



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

Determinación de la fotoluminiscencia en señales de seguridad

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

F í s i c o

P R E S E N T A:

Ezequiel Guevara Olalde



**DIRECTOR DE TESIS:
Físico Angel Arturo Nogueira Jiménez
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

LIC. IVONNE RAMÍREZ WENCE
Directora General
Dirección General de Administración Escolar
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Determinación de la fotoluminiscencia en señales de seguridad

realizado por **Ezequiel Guevara Olalde** con número de cuenta **084215196** quien ha decidido titularse mediante la opción de tesis en la licenciatura en **Física**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietaria Fís. Margarita Sánchez y Sánchez

Propietario Dr. Neil Charles Bruce Davidson

Propietario Fís. Ángel Arturo Nogueira Jiménez
Tutor

Suplente M. en C. Carlos Jesús Román Moreno

Suplente Dr. Héctor Cruz Ramírez

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., A 27 DE SEPTIEMBRE DE 2016

JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

Prólogo

Mi camino hacia la física

Dieron las 7 de la mañana cuando mi madre me levantó, puso el uniforme sobre la cama y se fue a calentar mi desayuno.

-Tienes tu cama y al final metes la pijama entre las cobijas- me ordenó mientras salía del cuarto.

-¿Y para que meto la pijama entre las cobijas?- pregunté lleno de curiosidad.

-Para que se caliente durante el día y no te la pongas fría en la noche – respondió con gran seguridad.

Obedecí las órdenes de mi madre, desayuné y me fui a la escuela.

Ya en el salón de clases la maestra nos planteó el siguiente problema:

“En una cubeta se mezclan 5 litros de agua a 50 grados centígrados con otros 5 litros de agua que está a 20 grados ¿Cuál es la temperatura final de toda el agua?”

Mi respuesta fue 30 grados, sin embargo la maestra dijo que la respuesta correcta era 70 grados, según ella había que sumar ambas temperaturas. Pero yo sabía que al juntar agua caliente con agua fría la primera se enfría y la segunda se calienta, según yo se debían restar, quede confundido...

Por la noche me fui a dormir saqué la pijama de entre las cobijas y la sentí igual que siempre; no se calentó como había asegurado mi madre. Me acosté y mi padre apagó el foco, sacó un chaleco tejido por mi madre, lo sacudió y me asombré por lo que vi... ¡Saltaron varias chispas del chaleco! Mi padre guardó el chaleco y se fue, yo me quedé observando el brillo de la carátula del viejo reloj de cuerda, como casi todas las noches, al mismo tiempo que me preguntaba ¿Cómo puede brillar la carátula del reloj? ¿Porque no se calentó la pijama como mi mamá había dicho? ¿Por qué estuve mal con la respuesta acerca del agua caliente y el agua fría? Estos cuestionamientos y muchos otros invadieron mi mente hasta quedarme dormido...

La narración anterior la hice con hechos reales de mi infancia. Decidí presentarlos en este espacio como si hubieran ocurrido en un solo día, porque influyeron en mi decisión de ser físico cuando me enteré en la secundaria de los quehaceres de esta profesión.

Agradecimientos

Agradezco a la UNAM y en especial a la Facultad de Ciencias por darme las herramientas necesarias para lograr mi objetivo de estudiar la carrera de Física; al Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico por facilitar sus instalaciones para la realización de la presente Tesis, a los sinodales Fís. Margarita Sánchez y Sánchez, Dr. Neil Charles Bruce Davison, M. en C. Carlos Jesús Román Moreno, Dr. Héctor Cruz Ramírez, por sus aportaciones, sugerencias y correcciones que mejoraron este trabajo.

Mi mayor agradecimiento es para el Físico Ángel Arturo Nogueira Jiménez por su invaluable apoyo, por haber sido uno de mis maestros durante la carrera y por asesorarme en este trabajo. ¡Ah! y por sugerirme este tema de tesis relacionado con el área de la fotometría, también agradezco a Arturo Ávalos Ruiz como Supervisor de la Normalización en Seguridad en el Trabajo de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social por su útiles comentarios. Finalmente quiero dedicar este trabajo a las memorias de mi padre Manuel Guevara León, de mi mamá Esperanza Olalde Cibrián y de mi hermano Mario Uriel Guevara Olalde.

Prefacio

Este prefacio corresponde a la Norma **NMX-S-062-SCFI-2015** publicado en el Diario Oficial el lunes 30 de mayo de 2016 que motivó el presente trabajo.

Algunos de los textos en esta tesis, corresponden a disposiciones de la Norma en su apartado correspondiente al método de la medición de la luminancia fotópica

En la elaboración de la Norma, participaron representantes de las siguientes dependencias, instituciones y empresas:

- 3M MÉXICO, S. A. DE C. V.
- ACRÍLICOS SABLÓN, S. A. DE C. V.
- METRA / MTX Sistemas de Señalización, S. A. DE C. V.
- NightBright USA, LLC
- SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL
Dirección General de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico.

SECRETARÍA DE ECONOMÍA

DECLARATORIA DE VIGENCIA DE LA NORMA MEXICANA NOM-002-SCF-2016.

Al margen de lo que dispone el Estado Nacional, que es el Estado Unidos Mexicanos - Secretaría de Economía Subsecretaría de Competitividad y Normatividad, Dirección General de Normas

DECLARATORIA DE VIGENCIA DE LA NORMA MEXICANA NOM-002-SCF-2016 REGULACIÓN DE LOS Y SEÑALES DE SEGURIDAD DE CLASIFICACIÓN, DESEMPEÑO Y DURABILIDAD DE LOS SEÑALES DE SEGURIDAD.

