



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

TESINA

**“PROPUESTA DE UN LABORATORIO PARA
PRUEBAS FOTOMÉTRICAS A LUMINARIOS LED”**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA:

MILDRED PENÉLOPE ESPINOSA TINOCO

DIRECTOR DE TESIS:

FIS. SALVADOR ENRIQUE VILLALOBOS PÉREZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi mamá, Lic. Lourdes Tinoco, por creer siempre en mi, por tu amor, guía, apoyo incondicional y enseñanzas.

Agradecimientos

A mis padres, Lourdes y Arturo (q.d.p), por todo su amor y enseñanzas.

A mis hermanos, Arturo y Jacobo, quienes han crecido conmigo, por estar ahí siempre.

A mi abuelita Elena y a mis tíos Polo, Javier, Moisés y Aarón, gracias por todos los consejos, paciencia y cariño.

A mis tías, Estela, Gaby, Fabiola y Maribel, por su presencia en mi vida, comprensión y empatía.

A mis primos Polito y Naum, a quienes quiero mucho.

A mis amigos José, Simón, Alfredo, Darío, Pepe, Tláloc, Juan Carlos, Iván, Jorge, Fernando, Anahí, Itzel y Pio, por toda la amistad y recuerdos inolvidables.

A la Lic. Angelica Gutiérrez, por su bondad y orientación.

A los profesores Ing. Augusto Sánchez, Ing. Silvina Alonso, Ing. Martín Barcenas y M.I. Jesús Álvarez, por su ayuda, paciencia y soporte técnico.

Gracias de manera muy especial al Prof. Fis. Salvador Villalobos por su gran ayuda, comprensión, apoyo, guía y dirección y sin quien, este logro no hubiera sido posible.

INDICE

INTRODUCCIÓN, OBJETIVO Y MARCO DE REFERENCIA.....	1
Objetivo:	2
Marco de referencia:	2
CAPÍTULO 1. CONCEPTOS BÁSICOS	3
¿Qué es la luz?	3
1.1 Teorías sobre el comportamiento de la luz.	3
1.1.1 Ondas electromagnéticas	5
FIGURA 1.2 ONDA ELECTROMAGNÉTICA. FUENTE: EDMUND OPTICS.....	5
1.1.2 Ecuaciones de onda	5
FIG. 1.3 REPRESENTACIÓN DE UN PLANO QUE PASA POR UN PUNTO	
CUALQUIERA x_0, y_0, z_0.....	6
1.1.3 Teorema de Stokes y Gauss.....	7
1.1.4 Ecuaciones de Maxwell	7
1.2 Óptica.....	8
1.2.1 Óptica geométrica	9
1.2.3 Principio de Fermat	9
1.3 Fenómenos de la luz.....	9
Leyes de Snell.....	10
1.3.1 Reflexión.....	10
1.3.2 Reflexión total.....	10
1.3.3 Ángulo crítico.....	11
1.3.4 Refracción	11
1.3.5 Primera Ley de la Refracción	11
1.3.6 Segunda Ley de la Refracción o ley de Snell	11
1.3.7 Difracción	12
1.3.8 Transmisión	12
1.3.9 Absorción	12
1.3.10 Polarización.....	13
1.4 Efecto fotoeléctrico.....	13
1.5 Cuerpo negro.....	15
1.5.1 Radiador.....	15
CAPÍTULO 2. FOTOMETRÍA	16
2.1.1 Definición de ángulo sólido	16
2.1.2 Definición de estereorradián.....	16
2.1.3 Ley del cuadrado inverso de la distancia.....	17
2.1 Cantidades radiométricas.	17
2.2 Cantidades fotométricas, unidades y estándares	19
2.4.1 Caracterización del color.	19

2.4.2	Colorimetría tristímulus o tricromática	20
2.4.3	Temperatura de Color	21
2.4.4	Índice de reproducción cromática	22
2.4.5	Temperatura de Color Correlacionada.....	22
2.4.6	Curva de sensibilidad espectral relativa	23
2.4.7	Espectroradiometría	23
2.5	Fuentes de luz	23
2.5.1.	Incandescente y halógena	23
2.5.2	Fluorescente:.....	24
2.5.3	Descarga de Alta Intensidad (HID):	24
2.5.4	Dispositivos de estado sólido, diodos emisores de luz (LED).....	25
CAPÍTULO 3. INSTRUMENTACIÓN FOTOMÉTRICA		27
3.1	Radiómetros	27
3.2	Espectroradiómetros	27
3.3	Fotodetectores	28
3.3.1	Sensores ópticos	28
3.3.2	Fotómetros.....	29
3.3.4	Tipos de fotómetros	29
3.3.5	Método de calibración.....	29
3.3.6	Factor de corrección de color	30
3.3.7	Aplicaciones de los fotómetros.....	30
3.3.8	Luxómetros	31
3.4	Colorímetros	31
3.5.	Esferas Integradoras	32
3.6	Fotogoniómetros	33
3.6.1	Tipo A	33
3.6.2	Tipo B	33
3.6.3	Tipo C	34
CAPÍTULO 4. NORMATIVIDAD E INTERPRETACIÓN DE DATOS		35
4.1	Estándares CIE	35
4.2	Estándares IES-ANSI	36
4.3	Estándares nacionales	37
4.3.1	NMX-17025-ENER-2010 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración	38
4.3.2	NOM-030-ENER-2012 Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba. 43	
4.3.3	NOM-031 ENER-2012 Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas.....	44
4.4	Interpretación de datos	45
4.4.1	Parámetros fotométricos	46

4.4.2 Curva de Distribución Fotométrica.....	47
4.4.3 Coeficiente de Utilización (CU)	47
4.4.4 Diagrama y tablas Isocandela e Isolux	48
4.4.5 Gráfica LCS	49
4.4.6 ARCHIVOS IES	49
CAPÍTULO 5. EL LABORATORIO DE PRUEBAS FOTOMÉTRICAS	51
5.1 ¿Qué es un laboratorio de iluminación?	51
5.1.1 Laboratorio de Fotometría.....	51
5.1.2 Laboratorio Eléctrico	51
5.1.3 Laboratorio Térmico	52
5.1.4 Laboratorio de Pruebas Mecánicas y Ambientales.....	52
5.1.5 Laboratorio de Pruebas Temporales.....	53
5.2 EMA y el proceso de acreditación	53
5.2.1 Terminología básica.....	53
5.2.2 NMX--EC--17025--2006--REQUISITOS PARA GESTIÓN	55
5.2.3 NMX--EC--17025--2006--Acreditación.....	56
5.3 Laboratorio para pruebas fotométricas para luminarios de estado sólido....	56
5.3.1 Objetivo	56
5.4 Sistema de Gestión.....	65
5.4.1 Organización	65
5.4.2 Manual general del laboratorio de pruebas fotométricas de estado sólido.....	67
1. RESPONSABILIDADES	69
5.5 Presupuesto de acreditación	71
CONCLUSIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA.....	74

INDICE DE FIGURAS

Número	Descripción	Página
Figura 1.1	Rango de frecuencias y longitud de ondas del espectro visible	1
Figura 1.2	Onda electromagnética	5
Figura 1.3	Representación de un plano que pasa por un punto cualquiera (x_0, y_0, z_0)	6
Figura 1.4	Trayectoria para establecer el principio de Fermat	9
Figura 1.5	Reflexión de la luz	10
Figura 1.6	Reflexión total	11
Figura 1.7	Refracción de la luz	11
Figura 1.8	Red de difracción	12
Figura 2.1	Respuesta espectral de los iluminantes estándar	20
Figura 2.2	Diagrama de cromaticidad CIE	21
Figura 2.3	Locus Planckiano	22
Figura 2.4	Diagrama de isóneas de temperatura sobre un diagrama de cromaticidad xy cercano al lugar de radiación del cuerpo negro	22
Figura 2.5	Función de sensibilidad espectral	23
Figura 2.6	Dentro de un led	25
Figura 2.7	Temperatura de unión pn	25
Figura 2.8	Led de baja potencia	26
Figura 2.9	Led de alta potencia	26
Figura 2.10	Arreglos Led	26
Figura 2.11	Módulos LEd	26
Figura 3.1	Espectroradiómetro	27
Figura 3.2	Técnica de medición de luminancia	30
Figura 3.3	Ejemplo de la respuesta con una corrección de coseno de un medidor de iluminancia.	31
Figura 3.4	Medición de flujo en una esfera integradora	32
Figura 3.5	Tipo A	33
Figura 3.6	Tipo B	33
Figura 3.7	Tipo C	34
Figura 3.8	Fotogoniómetro tipo C de espejo móvil	34
Figura 4.1	Clasificación CIE de la salida luminosa de un luminario	46
Figura 4.2	Curva de distribución de intensidad luminosa	47
Figura 4.3	Tabla de coeficientes de utilización	48
Figura 4.4	Diagrama Isocandela	48
Figura 4.5	Grafica LCS	49
Figura 4.6	Representación 3D Archivo .IES	50
Figura 5.1	Fotogoniómetro en funcionamiento	51
Figura 5.2	Analizador de balastros y drivers	52
Figura 5.3	Logos de fabricantes de equipo fotométrico	58
Figura 5.4	Esfera integradora con geometría 4π y 2π	59
Figura 5.5	Diseño del sistema GMS 3000 acorde con al cie 70	61
Figura 5.6	Fotogoniómetro con espejo móvil GMS 3000	61
Figura 5.7	Esquema del laboratorio de pruebas	64

INDICE DE TABLAS

Número	Descripción	Página
1.1	Regiones del espectro electromagnético	1
1.2	Modelos existentes sobre la naturaleza de la luz	4
1.3	Ecuaciones de Maxwell	8
2.1	Cantidades radiométricas	18
2.2	Cantidades fotométricas	19
2.3	Iluminantes estándar	20
3.1	Características de los sensores ópticos	28
4.1	Normas oficiales mexicanas de interés	38
4.2	Eficacia luminosa mínima para lámparas LED integradas omnidireccionales con forma de bulo A, BT, P, PS y	43
4.3	Temperatura de color correlacionada.	44
4.4	Flujo luminoso total mínimo mantenido para las lámparas de LED integradas omnidireccionales.	44
4.5	Eficacia luminosa mínima de las lámparas de LED integradas direccionales con forma de bulbo BR, ER, MR, PAR y R	44
4.6	Valores de eficacia luminosa mínima y flujo luminoso total para luminarios de exteriores	45
4.7	Tabla de valores máximos de deslumbramiento	45
4.8	Parámetros fotométricos	46
5.1	Pasos del proceso de acreditación	55
5.2	Métodos de prueba NOM-031	57
5.3	Métodos de prueba NOM-030	57
5.4	Características mínimas de diseño	58
5.5	Costo total de los sistemas de medición para luminarios de estado sólido	58
5.6	Costo sistema esfera integradora	60
5.7	Costo sistema fotogoniómetro	63
5.8	Necesidades y expectativas de los clientes.	65
5.9	Procesos y responsabilidades	66
5.10	Recursos necesarios para lograr objetivos	66
5.11	Métodos para medir la eficacia en cada proceso	67
5.12	Control de documentos	67
5.13	Costo del equipo de instrumentación	71

Capítulo 1 Conceptos básicos

Introducción, Objetivo y Marco de Referencia

La iluminación, el arte del diseño de la misma, o la llamada luminotecnia es una disciplina encargada de aprovechar la luz natural o artificial para embellecer los ambientes logrando crear sensaciones en las personas que transitarán por esos espacios.

Un dato curioso, es que en muchos casos de la planeación de obras de cualquier índole, comercial, residencial, industrial, vial, etc., la iluminación recibe el menor presupuesto y es dejada siempre al final, sin darle la debida importancia, éste fenómeno es debido a la poca cultura que presenta la sociedad sobre la importancia que la luz tiene en nuestras vidas, la mayoría de los seres vivos somos “fotosensibles” es decir, la luz influye en nuestro desarrollo y comportamiento.

Los seres vivos presentamos un tipo de variación rítmica fisiológica que suele estar asociada con un cambio ambiental, estas variaciones son llamadas ritmos circadianos, que dan idea de las oscilaciones de las variables biológicas en intervalos regulares de tiempo.

En el ser humano, este ritmo es llamado sistema circadiano, en el cual se ha sincronizado un ciclo de 24 horas correspondiente con el ritmo de rotación de la Tierra, el día y la noche, es decir un ciclo de luz y temperatura, la luz es muy importante para nosotros ya que influye en nuestro comportamiento y estado de ánimo.

Los llamados “Lighting designers” (Diseñadores de iluminación), son aquellos profesionistas, (ingenieros, diseñadores industriales, de interiores, arquitectos, entre otros), dedicados a crear espacios con luz para lograr algo llamado confort visual.

Para lograr ese espacio, dichos profesionistas, en la actualidad se apoyan en software diseñados para tal fin, como el Dialux, Agi 32, Visual, Relux, etc, empleando representaciones gráficas de las salidas luminosas de diferentes tipos de luminarios, estas representaciones son llamadas archivos .ies.

La fotometría, parte de la física encargada del estudio de la luz perceptible por el ojo humano, entre sus estudios y mediciones, busca encontrar la mejor manera de obtener dichos archivos .ies, a través de un dispositivo conocido como fotogoniómetro.

Cada vez se han ido desarrollando tecnologías diferentes en las fuentes de luz para ir mejorando cada vez más sus características visuales, como el índice de reproducción cromática y la temperatura de color, estas tecnologías son incandescencia, fluorescencia, descarga e inducción, llegando a la producida por fuentes de estados sólido, conocidas como diodo emisor de luz (led, lighting emitting diode, por sus siglas en inglés, y como será llamado en este trabajo) .

Desde hace tiempo, los leds han comenzado a sustituir otras tecnologías luminosas y ahora son usados de manera integral a diferentes tipos de luminarios.

A pesar de que existen muchos fabricantes serios que se consideran pioneros en este ramo, como Philips, Osram, Cree, hay otras muchas opciones más baratas que no cumplen con los estándares requeridos mínimos, ocasionando que ciertas condiciones de operación y funcionamiento no se sigan.

Capítulo 1 Conceptos básicos

Este trabajo pretende analizar la situación bajo la cual los luminarios que usan como fuente luminosa dispositivos de estado sólido, “cumplen” con los estándares nacionales e internacionales en sus valores mínimos, para garantizar al usuario que la tecnología cubrirá los mismos, esto con la finalidad de obtener parámetros que permitan conocer la viabilidad técnica y económica de la implementación de un laboratorio de pruebas fotométricas a luminarios de estado sólido.

En el primer capítulo, se busca dar una introducción a los principios básicos necesarios para tener un panorama general del contexto en el cual se desarrolla el tema, en el segundo capítulo abordamos el tema de Fotometría, donde se presentan conceptos más formales sobre esta rama de la física.

El tercer capítulo, presenta una variedad de equipos utilizados para poder medir la luz, pero ahondando más en los temas de fotogoniómetros, el principal equipo necesario en un laboratorio de fotometría.

En el cuarto capítulo, se habla de la normatividad existente sobre el tema, abarcando los estándares nacionales e internacionales, para dar paso al quinto capítulo donde la estructura final del laboratorio es presentada.

En el quinto capítulo, hablamos de cómo podría acreditarse este laboratorio, ante la EMA, por sus siglas Entidad Mexicana de Acreditación..

Objetivo:

El objetivo de este trabajo, es presentar una propuesta sobre la puesta en marcha del proyecto de un laboratorio de ensayo donde se dé un servicio de calidad que permita determinar qué tipo de luminarios cumplen con la normativa mexicana, situándonos en un el marco de referencia de la normatividad existente, ya que las normas tienen una razón de ser, algunas son informativas, voluntarias u obligatorias, pero su principal objetivo es hacer seguir los estándares a los cuales hacen referencia para asegurar a los usuarios finales que los productos cumplen con dichos estándares.

Marco de referencia:

Existen muy pocos laboratorios dedicados a dar el servicio de fotometría en la Ciudad de México y en el País en sí, los principales laboratorios públicos como ANCE, (Asociación Nacional de Normalización y Certificación del Sector Eléctrico) el Laboratorio de Alumbrado Público, dan el servicio y cuentan con equipo para efectuar pruebas sobre luminarios de fuentes convencionales, en la cuestión de iluminación led, sólo pueden realizar pruebas de eficiencia luminosa, referidas en la NOM-030.

Sólo el Laboratorio de Alumbrado Público cuenta con un fotogoniómetro de espejo móvil, sin embargo programar una prueba es algo sumamente tardado, pues están siempre saturados al no satisfacer la demanda, sin embargo aún no se ha realizado la migración de equipo para satisfacer la demanda del la iluminación led y cumplir con la NOM-031.

Capítulo 1 Conceptos básicos

Capítulo 1. Conceptos básicos

¿Qué es la luz?

Ésta es una pregunta que el ser humano se ha venido haciendo desde tiempos antiguos, Aristóteles (384-322 A.C), creía que la luz estaba constituida por “corpúsculos”, que emanaban del ojo para iluminar al mundo, el día de hoy la teoría de la mecánica cuántica ha ayudado a entender un poco la naturaleza de la luz, que sin embargo no ha sido descifrada en su totalidad

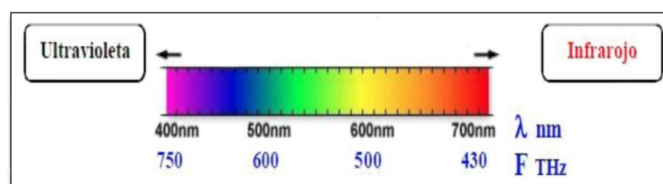


Figura 1.1 Rango de frecuencias y longitud de onda del espectro visible. Fuente: IDEAM.

Región	Rango
UV extremo	10 a 100 nm
UV lejano	100 a 200 nm
UV-C	100 A 280 nm
UV medio	200 a 300 nm
UV-B	280 A 315 nm
UV cercano	300 a 400 nm
UV-A	315 A 400 nm
Visible	380 a 770 nm
IR cercano	770 1400 nm
IR intermedio	1400 a 5000 nm
IR lejano	5000 a 1,000,000 nm

Tabla 1.1 Regiones del espectro electromagnético

1.1 Teorías sobre el comportamiento de la luz.

La luz es radiación electromagnética visible a nuestros ojos, siendo sólo una pequeña porción del espectro electromagnético que se extiende desde muy bajas frecuencias de ondas de radio hasta microondas, infrarrojas, visibles, UV, rayos x y gama.

Nuestros ojos responden sólo a la porción que va de 380 a 750 nanómetros aproximadamente. A finales del siglo XII aparecieron los primeros modelos científicos que intentaron explicar la naturaleza de la luz, pero es hasta principios del siglo XIX que los científicos establecieron que la electricidad y el magnetismo son, en efecto, fenómenos relacionados.

Capítulo 1 Conceptos básicos

En 1820 Hans Oersted descubre que una brújula se altera cuando se coloca cerca de un circuito que lleve corriente eléctrica. En 1831, Michael Faraday, y simultáneamente, Joseph Henry, demuestran que, cuando un magneto o imán (o de manera equivalente, cuando el magneto se mueve cerca de un alambre), una corriente eléctrica se observa en el alambre.

En 1865, James Maxwell emprendió la tarea de determinar las propiedades de un medio que pudiera transportar luz, Y como la transferencia de calor y electricidad. Maxwell demostró matemáticamente la existencia de campos magnéticos y eléctricos perpendiculares entre sí que a manera de ondas podían propagarse tanto en el espacio vacío como a través de algunas sustancias.

Con lo anterior, Maxwell sugirió que la luz es en realidad un conjunto de ondas o radiaciones electromagnéticas, fundamentando la llamada teoría electromagnética, encargada del estudio de los campos eléctricos y magnéticos, para describir su descripción rigurosa y exacta.

Esta teoría fue comprobada experimentalmente en 1885 por Heinrich Hertz, quien probó que la radiación electromagnética puede ocurrir a cualquier frecuencia, como en la luz, en la radiación térmica y en las ondas de radio, las cuales son de la misma naturaleza y viajan a la velocidad de la luz. (300 000 km/s)

Por separado, los modelos corpuscular y ondulatorio describen solo en parte la naturaleza de la luz, por lo que finalmente la luz es considerada de naturaleza dual, es decir, se comporta como onda y como partícula, corpúsculo o cuanto, es decir los modelos considerados como antagónicos, hoy son complementarios

Modelos corpusculares

Modelos ondulatorios

Teoría corpuscular de Newton

Considera a la luz como una multitud de diminutas partículas o corpúsculos luminosos emitida a gran velocidad por la fuente luminosa, por ejemplo el Sol, una llama, etc.

Teoría ondulatoria de Huygens

Considera a la luz como la propagación de una perturbación en forma de ondas semejantes a las que se producen en el agua.

Modelo de Planck ampliado por Einstein

Admite la existencia de partículas llamadas fotones que, a modo de paquetes o cuantos de energía, constituyen los corpúsculos no materiales. Explica nuevos fenómenos luminosos, como el Efecto fotoeléctrico.

Modelo de Maxwell

La luz es para Maxwell una onda electromagnética o campo electromagnético viajero, que se puede propagar en el vacío y a la que el ojo humano es sensible.

Tabla 1.2 Modelos existentes sobre la naturaleza de la luz

Capítulo 1 Conceptos básicos

1.1.1 Ondas electromagnéticas

Son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse, logrando una velocidad en el vacío de 300 0000 km/s) pero no infinita. Las ondas electromagnéticas se propagan mediante una oscilación de campos Eléctricos y magnéticos.

