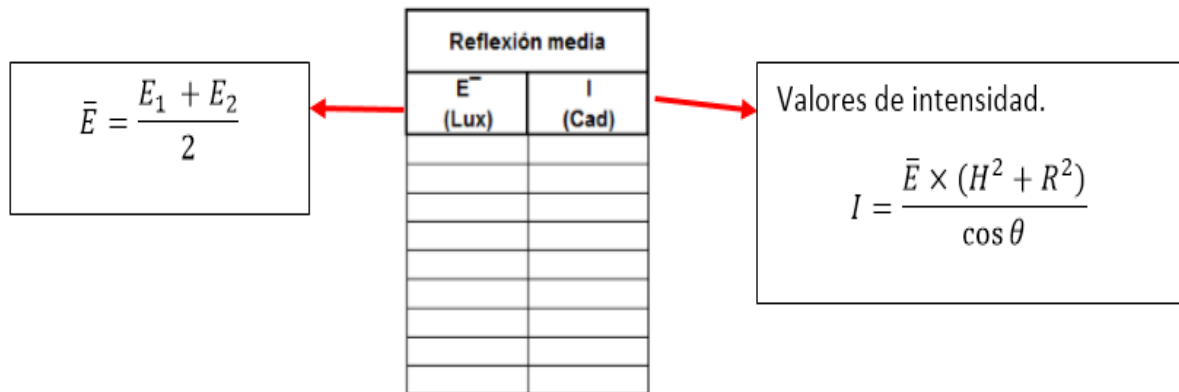
2. ¿Cómo se determinó el nivel de iluminación y los valores de intensidad (laboratorio)?



3. ¿Cómo se determinó el nivel de iluminación y los valores de intensidad (campo abierto)?



4. ¿Cómo se determinó los valores de intensidad para niveles de iluminación medios?



5. ¿Cómo se determinó los valores de intensidad para los respectivos colores?

amarillo claro
Refl. 65%

Valores de intensidad para el color amarillo claro.

$$I(\text{amarillo claro}) = I(\text{blanco mate}) - 10\%I(\text{blanco mate})$$

verde claro
Refl. 55%

Valores de intensidad para el color verde claro.

$$I(\text{verde claro}) = I(\text{blanco mate}) - 20\%I(\text{blanco mate})$$

azul claro
Refl. 50%

Valores de intensidad para el color azul claro.