La Secretaría de Economía ha publicado de la Dirección General de Normas con fundamento en lo dispuesto por los artículos 29 fracciones II, XII y XXVIII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 3.ª Versión X, 5.ª A, 21 E y 54 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 43 y 45 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y 21 fracciones X, XI y XXI del Reglamento Interior de la Secretaría de Economía y habiéndose señalado el procedimiento previsto por la ley de la materia para velar que se cumpla la Declaratoria de Vigencia de la Norma Mexicana que se emite a continuación, firmada y sellada elaborada y aprobada por el Dr. MSc. Tania de la Cruz, Secretaria Ejecutiva para Promoción y Protección de Seguridad Humana, lo que se hace del conocimiento de los productores, distribuidores, suministradores y del público en general. Así mismo, se le informa que se indica puede ser consultado gratuitamente en el sitio web de la Dirección General de Normas de esta Secretaría ubicada en Fuente de Tecamachalco (Cmex) R, sobre la Lomas de Tecamachalco, San Juan Pueblo, Nueva España Juárez, código postal 52970, Estado de México o en el teléfono electrónico de la Dirección General de Normas: <http://www.gob.mx/normasmat> o correo.

La presente Norma Mexicana NOM-002-SCF-2016, entró en vigor 60 días naturales después de la publicación de esta Declaratoria de Vigencia en el Diario Oficial de la Federación.

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	
NOM-002-SCF-2016	SECRETARÍA DE ECONOMÍA SEGURIDAD DE CLASIFICACIÓN Y DURABILIDAD DE LOS SEÑALES DE SEGURIDAD DESEMPEÑO Y DURABILIDAD DE LOS SEÑALES DE SEGURIDAD
Objetivo y campo de aplicación	
<p>La presente Norma Mexicana establece los requerimientos para la obtención de clasificación a partir del desempeño de los señales de seguridad según el sistema europeo de señales, los principales materiales de fabricación, los procedimientos de medición, los modos de iluminación, el método y nivel de medición. Los criterios de desempeño y métodos de prueba se expresan en esta norma, de tal forma que los procedimientos relativos a la durabilidad y la vida útil de los señales de seguridad pueden ser aplicados al momento de la entrega del producto al consumidor.</p> <p>La presente Norma Mexicana cubre los aspectos relativos a suministros de energía eléctrica para los señales, sus componentes o componentes de los señales, y cubre los procedimientos de medición de iluminación para los señales de seguridad para los tipos particulares de señales de seguridad.</p>	
Concordancia con normas internacionales	
<p>Esta Norma Mexicana coincide básicamente con la Norma Internacional ISO 7369:2004 Safety signs and safety sign-classification, performance and durability of safety signs y difiere en los puntos siguientes:</p> <p>Capítulo 2 Referencias</p> <p>Se eliminan las normas internacionales en razón de que algunas normas internacionales ya se han incorporado y/o actualizado en el documento de trabajo.</p> <p>Capítulo 3 Características y requisitos antes de la entrega al consumidor de producto</p> <p>Numeral 3.2. Luminancia (lx) (lx). Se agrega esa definición no prevista en la norma ISO 7369:2004, para dar mayor claridad al concepto y uso. Se eliminan los términos de la Norma Mexicana.</p> <p>Numeral 3.3. Señal de seguridad (lx) (lx). Se modifica la construcción, materia internacionalmente por "luminancia (lx) (lx)", ya que el Grupo de Trabajo consideró que la traducción literal no es adecuada en caso particular de la luminancia, y esta última denominación corresponde en forma más adecuada a efectos del material de los señales que se presentan esta característica.</p> <p>Capítulo 4 Requisitos de ensayo</p> <p>Numeral 4.1. Tabla 1. Se elimina el caso B "B" de esta tabla. El Grupo de Trabajo consideró que el requisito que puede obtenerse, pero no se relaciona directamente con el objeto de esta Norma Mexicana, y el cumplimiento de los señales.</p>	

Numeral 4.2.3.2 Propiedades físicas de los materiales principales y el señalamiento de seguridad: Se eliminan los rubros correspondientes a:

- Resistencia a la tensión/elongación a ruptura/módulo;
- Resistencia al desgarre para materiales flexibles;
- Resistencia a la deslaminación para materiales compuestos estratificados.

En razón de que se consideraron requisitos no indispensables para la evaluación de los señalamientos, además de que se citan en el apartado 4.2 de "Descripción del producto" sin que se precisen los respectivos métodos de prueba para su comprobación. Cabe señalar también que estos puntos no se abordan en el capítulo 5 correspondiente a "Requisitos de desempeño".

Numeral 4.2.6 Descripción de desempeño opcional, establecido en la norma ISO 17398:2004. No se incluyó el numeral 4.2.6 de la norma ISO 17398:2004, en virtud de que se eliminaron los requerimientos y métodos de prueba del Capítulo 6 referente a requisitos opcionales de desempeño. Debido a su carácter opcional, estos requisitos no se considerarán para efectos de la certificación de los señalamientos; por otra parte, el Grupo de Trabajo consideró que los requisitos establecidos en el capítulo 5, son los necesarios para evaluar la seguridad, durabilidad y desempeño de los señalamientos.

Capítulo 5 Métodos de prueba:

Numeral 5.1.1 Resistencia a la flama: No se incluyó la prueba del índice de oxígeno debido a que se consideró una prueba complicada, y no se ubicó a algún laboratorio que la realizara; se visualizó que las otras dos pruebas son equivalentes y suficientes para evaluar la resistencia a la flama, así como más sencillas y económicas de realizar.

Numeral 5.5, Tabla 6: En esta tabla se eliminó la especificación de luminancia mínima a los dos minutos, debido a que se observó en pruebas experimentales que en este corto tiempo los valores de decaimiento de luminancia medidos en las muestras eran inestables aún, por lo que los requisitos de referencia a cumplir se establecen para 10 min, 30 min y 60 min; el resto de los valores de la tabla se mantienen igual.

Capítulo 6 Designación y marcado:

Numeral 6.3 Prueba de resistencia a la intemperie: Se elimina la prueba de resistencia a la intemperie que emplea la lámpara de arco de carbón, en razón de que, de acuerdo con una consulta hecha a varios laboratorios del país, este método ha caído en desuso, y se ha sustituido por el método de la lámpara de xenón, cuyos resultados son más consistentes y confiables.