Los campos electromagnéticos al "excitar" los electrones de nuestra retina, nos comunican con el exterior y permiten que nuestro cerebro "construya" el escenario del mundo en que estamos. Las ondas electromagnéticas son también soporte de las telecomunicaciones y el funcionamiento del complejo del mundo actual.

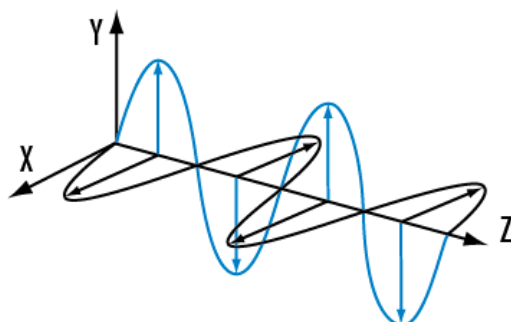


Figura 1.2 Onda electromagnética. Fuente: Edmund Optics

1.1.2 Ecuaciones de onda

Sea una onda transversal simple que se propaga a lo largo de una trayectoria rectilínea, representada en (1.1) y donde (1.2) es una solución:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \quad \dots \quad (1.1)$$

$$\psi(x, t) = f(x - vt) \quad \dots \quad (1.2)$$

Tenemos que la cantidad $\psi(x, t)$ es la llamada función de onda, que representa la perturbación en el espacio (x) y el tiempo (t), donde v es la velocidad de propagación, por lo cual su comportamiento está descrito en (1.1), pero si tiene forma senoide, es llamada armónica, (1.3), donde k es una constante llamada número de propagación y A es su amplitud máxima.

$$\psi(x, 0) = A \text{ sen } ks, \quad \dots \quad (1.3)$$

$$\psi(x, 0) = A \text{ sen } k(x \mp vt), \quad \dots \quad (1.4)$$

Capítulo 1 Conceptos básicos

Por lo cual (1.4) es la representación de una onda armónica progresiva que se repetirá tras cierto periodo espacial o longitud de onda ψ , con un cierto periodo τ y frecuencia angular $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$ con lo cual tenemos

$$\psi(x, t) = A \text{sen}(kx \mp \omega t), \dots \quad (1.5)$$

La ecuación (1.5) es la representación de una onda ideal monocromática, que se desplaza con una sola componente a lo largo de una sola dirección.

Esta representación no es suficiente ya que generalmente este tipo de ondas no existe es necesario generalizar (1.1) en tres dimensiones como:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \dots \quad (1.6)$$

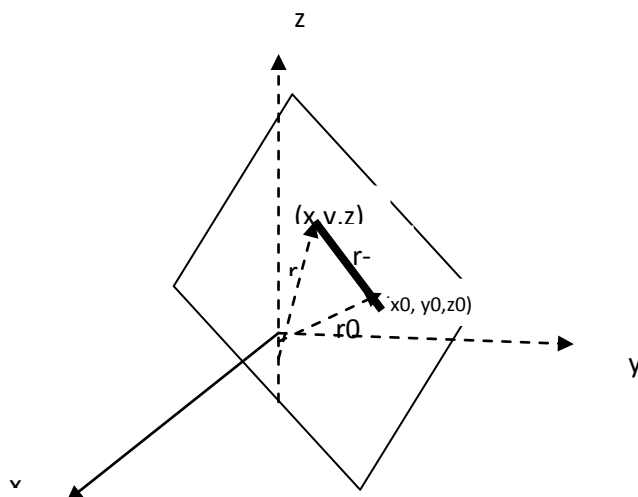


Fig. 1.3 Representación de un plano que pasa por un punto cualquiera (x_0, y_0, z_0)

Si hacemos las siguientes consideraciones:

1. $(r - r_0) \cdot k = 0, \dots \quad (1.7)$

(1.7) describe la ecuación de un plano perpendicular a la dirección dada por el vector de propagación k , que pasa por un punto cualquiera (x_0, y_0, z_0)

2. $\psi(r) = A \text{sen}(kr), \dots \quad (1.8)$

Representa una función de una familia de planos perpendiculares a k , para convertir (1.8) en una onda armónica plana progresiva.

3. $\psi(\mathbf{r}, t) = A \text{ sen}(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} \mp \omega t), \dots$ (1.9)

(1.8) queda reescrita como (1.9), donde el signo negativo corresponde a la dirección positiva de \mathbf{k} y el signo más al movimiento en la dirección negativa de \mathbf{k}

1.1.3 Teorema de Stokes y Gauss

1.1.3.1 Teorema de Stokes

Sea S una superficie orientada, simple y regular a trozos. Sea C su curva frontera, regular a trozos, cerrada y simple, con orientación positiva. Si F es un campo vectorial de clase C^1 , en alguna región que contiene a S , entonces:

$$\int_C F = \iint_S \text{rot}F \quad \dots \quad (1.10)$$

Para determinar la orientación positiva de la curva C frontera de S , convenimos en que, al recorrer C en sentido positivo con la cabeza apuntando al vector normal \vec{n} que indica la orientación positiva de S , la superficie queda a la izquierda.

1.1.3.2 Teorema de Gauss

Es también llamado, teorema de la divergencia.

Sea V un sólido simple de R^3 y $S = \partial V$ su borde, orientado con la normal unitaria exterior \mathbf{n} , sea $F: V \rightarrow R^3$ un campo vectorial de clase C^1 , entonces:

$$\int_C \text{div}F = \int_S F \cdot \mathbf{n} dS \quad \dots \quad (1.11)$$

1.1.4 Ecuaciones de Maxwell

Maxwell al terminar sus estudios, unificó las leyes de Faraday, Gauss y Ampere bajo un conjunto de ecuaciones que llevan su nombre, relacionando entre sí las variaciones espaciales y temporales de la intensidad de campo E y la inducción magnética B , fijando como constantes a las propiedades magnéticas y eléctricas del vacío, siendo la permitividad ϵ_0 y la permeabilidad μ_0 .

Operando estas ecuaciones Maxwell demostró que cada componente del campo eléctrico y magnético obedece a la ecuación diferencial de una onda (Ec.1.6) quedando como:

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi E_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi E_z}{\partial z^2} = \epsilon_0 \mu_0 \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \quad \dots \quad (1.12)$$

Capítulo 1 Conceptos básicos

Si reemplazamos E por B, encontraremos una expresión idéntica que representa la aceptación de ambos como una onda electromagnética que viaja a través del espacio con una velocidad:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2.9979 \times 10^8 \left[\frac{m}{s} \right] \quad \dots (1.13)$$

Gracias a estos conceptos, es posible definir el índice de refracción n como

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\frac{\epsilon \mu}{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \dots (1.14)$$

En la siguiente tabla se muestran las leyes de Maxwell expresadas en su forma diferencial e integral.

Nombre	Forma diferencial	Forma Integral
Ley de Gauss	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$
Ley de Gauss para el campo magnético	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$
Ley de Faraday	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$
Ley de Ampere Generalizada	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} \cdot d\vec{s} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} \cdot d\vec{s}$

Tabla 1.3 Leyes de Maxwell

1.2 Óptica

La óptica es la rama de la física que estudia los fenómenos luminosos, viviéndose para su estudio en dos grandes ramas, la óptica geométrica y la óptica física, citando a la OSA (Optical Society of America):

“La óptica es el estudio de la luz, de la manera como es emitida por los cuerpos luminosos, la forma en que se propaga y se absorbe por distintos medio”

Capítulo 1 Conceptos básicos

1.2.1 Óptica geométrica

La óptica geométrica trata a la luz como un conjunto de rayos que cumplen el principio de Fermat. Se utiliza en el estudio de la transmisión de la luz por medios homogéneos (lentes, espejos), la reflexión y la refracción, comienza con los estudios de Snell (1591-1626) quien descubre la ley de la refracción, válida para cualquier magnitud del ángulo de incidencia, expresada como relación entre distancias, tiempo después Pierre Fermat (1601-1665), establece su principio, donde expresa que la luz al viajar de un punto a otro, atravesando medios de densidades diferentes, sigue la trayectoria que le tome el tiempo mínimo de recorrido.

1.2.2 Óptica física

En esta rama, encontramos que busca explicar diversos fenómenos y comportamientos, algunas de sus subdivisiones son: ondulatoria, electromagnética y cuántica. Cada una busca dar una interpretación adecuada de la luz, cuando la teoría de rayos ya no puede explicar ciertos fenómenos.

1.2.3 Principio de Fermat

Resulta de la necesidad de encontrar un teorema general que permitiera describir el fenómeno de la refracción, partiendo del siguiente esquema en el cual se estableció que :

“ Como la naturaleza de la luz se dirige en línea recta de S a P, hay que encontrar un punto M por el cual la luz se doble o refracte llegando en un tiempo más corto de S a P. Y pues es probable que la Naturaleza, a la cual sus operaciones urgen lo más pronto posible, se oriente espontáneamente hacia ese punto, considerando que la velocidad será mayor en el medio menos denso ”

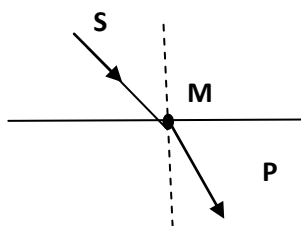


Figura 1.4 Trayectoria para establecer el principio de Fermat

1.3 Fenómenos de la luz

La luz posee un comportamiento ondulatorio y corpuscular, siendo por ello que para el estudio de su física es necesario separar los fenómenos que presenta de acuerdo a su naturaleza, apoyándose en la óptica física o de rayos y en las teorías presentadas en 1.2 es posible describirlos. Dichos fenómenos son, la reflexión, la refracción, la difracción, la absorción, transmisión y la polarización, por los cuales pasa la luz al llegar a un objeto.

Capítulo 1 Conceptos básicos

Leyes de Snell

Son fórmulas deducidas matemáticamente a partir del principio de Fermat para determinar los ángulos de refracción y reflexión que sufre la luz o cualquier onda electromagnética al pasar a través de la superficie de separación de un medio.

1.3.1 Reflexión

Es el cambio de dirección que sufre un rayo luminoso cuando choca contra la superficie de un objeto de superficie reflectora.

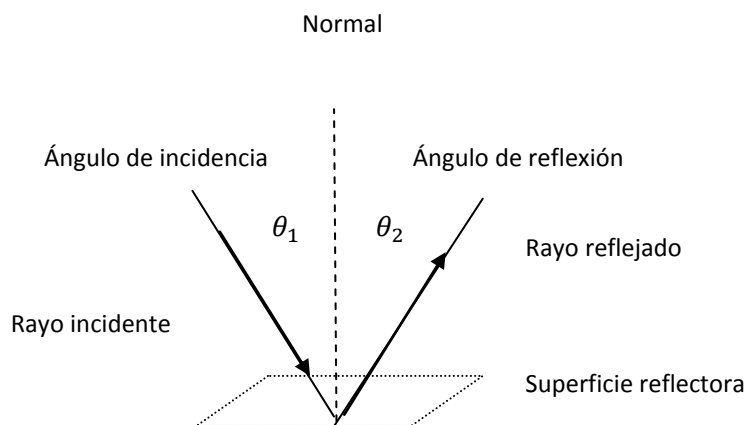


Figura 1.5 Reflexión de la luz

1.3.2 Reflexión total

Un rayo de luz propagándose en un medio con índice de refracción n_1 incidiendo con un ángulo θ_1 sobre una superficie sobre un medio de índice n_2 con $n_1 > n_2$ puede reflejarse totalmente en el interior del medio de mayor índice de refracción, esto es llamado reflexión interna total o ángulo límite y se produce para ángulos de incidencia θ_1 mayores que un valor crítico cuyo valor único es

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad \dots \quad (1,15)$$

Presentándose en dos situaciones particulares

- Quando el rayo va de un medio más refringente hacia otro menos refringente
- Quando el ángulo de incidencia sea mayor que el del límite.

Capítulo 1 Conceptos básicos

1.3.3 Ángulo crítico

Ángulo de incidencia en que el rayo refractado forma un ángulo de 90° con la norma

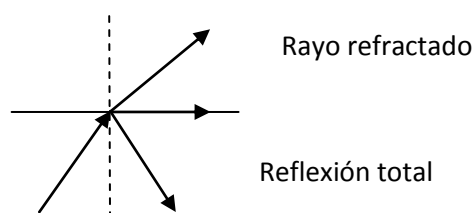


Figura 1.6 Reflexión total

1.3.4 Refracción

Es el cambio de dirección que soporta una onda de luz al pasar de un medio de irradiación a otro con una consistencia óptica diferente.

Elementos necesarios para la refracción

- i. Rayo Incidente, es aquel que llega a la superficie de separación de dos medios.
- ii. Rayo Refractado, el rayo que pasa al otro medio.
- iii. Ángulo de Incidencia, el ángulo que se forma entre el incidente y la normal.
- iv. Ángulo de Refracción, el ángulo formado por la normal y el rayo refractado.
- v. Normal, es la perpendicular a la superficie de separación de los medios trazados.

1.3.5 Primera Ley de la Refracción

El rayo incidente, la normal y el rayo refractado pertenecen al mismo plano

1.3.6 Segunda Ley de la Refracción o ley de Snell

La razón o cociente entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es una constante llamada índice de refracción, del segundo medio respecto al primero

$$n_1 * \text{sen}\theta_1 = n_2 * \text{sen}\theta_2 \quad \dots \quad (1.16)$$

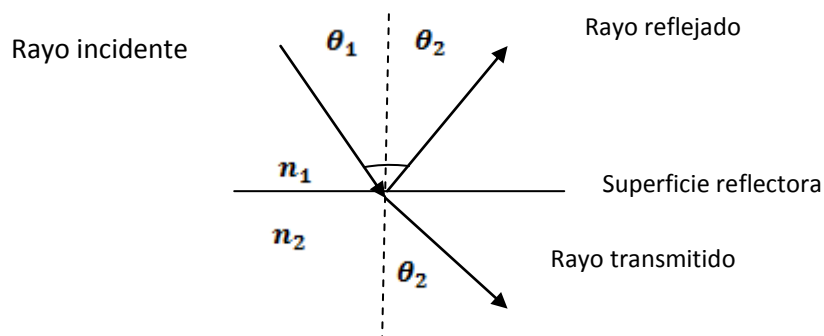


Figura 1.7 Refracción de la luz

Capítulo 1 Conceptos básicos

1.3.7 Difracción

La difracción es el fenómeno de propagación no rectilínea de la luz por el cual las ondas luminosas bordean los obstáculos.

Cuando una onda encuentra un obstáculo, parte de las ondas son absorbidas por éste y no emiten más, pero las ondas emitidas desde los puntos que quedan libres siguen avanzando esféricamente alcanzando las regiones que el obstáculo esconde. El grado de difracción de una onda al atravesar un obstáculo depende del tamaño del mismo comparado con la longitud de onda, es decir si la longitud de onda es mucho menor que las dimensiones del obstáculo, no se observará difracción pero si la longitud de onda es grande respecto del objeto, la difracción es muy notable.

La difracción no se produce solamente cuando la luz atraviesa una pequeña abertura, puede producirse el mismo efecto colocando delante del haz de luz un objeto filoso de manera tal que al incidir la luz sobre su filo, difracte, una red de difracción es una superficie reflexiva con una serie de líneas, o surcos, paralelas, las cuales provocan que la luz incidente se refleje.

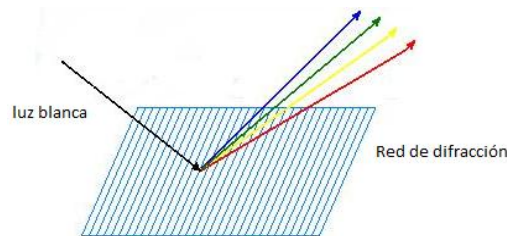


Figura 1.8 Red de difracción

1.3.8 Transmisión

Ocurre cuando la luz atraviesa una superficie u objeto, presentándose en de tres maneras, directa, difusa o selectiva.

- Directa: la luz atraviesa un objeto y no se producen cambios de dirección o calidad de esa luz.
- Difusa cuando la luz pasa a través de un objeto transparente o semi-transparente con textura.
- Selectiva: la luz atraviesa un objeto de color. Parte de la luz va a ser absorbida y parte va a ser transmitida por ese objeto.

1.3.9 Absorción

La luz al llegar a la superficie de un objeto, éste puede absorber toda o parte de esa luz, transformándose esta energía en alguna de otro tipo, convirtiendo al objeto que absorbe en un emisor, irradiándola a su vez en forma de calor.

1.3.10 Polarización

La polarización se define como el desplazamiento instantáneo de las partículas que oscilan, para las ondas electromagnéticas que constituyen la luz por ser transversales vibran perpendicularmente a la dirección de propagación. El fenómeno de polarización de la luz puede ser por reflexión en superficies metálicas o por refracción al atravesar ciertas sustancias como cuarzo, turmalina, el vidrio, etc.

Esta propiedad se usa en los vidrios polarizados, anteojos para sol, etc. La parte de la luz solar está polarizada horizontalmente, por reflexión en diversas superficies (como el agua, por ejemplo), es detenida por los vidrios polarizados ya que estos la transmiten en dirección vertical.

1.4 Efecto fotoeléctrico

Se conoce con el nombre de efecto fotoeléctrico a la emisión de electrones por un metal al ser irradiado con radiación electromagnética (luz ultravioleta en general), fue descubierto por H. Hertz en 1887. Si los electrones emitidos se hacen circular por un circuito en el que mide la Intensidad de corriente y al que se le añade una fuente de tensión variable que puede cambiar de polaridades, y se estudia la intensidad de la corriente eléctrica formada en términos del voltaje aplicado al circuito, para diferentes valores de la intensidad de la fuente luminosa, se obtienen los siguientes resultados experimentales:

1. La intensidad de corriente aumenta desde un valor dado cuando $V = 0$, hasta un valor de saturación cuando V aumenta, que corresponde al caso en el que todos los electrones emitidos son enfocados hacia el ánodo y se mueven por el circuito.
2. Si la polaridad de la fuente de tensión se invierte, la intensidad de corriente disminuye, hasta que se anula para un potencial $|V_0|$, llamado potencial de frenado. Este potencial es tal que frena a los electrones más rápidos emitidos desde el metal.
3. Si se hace la misma experiencia con una intensidad diferente de la fuente luminosa, el resultado es similar, aumentando la intensidad de corriente que circula por el circuito, pero manteniéndose constante el potencial de frenado.
4. El potencial de frenado depende del material emisor de electrones y de la frecuencia de la radiación incidente, de forma que, para cada material, existe una frecuencia ν_0 denominada frecuencia umbral por debajo de la cual no se produce el efecto fotoeléctrico.
5. No existe tiempo de retardo en el efecto fotoeléctrico, es decir la emisión de electrones ocurre de forma simultánea cuando la luz incide sobre el material

Capítulo 1 Conceptos básicos

Explicado matemáticamente, gracias a la teoría de Einstein, tenemos que el efecto fotoeléctrico se produce cuando uno de estos fotones se absorbe por un electrón ligado a un átomo, adquiriendo instantáneamente toda su energía, que usa para salir eyectado del material, con lo cual:

1. La absorción es instantánea, por lo que no hay tiempo de retardo.
2. la velocidad de eyección de los electrones se obtiene de la relación

$$h\nu = \omega_1 + \frac{1}{2}mv^2 \quad \dots \quad (1.17)$$

Donde ω_1 es la energía necesaria para arrancar al electrón de la superficie metálica, cuando ω_1 es mínima, se le denomina función de trabajo y se le denota por ω_0 al cual va asociada la máxima energía cinética del electrón saliente

$$\frac{1}{2}mv_{máx}^2 = h\nu - \omega_0 \quad \dots \quad (1.18)$$

3. El potencial de frenado, que se obtiene de la relación (19) depende de la frecuencia de la radiación incidente.

$$|eV_0| = \frac{1}{2}mv_{máx}^2 \quad \dots \quad (1.19)$$

Todos estos aspectos fueron verificados experimentalmente por Millikan en 1916, utilizados para determinar la relación carga- masa del electrón, posteriormente Planck los usó para fundamentar sus postulados y calcular su constante, donde:

$$E = h\nu, \quad p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad \dots \quad (1.20)$$

Estas relaciones nos dicen que las ondas electromagnéticas de frecuencia ν y longitud de onda λ tienen propiedades de partículas de energía E y momento p.

Es de notar que esta teoría corpuscular es incompatible con las propiedades ondulatorias como la difracción y la polarización., sirviendo para explicar la interacción de la radiación electromagnética y la materia sin considerar su desplazamiento

1.5 Cuerpo negro

Max Planck en 1900, lanza su teoría en donde establece que la interacción entre la materia y la radiación no es continua sino a través de pequeños pulsos llamados cuantos (radiaciones electromagnéticas emitidas en unidades discretas de energía), esta relación expresada en la ecuación (1.20), donde la energía de un “cuanto de luz” (fotón), es igual a la frecuencia de la luz multiplicada por una constante. La primera medida fiable de la constante de Planck (1916) se debió al físico estadounidense Robert Millikan, como lo mencionamos en (1.4.)

El valor actualmente aceptado es $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

1.5.1 Radiador

Un radiador es un emisor que emite energía radiante, un radiador de temperatura es un radiador ideal en el cual su densidad de flujo radiante (exitancia radiante) está determinado por su temperatura, material y características de su superficie.

Un cuerpo negro es un radiador de temperatura uniforme con una exitancia radiante que en todas las partes del espectro posee la misma temperatura.

Este tipo de radiador es llamado cuerpo negro porque absorbe toda la energía radiante que reciba Este modelo está realizado sobre ángulos sólidos limitados en la forma de una cavidad con paredes opacas a temperatura uniforme y con una pequeña abertura con propósitos de observación.