$$I(\text{azul claro}) = I(\text{blanco mate}) - 25\%(blanco mate)$$

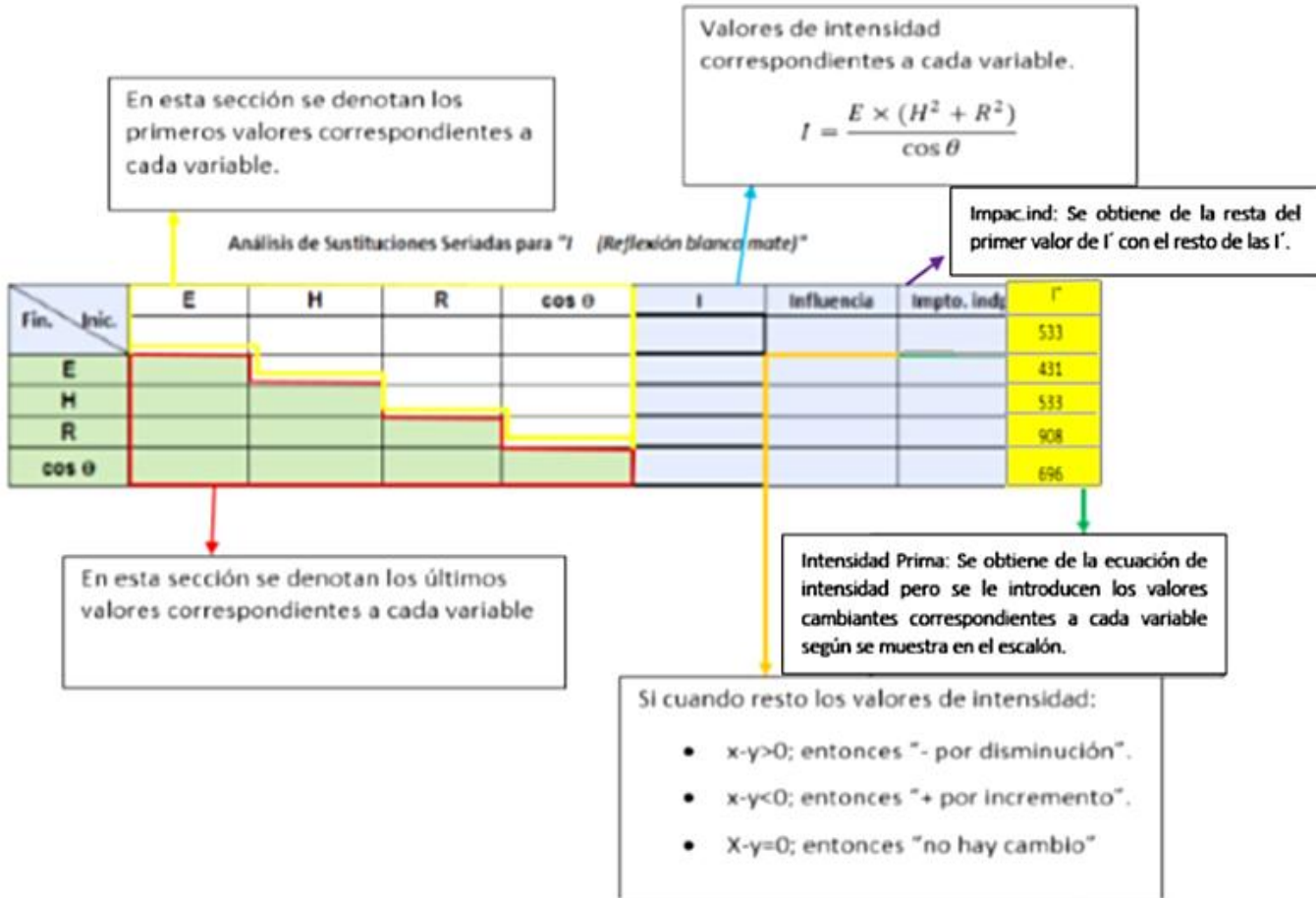
rojo claro
Refl. 45%

Valores de intensidad para el color rojo claro.

$$I(\text{rojo claro}) = I(\text{blanco mate}) - 30\%I(\text{blanco mate})$$

2.4.1 Análisis Matemático.

¿Cómo se conformó el método de sustituciones seriadas para el análisis matemático del comportamiento de la intensidad?



2.5 Conclusiones parciales

1. Se determinó una tecnología de cálculo para el número de lámparas (CFL) correspondiente al método de alumbrado general localizado.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS


En el desarrollo de este capítulo se muestran los resultados alcanzados en el experimento para la obtención de las curvas de distribución luminosa con respecto a los grados de alejamiento al centro del haz, y el tipo de luminaria utilizada. A partir de estos efectos se muestra la representación gráfica de las curvas y se explica detalladamente el porqué de su comportamiento. También se expone en este capítulo la implementación del método para el cálculo del número de lámparas por manajo para las lámparas fluorescentes compactas para el sistema general localizado.

Para el procesamiento de los datos se utilizó Microsoft Excel 2013 en el cual se confeccionaron curvas de distribución luminosa con un diseño fresco, moderno y más resumido las cuales brindan información con la que antes no contábamos; como son la intensidad según los colores más usados en paredes (blanco, amarillo claro, rojo claro, verde claro y azul claro).