Numeral 6.12 Método para la determinación de las coordenadas de cromaticidad y factores de luminancia de los señalamientos de seguridad ordinarios: Se incluye el método de prueba adaptado para determinar las propiedades colorimétricas de los señalamientos, buscándose en este método sencillez y practicidad, e indicando a la vez los aspectos más relevantes para llevarlo a cabo correctamente.

Numeral 6.13 Método para la determinación del coeficiente de retrorreflexión de los señalamientos de seguridad ordinarios: Asimismo, como en el caso de la determinación de las coordenadas de cromaticidad y factores de luminancia, se incluye un método adaptado para determinar el coeficiente de retrorreflexión de los señalamientos retrorreflejantes, buscándose igualmente sencillez y practicidad, y destacando los aspectos relevantes para llevarlo a cabo correctamente.

Capítulo 7 Documentación e informes de prueba:

Numeral 7.1 Designación: Se modifica en este numeral la referencia a la Norma Internacional ISO 17398:2004, por la referencia a la Norma Mexicana, en razón de que la certificación oficial que se llegue a efectuar de los productos del mercado nacional, debe tomar como referencia esta última.

Bibliografía

- ISO 105-X12:2001, Textiles-Tests for colour fastness-Part X12: Colour fastness to rubbing.
- ISO 291:2008, Plastics-Standard atmospheres for conditioning and testing.
- ISO 554:1976, Standard atmospheres for conditioning and/or testing-Specifications.
- ISO 2409:2013, Paints and varnishes-Cross-Cut test.
- ISO 3864-1:2002, Graphical symbols-Safety colours and safety signs-Part 1: Design principles for safety signs in workplaces and public areas.
- ISO 4892-2:2013, Plastics-Methods of exposure to laboratory light sources-Part 2: Xenon-arc lamps.
- ISO 9227:2012, Corrosion tests in artificial atmospheres-Salt spray tests.
- ISO 17398:2004 Safety colours and safety signs-Classification, performance and durability of safety signs.
- IEC 60695-2-10:2013, Fire hazard testing-Part 2-10: Glowing/hot-wire based test methods-Glow-wire apparatus and common test procedure.
- IEC 60695-2-11:2014 RLV Red Line version, Fire hazard testing-Part 2-11: Glowing/hot-wire based test methods-Glow-wire flammability test method for end-products (GWPEPT).

Ciudad de México, a 8 de abril de 2016.- El Director General de Normas y Secretariado Técnico de la Comisión Nacional de Normalización, **Alberto Ulises Esteban Marina**.- Rúbrica.

Oficio 1.- DECLARATORIA DE VIGENCIA DE LA NORMA MEXICANA NMX-S-062-SCFI-2015, SEGURIDAD-COLORES Y SEÑALES DE SEGURIDAD-CLASIFICACIÓN, DESEMPEÑO Y DURABILIDAD DE LAS SEÑALES DE SEGURIDAD.

Prólogo	i
Agradecimientos	ii
Prefacio	iii
Índice	
1.- Introducción	1
1.1.- La fosforescencia	1
1.2.- La fotoluminiscencia en señales de seguridad	2
2.- Las señales de seguridad fotoluminiscentes	3
3.- La Fotometría	5
3.1.- La fotometría	5
3.2.- Relación con la Radiometría	5
3.3.- Unidades fotométricas	8
4.- Las señales de seguridad	11
4.1.- Las señales de seguridad	11
4.2.- Lámpara excitadora	14
4.3.- El detector fotométrico	16
5.- Procedimiento experimental establecido en la Norma	18
5.1.- Definiciones	18
5.2.- Propiedades fotométricas	18
6.- Medición de la luminancia fotópica	19
6.1.- Resumen del método	19
6.2.- Especímenes de prueba	19
6.3.- Acondicionamiento	19
6.4.- Condiciones ambientales	19
7.- Instrumentación	20
7.1.- Instrumentación de la iluminancia	20
7.2.- Instrumentación de la luminancia	20
8.- Luz de excitación	21
9.- Medición de la luminancia	22
9.1.- Método de telefotómetro	22
9.2.- Método de contacto	22
9.3.- Dispositivo experimental	23
10.- Resultados	24
11.- Conclusiones	30
12.- Bibliografía	32

1.- Introducción

1.1.- La fosforescencia

Luminiscencia es todo proceso de emisión de luz cuyo origen no radica exclusivamente en las altas temperaturas sino que, por el contrario, es una forma de "luz fría" en la que la emisión de radiación lumínica es provocada en condiciones de temperatura ambiente o baja.

La **fosforescencia** es el fenómeno en el cual ciertas sustancias tienen la propiedad de absorber energía y almacenarla, para emitirla posteriormente en forma de radiación. El mecanismo físico que rige este comportamiento es el mismo que para la fluorescencia, no obstante la principal diferencia con esta es que hay un retraso temporal entre la absorción y la reemisión de los fotones de energía. En la fosforescencia, las sustancias continúan emitiendo luz durante un tiempo más prolongado, aun después del corte del estímulo que la provoca, ya que la energía absorbida se libera lenta (incluso muchas horas después) y continuamente.

La **fotoluminiscencia** es un fenómeno de la luminiscencia cuando la reemisión de la radiación sucede en el intervalo visible, por algunos materiales cuando absorben fotones de mayor energía que la emitida. Si el material reemite inmediatamente luz al absorber la radiación y cesa cuando deja de absorberla, entonces el fenómeno se llama fluorescencia. Si la emisión continúa, cuando ya no hay excitación luminosa un tiempo después, el fenómeno se llama fosforescencia. Si la fosforescencia sucede en el intervalo del visible, el fenómeno se llama fotoluminiscencia. Si el tiempo de desexcitación es menor de 10^{-8} s, entonces se trata de fluorescencia, mientras que si la desexcitación se retarda debido a que el estado excitado es meta-estable, el proceso se llama fosforescencia. La fotoluminiscencia es la reemisión de radiación fosforescente en el intervalo del visible.