Capítulo 2. Fotometría

Capítulo 2. Fotometría

La ingeniería de la iluminación, comprende la producción, la medición y la aplicación de la luz o de la energía radiante dentro de los límites del espectro visual, desde el UV, pasando por el espectro visible (380nm-780 nm) hasta llegar al IR. Los siguientes cuatro parámetros son llamados espectrales y son comúnmente usados en diferentes disciplinas, como referencia común:

1. Longitud de onda λ [nm]
2. Frecuencia [Hz], donde, $v = \frac{c \cdot 10^9}{\lambda s^{-1}}$
3. Número de onda σ [cm⁻¹] donde $\sigma = \frac{(\lambda^{-1}) \cdot 10^9}{\lambda} [J]$
4. Energía de un fotón, q[J], $q = \frac{h \cdot v \cdot 10^9}{\lambda} [J]$,

Donde:

- c es la velocidad de la luz, 299, 792,458 [m · s⁻¹]
- h es la constante de Planck, con un valor de 6.626176 · 10³⁴[J · s]

2.1.1 Definición de ángulo sólido

Un ángulo sólido es una superficie formada por semirrectas con un origen común, el vértice del ángulo sólido, y que pasa por una curva cerrada. Ya que el área de una esfera es $A = 4\pi r^2$, el valor total de un ángulo sólido en el centro es 4π estereorradianes, en otras palabras, una esfera completa representa un ángulo esférico de 4π estereorradianes.

2.1.2 Definición de estereorradián

Es el ángulo sólido que teniendo su vértice en el centro de una esfera determina un área en la superficie de esta igual a la de un cuadrado de lados iguales al radio de la esfera, quedando expresado como:

$$sr = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right),$$

donde θ es el ángulo plano con vértice del cono del ángulo sólido

La importancia del ángulo sólido, en Radiometría y Fotometría radica en el interés por:

1. Caracterizar la emisión desde una fuente y la incidencia en un detector, es decir, responder las preguntas, ¿cuánta luz emite una fuente? , ¿cuánta luz llega a un detector?
2. Caracterizar la transferencia energética en un dispositivo o instrumento óptico, es decir, ¿cuánta energía llega a la imagen?, ¿con cuánto brillo y luminosidad?,

Capítulo 2. Fotometria

2.1.3 Ley del cuadrado inverso de la distancia

Esta ley nos sirve para calcular la iluminancia en una superficie dada, la iluminancia que sigue la ley inversa de los cuadrados, para el caso de una fuente puntal toma la forma:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad \dots (2.1)$$

En (2.1) d es la distancia desde la fuente luminosa a la superficie a la que llega el flujo luminoso, si la superficie es perpendicular a la dirección de propagación de la radiación incidente, cuando la superficie no es perpendicular a la dirección de propagación del flujo luminoso, la ecuación (2.1) se convierte en:

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \theta, \quad \dots(2.2)$$

En (2.2), θ es el ángulo de inclinación de la superficie. Esta ecuación, muestra que la intensidad de la distancia disminuye de manera proporcional al inverso del cuadrado de la distancia

2.1 Cantidades radiométricas.

La Radiometría es la ciencia que mide la luz en cualquier porción del espectro electromagnético., desde el UV, el visible y el IR. Cuenta con dos aspectos, el teórico y el práctico, este último involucra instrumentos científicos y materiales usados en la medición de la luz, incluyendo termopares de radiación, bolómetros, fotodiodos, chips semiconductores fotosensibles, emulsiones, fototubos al vacío, dispositivos de carga y acoplamiento y una gran variedad de instrumentos.

En la siguiente tabla se enumeran las cantidades radiométricas más empleadas

Nombre	Unidad	Descripción
Energía Radiante (Q)	J	La radiación electromagnética, considerada como onda y partícula, transporta energía a través del espacio.
Energía Espectral radiante	$\frac{J}{nm}$	Cantidad de energía radiante por unidad de intervalo de longitud de onda en una longitud de onda λ $Q_\lambda = \frac{dQ}{d\lambda} \quad \dots (2.3)$
Flujo radiante (ϕ)	W	La potencia radiante es descrita como el periodo de tiempo del flujo de la energía radiante. Se define como $\phi = \frac{dQ}{dt} \quad \dots (2.4)$
Flujo radiante espectral	$\frac{W}{nm}$	El flujo radiante espectral es el flujo radiante por unidad de intervalo de longitud de onda determinada, expresado por: $\phi_\lambda = \frac{d\phi}{d\lambda} \quad \dots (2.5)$

Capítulo 2. Fotometria

Densidad de flujo radiante	$\frac{W}{m^2}$	<p>Flujo radiante por unidad de área en un punto de una superficie con dos posibles condiciones:</p> <p>1. Irradiancia: El flujo llega a la superficie, expresado por:</p> $E = \frac{d\phi}{dA} \quad \dots \quad (2.6)$ <p>2. Exitancia radiante: El flujo deja la superficie debido a emisión o reflexión expresado por:</p> $M = \frac{d\phi}{dA} \quad \dots \quad (2.7)$
Densidad espectral de flujo radiante	$\frac{[W]}{m^2 \cdot nm}$	<p>Flujo radiante por unidad de intervalo de una longitud de onda determinada, con dos posibles condiciones</p> <p>1. Irradiancia espectral: llega a la superficie, definido como:</p> $E_\lambda = \frac{d\phi}{dA} \quad \dots \quad (2.8)$ <p>2. Exitancia radiante espectral: El flujo deja la superficie, es definido como</p> $M_\lambda = \frac{d\phi}{dA} \quad \dots \quad (2.9)$
Radiancia	$\frac{[W]}{m^2 \cdot sr}$	<p>Es una cantidad infinitesimal de flujo radiante contenido en un rayo de luz que llega o parte de un punto en una superficie en una dirección dada y se expresa como:</p> $L = \frac{d^2}{[dA(d\omega \cos\theta)]} \quad \dots \quad (2.10)$
Radiancia espectral	$\frac{[W]}{sr \cdot nm \cdot m^2}$	<p>Radiancia por unidad de intervalo de una longitud de onda determinada y se define por:</p> $L_\lambda = \frac{d^3\phi}{[dA(d\omega \cos\theta)d\lambda]} \quad \dots \quad (2.11)$
Intensidad espectral radiante	$\frac{[W]}{sr \cdot nm}$	<p>Intensidad radiante por unidad de intervalo de una longitud de onda determinada. Expresado por:</p> $I_\lambda = \frac{dI}{d\lambda} \quad \dots \quad (2.12)$
Intensidad radiante	$\frac{W}{sr}$	<p>Es la cantidad de flujo radiante emitido por una fuente puntual en una dirección dada, puede ser representado por un rayo de luz contenido en un estereorradián, donde $d\omega$ es la diferencial del ángulo sólido</p> $E = \frac{I}{d^2} \cos\vartheta \quad \dots \quad (2.13)$

Tabla 2.1 Cantidades radiométricas

Capítulo 2. Fotometría

2.2 Cantidades fotométricas, unidades y estándares

La fotometría es la ciencia encargada del estudio de la luz visible de acuerdo a la sensibilidad del ojo humano. Es una ciencia basada en el modelo estadístico de la respuesta visual del ojo humano a la luz, es decir nuestra percepción de la luz.

Nombre	Unidad	Descripción
Flujo luminoso	[lm]	Cantidad de luz total emitida por una fuente luminosa en todas direcciones
Intensidad	[cd]	Flujo luminoso emitido en una sola dirección, flujo emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección específica
Illuminancia	[lx]	Flujo luminoso que incide por unidad de área en una superficie dada
Luminancia	$\left[\frac{cd}{m^2}\right]$	Flujo luminoso que incide por unidad de área en una superficie dada

Tabla 2.2 Cantidades fotométricas

2.4 Colorimetría

Es la ciencia encargada del estudio del color, el color es una característica de la luz determinada por su composición espectral y su interacción con el ojo humano. Dentro de nuestros ojos en una sección llamada fovea, tenemos sensores sensibles a la luz llamados conos y bastones.

Los conos están agrupados en tres tipos y cada uno responde a una porción del espectro, con respuestas picos que corresponden al azul, verde y rojo, constituyen lo que llamamos visión diurna, representan de 6 a 7 millones del total de nuestros fotorreceptores. Los bastones se estimulan por las distintas intensidades de luz, es decir. Los bastones constituyen la visión nocturna, son muy numerosos, cerca de 120 millones y son más sensibles que los conos.

La interacción de estos grupos son responsables del estímulo interpretado por nuestro cerebro como color, la teoría de cómo funciona el color en base a la percepción de esas longitudes de onda es llamado sistema tricromático o tristímulus.

2.4.1 Caracterización del color.

Para poder definir nuestro sistema de visión y percepción del color, es necesario caracterizarlo, para poder hacerlo existen los siguientes métodos:

- 2.4.2 Colorimetría tristímulus
- 2.4.3 Temperatura de color
- 2.4.4 Índice de reproducción cromática
- 2.4.5 Temperatura de color correlacionada
- 2.4.6 Curva de sensibilidad espectral relativa
- 2.4.7 Espectroradiometría

Capítulo 2. Fotometría

2.4.2 Colorimetría tristímulus o tricromática.

Está basada en los tres componentes teóricos de la visión del color, rojo, azul y verde, en 1931, la Comisión Internacional de la Luz (CIE, Commission Internationale d'Éclairage) recomendó tres patrones llamados iluminantes, para ser empleados en la medición del color, basado en las mediciones que realizaron William D. Wright en el Colegio Imperial de Londres y John Guild en el Laboratorio Nacional de Física de Teddington, midiendo las funciones de igualación de color que se obtuvieron midiendo las cantidades de flujo luminoso de cada uno de los colores primarios requeridos para igualar las radiaciones monocromáticas en todo el espectro, usando fuentes de luz conocidas.

Posteriormente se experimento con personas con visión normal para ver su respuesta a dichas radiaciones. Los resultados de ambos investigadores fueron convertidos a tres primarios fáciles de reproducir, correspondientes a las líneas espectrales del mercurio. Estos valores fueron llamados iluminantes A, B, y C, definidos en 1931, posteriormente en 1967 se definieron los D, incluyendo la radiación UV, los subíndices indican las cifras de la temperatura de color correspondiente.

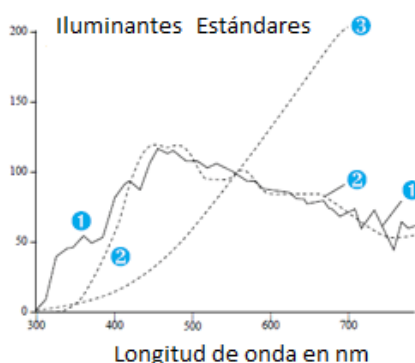


Figura 2.1 Respuesta espectral de los iluminantes estándar. Fuente: Konika Minolta

Nombre	Descripción	Temperatura de color correlacionada [K]
Iluminante estándar D65	Luz de día promedio con temperatura de color corregida, incluye la región UV	6504
Iluminante estándar C	Luz diurna (sol + cielo) sin incluir la región UV	6774
Iluminante estándar B	Luz de mediodía promedio	4870
Iluminante estándar A	Luz incandescente	2856

Tabla 2.3 Iluminantes estándar

Capítulo 2. Fotometria

La CIE estableció que se indicarán las proporciones de estos tres valores primarios para cada unidad de flujo radiante espectral, recibiendo el nombre tristímulo que significa tres estímulos, en base a que responden a los tres estímulos visuales principales, para el observador estándar en base a las funciones de color $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, and $z(\lambda)$ mostradas en la figura 2.3.

Estos tres estímulos principales fueron utilizados para crear otros tres valores que sirvieron para que se estableciera un espacio de color y un diagrama de cromaticidad ubicado en tres ejes o coordenadas (X, Y, Z) , donde Y es una medida del brillo o luminosidad de un color, y X, Z son representativos de la cromaticidad, quedando expresados como:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad \dots (2.14)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad \dots (2.15)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y \quad \dots (2.16)$$

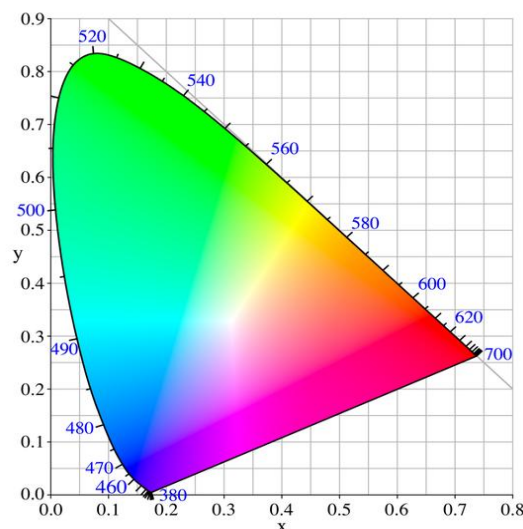


Figura 2.2 Diagrama de Cromaticidad CIE

2.4.3 Temperatura de Color

Este concepto nace como consecuencia de las observaciones de los cambios de color aparentes de un objeto sometido a temperaturas diferentes, ya que como resultado de un cambio de temperatura, la radiación emitida cambia el color.

Para definir este término, se hizo uso del modelo del cuerpo negro como un radiador ideal, el cual cambiaba su color dependiendo de la temperatura. El rango de tonalidades se muestra en el diagrama CIE con una línea que es referida como el locus del cuerpo negro o Planckiano, donde el color progresa de un rojo profundo al anaranjado, amarillo para llegar a un blanco azulado donde la temperatura es más alta, es comúnmente conocida como una medida de la apariencia o tono de la luz emitida por una fuente de luz, su unidad es el Kelvin

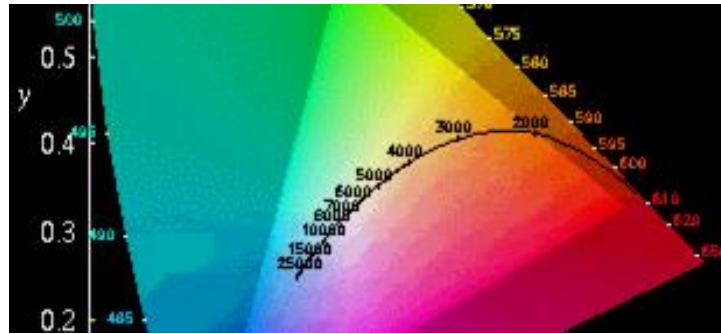


Figura 2.3 Locus Planckiano

2.4.4 Índice de reproducción cromática

Es la capacidad de toda lámpara de reproducir el color natural de los objetos. Este índice es medido en escala del 1 – 100, siendo el 100 el color con el que se ven estos objetos a la luz natural del sol. Entre más alto sea el CRI más naturales lucirán las personas y objetos iluminados con estas lámparas, las únicas lámparas que cuentan con un 100% de CRI son las lámparas Incandescentes y Halógenas.

2.4.5 Temperatura de Color Correlacionada

Este concepto es aplicable a fuentes de luz que serán comparadas con un radiador ideal o un valor patrón, calculándola a través de isolíneas de temperatura posicionadas sobre el color de la fuente de luz en el diagrama de cromaticidad CIE, pero no es aplicable para medir fuentes de luz que tienen una emitancia espectral en un ancho de banda muy bajo, es decir cuasi cromáticas.

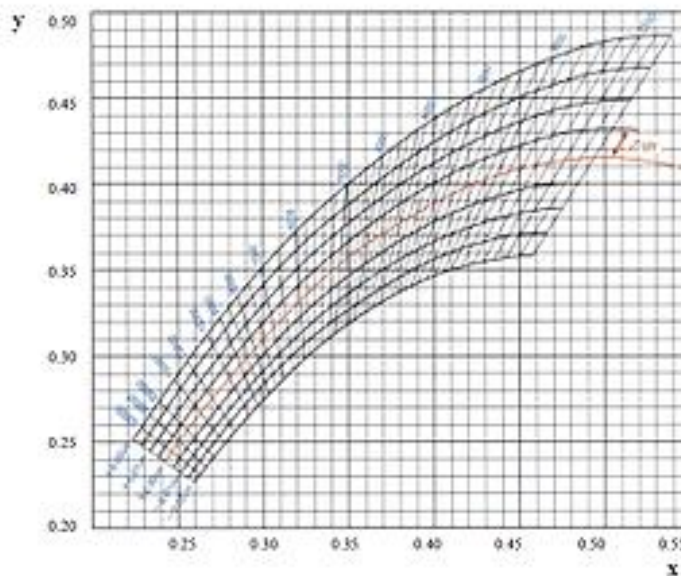


Figura 2.4 Diagrama de aislíneas de temperatura sobre un diagrama de cromaticidad xy cercano al lugar de radiación del cuerpo negro

Capítulo 2. Fotometría

2.4.6 Curva de sensibilidad espectral relativa

La curva de sensibilidad espectral relativa del ojo humano o curva de visibilidad ($V(\lambda)$) expresa cuantitativamente cómo, a iguales flujos de energía de la radiación electromagnética con diferentes longitudes de onda (en el rango visible del espectro), la intensidad de la luz percibida por el ojo humano es diferente, es decir, su respuesta espectral no es plana sino curva.

Esa respuesta se caracteriza por la magnitud $V(\lambda)$, denominada eficiencia luminosa (adimensional, medida entre 0 y 1), es llamada curva $V(\lambda)$, definida como estándar por la CIE, tiene el mismo aspecto (forma) en condiciones de luz de día (visión fotópica) y nocturna (visión escotópica) aunque la longitud de onda a la que se produce la mayor sensibilidad del ojo humano se desplaza de $\lambda=555$ nm (visión de día) a $\lambda=505-510$ nm (visión nocturna).

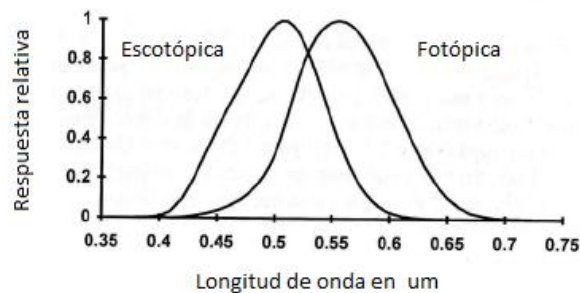


Figura 2.5 Función de sensibilidad espectral

2.4.7 Espectroradiometría

Existen muchas distribuciones de curvas de potencia espectral que pueden causar el mismo efecto visual llamado color, lo que significa que el color de una fuente de luz no nos habla de su distribución de potencia espectral, por el contrario, conocer dicha función nos daría toda la información necesaria para describir la fuente, como vimos en el inciso a, hay una manera para conocerla a través de los iluminantes CIE.

Para incorporarlos al método espectro radiométrico, necesitamos los valores dichos iluminantes o estímulos para después calcularlos con integración matemáticamente con la función de color CIE, los iluminantes sirven para determinar las coordenadas cromáticas ya la luminosidad obteniendo una descripción completa del color

2.5 Fuentes de luz

Un cuerpo sólido calentado a una temperatura específica emite radiación de luz visible, existen dos métodos para producir luz, si se excita un sólido, se produce un espectro continuo, si es un gas, tenemos un espectro discontinuo.

2.5.1. Incandescente y halógena

Las fuentes incandescentes producen luz al calentar un alambre de tungsteno (filamento) hasta que brilla (incandesce). La lámpara falla cuando el tungsteno se evapora y se rompe el filamento. La salida de luz y la vida se ven afectados por el tamaño del filamento y el voltaje de la corriente que circula a través de él.

Capítulo 2. Fotometria

Las lámparas halógenas son un tipo de lámpara incandescente con gas halógeno en una pequeña cápsula de vidrio de cuarzo

El halógeno se combina con el tungsteno evaporándolo y redepositándolo en el filamento, lo que prolonga su vida útil. Cuando se operan bajo alta presión, su eficiencia sube un 25% sobre las lámparas incandescentes típicas, la cápsula de halógeno puede ser recubierta por una película reflejante a los infrarrojos, con lo cual recicla una parte del calor perdido en el proceso incandescente y produce luz con cerca de 1/3 menos de energía que las lámparas halógenas convencionales, a baja tensión incandescente funciona por debajo de 30V (típicamente 12V).

2.5.2 Fluorescente:

Las fuentes fluorescentes producen luz en un proceso de tres pasos:

- i. Un arco eléctrico es generado entre dos electrodos y a través de la mezcla de gases en el tubo.
- ii. El mercurio en el gas emite radiación UV.
- iii. La radiación UV estimula la capa de fósforo depositada en la cara interna del tubo de la lámpara que se ilumina.

La lámpara típicamente falla cuando el arco ya no puede ser generado debido a evaporación de los recubrimientos emisivos en los cátodos de la lámpara. El color de una lámpara fluorescente se determina por el fósforo. La salida de luz en general, varía con la longitud del tubo.

Una lámpara de inducción es similar a una lámpara fluorescente, excepto en el arco eléctrico que simula la radiación UV que es inducida por un generador de frecuencia de radio, en lugar de encontrarse entre electrodos, dándole una larga vida.

2.5.3 Descarga de Alta Intensidad (HID):

Las lámparas HID producen luz por la activación de un gas de sales metálicas con un arco eléctrico. El gas se mantiene bajo alta presión en un pequeño recinto (el tubo de arco) dentro de la ampolla exterior de la lámpara. La salida y el color de la luz dependerá de la mezcla de las sales, la construcción del tubo de arco, y la presión bajo la cual se opera.

Las lámparas HID consisten en tres familias principales, distinguidas por la mezcla de sal: el vapor de mercurio (en gran parte obsoletos hoy en día), sodio de alta presión (una fuente eficiente con un tono amarillo de la luz) y de halogenuros metálicos (una luz blanca fuente, pero menos eficiente que las de alta presión de sodio).