3.1 Implementación del procedimiento de Gonzales Imeno, 2014

1. Análisis de las condiciones óptimas para el experimento.

LOCAL					
	Dimensiones	Índice de reflexión	Voltaje	Hermeticidad	Tipo de sistema de iluminación
Laboratorio	3m x 2m	0.75	110	Hermético	General-localizado
Campo abierto	-	0	110	Abierto	General-localizado
MEDIO AMBIENTE					
	Clima	Corriente de aire	Fuente externa de iluminación.		
Laboratorio	23	Ninguna	Ninguna		
Campo abierto	25	Ninguna	Ni luna, ni estrellas, ni tampoco ninguna otra fuente contaminante.		
INSTRUMENTO					

<p>Luxómetro</p> 	<p>Comprobación de la certificación del instrumento de medición. (VERIFICADO) (ver anexo-1)</p>	<p>Normalización de los medios a las condiciones de trabajo. (NORMALIZADOS)</p>
--	---	---

2. Selección del lugar del experimento.

Atendiendo a las especificaciones del paso anterior los lugares seleccionados fueron de la universidad de Matanzas el laboratorio de ergonomía y a las afueras de la instalación el segundo.

3. Determinación de la distancia en el plano horizontal.
4. Realización de las mediciones y cálculos.
 - Factor de reflexión.
 - Medición del nivel de iluminación.
5. Calculo de las intensidades.
 - Método punto por punto

Para el análisis de los resultados se tomó como referencia la CFL 11W Day Light el resto del catálogo se encuentra en los anexos (ver anexo-2).

Fuente de luz: 11W Day Light.

Se puede observar los valores de radios correspondientes a cada ángulo, las intensidades con la reflexión al 75%(Laboratorio) con la reflexión al 0%(Campo abierto) y los valores medios; en la que se hace énfasis en las cifras más bajas que se muestran en color rojo para cada caso.

Tabla 3.1

Datos		Reflexión 75% (Blanco mate)		Reflexión 0% (Campo abierto-Noche)		Reflexión media	
H (m):	2,8	E (Lux)	I (Cad)	E (Lux)	I (Cad)	E (Lux)	I (Cad)
0	0,00	158	1239	17	133	87,5	686
5	0,24	157	1245	17	135	87	690
10	0,49	156	1281	16	131	86	706
15	0,75	155	1348	16	139	85,5	744
20	1,02	153	1446	15	142	84	794
25	1,31	151	1590	15	158	83	874
30	1,62	148	1786	14	169	81	978
35	1,96	145	2068	12	171	78,5	1120
40	2,35	138	2407	10	174	74	1291