1.2.- La fotoluminiscencia en señales de seguridad

El fenómeno de la fotoluminiscencia es aprovechado por las industrias que se dedican a la fabricación de señales de seguridad en situaciones de escasa o nula iluminación, existen diversos símbolos en estas señales, muchos de ellos involucrados con la prevención de accidentes, además proporcionan la información que se requiere en una situación de emergencia dentro de una zona de trabajo o lugar público.

Las señales de seguridad deben cubrir ciertos requerimientos de calidad, desempeño y durabilidad para proporcionar la información o advertencia de manera más eficaz al observador. Algunos requerimientos van relacionados con su resistencia ante los procesos de limpieza y a las condiciones de intemperie como la degradación debido a la temperatura, la radiación solar, la humedad etc. También los involucrados con los colores usados en su fabricación que resalten en un campo visual las características ópticas tales como brillo, color, luminancia, etc., así como la visualización en condiciones de escasa o nula iluminación.

El objetivo del presente trabajo de tesis es validar los parámetros de atenuación de la intensidad temporal de la fotoluminiscencia en estas señales de acuerdo a las clasificaciones que se establecen en la Norma Mexicana NMX-S-062-SCFI-2015, “Clasificación, Desempeño y Durabilidad de las Señales de Seguridad”.

2.- Las señales de seguridad fotoluminiscentes

Una señal de seguridad perceptible en lugares oscuros, es aquella que usa un elemento fotoluminiscente que emite luz por un período definido después de que la fuente de energía luminosa a la que se encontraba expuesta ha sido removida o apagada. Las señales luminosas tienen propiedades tales como elementos gráficos, símbolos, colores de seguridad, colores contrastantes y color de la fotoluminiscencia.

La Norma Mexicana se ha elaborado con base en la Norma Internacional *ISO 17398:2004 Safety Colours and Safety Signs*. En esta última se plantea como propósito el proveer a fabricantes/proveedores y usuarios con elementos para la especificación de parámetros de desempeño de las señales de seguridad, los cuales, cuando se han definido, deberán mantenerse a lo largo de la vida útil esperada del producto.

El presente trabajo es la reproducción de los parámetros de acuerdo al decaimiento de la luminancia fotópica que resulta de los diferentes niveles de iluminación y fuentes de luz determinadas de conformidad con lo establecido por la Norma Mexicana NMX-S-062-SCFI-2015 “Seguridad – Colores y Señales de Seguridad – Clasificación, Desempeño y Durabilidad de las Señales de Seguridad”.

La sensibilidad del ojo humano después de permanecer 10 minutos en completa oscuridad, permite distinguir la luminancia en los materiales que cumplen con la norma después de los 60 minutos; los materiales que no la cumplen se desvanecen después de los 10 minutos. En las Fotografías 1 al 4 del capítulo 4, se muestran las atenuaciones temporales de la fotoluminiscencia de distintas señales. Estas fotografías son tomadas a intervalos de 5 minutos con tiempo de exposición de la cámara de 1 s con sensibilidad de 400 ASA.

La caracterización cuantitativa del fenómeno es el propósito fundamental del presente trabajo, (ver Fotografías 1 al 4, capítulo 4) donde se mide la luminancia mínima de las señales de seguridad clasificadas como fotoluminiscentes, de conformidad con la Tabla 1 y que deben de cumplir con una de las cuatro sub-clasificaciones donde la

clasificación fotoluminiscente y la subclasificación se mantendrán ambas en todas las pruebas.

Subclasificación	Luminancia mínima mcd/m ² (milicandela por metro cuadrado)		
	A un tiempo de decaimiento de 10 min	A un tiempo de decaimiento de 30 min	A un tiempo de decaimiento de 60 min
A	23	7	3
B	50	15	7
C	140	45	20
D	260	85	35

Tabla 1.- Luminancia mínima de los señalamientos de seguridad fotoluminiscentes

3.- La fotometría

3.1.- La fotometría es la ciencia que se encarga de la medida de la luz, como el brillo percibido por el ojo humano, es decir, estudia la capacidad que tiene la radiación electromagnética de estimular el sistema visual. No debe confundirse con la Radiometría, encargada de la medida de la luz en términos de potencia absoluta.

El ojo humano no tiene la misma sensibilidad para todas las longitudes de onda que forman el espectro. La Fotometría introduce este hecho ponderando las diferentes magnitudes radiométricas medidas para cada longitud de onda por un factor que representa la sensibilidad del ojo para esa longitud. La función que introduce estos pesos se denomina función de luminosidad (V_λ) o función de eficiencia luminosa relativa de un ojo.

3.2.- Relación con la Radiometría

Considérese, por ejemplo, la magnitud radiométrica de la energía radiante que describe la energía total medida por un detector "físico" ante la presencia de radiación electromagnética. Interesa obtener una medida de la cantidad de luz que sería percibida por un ojo humano independientemente de la cantidad de energía que lleve asociada. Para ello, habría que conocer la energía radiante correspondiente a cada longitud de onda, multiplicar por los valores correspondientes de la función de luminosidad e integrar a todas las longitudes de onda:

Los términos, símbolos y unidades que relacionan las cantidades radiométricas con las fotométricas están dadas en la Tabla 2, donde las cantidades radiométricas aparecen con un subíndice e y las fotométricas con un subíndice v