Capítulo 2. Fotometria

2.5.4 Dispositivos de estado sólido, diodos emisores de luz (LED)

Los leds son semiconductores que emiten luz debido a los materiales utilizados en su construcción. En general usan elementos como Galio, el Indio y el Silicio.

Estos elementos son cortados en delgadas obleas que son dispuestas en capas positivas y negativas, que al ser energizadas con una corriente, los electrones fluyen a través de la unión PN, la energía transferida se transforma parcialmente en los fotones de la luz visible.

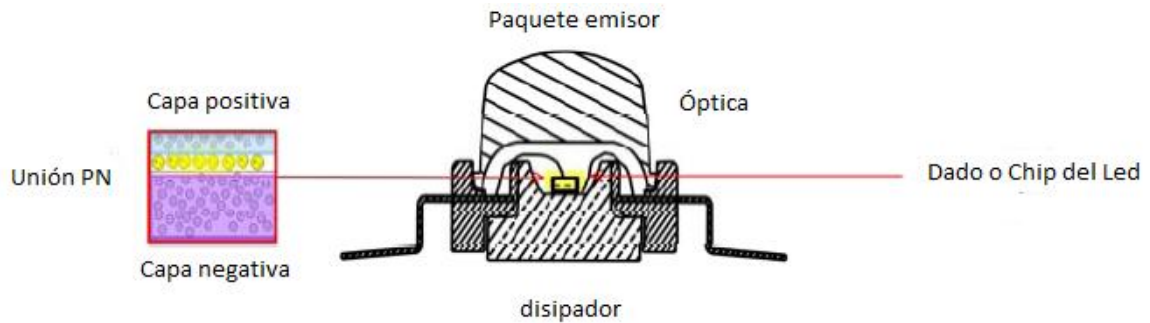
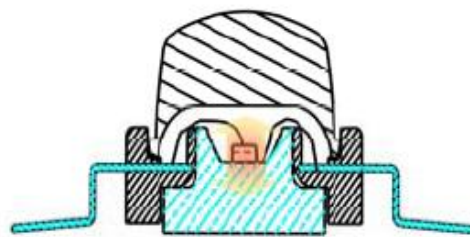


Figura 2.6 Dentro de un led. Fuente: Philips

Un led está compuesto por el dado o chip del led, que es el semiconductor, un recubrimiento de fósforo para transformar la luz blanca o casi azul en diferentes tonalidades de amarillo, un lente para dirigir la luz y un disipador para controlar la temperatura del led, al desprenderse energía, como resultado del flujo de corriente, se liberan dos formas de radiación electromagnética. La luz visible aproximadamente el 15 - 25% de la energía y el calor, el restantes 75 - 85%.

La temperatura que se alcanza en la unión PN es muy alta y es la causante de la degradación del led, si bien es cierto que es una fuente de muy larga vida es necesario controlar este parámetro para evitar que se degrade, es decir pierda flujo, y presente variaciones en su color e índice de reproducción cromática.



La temperatura en la unión PN es crítica y afecta la salida de la luz, el color y la vida

**Fig. 2.7 Temperatura de unión PN
Fuente: Philips**

Capítulo 2. Fotometria

Existen varios tipos de leds para diferentes aplicaciones, algunos són



Fig. 2.8 Led de Baja potencia
Fuente: Instrument Systems



Fig. 2.9 Led de Alta potencia
Fuente: Instrument Systems



Fig 2.10 Arreglos Led
Fuente: Instrument Systems

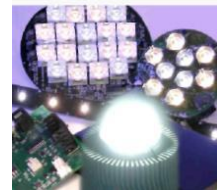


Fig. 2.11 Módulos Led.
Fuente: Instrument Systems

Las consideraciones que hay que tener con el uso de estos dispositivos son:

1. Manejo térmico, esencial para el mantenimiento de la salida de luz y la vida útil, anunciada por muchos fabricantes como 50,000 h.
2. Consistencia del color, para esto hay que considerar que los leds se comercializan de acuerdo a su bin, el bin es el grupo de color al cual pertenecen y que puede ser ubicado dentro del diagrama de cromaticidad CIE
3. El tipo de empaque y uso, cuando se habla de un diseño empleando estos dispositivos, es necesario pensar cual es la aplicación, ya que hay muy variadas formas y empaques, algunos son para potencia, de alta salida de flujo, para aplicaciones en el ramo automotriz, para alumbrado interior o exterior, etc.

Capítulo 3 Instrumentación Fotométrica

Capítulo 3. Instrumentación fotométrica

Para realizar cualquier caracterización de una magnitud física a través de un elemento transductor y un método de lectura, es necesario considerar que hay un error en toda medición, el cual es inherente al sistema o al usuario, por lo cual tomar consideraciones como una correcta calibración, trazable a un patrón internacional y certificada es algo intrínseco, el proceso de medición de magnitudes fotométricas y radiométricas no está exento de este tipo de métodos, por lo que el ingeniero de pruebas debe estar relacionado con los principios básicos de instrumentación.

3.1 Radiómetros

Un radiómetro es un dispositivo empleado para medir la intensidad de la energía radiante. La mayoría de los radiómetros usan solo fotoceldas como sensores en orden para medir radiación emitida por un espectro en específico o para incorporarlo en equipos más sofisticados. Las aplicaciones industriales involucran principalmente mediciones de irradiancia y radiancia, para poder cuantificar la radiación emitida por una fuente, se emplean lecturas con estos dispositivos

3.2 Espectroradiómetros

Un espectroradiómetro es más empleado para la medición de la distribución de energía espectral de la fuente de luz, que determinan no sólo las cantidades radiométricas y fotométricas, sino también las cantidades colorimétricas de la luz.

Estos instrumentos registran el espectro de radiación de la fuente de luz y calculan los parámetros deseados, como la cromaticidad y luminancia.

La dispersión de la luz se realiza normalmente en el espectroradiómetro, a través de un monocromador que usa prismas o rejillas de difracción, los valores de la Curva CIE de responsabilidad espectral y de color se almacenan en el software y se utiliza para procesar los datos de la distribución de la energía espectral medida de la fuente de luz bajo prueba. Por lo tanto, se evita el error de medición asociado con fotómetros y colorímetros de filtro.

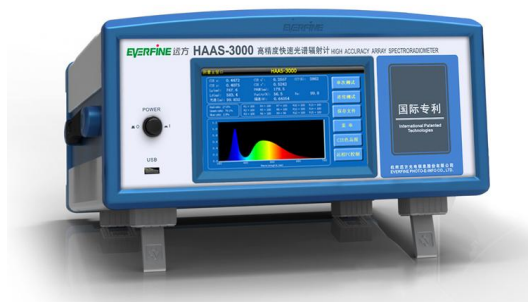


Figura 3.1 Espectroradiómetro de alta precisión, capaz de analizar cualquier fuente luminosa,. Fuente: Everfine

Capítulo 3 Instrumentación Fotométrica

3.3 Fotodetectores

Un fotodetector es un sensor que genera una señal eléctrica dependiente de la luz u otra radiación electromagnética que recibe. Algunos están basados en el efecto fotoeléctrico, otros en el fotovoltaico, unos más en el fotoelectroquímico y otros en la fotoconductividad, como ejemplos tenemos, fotodiodo, fototransistores, fototubos, CCD, CMOS, celdas fotoeléctricas, entre todos.

Al igual que las fuentes luminosas, los detectores ópticos están fabricados con semiconductores de estado sólido, que en base a la teoría de las uniones P-N generan un flujo de corriente cuando captan un fotón; su grado de respuesta depende de los materiales empleados y de la *longitud de onda* de trabajo.

3.3.1 Sensores ópticos

Un sensor óptico se basa en el aprovechamiento de la interacción entre la luz y la materia para determinar las propiedades de ésta, existen diferentes técnicas ópticas que pueden aplicarse a la medida de diferentes parámetros.

Podemos medir la atenuación-transmisión espectral de la luz al atravesar un determinado medio, lo que nos permitirá encontrar los elementos discretos presentes en ese medio y su concentración.

La eficiencia de un sensor óptico está relacionada con su responsividad, es decir, la cantidad de electrones que es capaz de generar en relación con los fotones recibidos, dicho de otra forma, es la corriente eléctrica que entrega a la salida en relación con la potencia óptica de entrada

Nombre	Descripción
Sallida	Respuesta del sensor al incidir la luz, medida en voltaje [V] o corriente[A]
Potencia	Potencia de la señal a la entrada o salida, medida en [W]
SNR	Seña de rango de ruido, adimensional.
NEP	Es la radiación que produce uan potencia de señal al a slaida de un sensor ideal, sin ruido, igual al a potencia de lruido del sensor real, se mide en [W]
D	La detectividad D representa la mínima señal óptica perceptible en el área sensible del fotodetector.
R	Responsividad, es la relación entre la señal de salida y la potencia de dicha señal.

Tabla 3.1 Características de los sensores ópticos

3.3.2 Fotómetros

Un fotómetro se puede definir como un instrumento empleado en la medición de la luz visible, los más comunes son los usados para medir la luminancia e iluminancia, a diferencia de los requeridos para la medición de flujo luminoso e intensidad luminosa no están ampliamente disponibles y por lo general tienen que ser adaptados a la aplicación específica de medición de la luz debido a la geometría de la medición de los involucrados.

La diferencia básica entre el radiómetro y el fotómetro, es que este último debe responder a la luz como el observador estándar CIE. En otras palabras, la respuesta espectral del fotómetro debe seguir la función de luminosidad Estándar $V(\lambda)$ CIE.

3.3.4 Tipos de fotómetros

Existen varios tipos de fotómetros, que carecen de filtro, como algunos de selenio y el sulfuro de cadmio, que heredan una respuesta espectral natural aproximada a la curva de $V(\lambda)$, sin embargo, su desviación de la curva de $V\lambda$ los hacen poco prácticos para la medición de la fotometría precisa. Los fotómetros modernos utilizan fotodiodos de silicio que incorporan filtros ópticos en frente del sensor de manera que la transmisión del filtro y la respuesta espectral del sensor se pueden combinar para que coincida estrechamente la curva CIE $V(\lambda)$.

CIE reconoció la necesidad de un método significativo y aplicable internacionalmente para especificar la calidad de un sensor fotométrico. Por lo tanto, el valor f_1 se ha desarrollado para este propósito. El valor de f_1 , se especifica en el porcentaje de error, representa el grado en que la responsividad espectral relativa CIE coincide con la curva de $V(\lambda)$.

3.3.5 Método de calibración

Al lado del valor f_1 , el método de calibración del fotómetro es también un factor importante al decidir su idoneidad para una aplicación específica. Por ejemplo, un fotómetro con un valor relativo f_1 puede lograr buenos resultados cuando la fuente de luz se mide y la lámpara estándar que se utiliza durante el proceso de calibración es similar.

Hay dos métodos básicos para calibrar los fotómetros. El primero y el método más común es el uso de una lámpara estándar (normalmente lámpara de tungsteno). Estas lámparas están certificadas y tienen trazabilidad a los laboratorios o instituciones nacionales de estándares. Los fotómetros se ajustarán hasta que la lectura de medición coincide con la salida de la certificación de la lámpara estándar. El segundo método de calibración es utilizar detectores estándar.

Estos detectores han incorporado en los sensores respuestas espectrales que coinciden perfectamente con la curva $V(\lambda)$ CIE. En dichas calibraciones, todavía se requiere una salida de lámpara, pero se puede variar, pero debe ser estable.

El detector estándar mide primero la salida de la lámpara, y es sustituido por el fotómetro y se ajusta hasta que la medición da lecturas similares a las del detector estándar. Estos detectores también pueden ser certificados y trazables a patrones nacionales.

3.3.6 Factor de corrección de color

La corrección de la combinación de detector de filtro a la curva de $V(\lambda)$ CIE es generalmente pobre en el extremo de la gama espectral visible. Por lo tanto, la temperatura de color de la lámpara que se utiliza durante la calibración es crítico.

Como la mayoría de los fotómetros están calibrados por una lámpara de tungsteno, la medición de reflectores incandescentes, halógenas y la luz solar, generalmente, dan una buena precisión, pero estos fotómetros no son adecuados para la medición de la luz monocromática o emisores de banda estrecha, por ejemplo, los LED de color azul y blanco, el error de medición también será importante en las lámparas de descarga, por ejemplo, tubos luminiscentes, que muestran picos claros (es decir, líneas espectrales) en el espectro visible.

Por esta razón, fotómetros modernos han incorporado una característica llamada factor de corrección de color para compensar el error causado por esta diferencia en la respuesta espectral entre el sensor y la curva $V(\lambda)$ CIE. El valor CCF se puede calcular cuando se conoce tanto la respuesta espectral del sensor y la distribución de energía espectral de la fuente de luz.

3.3.7 Aplicaciones de los fotómetros

Existen cuatro principales instrumentos fotométricos, el medidor de luminancia, el de iluminancia, el de flujo luminoso y el de intensidad luminosa.

La salida de energía visible de una fuente de luz se puede determinar con una medición de la luminancia. La luminancia es una cantidad direccional y, por lo tanto, tenemos que especificar el ángulo de aceptación del instrumento, área medida, y la geometría de medición con respecto a la fuente, con el fin de comunicar las mediciones de luminancia eficaz.

Tanto el campo de visión angular y el ángulo subtendido por la lente del objetivo se deben limitar para evitar recoger la luz de las partes de la pantalla en ángulos ligeramente diferentes.

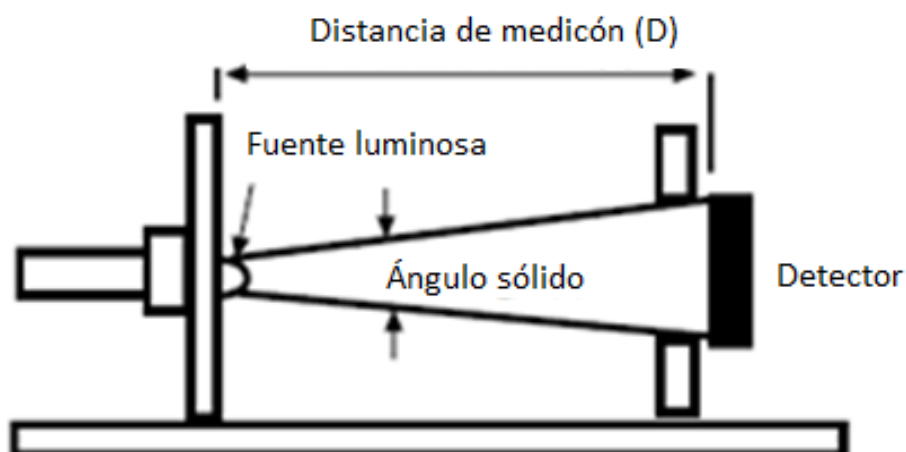


Figura 3.2 Técnica de medición de luminancia Fuente: Konika Minolta

3.3.8 Luxómetros

La Iluminancia es una medida de la energía visible que cae sobre la superficie de un objeto, este tipo de mediciones son particularmente susceptibles a los errores causados por la luz fuera del eje, por definición, la luz en el plano de medición debe ser proporcional al coseno del ángulo en el que la luz es incidente, debido a la total integración del sensor en la cabeza del detector o el propio medidor de iluminancia, si en nuestro sistema hay una distancia muy grande entre nuestra fuente de luz y el detector, este último no recoge la luz natural correctamente de acuerdo con la ley del coseno.

La función de corrección de coseno está incluido en el medidor de iluminancia por medio de un difusor de coseno que se coloca sobre el sensor y el filtro. Es importante tener en cuenta que los diferentes sistemas generarán diferentes respuestas coseno que dan lugar a diferentes errores de coseno en diferentes ángulos de incidencia debido a la naturaleza de la geometría del sistema, por lo tanto, es importante entender la respuesta coseno que presenta nuestro sistema cuando se comparan las mediciones de iluminancia de diferentes metros de iluminancia, especialmente cuando la medición de luz fuera del eje de referencia

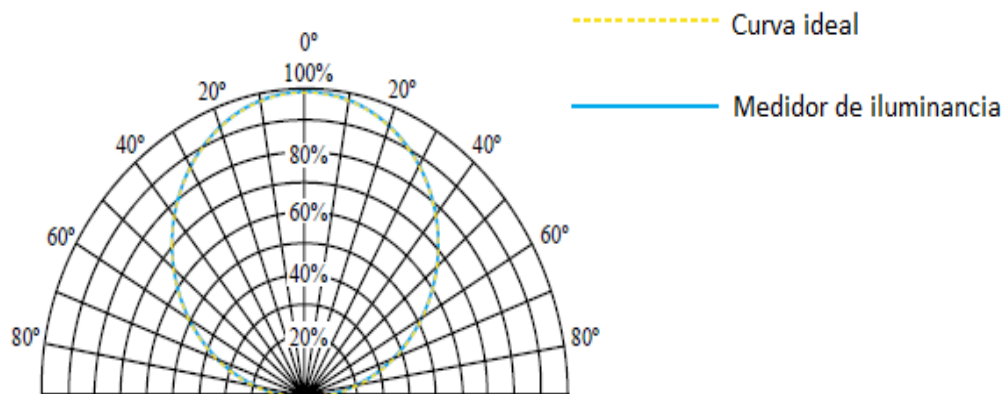


Figura 3.3 Ejemplo de la respuesta con una corrección de coseno de un medidor de iluminancia. Fuente: Konika Minolta

3.4 Colorímetros

Los instrumentos diseñados para medir la luz de color, que hacen uso de tres filtros cuya sensibilidad espectral se hacen coincidir con los valores tristímulos de color CIE y sus funciones de coincidencia, se conocen como colorímetros de tres filtros. Además de la medición de cromaticidad, estos medidores por lo general incluyen una de las cuatro mediciones fotométricas básicas, es decir, luminancia, iluminancia, intensidad luminosa, o medición de flujo luminoso.

Estos instrumentos utilizan detectores que comprenden fotodiodos de alta calidad con filtros conectados en serie. La luz incidente es convertida por el detector en señales que producen directamente los valores tristímulo XYZ estándar, para lograr una buena comparación con las curvas estándar CIE tristímulo es necesaria una precisión finita.

Las desviaciones se producirán en las curvas CIE definidas y en las curvas de sensibilidad del instrumento de medida.

Capítulo 3 Instrumentación Fotométrica

Estas diferencias son insignificantes, siempre y cuando la luz que debe medirse exhiba una función de distribución de energía continua sobre todo el espectro visible, considerando que el error puede ser significativo si los bordes empinados o líneas espectrales se producen en el espectro, por lo tanto, los colorímetros de tres filtros no suelen ser adecuados para medir las fuentes de luz con líneas espectrales, por ejemplo, lámparas de descarga con la distribución de energía espectral estrecha, por ejemplo, el LED.

3.5. Esferas Integradoras

El objetivo de la medición del flujo luminoso es determinar la energía visible total emitida por una fuente de luz. Una esfera de integración llamada esfera de Ulbricht se utiliza a menudo para converger toda la potencia emitida por la fuente a la cabeza del detector.

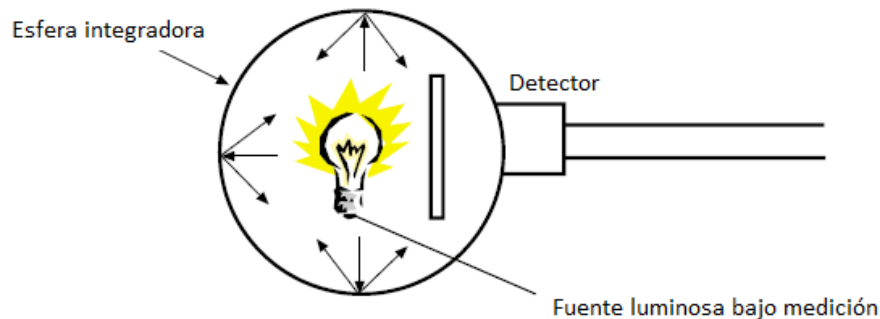


Fig. 3.4 Medición de flujo en una esfera integradora
Fuente: Konika Minolta

La esfera de integración tiene que ser lo suficientemente grande como para abarcar la fuente de luz que se está midiendo, y como regla general, cuanto mayor sea la esfera, el más pequeño de los errores en la medición de flujo luminoso para diferentes fuentes de luz.

Este tipo de instrumentos realiza una medición relativa en la cual compara la curva espectral obtenida contra una de referencia, con trazabilidad a estándares internacionales.

Una esfera integradora de buena calidad que espera un desempeño óptimo debe tener un interior perfectamente esférico, cubierto uniformemente con una pintura de alta reflectancia, con un índice mínimo del 80%.

Existen dos tipos de geometrías:

1. Geometría 2π , en este modelo, la medición se realiza con un montaje lateral de la fuente luminosa, sobre uno de sus costados.
2. Geometría 4π , en este modelo la medición se realiza en el centro de la esfera.

3.6 Fotogoniómetros

Un fotogoniómetro es un sistema que incluye un fotómetro y un goniómetro. Este último suele ser una aplicación de la robótica industrial correspondiente a un robot de dos grados de libertad, es decir con dos puntos de movimiento, uno sobre el plano horizontal y otro sobre el plano vertical

En él se realizan montajes de luminarios en un laboratorio de temperatura controlada, en el cual se realizan pruebas normalizadas a todo tipo de luminarios. El objetivo de las pruebas, llamadas fotometrías, es conocer la forma de la distribución luminosa y la medida de las intensidades luminosas alrededor de la fuente bajo prueba.