Fuente: Elaboración propia

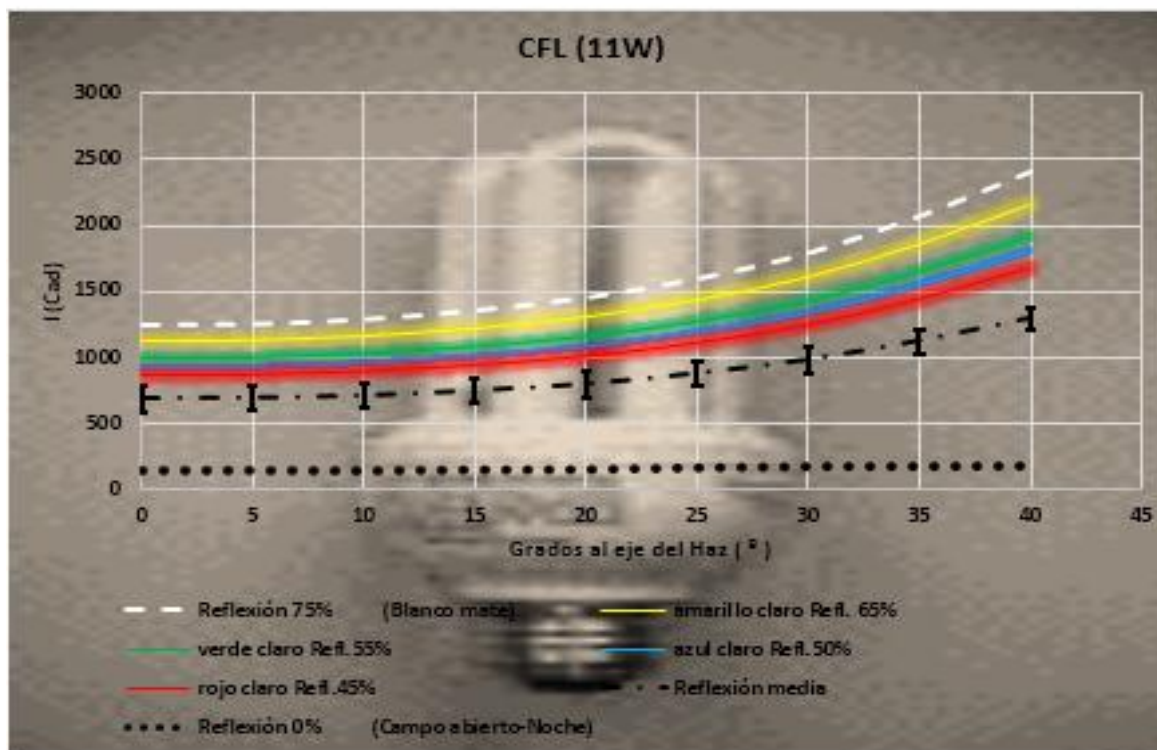
En esta tabla se muestran los valores de intensidad referentes a cada color con sus respectivas reflexiones.

Tabla 3.2: Intensidades según los colores.

amarillo claro Refl. 65%	verde claro Refl. 55%	azul claro Refl. 50%	rojo claro Refl. 45%
1115	991	929	867
1121	996	934	872
1152	1024	960	896
1214	1079	1011	944
1301	1156	1084	1012
1431	1272	1193	1113
1608	1429	1340	1251
1861	1655	1551	1448
2166	1925	1805	1685

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 3.1: Curva de iluminación de 11W Day Light.



Fuente: Elaboración propia.

A efectos de resultado las luminarias CFL (5W Tiger, 8W Day Light, 11W Day Light, 14W Hi-Light, 15W Hi-Light) alcanzan los mayores valores de intensidad de 30 a 40 grados de alejamiento al centro del haz de luz con todos los colores analizados, lo que quiere decir que para diseño de alumbrado general localizado se deberá tener en cuenta que se logrará una

mejor iluminación de 30 a 40 grados de alejamiento del centro de la fuente al área a iluminar con colores en interiores como son el blanco, amarillo claro, rojo claro, azul claro y verde claro.

3.2 Justificación matemática de los Resultados.

Lo diferente que son estas graficas a las anteriormente estudiadas es lo que nos lleva a este análisis matemático a través del método de sustituciones seriadas para la intensidad con la reflexión al 75%(blanco mate), la diferencia que más se hace notar es el comportamiento ascendente de estas.

Tabla: Fuente de luz 11W Day Light.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Sustituciones Seriadas para "I (Reflexión blanco mate)"

Fin. \ Inic.	E	H	R	cos θ	I	Influencia	Impto. indep.
	158	2,80	0,00	1,00	1239		
E	138	2,80	0,00	1,00	1082	- por dism.	157
H	138	2,80	0,00	1,00	1082	No hay cambio	0
R	138	2,80	2,35	1,00	1844	+ por incr.	872
cos θ	138	2,80	2,35	0,77	2407	+ por dism.	378

Como se puede observar en el análisis de las sustituciones seriadas para la intensidad con la reflexión al 75% (blanco mate) el agente que determina el crecimiento o sea el comportamiento ascendente de la intensidad en la gráfica es el radio en todas las fuentes de luces analizadas.