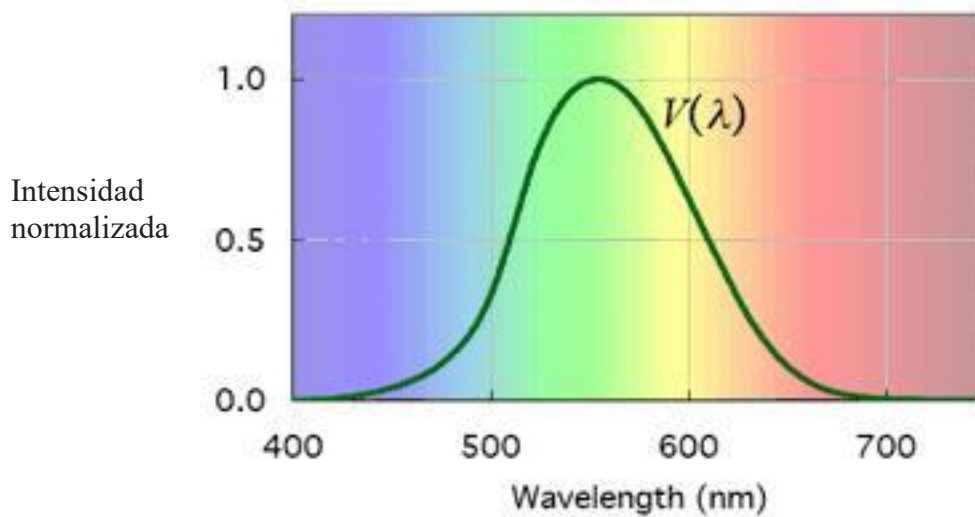
Término	Símbolo	Unidad
Potencia	ϕ	
Potencia Radiante	ϕ_e watt	W
Potencia Luminosa	ϕ_v lumen	lm
Excitancia	M	
Excitancia Radiante	M_e watt/metro ²	W/m ²
Excitancia Luminosa	M_v lumen/metro ²	Lm/m ²
Intensidad	I	
Intensidad Radiante	I_e watt/steradian	W/sr
Intensidad Luminosa	I_v Candela	cd
Radiancia	L_e watt/(metro ² steradian)	W/(m ² sr)
Luminancia	L_v candela/metro ²	cd/m ²
Irradiancia	E_e watt/metro ²	W/m ²
Iluminancia	E_v lux	lx

Tabla 2.- Términos radiométricos y fotométricos

La División de Tecnología Óptica del *National Institute of Standards and Technology (NIST)* es la responsable de establecer en el Sistema Internacional (SI) la unidad de intensidad luminosa fundamental, la **candela** (cd) y se obtiene basada en la respuesta absoluta de los detectores utilizados. El **lumen** (lm) se obtiene de la candela, utilizando una esfera integradora. La unidad de **Iluminancia** (lx) se transfiere directamente con fotómetros calibrados. La unidad de **luminancia** (cd/m²) también se obtiene utilizando una esfera integradora.

En la fotometría la luz es medida correlacionándola con la respuesta de la visión del ojo humano, y la radiometría cubre toda la región espectral del ultravioleta al infrarrojo, la fotometría está enfocada a la región espectral de 360 nm a 830 nm (región del visible) donde el ojo humano es sensible y esta respuesta es definida por la Comisión Internacional de la Iluminación (*Commission on Illumination de Eclairage (CIE)*) y se le define como la eficiencia luminosa espectral para la visión fotópica con símbolo $V(\lambda)$ para el intervalo mencionado y es normalizada a la unidad en el pico de 555 nm.

La evaluación de estas señales están descritas en unidades fotométricas que están limitadas por una pequeña parte del espectro electromagnético llamado **el visible**. La respuesta del ojo humano a una luz estándar (visión **Fotópica**) está descrita por la función normalizada $V(\lambda)$ (ver Gráfica 1). **Al establecerse la función de la eficiencia luminosa espectral se da origen a la fotometría.**



Gráfica 1.- Función $V(\lambda)$ de la eficiencia luminosa espectral CIE .

Los valores numéricos normalizados de la respuesta espectral del ojo, están evaluados por la *CIE* y se muestran en la Tabla 3.

Longitud de onda (nm)	Eficiencia Luminosa Fotópica $V(\lambda)$	Longitud de onda (nm)	Eficiencia Luminosa Fotópica
390	0,00012	555	1,000
400	0,0004	560	0,995
410	0,0012	570	0,952
420	0,0040	580	0,870
430	0,0116	590	0,757
440	0,023	600	0,631
450	0,038	610	0,503
460	0,060	620	0,381
470	0,091	630	0,265
480	0,139	640	0,175
490	0,208	650	0,107
500	0,323	660	0,061
510	0,503	670	0,032
520	0,710	680	0,017
530	0,862	690	0,0082
540	0,954	700	0,0041
550	0,995	710	0,0021

Tabla 3.- Respuesta Fotópica definida por la Commission on Illumination de Eclairage (CIE)

Para convertir unidades radiométricas (watt) a las correspondientes unidades fotométricas (lumen), simplemente se requiere multiplicar la curva de distribución espectral por los valores de la **respuesta fotópica** de la Tabla 2.

3.3.- Unidades fotométricas

La medida fundamental de la radiación electromagnética emitida por una fuente es el **flujo radiante** (Q_v), es decir, la cantidad de energía emitida por unidad de tiempo, y se mide en watt (W). La magnitud fotométrica derivada, usada para medir el efecto de la luz, es el **flujo luminoso** (ϕ_v), es decir la cantidad de energía radiante por unidad de tiempo multiplicada por la sensibilidad espectral relativa del sistema visual humano integrada sobre el rango de longitudes de onda del visible, y se mide en **lumen** (lm).

Matemáticamente, para una cantidad fotométrica, (PQ) tiene el equivalente radiométrico (SPQ).

$$PQ = 683 \int (SPQ_{\lambda}) V(\lambda) d\lambda$$

Donde $V(\lambda)$ es cero fuera del intervalo 380 a 770 nm.

El **flujo luminoso** caracteriza la cantidad de luz total emitida por una fuente luminosa en todas direcciones. Sin embargo, para aplicaciones prácticas es necesario cuantificar el flujo luminoso emitido en una dirección, para la cual se define la **intensidad luminosa** (I) como el flujo emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección específica. La misma deriva de la magnitud radiométrica denominada **intensidad de radiación**. La unidad de medida de la intensidad luminosa es la **candela**, que es equivalente a un lm/estereorradián.