Con esta información es posible obtener diagramas como el isocandela e isolux, así como también la matriz de distribución de intensidades luminosas y en general, diagramas polares de intensidad en diferentes planos. Existen varios tipos o sistemas de montajes que cumplen el propósito de un fotogoniómetro y se describen a continuación.

Existen tres tipos de goniómetros basados en tres sistemas de referencia

3.6.1 Tipo A

En este sistema la medición se realiza con el eje horizontal fijo, y es comúnmente usado para realizar mediciones fotométricas en el campo de la iluminación automotriz

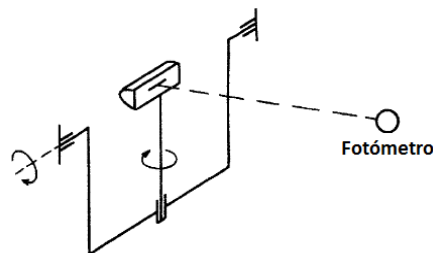


Figura 3.5 Sistema A. Fuente: Instrument systems

3.6.2 Tipo B

En este sistema la medición se realiza con el eje horizontal fijo, y es comúnmente usado para realizar mediciones fotométricas sobre luminarios tipo pantalla y proyector.

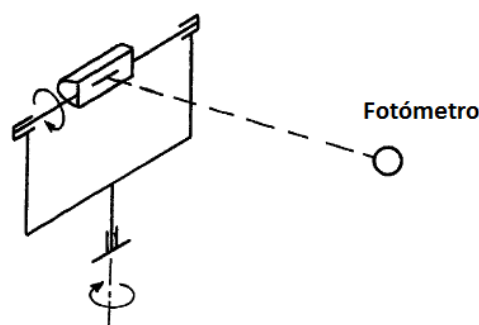


Figura 3.6 Sistema B. Fuente: Instrument systems

3.6.3 Tipo C

En este sistema la medición se realiza con el eje vertical fijo, y es el recomendado para realizar mediciones fotométricas en la LM-79, “ Mediciones eléctricas y fotométricas de luminarios de estado sólido”, publicado por la IES.

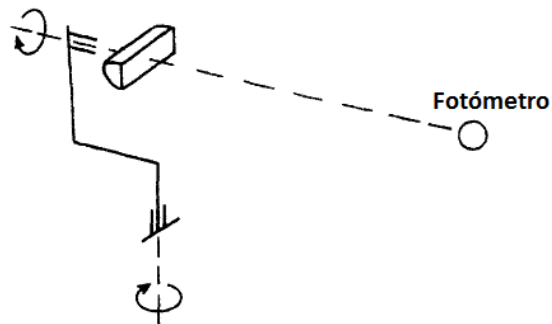


Figura 3.7Sistema C. Fuente: Instrument systems

Existen dos tipos de goniómetros tipo C, uno es el llamado de detector móvil, en el cual el detector sigue una trayectoria de exploración alrededor de la fuente, y el de tipo espejo en el cual el detector está fijo y la exploración de la fuente se realiza con un espejo que se mueve alrededor de ella.



Figura 3.8 Fotogoniómetro tipo C de espejo móvil Fuente: LMT

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

Las normas son parte de todo tipo de sistemas de gestión de servicios, nacen de la necesidad de estandarización de los parámetros involucrados en dichos servicios para la satisfacción del cliente o usuario final, son desarrolladas por expertos en el área, y reguladas por una institución gubernamental que las administra.

Los principales estándares que rigen el mundo de la iluminación son los establecidos por la CIE, que son de carácter precautorio, es decir que desarrollan patrones y métodos de prueba, los IES que son de carácter correctivo, analizan los estándares CIE, los mejoran y corrigen, otros estándares como el DIN, NEMA, ANSI, Energy Star están enfocados a los materiales empleados en su fabricación, así como la estandarización del mercado y la calidad y durabilidad de los mismos.

4.1 Estándares CIE

La CIE, por sus siglas, Commission Internationale de l'Eclairage, (Comisión internacional de la luz) es una institución europea que tiene los siguientes objetivos:

1. Proveer un foro internacional para la discusión de todas las materias relacionadas con la ciencia, la tecnología y el arte en los campos de la luz y la iluminación, y para el intercambio de información entre los países en esas materias.
2. Desarrollar patrones básicos y procedimientos metrológicos en el campo de la luz y la iluminación.
3. Proveer directivas en la aplicación de principios y procedimientos en el desarrollo de normas nacionales e internacionales en el campo de la luz e iluminación.
4. Proveer un foro internacional para la discusión de todas las materias relacionadas con la ciencia, la tecnología y el arte en los campos de la luz y la iluminación, y para el intercambio de información entre los países en esas materias.

Las siguientes normas son algunas de las publicadas por esta institución que son de gran apoyo para el Ingeniero en Iluminación

1. CIE 13.3 -1995. "Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources"

En esta norma tenemos una explicación para poder entender como el método para caracterizar fuentes de luz, obteniendo los valores de los parámetros como Índice de reproducción cromática, temperatura de color correlacionada, curva espectral, coordenadas cromáticas, composición espectral, entre otras.

2. CIE 15:2004. "Colorimetry"

Esta norma explica los fundamentos de la colorimetría, su desarrollo y la instrumentación adecuada para caracterizarla

3. CIE 18.2-1983. "The basis of physical photometry"

La CIE 13 profundiza en los conceptos de la fotometría como ciencia física

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

4. CIE 69-1987. "Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters: Performance, characteristics and specifications"

Esta norma es fundamental a la hora de decidir que tipo de sensor es necesario para el propósito de la medición de la luz.

5. CIE 70-1987. "The measurement of absolute luminous intensity distributions"

La CIE 70 complementa los conocimientos aprendidos en la CIE 18.2 y la CIE 69, denominando como absoluta aquella medición en la cual se realiza la exploración de una fuente luminosa sin comparar contra otra fuente de referencia, considerando todo el espacio en el cual se distribuye la luz, para conseguir su representación física.

6. CIE 121-1996. "The photometry and goniophotometry of luminaires"

En esta norma, se explican a detalle los tipos de sistemas empleados para medir luminarias, analizando sus sistemas de referencia.

7. CIE 127-2007. "Measurement of Leds"

Esta norma establece los sistemas más adecuados para realizar la medición de fuentes luminosas de estado sólido.

4.2 Estándares IES-ANSI

ANSI, por sus siglas American National Standards Institute (Instituto nacional americano de estándares) es el instituto norteamericano de normalización que coordina la elaboración y uso de normas acordadas como voluntarias en Estados Unidos.

Este tipo de normas implican un acuerdo entre aquellos a quienes concierne de forma sustantiva el alcance y las estipulaciones de la misma, y tiene por objeto servir de guía al fabricante, al consumidor y al público en general.

La IES por sus siglas, Illumination Engineering Society, (Sociedad de Ingeniería en iluminación) es una institución americana que tiene los siguientes objetivos:

1. Mejorar la iluminación en el medio ambiente reuniendo en Consejos Técnicos a todas las personas involucradas con el ramo de la iluminación, empleando todo ese conocimiento para acciones de beneficio social.
2. Comunicar la información sobre todos los aspectos de la práctica de una buena iluminación a la comunidad y a los consumidores a través de una variedad de programas, publicaciones y servicios

IES y ANSI, colaboran en algunos documentos para conformar las normas de interés, las siguientes normas son las básicas para la realización de este trabajo, aun cuando existen todas las referidas a la fotometría de todo tipo de luminarios, las siguientes son las más actuales y están referidas a la tecnología de estado sólido.

1. IES LM-63-08. "Approved Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information"

En este estándar, encontramos la manera de procesar los datos obtenidos en la exploración fotométrica y representarlos a través de una matriz de puntos que representa coordenadas entre los ángulos verticales y horizontales de exploración y las intensidades medidas en esos puntos, esta información se guarda en un archivo con extensión .ies que sirve para simular la salida de luz en sistemas de diseño de iluminación como el Dialux, Agi 32, Visual, entre otros.

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

2. IES LM-72-03. "Directional positioning of Photometric Data"

Esta norma nos habla de los tipos de posicionamiento existentes de acuerdo a los marcos de referencia convencionales para poder posicionar un luminario en un fotogoniómetro para su exploración, definiendo los ángulos necesarios para poder procesar los datos obtenidos como, θ , ángulo de orientación, T , ángulo de inclinación, R , ángulo de rotación, S , ángulo de giro.

3. IES LM-75-01. "Goniophotometer Types and Photometric types Coordinates"

En este estándar tenemos una clasificación de los tipos de fotogoniómetros, A, B, C, sus sistemas de referencia y las coordenadas características.

4. IES LM-79-08. "Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products"

Esta norma habla de cómo realizar las mediciones a los luminarios de tecnología de estado sólido, recomendando un método de prueba específico adoptado en todo el mundo, donde se toman consideraciones como el control de temperatura, humedad, movimiento y los sistemas correctos de medición.

5. IES LM-80-08. "Approved Method: Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources"

Hace referencia al método adecuado para poder evaluar la vida útil de fuentes de luz de estado sólido, determinando su mantenimiento de flujo luminoso, su vida y la degradación del color con el tiempo.

6. TM-15-11. "Luminaire Classification System for Outdoor luminaires"

Esta norma está definida como un memorándum técnico en el cual se hace referencia al nuevo sistema para clasificar a los luminarios para exteriores, cancelando la antigua clasificación, el interés de esta norma es que los luminarios que se ubican en exteriores no contribuyan a la contaminación lumínica.

7. ANSI-NEMA-ANSLG C78.377-2008. "Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products"

La cromaticidad expresada en el diagrama CIE permite determinar el color exacto de una fuente de luz a partir de dos coordenadas resultado de un análisis espectral radiométrico, este estándar busca dar los parámetros mínimos para que una luz de estado sólido o led sea eficiente.

4.3 Estándares nacionales

En la regulación nacional existen dos tipos de normativas, una es la llamada NOM, por sus siglas, norma oficial mexicana, la cual es una norma obligatoria respaldada por una Secretaría Oficial, y las NMX, por sus siglas normas mexicanas de carácter voluntario, siempre y cuando no se haga referencia a ella en una NOM, con lo cual pasa a ser obligatoria. Sus objetivos son regular la calidad en los productos y servicios en el mercado mexicano, ya sea por fabricantes nacionales o importadores, para proteger al consumidor final y mantener altos estándares de calidad.

Estas normas son creadas por especialistas en el área en organismos nacionales de normalización reconocidos por la Secretaría de Economía, o por el Secretario técnico de la Comisión Nacional de Normalización, son publicadas como proyectos en el Diario oficial de la Federación y son vigiladas por los Organismos de Certificación acreditados

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

Clave	Descripción	Fecha de publicación en el DOF
NOM-008-SCFI-2002	Sistema General de Unidades de Medida	24-10-2002
NOM-013-ENER-2004	Descripción: Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas.	19-04-2005
NMX-17025-ENER-2010	Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración	06-12-2010
NOM-030-ENER-2012	Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.	22-06-2012
NOM-031-ENER-2012	Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas.	11-12-2012

Tabla 4.1 Normas oficiales mexicanas de interés

A continuación mencionamos las normas principales de interés en este trabajo, las cuales son NMX-17025, que da la serie de pasos necesarios para administrar un laboratorio y las NOM 30 y 31, que tienen como objetivo principal establecer las especificaciones que deben cumplir los luminarios de estado sólido (LED), como temperatura de color correlacionada, índice de reproducción cromática, eficiencia, mantenimiento luminoso y vida útil, información de etiqueta y métodos de prueba, no se presentan todas las tablas correspondientes, sólo las más características.

4.3.1 NMX-17025-ENER-2010 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración

Esta norma propone una serie de requisitos para laboratorios interesados en demostrar que están operando de acuerdo con los requerimientos establecidos por este documento.

Estos fueron:

- a. Requisitos administrativos (sistema de calidad).
- b. Requisitos técnicos

- **Requisitos administrativos:** conforman el llamado sistema de gestión, también llamado sistema de calidad.

I. Organización

- Contar con personal para identificar desviaciones en el sistema de calidad, e iniciar acciones para prevenir o minimizarlas.
- Contar con políticas y procedimientos para asegurar protección de información (almacenamiento y transmisión electrónica)

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

- Designar personal sustituto para el personal directivo clave.
- II. Sistema de calidad**
- Implantar un sistema de calidad adecuado para el alcance de sus actividades.
 - Documentar políticas, programas, procedimientos e instrucciones en la extensión necesaria para asegurar calidad.
 - Declarar una política de calidad.
- III. Control de documentos**
- Especificar la clase de documentos que deben ser controlados.
 - Elaborar una lista maestra u otro documento para evitar el uso de documentos obsoletos o invalidados.
 - Los documentos deben identificarse con elementos específicos.
 - Procedimientos para explicar cómo se hacen y controlan los cambios en documentos conservados electrónicamente.
- IV. Revisión de solicitudes, ofertas y contratos.**
- Contar con procedimientos para revisión de solicitudes, ofertas y contratos.
 - Resolver cualquier diferencia entre la solicitud y el contrato antes de iniciar algún trabajo.
 - Conservar registros de las revisiones, incluyendo cualquier tipo de cambio.
 - El proceso de revisión de contrato se repite cuando éste hay modificaciones después de haber iniciado los trabajos.
- V. Subcontratación de ensayos / calibraciones**
- Contar con las consideraciones para llevar a cabo subcontratación de servicios con laboratorios competentes.
 - El laboratorio no es responsable ante el cliente cuando éste o una autoridad regulatoria especifican qué contratista debe ser utilizado.
 - Conservar un registro de todo lo subcontratistas utilizados.
- VI. Adquisición de servicios y suministros.**
- Política y procedimientos para la selección de adquisición de servicios y / o suministros.
 - Los suministros comparados que afectan la calidad no serán usados hasta comprobar que cumplen con especificaciones o requisitos.
 - Evaluar a los proveedores de consumibles y servicios que afectan la calidad de los ensayos y calibraciones.
 - Conservar registros de la evaluación de proveedores.

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

VII. Servicio al cliente.

- Cooperar con los clientes para aclarar sus solicitudes.
- Permitir al cliente un adecuado seguimiento del desempeño de laboratorio durante la realización de los servicios.

VIII. Quejas

- Política y procedimientos para atención de quejas.
- Conservar registros.

IX. Control del trabajo de ensayo y o calibración no conforme.

- Política y procedimientos para implantar cuando existen no conformidades con procedimientos o requisitos del cliente.
- Hacer una evaluación de la importancia del trabajo no conforme.
- Llevar a cabo procedimientos de acción correctiva al detectar posible recurrencia de no conformidades.

X. Acción correctiva.

- Política, procedimiento y designación de responsabilidades para implantar acciones correctivas.
- Investigación para determinar las causas.
- Acciones correctivas adecuadas a la magnitud del problema.
- Aplicar auditorías adicionales

XI. Acción preventiva.

- Identificar las fuentes potenciales de no conformidades técnicas o administrativas.
- Procedimientos con aplicación de controles para asegurar la efectividad

XII. Control de registros.

- Procedimiento para identificación, acceso y mantenimiento de registros técnicos y administrativos.
- Procedimiento para respaldo de registros al macenados electrónicamente.
- Requisitos específicos para control de registros técnicos.
- Requisitos específicos para corregir errores durante registro.

XIII. Auditorías internas.

- Procedimiento para realizar auditorías periódicas. dirigidas a todos los elementos del sistema de calidad, incluyendo actividades de ensayo y / o calibración, siempre que sea posible, realizadas por personal independiente de la actividad a ser auditadas.
- Registro y verificación de las acciones correctivas aplicadas como seguimiento de la auditoría.

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

XIV. Revisión de la dirección.

- La dirección conducirá revisiones al sistema de calidad del laboratorio, con el objetivo de registrar hallazgos y acciones derivadas de las revisiones

- Requisitos técnicos.

I. Generalidades

- Factores que determinan el desarrollo de las actividades de laboratorio.
- Tomar en cuenta los factores para desarrollar métodos y procedimientos relacionados con la competencia de laboratorio.

II. Personal.

- Personal calificado con base en la educación apropiada, capacitación y destreza, según sea necesario.
- Política y procedimiento para identificar las necesidades de capacitación.
- Autorizar personal específico para tipos especiales de actividades

III. Instalaciones y condiciones ambientales

- Las condiciones ambientales no deben afectar adversamente la calidad de los servicios.
- Detener las actividades de laboratorio cuando las condiciones ambientales comprometan los resultados.
- Mantenimiento adecuado, el cual puede incluir procedimientos especiales

IV. Métodos de ensayo y calibración

- Actividades que deben incluir los procedimientos de ensayo y o calibración.
- Instrucciones para uso y operación de equipo cuando sea necesario.
- Satisfacer las necesidades del cliente utilizando métodos basados preferentemente en normas.
- Aplicar métodos publicados en normas, textos o publicaciones científicas (según especificaciones de los fabricantes).
- Acuerdo con el cliente cuando se requieren métodos no considerados por un método normalizado.
- Validar métodos no normalizados, desarrollados por el laboratorio, o fuera de su alcance propuesto. Los parámetros obtenidos de la validación, deben ser relevantes con las necesidades del cliente.
- Cualquier laboratorio que realice calibraciones propias, debe tener un procedimiento para cálculo de incertidumbre.

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

- Los laboratorios de ensayo deben calcular la incertidumbre.

V. **Equipo**

- Antes de ser puesto en servicio, el equipo utilizado debe ser calibrado o verificado.
- Requisitos específicos para el registro de cada equipo y su software
- Para equipos que presentan resultados dudosos, examinar el efecto de las desviaciones e iniciar la aplicación del procedimiento para control de trabajo no conforme.
- Proteger el equipo de ajustes que puedan in-validated los resultados.

VI. **Trazabilidad de la medición.**

- Calibrar todo el equipo usado, incluyendo el usado para mediciones auxiliares (condiciones ambientales) si tienen un efecto significativo con valores patrón de Laboratorios de calibración con trazabilidad a las unidades de medición del sistema internacional de unidades (SI).
- Requisitos específicos cuando las calibraciones no pueden ser hechas con magnitudes del (SI).
- Usar materiales de referencia con trazabilidad a unidades del (SI) o materiales certificados.
- Usar materiales internos debe ser verificados de una forma técnica y económicamente factible.
- Todo los patrones utilizados deben ser verificados (no calibrados), para conservar la confianza en el estado de calibración

VII. **Muestreo.**

- Siempre que sea razonable, utilizar planes de muestreo basados en métodos estadísticos apropiados.
- Registrar cualquier desviación que el cliente solicite.
- Requisitos específicos para los registros durante el muestreo.

VIII. **Manejo y transporte de los elementos de en-sayo y calibración.**

- Procedimientos para el manejo y transporte de los elementos de ensayo y calibración durante todo el proceso.
- Debe existir un sistema para identificar los elementos.
- Registrar la discusión con el cliente cuando se en presentan desviaciones a las condiciones normales especificadas

IX. **Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración.**

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

- Procedimientos para supervisar la validez de los ensayos y calibraciones.
- Sugerencias para lograr una supervisión adecuada.

X. Informe de resultados

- Elementos mínimos que debe contener un informe de ensayo o calibración.
- Elementos adicionales específicos para informes de ensayo.
- Elementos adicionales que específicos para informes de calibración.
- Se debe tomar en cuenta la incertidumbre de la medición, para hacer cualquier declaración de conformidad.
- Se permiten opiniones e interpretaciones, siempre que se documenten las bases y fundamentos.
- Cualquier modificación o enmienda a un informe emitido, sólo puede hacerse con un documento adicional.

4.3.2 NOM-030-ENER-2012 Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.

Esta norma oficial mexicana establece las especificaciones para las lámparas de LED integradas para iluminación general, es decir los valores mínimos con los que debe cumplir según su clasificación, así como los métodos de prueba aplicables para comprobar las mismas. Para su clasificación, usa su distribución espacial de luz, es decir si son omnidireccionales (tipo foco) o direccionales (tipo reflector), a continuación se muestran las tablas con los valores mínimos, según su clasificación

Intervalo de flujo luminoso total nominal (lm)	Eficacia luminosa mínima (lm/W)
Menor o igual que 150	
Mayor que 150 y menor o igual que 300	40
Mayor que 300	
Menor o igual que 325	50,00
Mayor que 325 y menor o igual que 450	50,00
Mayor que 450 y menor o igual que 800	55,00
Mayor que 800 y menor o igual que 1 100	55,00
Mayor que 1 100 y menor o igual que 1 600	60,00
Mayor que 1 600	60,00

Tabla 4.2 Eficacia luminosa mínima para lámparas LED integradas omnidireccionales con forma de bulo A, BT, P, PS y T. Fuente: DOF

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

TCC nominal (K)	Tolerancia de la TCC (K)
2 700	Mayor o igual que 2 580 y menor que 2 870
3 000	Mayor o igual que 2 870 y menor que 3 220
3 500	Mayor o igual que 3 220 y menor que 3 710
4 000	Mayor o igual que 3 710 y menor que 4 260
5 000	Mayor o igual que 4 745 y menor que 5 311
6 500	Mayor o igual que 6 200 y menor que 7 040

Tabla 4.3. Temperatura de color correlacionada. Fuente DOF

Vida útil nominal (h)	Flujo luminoso total mínimo mantenido (%)
Menor que 15 000	83,2
Mayor o igual a 15 000 y menor que 20 000	86,7
Mayor o igual que 20 000 y menor que 25 000	89,9
Mayor o igual que 25 000 y menor que 30 000	91,8
Mayor o igual que 30 000 y menor que 35 000	93,1
Mayor o igual que 35 000 y menor que 40 000	94,1
Mayor o igual que 40 000 y menor que 45 000	94,8
Mayor o igual que 45 000 y menor que 50 000	95,4
Mayor o igual que 50 000	95,8

Tabla 4.4. Flujo luminoso total mínimo mantenido para las lámparas de LED integradas omnidireccionales. Fuente DOF

Diámetro (cm)	Eficacia luminosa mínima (lm/W)
Menor o igual que 6,35	40
Mayor que 6,35	45

Tabla 4.5. Eficacia luminosa mínima de las lámparas de LED integradas direccionales con forma de bulbo BR, ER, MR, PAR y R. Fuente DOF

4.3.3 NOM-031 ENER-2012 Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas.

En esta norma se establece las especificaciones de eficacia luminosa para los luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas y los métodos de prueba aplicables.