3.3 Justificación física de los resultados

Se conoce que la **intensidad luminosa** es la cantidad o densidad de flujo luminoso por unidad de ángulo sólido; partiendo de este concepto lo primero que se hizo fue representar un ángulo sólido en diferentes proyecciones.

Dada la dualidad que posee la luz de comportarse como honda y/o corpúsculo, se utilizó la historia de la expansión del universo desde el big-bang hasta la actualidad que representa como los planetas se fueron expandiendo para utilizarlo como fotograma en este análisis figura 3.1.

El cúmulo de planetas en un inicio hasta su expansión se ilustró como los fotones para representar la luz en el plano.

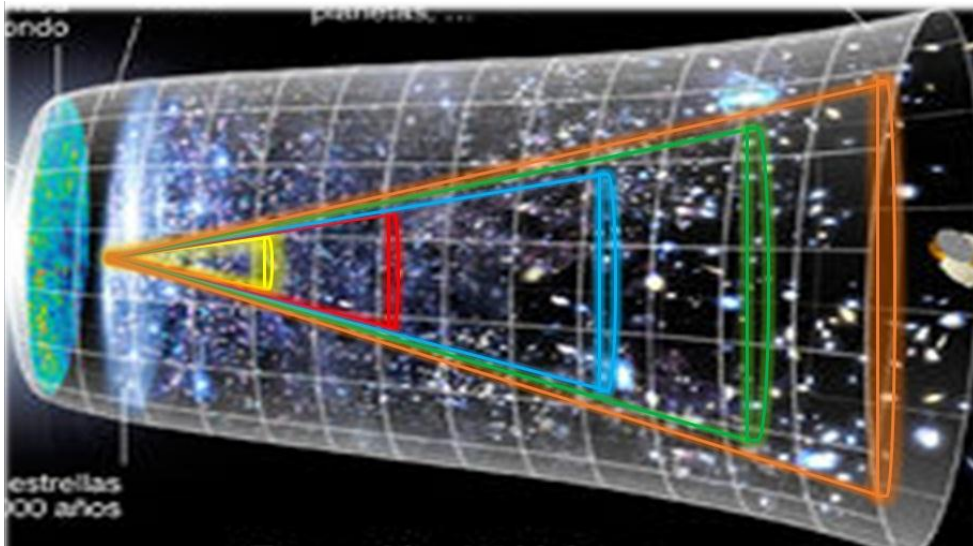


Figura 3.1: “Ángulo sólido”.

Fuente: Elaboración propia

Según la relación que existe entre cantidad y área se observa en la proyección color amarilla una gran concentración de fotones igual sucede en la proyección roja que posee mayor área lo que manifiesta un acercamiento físico de porque la intensidad crece hasta cierto punto y decrece luego como se puede observar en las siguientes proyecciones azul, verde y naranja va menguando la concentración de fotones.

3.4 Comportamiento del crecimiento de la intensidad

Conociendo ya que el factor de crecimiento en las gráficas de las curvas de iluminación analizadas anteriormente es el radio, ¿Fuera del rango analizado seguirá comportándose crecientemente? La figura 3.2 nos muestra nuevos valores de radio.