Las otras dos magnitudes fotométricas son: **iluminancia** y **luminancia**. La **iluminancia** (E), se deriva de la **irradiancia**, se define como el flujo luminoso que incide por unidad de área de una superficie dada. Se mide en lux (lm/m^2) (Ver Figura 1).

La **luminancia** (L), que deriva de la **radiancia** de una fuente o una superficie se define como la intensidad luminosa emitida por la fuente o la superficie, en la dirección de un observador, dividida por el área de la fuente o la superficie vista por el observador. Su unidad es la candela por metro cuadrado (cd/m^2). (Ver apartado 9.2)

La Norma establece que la **luminancia** debe ser determinada midiendo la **iluminancia** y convirtiéndola a **luminancia**,

$$\bar{L} = E / \Omega_p$$

Donde

\bar{L} Es la luminancia promedio, expresada en cd/m^2 , del espécimen medido;

E Es la iluminancia, expresada en lux (lx), del lugar determinado en el área de incidencia de luz de la cabeza del fotómetro utilizado;

Ω_p Es el ángulo sólido proyectado, expresado en estereorradianes (sr),

El ángulo sólido proyectado Ω_p sigue la ecuación:

$$\Omega_p = \pi \left[1 + (r/R)^2 \right]^{-1} \Omega_o$$

Donde

Ω_o Es el ángulo sólido proyectado, expresado en estereorradianes (sr), el cual es visualizado,

r Es la distancia, expresada en milímetros (mm), entre el área de incidencia de luz de la cabeza del fotómetro y el objeto de medición;

R El radio, expresado en milímetros (mm), del plano de la superficie probada del objeto de medición.

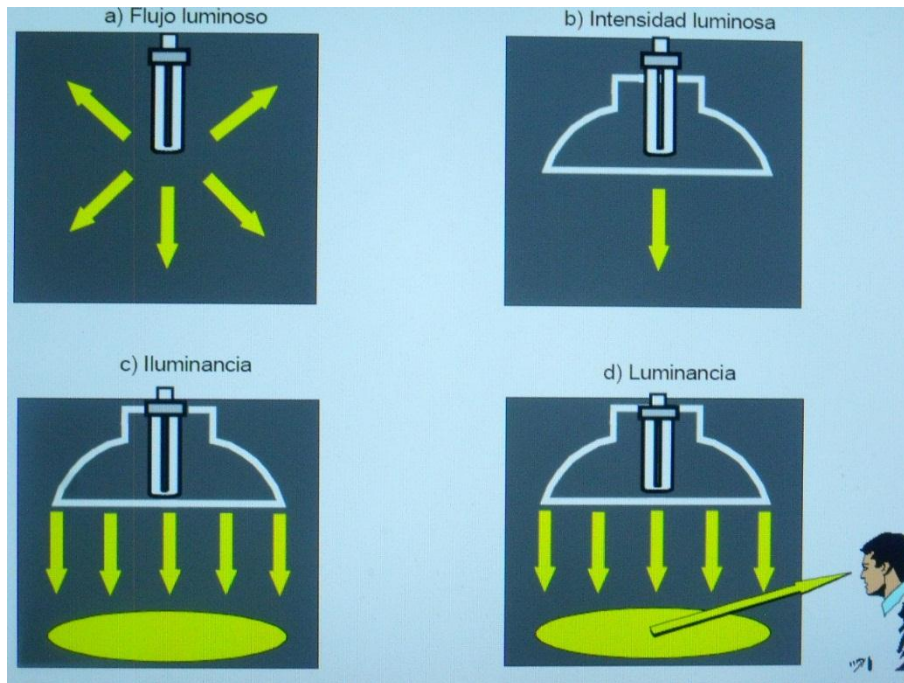


Figura 1.- Gráficos ilustrativos de los conceptos de (a) flujo luminoso, (b) intensidad luminosa, (c) iluminancia y (d) luminancia.

4.- Las señales de seguridad

4.1.- Las señales de seguridad

En la serie de fotografías 1 al 4 se muestran algunas señales fotoluminiscentes proporcionadas por los fabricantes; se observa que el comportamiento temporal de la fotoluminiscencia es distinto en cada producto. La evaluación cuantitativa de la luminancia es el propósito de este trabajo de tesis.



(1)



(2)



(3)

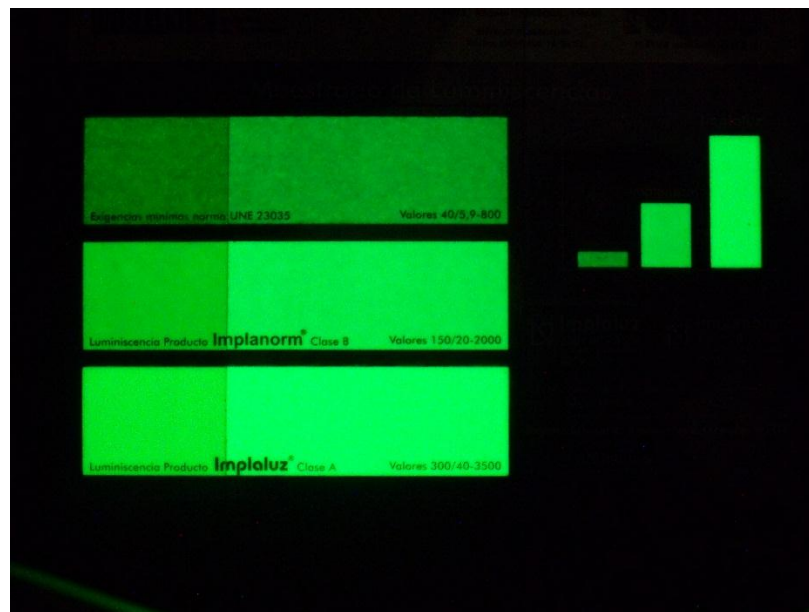
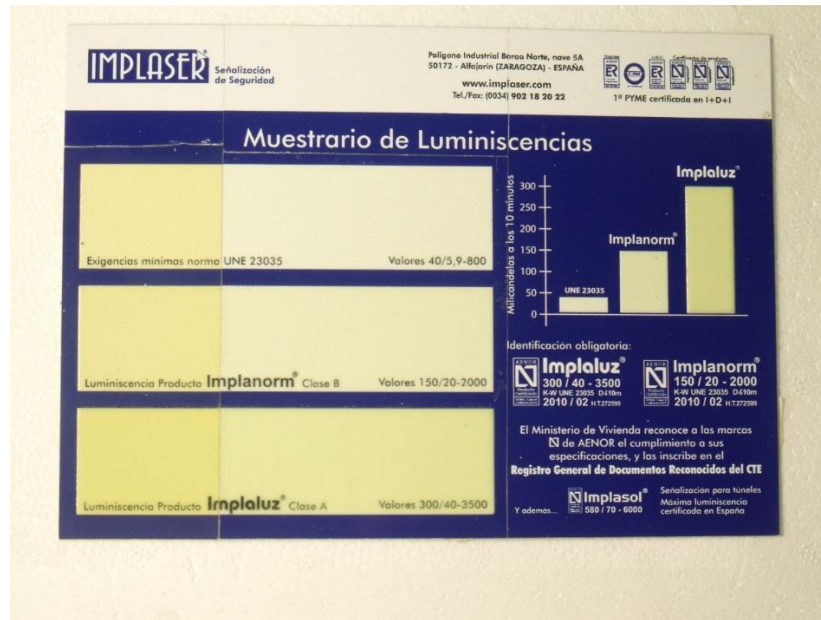