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

Aplicación del luminario	Eficacia luminosa mínima [lm/W]	Porcentaje de flujo luminoso en la zona respecto al flujo luminoso total
Pared	52	No más del 48 % hacia enfrente en la zona de 60 y 80° No más del 3% hacia enfrente en la zona de 80 y 90° (FVH) 0% en la zona de 90 y 100° (UL) y en la zona de arriba de 100° (UH)
Pste	70	Al menos el 30% hacia enfrente y hacia atrás en la zona de 60 y 80° (FH+BH) No más del 20% arriba de 80° (FVH + BVH +UL + UH)

Tabla 4.6 Valores de eficacia luminosa mínima y flujo luminoso total para luminarios de exteriores. Fuente: DOF

Ángulo respecto a la vertical	Flujo luminoso de deslumbramiento máximo	
	En lúmenes[lm]	Respecto al flujo luminoso total [%]
Entre 60 y 80° lado calle (FH)	12 000	48
Entre 60 y 80° lado casa (BH) [Asimétrico]	5 000	20
Entre 60 y 80° lado casa (BH) [Simétrico]	12 000	48
Entre 80 y 90° lado calle (FVH)	750	3
Entre 80 y 90° lado casa (BVH)	750	3
Entre 90 y 100° lado calle y lado casa (UL)	1 000	4
Entre 100 y 180° lado calle y lado casa (UH)	1 000	4
Entre 0 y 30° lado casa (BL)	5 000	20
Entre 30 y 60° lado casa (BM)	8 500	34

Tabla 4.7 Valores máximos de deslumbramiento Fuente DOF

4.4 Interpretación de datos

Un luminario es un dispositivo que se utiliza para controlar y dirigir el flujo luminoso generado por una o más lámparas contenidas en su interior. Las aplicaciones de los luminarios se dividen según su uso y aplicación, hay del tipo para interiores y exteriores, donde los destinados al alumbrado público merecen especial interés.

En este punto el término “Fotometría” se usa para definir cualquier información de prueba que describa las características de la salida de luz de un luminario. Existen dos tipos de fotometría, la absoluta y la relativa.

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

La fotometría relativa es la forma tradicional de evaluar los luminarios, es decir realizando una exploración de las lámparas en la forma en que se encuentran dentro del luminario para posteriormente evaluar el luminario con su fuente de luz para determinar su eficiencia, definida como el cociente del flujo total de salida del luminario entre el flujo total de las lámparas.

La fotometría absoluta es la exploración de un luminario sin separarlo de su fuente de luz y es la manera adecuada de realizar la fotometría para un luminario de estado sólido, ya que se considera un módulo integral, donde la fuente de luz no se puede separar del cuerpo del luminario que muchas veces hace la vez de disipador. La salida de su luz se clasifica de acuerdo a los estándares de la CIE, donde el flujo total se divide en porcentajes hacia arriba o abajo, como lo muestra la siguiente figura.

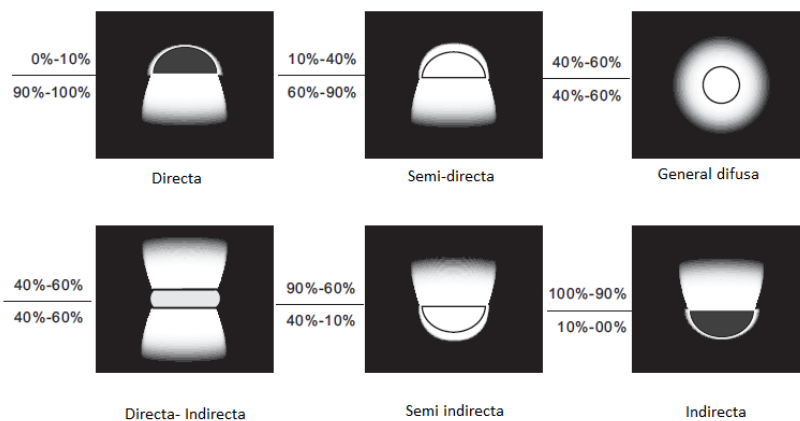


Fig. 4.1 Clasificación CIE de la salida luminosa de un luminario. Fuente CIE

4.4.1 Parámetros fotométricos

Tras realizar la exploración fotométrica de un luminario para obtener su distribución luminosa, es necesario definir cuál es el tratamiento para los datos obtenidos. El tipo de información que se obtiene se encuentra dividido en dos tipos, en parámetros eléctricos y fotométricos, mostrados en la siguiente tabla.

Parámetros Eléctricos	Parámetros Fotométricos
Tensión de operación, es el voltaje de línea con el cual se realizó la prueba [V]	Salida de flujo luminoso en [lm]
Corriente de alimentación [A]	Valor de intensidad máxima [Cd]
Potencia consumida[W]	Eficiencia de luminario, expresada como la relación entre el flujo de lámparas y el flujo de salida de luminario, este parámetro no aplica para luminarios de estado sólido.
Armónicos generados en Voltaje y corriente	Tipo de salida de luz, de acuerdo a la clasificación CIE
Factor de potencia	Angulo de apertura del haz principal
	Eficiencia luminosa, [lm/W]

Tabla .4.8 Parámetros fotométricos

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

4.4.2 Curva de Distribución Fotométrica

El flujo luminoso emitido de una fuente luminosa complementado con la luminaria no es evidentemente uniforme, cuando se efectúa el cálculo de la iluminación de una instalación es muy importante saber como una cierta fuente de luz distribuye la luz en el espacio circundante.

Cada lámpara o luminaria está caracterizada por un “diagrama polar de la intensidad luminosa” (llamado también curva fotométrica), donde a través de un diagrama polar, tenemos una grafica que corresponde a un corte transversal de la salida total de la salida de luz., esto es gracias a que la fuente luminosa se reduce en forma ideal a un punto que se encuentra al centro del eje vertical.

A partir de tal punto la intensidad luminosa se da por un gran número de direcciones por medio de las cuales es posible trazar una curva que representa el diagrama polar.

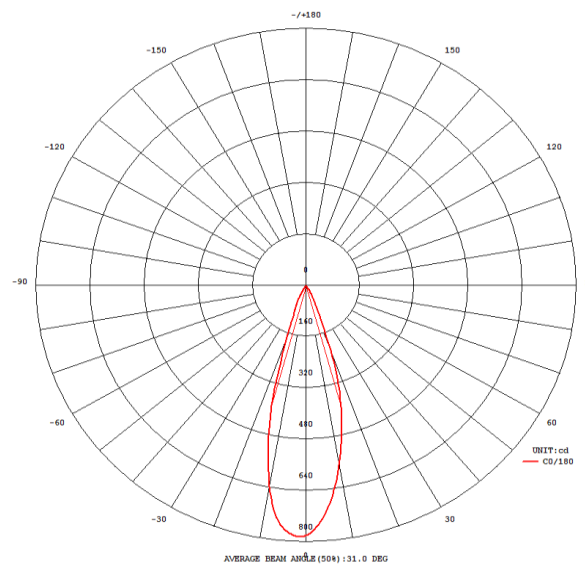


Figura 4.2 Curva de distribución de intensidad luminosa. Fuente: Everfine

4.4.3 Coeficiente de Utilización (CU)

El coeficiente de utilización se refiere al número de lúmenes que finalmente alcanzan el plano de trabajo en relación a los lúmenes totales generados por la lámpara.

Los valores de CU son necesarios para calcular los niveles de iluminancia promedio y son provistos de dos maneras: una tabla de CU o una curva de utilización, por lo general, la curva de utilización se provee para luminarios de uso exterior o unidades con una distribución asimétrica.

La tabla de CU se provee para luminarios que se usan principalmente en interiores con curva de distribución simétrica, donde se aplica el método de Lumen (cavidad zonal).

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

ρ_w	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0
ρ_{fc}	20%			20%			20%			20%			20%			0
RCR	RCR:Room Cavity Ratio						Coefficients of Utilization(CU)									
0.0	.45	.45	.45	.44	.44	.44	.42	.42	.42	.40	.40	.40	.38	.38	.38	.37
1.0	.41	.40	.40	.41	.40	.39	.39	.38	.38	.38	.37	.37	.36	.36	.36	.35
2.0	.39	.37	.36	.38	.36	.35	.37	.36	.35	.36	.35	.34	.35	.34	.33	.32
3.0	.36	.34	.32	.35	.34	.32	.34	.33	.32	.33	.32	.31	.33	.32	.31	.30
4.0	.33	.31	.30	.33	.31	.30	.32	.31	.29	.31	.30	.29	.31	.30	.29	.28
5.0	.31	.29	.27	.31	.29	.27	.30	.28	.27	.30	.28	.27	.29	.28	.27	.26
6.0	.29	.27	.25	.29	.27	.25	.28	.26	.25	.28	.26	.25	.27	.26	.25	.24
7.0	.27	.25	.23	.27	.25	.23	.27	.25	.23	.26	.24	.23	.26	.24	.23	.22
8.0	.26	.23	.22	.25	.23	.22	.25	.23	.22	.25	.23	.22	.24	.23	.21	.21
9.0	.24	.22	.20	.24	.22	.20	.24	.22	.20	.23	.21	.20	.23	.21	.20	.20
10.0	.23	.20	.19	.23	.20	.19	.22	.20	.19	.22	.20	.19	.22	.20	.19	.18

Figura 4.3 Tabla de coeficientes de utilización

4.4.4 Diagrama y tablas Isocandela e Isolux

Estas tablas se usan para describir el patrón de luz sobre el plano de trabajo cuando un luminario produce una distribución no simétrica. Estas tablas se derivan de la información de la potencia en candelas) y muestran gráficas o líneas de igual valor en luxes o candelas sobre el plano de trabajo, cuando el luminario está en la altura de montaje designado.

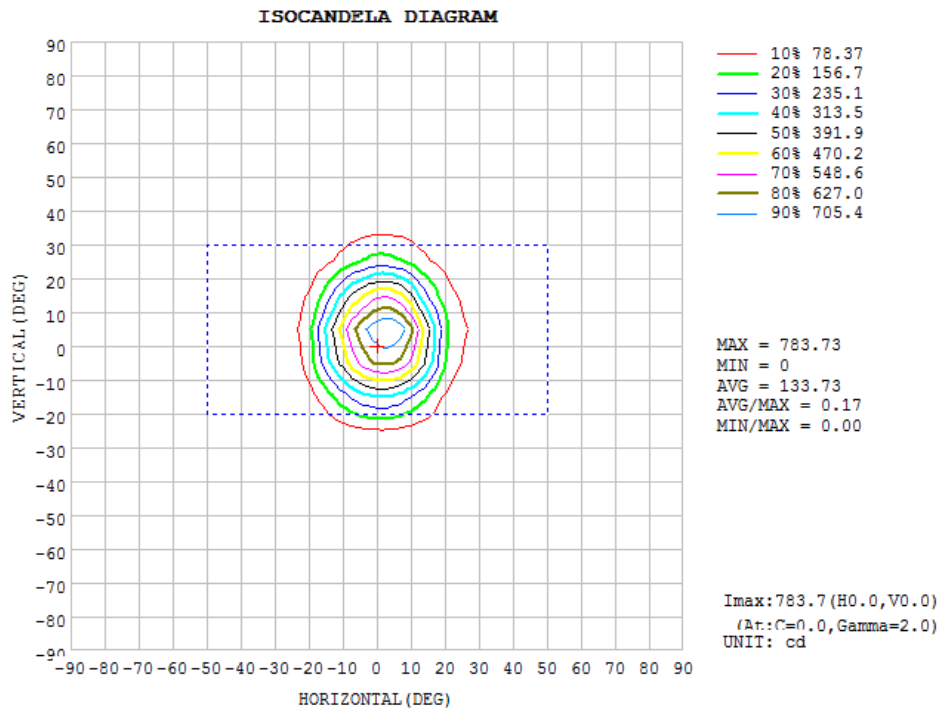


Figura 4.4 Diagrama Isocandela. Fuente: Everfine

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

4.4.5 Gráfica LCS

Por sus siglas, LCS, (luminaire classification system) Sistema de iluminación para exteriores, se encuentra explicado a detalle en TM-15-11, esta gráfica es de carácter obligatorio para reportes sobre luminarios de alumbrado público, y nos sirve para evaluar la eficiencia fotométrica del luminario, es decir ver que tan bien direcciona su luz, buscando que sea hacia enfrente, siendo que este tipo de luminarios para exteriores, buscan tener poco o cero deslumbramiento hacia arriba, comúnmente se divide en dos áreas, lado casa y calle.

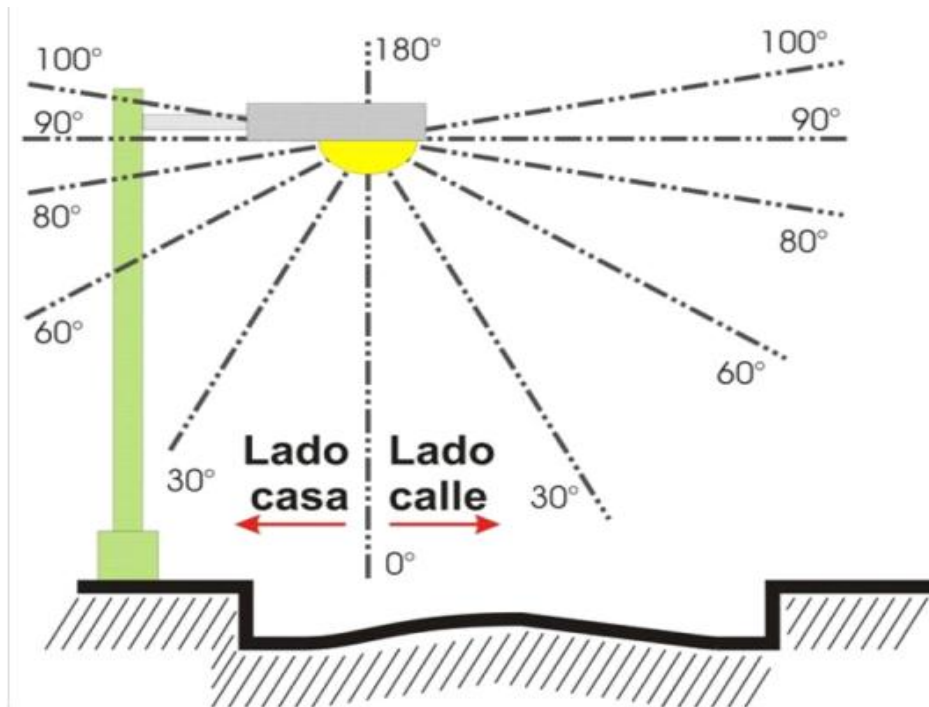


Figura 4.5 Gráfica LCS. Fuente: DOF

4.4.6 ARCHIVOS IES

Un archivo IES es el formato de archivo estándar que fue creado para la transferencia electrónica de datos fotométricos, en un archivo portátil para poder ser evaluado en un software de diseño de iluminación, como Dialux, Relux, Agi 32, etc.

El estándar que lo regula es el IES LM-63, Standard file format for electronic transfer of photometric data, donde se describe el formato que debe tener el archivo para la transferencia electrónica de datos fotométricos, este formato debe de contener una serie de datos obligatorios, que pueden ser revisados o ingresados desde un block de notas, siendo los más importantes los referidos en los siguientes campos o etiquetas

Capítulo 4. Normatividad e interpretación de datos

[TEST]	Fecha y numero de prueba que se realizo
[TESTLAB]	Nombre del laboratorio que realizo la prueba
[TESTDATE]	Fecha en la que se realizo la prueba
[IUSSEDATE]	Fecha y hora en la que se realizo la prueba
[LAMPPOSITION]	Posición inicial de la lámpara dentro de la luminaria
[MANUFAC]	Empresa que manufacturo la luminaria o lámpara
[LUMPCAT]	Categoría de la lámpara

Si tomamos un archivo y lo ejecutamos en un software como Dialux tendremos una representación 3D que se muestra en la siguiente figura.



Figura 4.6 Representación en 3D de un archivo .IES

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

5.1 ¿Qué es un laboratorio de iluminación?

Un laboratorio de iluminación es un laboratorio de ensayos donde se realizan diferentes tipos de pruebas para luminarios y lámparas de diferentes tecnologías, cumpliendo con la normatividad correspondiente

Está conformado a su vez por secciones o sub laboratorios que se dedican a pruebas o ensayos específicos para evaluar lámparas y luminarios, las cuales son:

- Laboratorio de Fotometría
- Laboratorio Eléctrico
- Laboratorio Térmico
- Laboratorio de Pruebas Mecánicas y Ambientales
- Laboratorio de pruebas temporales

5.1.1 Laboratorio de Fotometría

Este laboratorio es el de interés al presente trabajo, de manera general está equipado con esferas integradoras de diferentes tamaños, acopladas con espectroradiómetros y un fotogoniómetro tipo C de espejo móvil y fotodetector con una distancia de prueba mínima entre el fotogoniómetro y el sensor de 7m, ambos equipos entregan resultados exactos y no tiene restricciones en cuanto al tipo de luminario, ni al tipo de lámpara bajo prueba.

El movimiento del espejo es rápido, seguro y completamente automático, éste gira 360° verticales y el cabezal rota el luminario 360° horizontales, midiendo hasta 72 planos de información al momento de la prueba, las lecturas del sensor son enviadas directamente a la computadora para el cálculo, análisis y generación de los reportes de prueba y archivos .ies.

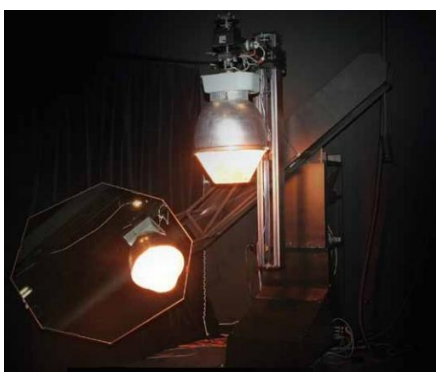


Figura 5.1 Fotogoniómetro en funcionamiento. Fuente Holophane

5.1.2 Laboratorio Eléctrico

En un laboratorio de este tipo, se cuenta con con un Probador de Balastos y otros equipos para mediciones eléctricas de seguridad, que tienen como objetivo medir las características eléctricas de diseño y operación de los balastos y controladores para dispositivos de estado sólido para determinar los siguientes parámetros:

Tensión, corriente y potencia de línea; tensión, corriente y potencia de lámpara; distorsión total de armónicas, curvas características, factor de cresta, factor de

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

potencia, corriente de arranque, corriente de fuga, resistencia de aislamiento, riesgo de capacitores cargados, potencial aplicado, incremento de temperatura de balastos (método de termopar y método de resistencia) y nivel básico de aislamiento al impulso.



Figura 5.2 Analizador de balastos y drivers.

5.1.3 Laboratorio Térmico

En esta sección encontramos una cámara para pruebas de temperatura, donde los luminarios y sus componentes son sometidos a condiciones de altas temperaturas muy por arriba de las condiciones a las que normalmente estarán expuestos en las áreas de trabajo donde se instalarán.

5.1.4 Laboratorio de Pruebas Mecánicas y Ambientales

Este laboratorio sirve para evaluar el nivel de resistencia física de los luminarios, por lo que en esta sección encontramos máquina de vibración, cámara de polvo, cámara de niebla salina, horno, torquímetro, cámara de lluvia, impactómetro, durómetro, probador de dureza de pintura, medidor de espesores ferrosos y no ferrosos, micrómetro, calibrador pie de rey con vernier, entre otros.

Las pruebas más significativas son:

1. **Vibración:** el luminario se monta sobre una mesa de vibración donde se simulan los efectos de la fatiga causada por la vibración, la cual es causa principal de fallas estructurales en los equipos de iluminación sujetos a las vibraciones causadas por el viento y el tráfico pesado de vehículos.
2. **Lluvia:** el luminario se introduce en una cámara de lluvia para evaluar la hermeticidad al agua en los luminarios de uso exterior, el sistema de aspersión de agua de ciclo cerrado está diseñado de acuerdo a la norma NOM-064, con una capacidad especial de bombeo y aspersión de agua cuya potencia es de 35 kPa. Una vez terminada esta prueba los luminarios son sometidos a la prueba de 500 V c.d. para determinar su resistencia de aislamiento el cual debe ser mayor o igual a 2 MΩ.

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

3. **Polvo:** el luminario se introduce en una cámara de polvo para evaluar la hermeticidad al polvo de los luminarios diseñados y clasificados como herméticos, ya sean para uso interior o exterior.
4. **Corrosión:** el luminario se coloca dentro de una cámara de niebla salina para evaluar la resistencia a la corrosión de todos los componentes del luminario garantizando el desempeño y operación de los mismos cuando son instalados en áreas de trabajo bajo condiciones ambientales altamente corrosivas.