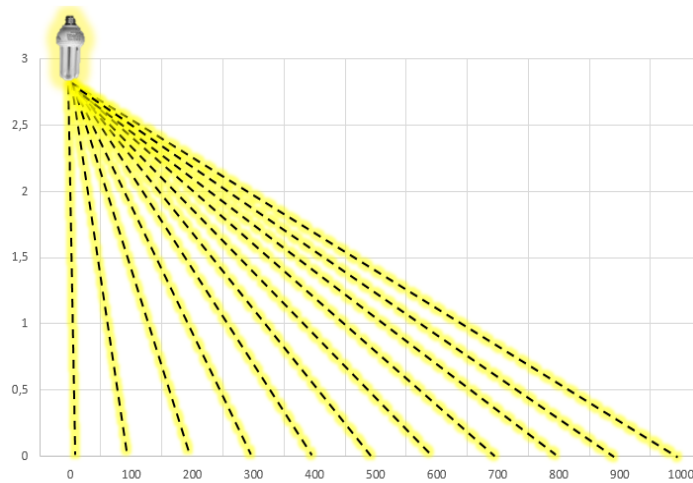
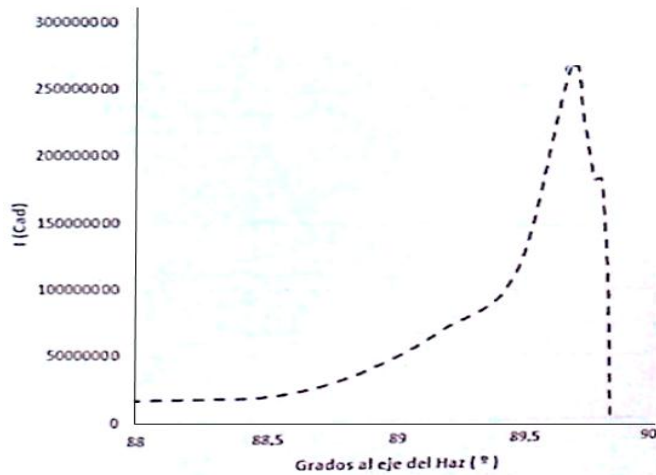


Figura 3.2: "Croquis para los nuevos valores de radio". Fuente de elaboración propia

Datos		Reflexión 75% (Blanco mate)	
H (m):	2,8	E (Lux)	I (Cad)
0	0,00	100	784
88,39	100,00	50	17810014
89,2	200,00	25	71636089
89,47	300,00	12	116765500
89,68	500,00	6	268583785
89,73	600,00	3	229188957
89,77	700,00	1,5	183100804
89,8	800,00	1	183349113
89,84	1000,00	0,00001	3581



Como se puede observar la intensidad crece considerablemente hasta cierto valor de distancia horizontal (R), en el que comienza a decrecer estrepitosamente por la pérdida (ausencia) de iluminación.

3.5 Cálculo del número de lámparas (CFL). (Método de alumbrado general-localizado)

Caso de estudio "Laboratorio".

Se desea conocer para la instalación de un sistema de iluminación para el local que se muestra en la siguiente imagen:



Figura 3.3: Laboratorio, privado de ergonomía.

El número de lámparas necesario a emplazar en el área de trabajo para una mejor percepción de la iluminación.

Datos:

- Color en paredes: Blanco
- Nivel de iluminación requerido: 300 lux
- Altura **H** del puesto de trabajo a la fuente de luz: 2 metros
- Distancia horizontal **R** del eje (**altura de la fuente de luz**) al puesto de trabajo: 1.69m
- Tipo de lámpara: **CFL 11W Day Light, E-27.**
- Número de lámparas: ¿?

Respuesta:

Se conoce del estudio

$$1. \text{ Número de Lámparas} = \frac{E_{\text{req}}}{E(\text{de una lám})} = \frac{300 \text{ lux}}{270 \text{ lux}} = 1.11 \approx 2 \text{ lámparas}$$

$$2. E(1 \text{ lámp}) = \frac{I}{D^2} \cos \theta = 270 \text{ lux}$$

$$\bullet D^2 = H^2 + R^2 \quad \tan^{-1}\left(\frac{R}{H}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1.69}{2}\right) = 40^\circ$$

$$D^2 = 4 + 2.86$$

$$D^2 = 6.86 \text{ m} \quad \cos 40^\circ = 0.77$$

- Buscar **figura 3.1.**

Grados= 40° **Intensidad=** 2400 cd

El número de lámparas CFL necesario para el local son dos del modelo 11W Day Light, E-27 brindando una mejor iluminación a 40° de alejamiento de la fuente de luz al puesto a iluminar.