(4)

Fotografías 1 al 4.- Atenuación de la luminancia en intervalos de 5 minutos.

En las Fotografías 1 al 4 se observa la distinta rapidez del decaimiento de la luminiscencia de las señales proporcionadas por diversos fabricantes, se observa que algunas de estas

señales no cumplen con el propósito de un señalamiento de seguridad fotoluminiscente ya que el ojo deja de percibir las en períodos menores a una hora.



Fotografías 5 y 6.- Muestrario de luminiscencias certificadas

La luminiscencia temporal es evaluada con un muestrario de luminiscencia certificado, (ver fotografías 5 y 6). Esta certificación cumple con la Norma Española UNE 2035 con 3 clasificaciones como son: **Exigencias mínimas 40/5.9-/800**; **Clase B 150/20-2000** y **Clase A 300/40-3500**, donde el primer valor corresponde al mínimo de la luminancia a los 10 minutos después de retirado el estímulo, el segundo valor al mínimo después de 60 minutos y el ultimo corresponde al tiempo en minutos en que la luminancia se atenúa 1000 veces de el valor a los 10 minutos.

A continuación se procede a evaluar otras señales de seguridad (fotografías 7 a 10) proporcionadas por fabricantes y distribuidores, obteniéndose los resultados presentados en la gráfica 8.



Fotografías 7 y 8.- Señal en condiciones de luz ambiental y en oscuridad.



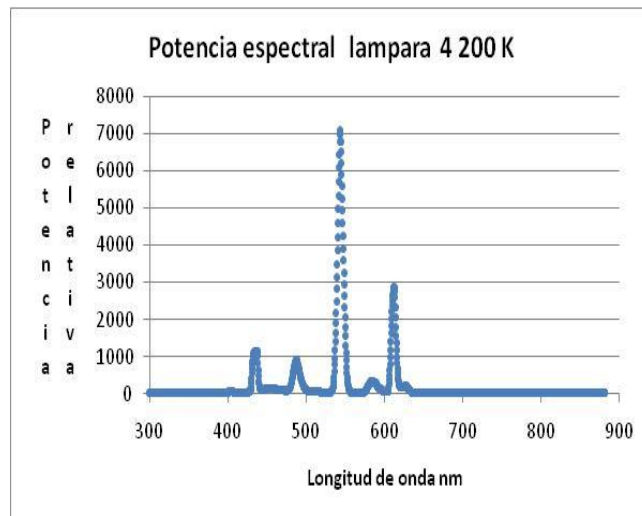
Fotografías 9 y 10.- Ejemplos de señales luminosas certificadas de localización de un teléfono de emergencia y de un extinguidor.

4.2.- Lámpara excitadora

Para realizar las validaciones y de acuerdo a los requisitos exigidos por la Norma NMX-S-062-SCFI-2015 para excitar las señales fotoluminescentes, se utilizó un arreglo de tubos fluorescentes de temperatura de color de 4200 K (Fotografía 11), marca *Lights of America*, modelo F8T5/CW, alimentado con un voltaje estabilizado de 120 volts y consumo de 5 watts. El tiempo de estabilización como muchos tubos fluorescentes es de 15 minutos aproximadamente y debido al arreglo de estos tubos, a una distancia mayor de 50 cm, la máxima variación de la irradiancia en una superficie de 10 x 10 cm es menor al 0.5%. La potencia espectral relativa de la lámpara se muestra en la gráfica 2.



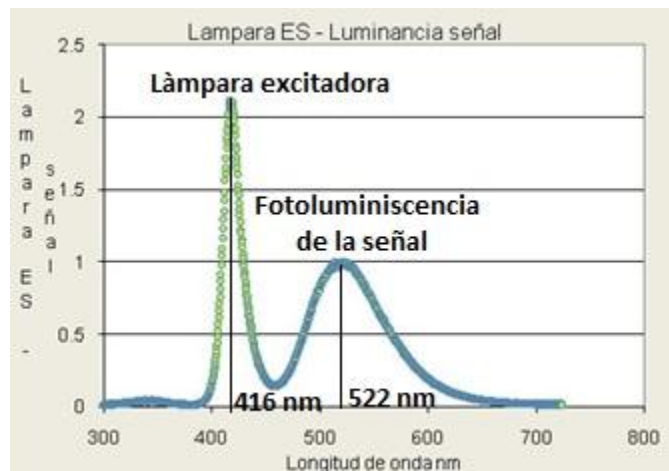
Fotografía 11.- Iluminante fluorescente de 4200 K de temperatura de color



Grafica 2.- Potencia espectral relativa de la lámpara fluorescente de 4200 K de temperatura de color.