El proceso de la prueba consiste en utilizar una solución salina (5% de cloruro de sodio en agua) a una temperatura de 35 °C, las piezas estarán colocadas dentro de la cámara con un ángulo de inclinación de 15° y con una incisión en forma de cruz, en estas condiciones la prueba puede desarrollarse por periodos que van desde 100h hasta 1,000h dentro de la cámara salina.

5.1.5 Laboratorio de Pruebas Temporales

Este laboratorio cuenta con los equipos necesarios para realizar la maduración y estabilización de lámparas que serán usadas posteriormente en las pruebas eléctricas y fotométricas. También realiza pruebas a conjuntos balastro-lámpara-luminario con el propósito de evaluar su desempeño y funcionamiento durante periodos extensos que conlleven a verificar la aprobación de los conjuntos ópticos y módulos de potencia.

5.2 EMA y el proceso de acreditación

EMA, por sus siglas Entidad Mexicana de Acreditación es la encargada de acreditar un laboratorio reconociendo la competencia técnica y confiabilidad de los laboratorios de ensayo, de calibración, clínicos organismos de inspección y certificación para la Evaluación de la Conformidad

5.2.1 Terminología básica

A continuación mencionamos los términos más comunes para situar el contexto de este trabajo.

La **Acreditación** es el reconocimiento oficial de la competencia técnica de laboratorios de prueba de laboratorios de pruebas para generar resultados confiables. Requiere de una evaluación de tercera parte relativa a un organismo de evaluación de la conformidad (OEC), en este caso un laboratorio, que manifiesta la demostración formal de su competencia para llevar a cabo tareas específicas de evaluación de la conformidad.

La **acreditación** es el acto que da la seguridad y avala que los laboratorios de calibración y/o ensayo, unidades de y/o ensayo, unidades de verificación (organismos de inspección) y organismos de certificación ejecutan las regulaciones, normas o estándares correspondientes con precisión para que comprueben, verifiquen o certifiquen los productos y servicios que consume la sociedad

Un **Sistema de gestión** es el que designa los sistemas de la calidad, administrativos y técnicos, que rigen las actividades de un laboratorio.

- CERTIFICACION
- SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD
- PRODUCTO

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

- La **ley federal de metrología y** normalización es el fundamento y marco legal

La **Dirección General de Normas-** SENER es quien en el pasado realizaba en México la acreditación de los organismos de evaluación de la conformidad era el gobierno federal a través de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (hoy Secretaría de Economía).

A partir de la publicación, el 15 de enero de 1999, en el Diario Oficial de la Federación de la autorización de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, EMA comienza a operar como el primer órgano acreditador en México

En México, la Entidad Mexicana de Acreditación regula

- Laboratorios de pruebas
- Laboratorios de Calibración
- Unidades de verificación
- Organismos de Certificación
- Certificación:
 - SGS
 - CALMECAC
 - ANCE
 - NYCE

Otorgando reconocimientos de certificación o acreditación a aquellos laboratorios que cumplan con el sistema de gestión de ensayos o métodos oficiales o propios para siempre que la evaluación de la conformidad de Normas Oficiales Mexicanas y sus referencias sean cumplidas para dar certidumbre a las mediciones que realicen para asegurar la confiabilidad de los resultados.

La norma de referencia para la acreditación es la NMX--EC--17025--IMNC--2006 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración". La certificación es la evaluación de los procesos administrativos y técnicos apegados a las normas ISO. La certificación la evalúan organismos internacionales y algunos nacionales.

En México existen 24 Organismos de certificación para la evaluación de Sistemas de Gestión de la Calidad En la certificación hay evaluación del sistema de gestión de la calidad. No demuestra por si solo la competencia del laboratorio para producir datos y resultados solo la competencia del laboratorio para producir datos y resultados técnicamente válidos.

El proceso de acreditación ante la EMA consta de 20 etapas que se muestran en la siguiente tabla.

No.	Nombre del proceso
1	INICIO DEL PROCESO DE EVALUACIÓN
2	DESIGNACIÓN DEL GRUPO EVALUADOR
3	EVALUACIÓN DOCUMENTAL
4	COORDINACIÓN DE LA LOGISTICA DE EVALUACIÓN EN SITIO
5	EVALUACIÓN EN SITIO
6	DICTAMINACIÓN
7	REVISIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS
8	SEGUIMIENTO POR RESULTADOS NO SATISFACTORIOS EN ENSAYOS DE APTITUD

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

9	SEGUIMIENTO POR QUEJAS Y/O RECLAMACIONES
10	EVALUACIONES DE VIGILANCIA
11	VISITA DE MONITOREO DEL DESEMPEÑO DEL LABORATORIO
12	REEVALUACIÓN DE LA ACREDITACIÓN
13	AMPLIACIÓN Y/O ACTUALIZACIÓN DE LA ACREDITACIÓN
14	SUSPENSIÓN DE LA ACREDITACIÓN
15	REDUCCIÓN DE LA ACREDITACIÓN
16	RETIRO (CANCELACIÓN) DE LA ACREDITACIÓN
17	COMITÉS Y SUBCOMITÉS DE EVALUACIÓN, COMISIONES DE OPINIÓN TÉCNICA Y COMISIONES PARA LA SUSPENSIÓN Y CANCELACIÓN DE LA ACREDITACIÓN
18	APELACIONES Y QUEJAS
19	APROBACIÓN
20	TRANSITORIO

Tabla 5.1 Pasos del proceso de Acreditación

Para fines de este documento, no veremos la totalidad de estos pasos, solo los principales y primeros necesarios para realizar el proceso.

5.2.2 NMX--EC--17025--2006--REQUISITOS PARA GESTIÓN

Para cumplir con estos requisitos es necesario cumplir con un sistema de gestión de la calidad que incluya activos técnicos y de calidad. Para el sistema de gestión, es necesario tener una organización tal que pueda cumplir con:

1. Un Sistema de Gestión apropiado al alcance de sus actividades, donde exista:
 - Control de documentos, tales como Manuales, Procedimientos, Registros,
 - Revisión de pedidos y contratos
 - Subcontratación
 - Compras
 - Servicio al Cliente
 - Quejas
 - Control de Trabajo no conforme
 - Sistema de Mejora continua donde existan:
 - i. Acciones Correctivas
 - ii. Acciones preventivas
 - iii. Control de registros
 - iv. Auditorias internas
 - v. Revisión por la dirección
2. Requisitos técnicos tales como:
 - Personal:: Capacitación, Evaluación, Desempeño
 - Instalaciones y condiciones ambientales adecuadas.
 - Métodos de ensayo y calibración, es decir capacidad de Validación de métodos
 - Equipos, Mantenimiento, Calibración, Calificación
 - Trazabilidad de las mediciones
 - Muestreo

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

- Muestras, manejo, almacenamiento y disposición
- Aseguramiento de la calidad de los resultados,. Indicadores, Cumplimiento de estándares, Gráficos , Pruebas de intercomparación o aptitud
- Material y reactivos, estándares y materiales de referencia, donde exista Calidad, Especificidad, Trazabilidad,
- Sistema de Informe de Resultados

5.2.3 NMX--EC--17025--2006--Acreditación

Para obtener la acreditación es necesario:

1. Diseño de un sistema de gestión de calidad que cumpla con los criterios de la NMX--EC--17025--2006.
2. Definir el alcance del sistema de gestión en el laboratorio.
3. Definir las pruebas o ensayos que debe cumplir el sistema en gestión
4. Implantar el sistema de gestión, tener por lo menos una vigencia de 6 meses al momento de iniciar el trámite
5. Validación de métodos analíticos
6. Sensibilización, concientización y capacitación del personal en el sistema.
7. Evaluar el cumplimiento del sistema y dar seguimiento a su operación
8. Establecer un sistema de mejora continua.

Para el proceso de Acreditación es requisito:

1. Proceso de acreditación
2. Solicitud de acreditación
3. Visita de evaluación
4. Entrega de informe de visita
5. Dictamen del Comité de evaluación de laboratorios de prueba
6. Evaluación de acciones correctivas. Cierre de Acciones
7. Dictamen y otorgamiento de la acreditación

5.3 Laboratorio para pruebas fotométricas para luminarios de estado sólido

5.3.1 Objetivo

Realizar mediciones de los dispositivos de iluminación de estado sólido para obtener su caracterización espectral empleando esferas integradoras ,su caracterización angular empleando fotogoniómetros del tipo C.

Para acreditar este de este laboratorio es necesario primero definir bajo que normas se pretende realizar ensayos para así definir los parámetros que necesitamos considerar en la selección de nuestro equipo.

Se acreditarán sólo las siguientes normas que pertenecen a la clasificación de eficiencia energética y serían las más redituables, posteriormente se muestran los métodos de prueba

1. NOM-030-ENER (LAMPARAS DE LED)
2. NOM-031-ENER (LUMINARIOS LED)

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

MÉTODO	REFERENCIA
8.1 EFICACIA	APENDICE A
8.2 VARIACION DE FLUJO LUMINOSO	APENDICE A
8.3 TEMPERATURA DE COLOR	APENDICE B
8.4 MANTENIMIENTO DE FLUJO	APENDICE A y B
8.5 IRC	APENDICE A
8.6 FACTOR DE POTENCIA	APENDICE A
8.7 DISTORSION ARMONICA	NMX-J-610-3-2-ANCE
8.8 FLUJO LUMINOSO DE DESLUMBRAMIENTO	NMX-J-507/2-ANCE
8.9 CHOQUE TERMICO Y CONMUTACION	APENDICE C
8.10 DESCARGAS ATMOSFERICAS	NMX-J-550/4-5-ANCE

Tabla 5.2. Métodos de prueba NOM-031

MÉTODO	REFERENCIA
8.1 EFICACIA	APENDICE A
8.2 VARIACION DE FLUJO LUMINOSO	APENDICE A
8.3 TEMPERATURA DE COLOR	APENDICE A
8.4 MANTENIMIENTO DE FLUJO	APENDICE A y B
8.5 IRC	APENDICE A
8.6 FACTOR DE POTENCIA	APENDICE A
8.7 CHOQUE TERMICO	APENDICE C
8.8 CICLO DE CONMUTACION	APENDICE C
8.9 SOBRETENSIONES TRANSITORIAS	APENDICE D
8.10 DISTORSION ARMONICA	APENDICE E

Tabla 5.3. Métodos de prueba NOM-030

5.3.2 Normas de interés para la metrología de luminarias de estado sólido

La principal norma internacional de interés en la metrología es la LM-79, y de carácter nacional son la NOM 30 y 31, para maduración, se considera la LM-80, que por el momento no tiene equivalente nacional, por lo cual las características del equipo necesario se muestran en la siguiente tabla.

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

Esfera Integradora	Fotogoniómetro
<ol style="list-style-type: none"> 1. Geometría 4π y 2π 2. 90-98% de reflectividad en la pintura reflejante 3. Temperatura ambiente controlada dentro y fuera de la esfera $25 \pm 1^\circ \text{C}$ 4. Lámpara auxiliar para corrección espectral 5. Fotómetro $f1' < 3\%$, 6. Equipada con espectroradiómetro con un rango mínimo de 380 a 770 nm y con una resolución mínima de 5 nm 7. Lámparas calibradoras con trazabilidad NIST 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Solo tipo C de espejo móvil 2. Fotómetro $f1' < 3\%$, 3. Pasos angulares de 0.5° 4. Capaz de medir 72 planos para la exploración en 360° mínimo.

Tabla 5.4. Características mínimas de diseño

5.2.3 Equipos seleccionados.

Para seleccionar los equipos, se realizó una investigación sobre fabricantes de diversas partes del mundo para realizar comparaciones sobre sus equipos, desempeño y costos.

Algunas de las marcas que participaron en dicha investigación, fueron Everfine, Inventfine, Lisun Group, Instrument Systems, LMT, Photometric Solutions PSI, Lighting Sciences y Sensing, la cotización que se presenta es de Sensing.



Figura 5.3 Logos de fabricantes de equipo fotométrico

A continuación se muestra el resumen de la cotización, y posteriormente se desglosa en los sistemas de medición que representan interés para este trabajo, el sistema de Esfera Integradora y de Fotogoniómetro.

No	Articulos y especificaciones	Cantidad	Precio total (USD)
1	Sistema de esfera integradora de 2m	1	15845.00
2	Fotogoniómetro con espejo móvil GMS 3000	1	128,150.00
Total:			143,995.00 USD

Tabla 5.5 Costo total de los sistemas para medición de luminarios de estado sólido

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

5.3.3 Sistema Esfera integradora

Para este sistema de medición, se eligió una esfera de 2m, con geometría 4π y 2π por costo y practicidad, se puede medir una gran gama de luminarios de diferentes aplicaciones y tamaños, para evitar que el tamaño sature el fotodetector, se puede recalibrar por ajustes espectrales.



Figura 5.4 Esfera integradora con geometría 4π y 2π

No	Articulos y especificaciones	Cantidad	Precio total (USD)
	Esfera de integración de 2 m con apertura lateral de 700 mm.		
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diámetro: 2,0 m 2. recubrimiento de alta reflectancia (Reflectancia > 90%) 3. Lámparas sockets: E40, E27, G5, G13 portalámparas estándar Equipado con lámpara auxiliar. 4. Puerto de entrada: $\Phi 30\text{mm}$ o personalizados 5. Método de medición: Centro 4π 6. Equipado con deflector para el sensor 	1	2800
	SPR-3000 espectrorradiómetro de escaneo rápido		
2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cumple con los requisitos de la CIE No.63 Para medir parámetros fotométricos y colorimétricos por espectrorradiometría, 2. Rango de Espectro: 350nm-800nm 3. Sensor Hamamatsu de red extendida con bajo ruido y alta sensibilidad 4. Con sensores Hall para colocar automáticamente la longitud de onda 5. De alta sensibilidad y amplio rango dinámico. 6. Ancho de banda de muestreo: 1 nm, 5 nm 7. Resolución de la longitud de onda de 0,2 nm, repetibilidad: 0,1 nm 8. repetibilidad fotométrica: 0,5% 9. interfaz estándar con PC RS232 10. frecuencia de muestreo: 100 kHz 11. Rango dinámico: 16 bits 	1	7620

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

3	1.5 m de Fibra óptica para que la luz pase de la esfera integradora al espectroradiómetro	1	215
4	Fotodetector de referencia con función de corrección V (λ) para determinar la inestabilidad luminosa de la fuente de luz	1	100
5	Gabinete de montaje	1	500
6	Lámpara estándar de 200W con distribución espectral conocida, para calibrar el espectroradiómetro con trazabilidad NIST	1	190
	WT-210 Medidor Digital de Potencia	1	3000
7	1) Capacidad: DC / AC 600 V, 20; 2) Precisión básica: 0,1%; 3) Rango de frecuencia: DC, 0,5 Hz ~ 100 kHz; 4) Mida muy baja corriente: mínimo: 5 mA; 5) Rápida velocidad de actualización de datos (más rápida con 10 lecturas por segundo);		
8	APW-105N Fuente de poder de precisión	1	1420
	1. Proporciona a la luminaria un voltaje de alimentación estable		
	2) De potencia de salida: 500VA;		
	3) Frecuencia de salida: 45 ~ 65HZ, puede bloquear 50Hz, 60Hz, 400Hz		

TOTAL: \$15845 USD

Tabla 5.6 Costo sistema esfera integradora de 2m

5.3.4 Sistema Fotogoniómetro

El sistema GMS 3000 cuenta con un espejo móvil de búsqueda mientras mantiene al luminario fijo, con lo cual no hay cambios en su posición que puedan desestabilizarlo, para evitar el fenómeno en el cual hay luz que no se mide llamada luz difusa, este sistema incorpora el uso de baffles para que el fotodetector no se sature por incidencia excesiva de luz en su superficie.

Este sistema cumple con las especificaciones de la CIE 70, del sistema de medición C, donde la fuente de luz gira sobre su propio eje y hay un espejo que lo explora sobre su eje horizontal, la posición del fotómetro es fija. También habla de la posición que deben tener los baffles o deflectores entre el espejo y el detector, para que la luz directa del luminario y la luz que reflejada en el piso, techo y las paredes (luz difusa) pueda alcanzar al detector.

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

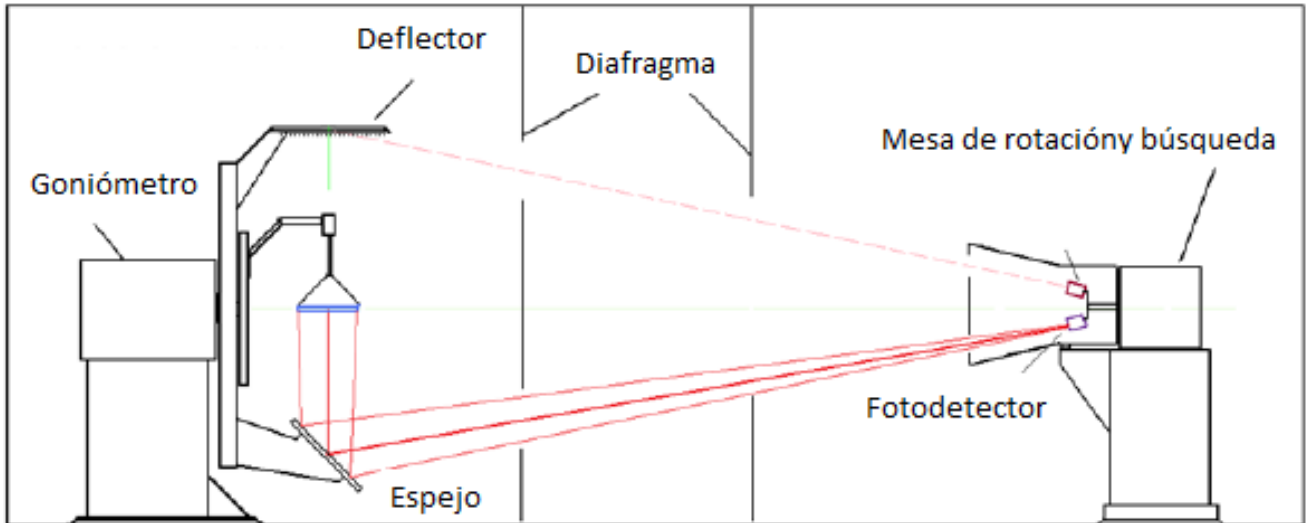


Figura 5.5 Diseño del sistema GMS 3000 acorde con la CIE 70. Fuente: Sensing

Para este equipo se requiere de un cuarto oscuro de mínimo, 18 m de largo, por 5.5 m de ancho y alto, la longitud máxima de las luminarias que se pueden medir en este sistema es 1.6 m y 50 kg

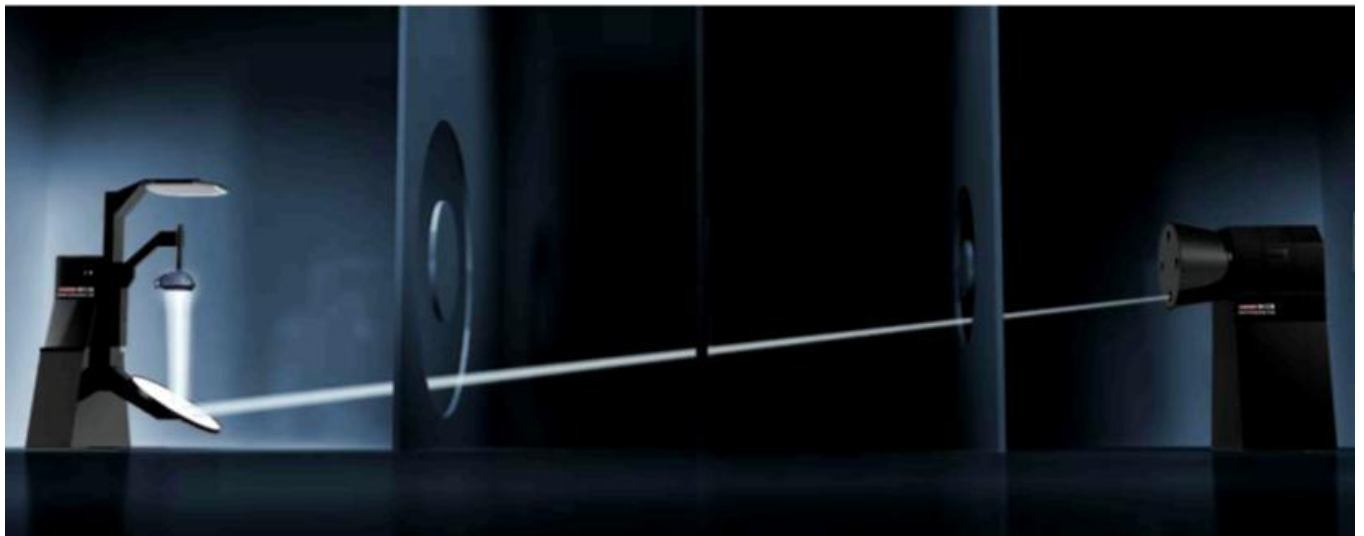


Figura 5.6 Fotogoniómetro con espejo móvil GMS 3000. Fuente Sensing

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

En la siguiente tabla se muestra la cotización para este equipo.