3.6 Conclusiones parciales

1. Se creó un catálogo de curvas de distribución luminosa para las (CFL).
2. Se validó la tecnología de cálculo para el número de lámparas (CFL) correspondientes al método de alumbrado general localizado.

CONCLUSIONES

1. Las luminarias más eficientes son las lámparas fluorescentes compactas.
2. Se determinó una tecnología de cálculo para el número de lámparas (CFL) correspondiente al método de alumbrado general localizado.
3. Se creó un catálogo de curvas de distribución luminosa para las (CFL).
4. Se validó la tecnología de cálculo para el número de lámparas (CFL) correspondientes al método de alumbrado general localizado.

RECOMENDACIONES

1. Actualizar el catálogo de curvas de distribución luminosa para otras (CFL) que se estén comercializando.
2. Aplicar el método de cálculo del número de lámparas (CFL) para el sistema general-localizado en lugares que requieran.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gles, Yoan Espósito, «Obtención de curvas de distribución luminosa de las nuevas lámparas introducidas en el país mediante la Revolución Energética.», [Tesis], Matanzas, Camilo Cienfuegos, 2009.
2. Lumpuy, Alvares, «El Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC), » 1997,
3. 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>>
4. Leiva, Ida Lys Gallués, «Granma» 2007,
5. Real, Grether L y García Dihigo, J, *El Hombre y su ambiente laboral*, Matanzas, Universidad de Matanzas, Camilo Cienfuegos, 2005, 1235.
6. 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>>
7. Lazlo, Carlos, «Manual de luminotecnia para interiores», [en línea], 2005, [consulta: 3-3-2014], Disponible en: <<http://www.laszlo.com.ar/manual.htm>>
8. 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.
9. 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.
10. Bruno, M, «Iluminación. Tipos de Alumbrado», [en línea], 2006, [consulta: 4-3-2014], Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/iluminacion_tipos-de-alumbrado.html>
11. Viña Brito, Silvio y Gregori Torada, Enrique, *Ergonomía*, La Habana, Pueblo y Eucación, 1986, RA01-49450-3, 160-178.
12. Westinghouse, *Manual de Alumbrado*, Edición Revolucionaria, 1973, 1-16.
13. Alonso Becerra, Alicia, *Ergonomía* (Primera Edición), La Habana, Felix Varela, 2007, 978-959-07-0573-1, 235-280.
14. Farrer Velázquez, Francisco y Fundación MAPFRE, *Manual de Ergonomía*, II, La Habana, Felix Varela, 2010, LE-02-37-14, 438-446.
15. Resnick, Robert and Krane, Kenneth S., *Physics*, New York, John Wiley and Sons, 2001, 0-471-32057-9., 64.
16. Serway, Raymond A. and Jewett, John W, *Physics for Scientists and Engineers* (6th), New York, Brook and Cole, 2004, 0-534-40842-7., 78.
17. Rifaldi, A, «Iluminación.Método de punto por punto», [en línea], 2006, [consulta: 4-3-2014], Disponible en: <<http://www.ing.unlp.edu.ar/sisspot/libros/>>
18. 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>>
19. Kons, S and Jonhson, C, *Work Design. Occupational Ergonomics*, IV, Cincinnati, International Society for Occupational Ergonomic and Safety, 2004, 0-8574332-1-9, 113.
20. Medina León, Alberto. *Herramientas Económico-Financiera para la toma de desiciones gerenciales*. Matanzas, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, 2004.
21. Imeno, Gennedis Gonzales, «Procedimiento para la determinación de curvas de distribución luminosa en método de alumbrado general localizado», Matanzas Camilo Cienfuegos, CEI, 2014.

ANEXO

ANEXO -1: AVAL DE CERTIFICACIÓN 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 Yokogawua. Tokyo Japón, como apto para el uso, tras haber pasado por la inspección requerida.



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

Anexo-2: Catálogo de curvas de distribución luminosa.