No	Articulos y especificaciones	Cantidad	Precio total (USD)
1	<p>Goniómetro GMS-3000 goniométrico. Consola principal con espejo giratorio.</p> <p>1)Espejo HFR-100 de alta reflectividad</p> <p>Tamaño: 1,52 m x 2,15 m</p> <p>2) Caja profesional de engranajes para el control mecánico</p> <p>3) Eje de rotación</p> <p>4) Consola de rotación</p>	1	79440
2	GMS-3000 Gabinete de control	1	11220
3	<p>Fotodetector GMS-B de alta sensibilidad, Inteligente y termostático.</p> <p>Sensibilidad: 0.0001lx, exactitud, $f1 < 1.5\%$</p>	1	9220
4	<p>Tabla de rotación y búsqueda GMR-100 para la eliminación de la iluminación difusa</p> <p>1) Soporte giratorio para la instalación de los fotodetectores</p> <p>2) Diafragma rotatorio</p> <p>3) Exactitud de 0.1°</p>	1	19320
5	<p>Fuente de poder y precisión C.A. APW-110N</p> <p>1) Potencia de salida: 1000VA</p> <p>3) Salida: bajo voltaje 0 ~ 150V 8.4A, alto voltaje: 0 ~ 300V 4.2A</p> <p>4) Frecuencia de salida: 47 ~ 63Hz se puede bloquear a 50Hz, 60Hz, 2F, 4F,400</p>	1	2390
6	<p>Medidor de Potencia WT-210 (Yokogawa Japón)</p> <p>1) Capacidad: DC / AC 600 V, 20;</p> <p>2) Precisión básica: 0,1%;</p> <p>3) Rango de frecuencia: DC, 0,5 Hz ~ 100 kHz;</p> <p>4) Baja corriente: mínimo: 5 mA;</p>	1	3000

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

7	Lámpara estándar (de referencia para comprobar la calibración y precisión del sistema.	1	1180
	Lámpara de flujo radiante espectral total (500W lámpara incandescente a 2856K)		
8	ADC-300-5 Fuente de alimentación (300V/5A/1500W) (para la calibración del sistema)	1	2380
	1) Salida ajustable 0-300V		
	2) Regulación de línea $\leq 0,05\%$ de V_{max}		
	3) Regulación de carga $\leq 0,05\%$ de V_{max}		
	4) Rizado y ruido $\leq 0,05\%$ V		
	5) La corriente de salida se puede ajustar en el rango DC 0-5A		
	6) Regulación de línea $\leq 0.5\%$		
	7) Regulación de la carga $\leq 0,5\%$		

TOTAL: \$ 128,120. 00 USD

Tabla 5.7 Costo sistema fotogoniómetro GMS 3000

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

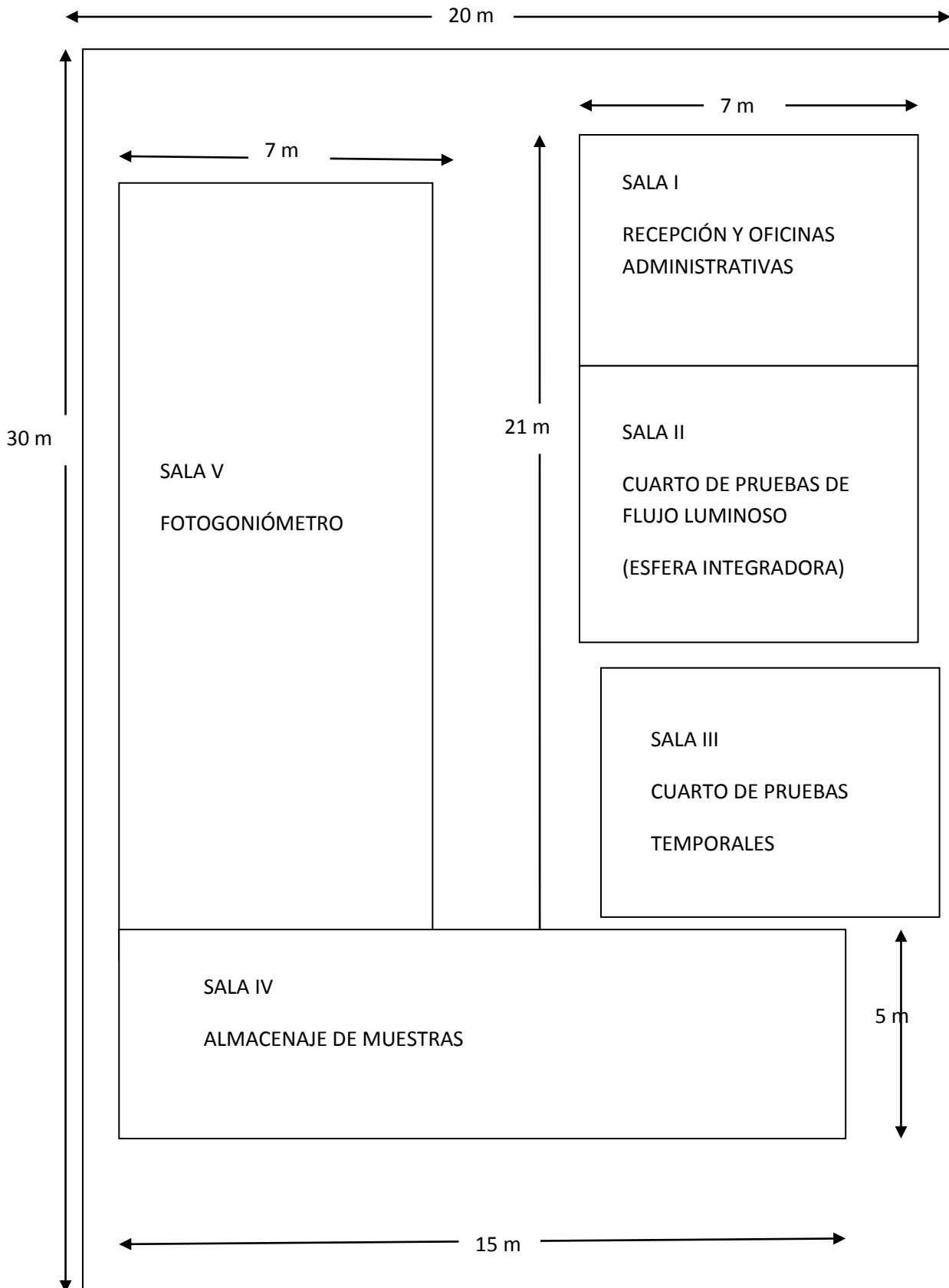


Fig. 5.7 Esquema del laboratorio de pruebas

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

5.4 Sistema de Gestión

Es una estructura operacional de trabajo, bien documentada e integrada a los procedimientos técnicos y gerenciales, para guiar las acciones de la fuerza de trabajo, la maquinaria o equipos, y la información de la organización de manera práctica y coordinada y que asegure la satisfacción del cliente y bajos costos para la calidad

Los requisitos para este sistema son:

- Organización
- Control de documentos, tales como Manuales, Procedimientos, Registros,
- Revisión de pedidos y contratos
- Subcontratación
- Compras
- Servicio al Cliente
- Quejas
- Control de Trabajo no conforme
- Sistema de Mejora continua donde existan:
 - i. Acciones Correctivas
 - ii. Acciones preventivas
 - iii. Control de registros
 - iv. Auditorias internas
 - v. Revisión por la dirección

Para desarrollar este sistema se usa el Manual General donde se involucran todos los puntos anteriores.

5.4.1 Organización

La organización debe establecer, documentar, implementar y mantener un SGC y mejorar continuamente su eficacia donde:

- a. determinar las necesidades y expectativas de los clientes
- b. establecer la política y objetivos de la calidad de la organización
- c. determinar los procesos y las responsabilidades necesarias para el logro de los objetivos de la calidad
- d. determinar y proporcionar los recursos necesarios para el logro de los objetivos de la calidad
- e. establecer los métodos para medir la eficacia de cada proceso y aplicar las medidas correspondientes.
- f. determinar los medios para prevenir no conformidades y eliminar sus causas; establecer y aplicar un proceso para la mejora continua del SGC
- a. Determinar las necesidades y expectativas de los clientes.

No.	Necesidad	Expectativa
1	Evaluación de lámparas Led	Buen costo
2	Evaluación de luminarios Led	Rapidez en el servicio
3		Confiablez
4		Trato respetuoso

Tabla 5.8 Necesidades y expectativas de los clientes.

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

b. establecer la política y objetivos de la calidad de la organización

Política: “Nuestra empresa, tiene como compromiso, constituirse como la mejor opción para probar luminarios de estado sólido, para garantizar permanente la satisfacción de nuestros clientes, a través de la realización de métodos seguros en concordancia con la concordancia en la legislación vigente, guiándonos por la Innovación y excelencia”

Objetivos de la calidad

- **Compromiso** : Ofrecer un servicio de atención al cliente y asistencia técnica de gran calidad.
- **Confianza:** Ganar la confianza de los clientes a través del apoyo y la rapidez en nuestros servicios.
- **Valor** : El valor es la combinación de calidad, eficacia y precio justo.

c. determinar los procesos y las responsabilidades necesarias para el logro de los objetivos de la calidad

No.	Proceso	Responsabilidad
1	Ingreso de muestras	de Recibir al cliente, otorgarle un contrato de servicios, registrarlo, tomar sus datos informar sobre tarifas, formas de pago y tiempo de espera
2	Realización de pruebas	de Realizar la prueba correspondiente, archivar la muestra y realizar el informe respectivo
3	Entrega de resultados	de Entregar al cliente el informe de resultados y su respectiva muestra
4	Planificación	Organización y planeación de actividades y horarios

Tabla 5.9 Procesos y responsabilidades

d. determinar y proporcionar los recursos necesarios para el logro de los objetivos de la calidad

No.	Recurso
	Infraestructura como:
1	- Equipo de cómputo
2	- Equipo de seguridad
3	- Equipo de oficina
4	- Equipo para realizar las pruebas

Tabla 5.10 Recursos necesarios para lograr objetivos

Capítulo 5. El laboratorio de pruebas fotométricas

- e. establecer los métodos para medir la eficacia de cada proceso y aplicar las medidas correspondientes.

No.	Necesidad
1	Indicadores sobre velocidad de procesos
2	Indicadores sobre desarrollo humano y comportamiento
3	Indicadores sobre productividad.
4	Indicadores sobre satisfacción del cliente

Tabla 5.11 Métodos para medir la eficacia en cada proceso

No.	Manuales	Procedimientos	Registros
1	Manual General de Calidad	Procedimiento general del área de pruebas	Registro de entradas y salidas (Check up)
2	Manual del Sistema- Fotogoniómetro	Procedimiento de ingreso de muestras	Registro de solicitud de clientes
3	Manual del Sistema- Esfera integradora	Proceso de mejora continua	Registro de avance de pruebas
4	Manual de Elaboración de reportes	Procedimiento de Ingreso de muestras	Registro de entrega de pruebas

Tabla 5.12 Control de documentos

5.4.2 Manual general del laboratorio de pruebas fotométricas de estado sólido.

En esta sección, se presenta un manual general que engloba todos los puntos anteriores para generar un sistema de trabajo.

Clasificación: PROLAB-01

Página 1 de 7

Fecha emisión: MAYO 2013

**MANUAL GENERAL DEL LABORATORIO DE PRUEBAS FOTOMÉTRICAS
PARA LUMINARIOS DE ESTADO SÓLIDO**

ELABORO:

MILDRED ESPINOSA
RESPONSABLE GENERAL

No. Revisión:00

Fecha revisión: MAYO 2013

Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento.

	MANUAL GENERAL DEL LABORATORIO DE PRUEBAS FOTOMÉTRICAS	Clasificación: PROLAB-01 F. emisión: MAYO-2013 No. Revisión : 00 F. revisión: MAYO 2011 Página: 1 de 7
--	---	--

OBJETIVO:

Emplear métodos normalizados para la prueba de los luminarios de estado sólido con el fin de poner en marcha el laboratorio de pruebas. Este manual busca dar una idea general y básica para lograr un sistema de gestión y de mejora continua, definiendo

:

- Manuales de operación de equipo, formulación de reportes y procesos de medición
- Gestión del registro de personal, clientes y actividades.
- Sistema para lograr la mejora continua.

ALCANCE

Aplica a todas las actividades relacionadas con pruebas realizadas a los productos.

1. RESPONSABILIDADES

El sistema de trabajo estará dividido en cuatro áreas, teniendo cada una un responsable, quien se encargará de ella para cumplir de manera adecuada sus actividades. Dichas áreas son, Administración del laboratorio de pruebas, Ingeniería de pruebas, Control y Crédito y Cobranza, a continuación se muestran las actividades.

I. ADMINISTRADOR DE LABORATORIO.

Encargado de la coordinación, administración y supervisión de las actividades efectuadas dentro del laboratorio, siendo estas, ensayos, atención a clientes y proveedores, control y coordinación para suministro de insumos para trabajo y mantenimiento de equipos, signatario autorizado para la firma de los informes de pruebas

II. INGENIERO DE PRUEBAS FOTOMETRICAS

Persona a cargo de la calibración y operación de los sistemas de medición, generación de reportes de las pruebas realizadas a luminarios y administración de muestras

III. RESPONSABLE DEL ÁREA DE GESTIÓN

Persona a cargo del área de control de registros de entradas y salidas de personal humano, clientes y proveedores, generación de contratos y órdenes de compra para cobro de servicios.

IV. RESPONSABLE DEL ÁREA DE CREDITO Y COBRANZA

Persona a cargo de la administración de los ingresos, pagos y cobros generados por y para el laboratorio, representante legal de la empresa.

	MANUAL GENERAL DEL LABORATORIO DE PRUEBAS FOTOMÉTRICAS	Clasificación: PROLAB-01 F. emisión: MAYO-2013 No. Revisión : 00 F. revisión: MAYO 2011 Página: 1 de 7
--	---	--

2. MANUALES Y PROCEDIMIENTOS

3. MANUALES DE INSTRUMENTACIÓN

Los manuales de instrumentación corresponden a los entregados por el fabricante para el correcto funcionamiento de los equipos, el software adquirido con el equipo permite obtener de manera general el reporte, adecuándolo al tipo de luminario y al formato del laboratorio para entrega al cliente, al final será revisado por el signatario responsable.

4. PROCEDIMIENTO GENERAL DEL ÁREA

Este conjunto de procedimientos se divide en 4 áreas.

- a. Área de Gestión, controla y administra los procesos y los registros de actividades, es decir organiza los recursos y tiempos
- b. Administración del Laboratorio, coordina las actividades de laboratorio, es quien tiene la autoridad ante la EMA para todos los procedimientos y es el signatario autorizado.
- c. Ingeniería de pruebas. Realiza las pruebas y opera los equipos
- d. Crédito y Cobranza, trata con los clientes y proveedores las cuentas de pagos y cobros.

El proceso inicia cuando el luminario es ingresado mediante la generación de una orden de compra, Gestión lo entrega a Laboratorio quien a su vez lo dirige a Pruebas, finaliza con la entrega del informe y el cobro del servicio

• SISTEMA DE MEJORA CONTINUA

Para este sistema, se implementara un método de evaluación llamado SEDT, por sus siglas Sistema de Evaluación por Desempeño al Trabajador, en base a tres indicadores que son, eficiencia, puntualidad y actitud, en una escala del 1 al 3, representando en una bonificación sobre la cantidad de meses trabajados que irá del 5, 10, y 15% acorde a su desempeño, esta evaluación será de carácter trimestral.

Para la mejora continua y prevención de no conformidades, se realizarán juntas semanales evaluando los mismos puntos que en el caso de I SEDT, pero aplicado a las áreas en conjunto, estas evaluaciones no contarán con remuneración alguna, serán solo de observación para que fomentar las relaciones de unidad y buen manejo laboral en la empresa, buscando que mejorar nuestros sistemas en conjunto para poder renovar la acreditación ante la EMA anualmente.

Capítulo 2. Fotometría

5.5 Presupuesto de acreditación

Para poder acreditar el laboratorio en los métodos propuestos en las tablas 5.2 y 5.3, requerimos el siguiente equipo

EQUIPO	COSTO \$ M.N.
MEDIDOR DE TEMPERATURA(2)	11,000.00
CONGELADOR	11,000.00
HORNO	250,000.00
DESCARGAS ATMOSFERICAS	250,000.00
XITRON (2)	34,580.00
OSCILOSCOPIO	21,800.00
ESFERA (2m) (SENSING)	200,000
FOTOGONIOMETRO (SENSING)	1,600,500
PSICROMETRO	7,500.00
TOTAL	2,386,400.00

Tabla 5.13 Costo instrumentación

Como el proceso que se llevará a cabo es de primera vez, el costo inicial será de \$ 21,469.00, y el número de métodos que se pretende acreditar es 20, eso dará un costo sólo del proceso de acreditación de \$58,696.00, con un costo total de \$ 80,173.00, sin considerar los gastos de los viáticos de los evaluadores.

Este proceso estará validado por la Entidad Mexicana de Acreditación (E.M.A.), tiene un ciclo de vida de 4 años, donde el costo inicial del 100% relacionado con el número de métodos de prueba necesarios para la acreditación, disminuye al 40% en los siguientes 3 años.

Sumando el costo de instrumentación mas el de acreditación tendríamos un total de \$2,466,573.00 M.N.

Conclusiones

Conclusiones

- Los leds exhiben características de vida muy largas, típicamente 50,000 horas o más.
- Como todas las fuentes de luz, la salida de flujo luminoso decae con el tiempo.
- Debido a que rara vez fallan, existen otras situaciones que pueden ocurrir mientras el flujo luminoso decae, aún cuando parece que están funcionando, con cambios graduales de color casi imperceptibles.
- Existen varios tipos de fabricantes de equipo fotométrico que buscan cumplir con los estándares, por lo cual es posible elegir de acuerdo a las especificaciones técnicas.

Con la conclusión de este trabajo, se presentaron los siguientes resultados:

1. Evaluación del equipo necesario para darle viabilidad al proyecto, sólo en su parte instrumental.
2. Se obtuvo información suficiente sobre el costo del equipo requerido para implementación del laboratorio.
3. El diseño fue en base a las normativa mexicana, basándose en su cumplimiento para fundamentar el proceso de acreditación.
4. Se adquirió experiencia suficiente en el proceso de actualización de las tecnologías propias en el diseño y administración de laboratorios de medición, gracias a los conocimientos adquiridos en la formación profesional, aprendidos en la facultad.
5. Para realizar una documentación adecuada es necesario:

Para los laboratorios de ensayo y calibración, el cumplimiento de los requisitos puede ser tan sencillos o complicado como ellos mis-mos lo decidan, ya que es necesario recordar:

- i. Apegarse al vocabulario aplicado en la norma, para unificar criterios y apegarse a los requisitos.
- ii. Revisar las normas ISO-9000, que no fueron tocadas en este trabajo, ya que la NMX-17025 está basada en esos estándares, sin embargo revisar lo básico es una buena referencia.
- iii. Redactar (documentar) una estrategia de cambio, en la cual se consideren discusiones respecto al nivel de cumplimiento.
- iv. Elaborar un calendario de etapas para medir el avance en el proceso hacia la acreditación.

Conclusiones

Finalmente es de observarse que para los laboratorios de ensayo,, el cumplimiento de los requisitos puede ser tan sencillos o complicado como el laboratorio lo decida, ya que es necesario recordar que el propio laboratorio decide su método de trabajo y estructura, las normas son sólo una guía con requisitos mínimos para su cumplimiento.

Bibliografía

Bibliografía

- Lighting Handbook 9° Ed. IESNA.
 - IESNA ED-100. Curso de Iluminación. Nivel Básico.
 - IES LM-63-08 ANSI Approved Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information
 - IES LM-72-03 Directional positioning of Photometric Data
 - IES LM-75-01 Goniophotometer Types and Photometric types Coordinates
 - IES LM-79-08-Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products
 - IES LM-80-08-Approved Method: Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources.
 - Technical Guide Labsphere-Integrating Sphere Radiometry and Photometry
 - ANSI-NEMA-ANSLG C78.377-2008- Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Product
 - NOM-030-SENER-2012, EFICACIA LUMINOSA DE LÁMPARAS DE DIODOS EMISORES DE LUZ (LED) INTEGRADAS PARA ILUMINACIÓN GENERAL. LÍMITES Y MÉTODOS DE PRUEBA.
 - NOM-031-SENER EFICACIA LUMINOSA DE LUMINARIOS DE DIODOS EMISORES DE LUZ (LED) INTEGRADAS PARA ILUMINACIÓN GENERAL. LÍMITES Y MÉTODOS DE PRUEBA.
 - NOM-028-ENER (LAMPARAS FLUORESCENTES)
 - NOM-064-SCFI (LUMINARIOS FLUORESCENTES)
 - NOM-058-SCFI (BALASTROS ELECTRONICOS)
 - NOM-003-SCFI (LUMINARIOS INCANDESCENTES)
 - NOM-003-SCFI (PORTALAMPARAS TIPO GU-10,BIPIN)
 - NOM-003-SCFI (TRANSFORMADORES ELECTRONICOS)
 - NMX-J-024-ANCE (PORTALAMPARAS TIPO EDISON)
 - NMX-J-507/2-ANCE-2010 Iluminación –Fotometría para luminarios- Parte 2. Métodos
 - NMX-EC-17025-IMNC-2006-Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
 - CIE 13.3 -1995- Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources
 - CIE 15:2004- Colorimetry
 - CIE 18.2-1983-The basis of physical photometry
 - CIE 69-1987 Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters: Performance, characteristics and specifications
 - CIE 70-1987-The measurement of absolute luminous intensity distributions
 - CIE 121-1996-The photometry and goniophotometry of luminaires
 - CIE 127-2007-Measurement of Leds.
8. KONIKA MINOLTA –The language of Light

Bibliografía

Páginas web consultadas

www.philips.com

www.konikaminolta.com

www.everfine.cn

www.lightingsciences.com

www.lisungroup.cn

www.ies.com

www.idea.com

www.edmundoptics.com

www.sensingm.com

www.cie.com

www.lutron.tn

www.instrumentsystems.com

www.lmt.com

www.psi.com

www.inventfine.com