Finalmente, se muestra en la Gráfica 3 obtenida con el espectrofotómetro la intensidad espectral de la luz de excitación dispersada de una lámpara de 140 diodos led con centroide en 416 nm y simultáneamente el de la fluorescencia de la señal con centroide en 522 nm, construida en el CCADET, solo para observar la distribución espectral de la lámpara excitadora y simultáneamente la fluorescencia de la señal.

Los espectros de las Gráficas 2 y 3 se obtienen con el espectrofotómetro marca **EO** Edmund CCD Spectrometer.

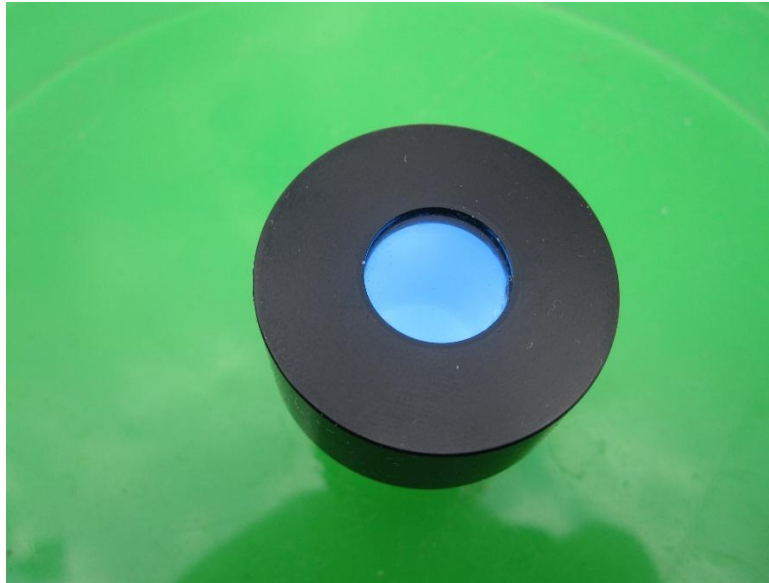


Gráfica 3.- Espectro de la fuente de estado sólido de 416 nm y de la luminancia de la señal, con centroide en 522 nm.

4.3.- El detector fotométrico

El detector del fotómetro, es un dispositivo que integra un detector de silicio con área activa de 1.00 cm² colocado a 0.98 cm de la superficie de la ventana, lo que permite hacer las mediciones por el método de contacto (ver apartado 9.2); un espejo interferométrico en el azul y un filtro amarillo, del tal forma que la combinación de la responsividad del fotodiodo, la reflectancia del filtro interferométrico y la transmitancia del filtro, proporcionan una respuesta aproximada como la función de la eficiencia espectral CIE, con una diferencia con respecto al área de esta curva del 6% y con una responsividad a 550

nm de 0.24 A/W o 0.40 mA/Lum como se especifica en la hoja de características (Fotografía 12).



Fotografía 12.- Detector fotométrico

5.- Procedimiento experimental establecido en la Norma

5.1.- Definiciones

Para propósitos de la Norma Mexicana se establecen las siguientes definiciones:

Luminancia fotópica es la emisión de luz perceptible por el ojo humano.

Señal de seguridad fotoluminiscente la que usa un elemento fosforescente que emite luz por un período definido después de que la fuente de energía luminosa a la que se encontraba expuesta ha sido removida.

5.2.- Propiedades fotométricas

Para los señalamientos de seguridad fotoluminiscentes, la descripción del producto incluirá el color de la fotoluminiscencia.

Para los señalamientos de seguridad clasificados como fotoluminiscentes (P) de conformidad con la Tabla (1), la descripción del producto incluirá la **subclasificación** del decaimiento temporal de luminiscencia, la cual será proporcionada junto con la clasificación principal de la propiedad fotométrica, ya sea **PA, PB, PC o PD**.

6.- Medición de la luminancia fotópica

6.1.- Resumen del método

Los especímenes de prueba se exponen a una iluminancia de 50 lux, intensidad definida de una lámpara de excitación de características específicas y por un tiempo preestablecido; al finalizar el periodo de excitación, se determina el decaimiento de la luminancia emitida por dichos especímenes.

6.2.- Especímenes de prueba

Se deben probar tres especímenes. Cada espécimen de prueba debe tener un área de material fotoluminiscente de al menos 35 mm de diámetro, suficiente para la operación apropiada del medidor de luminancia utilizado. Para los señalamientos de seguridad fotoluminiscentes la descripción del producto incluirá el color de la fotoluminiscencia.

6.3.- Acondicionamiento

Todos los especímenes de prueba deben ser pre-acondicionados colocándolos en un contenedor oscuro durante al menos 48 h. Los especímenes no deben ser retirados del contenedor oscuro hasta inmediatamente antes de las pruebas.

6.4.- Condiciones ambientales

La temperatura ambiente durante el pre-acondicionamiento de los especímenes, prueba de excitación y luminancia debe ser de (23 ± 2) °C. La humedad relativa debe ser (50 ± 10) %. Toda la prueba de luminancia debe realizarse en una habitación / cámara cuyo nivel de iluminación ambiental es al menos una orden de magnitud inferior que la menor medición de luminancia a ser realizada.

7.- Instrumentación

7.1.- Instrumentación de iluminancia

Se debe proveer un medidor de iluminancia de corrección fotópica coseno $V(\lambda)$, calibrado para medir la iluminancia en unidades lux (lx), con las características siguientes:

- error espectral: $f_1' \leq 5 \%$
- respuesta UV: $u \leq 0,5 \%$
- resolución: 1,0 lx;
- error de linealidad: $f_3 \leq 0,5 \%$ – intervalo de medición: ≥ 10 lx a 10 klx;
- diámetro de entrada de luz de la cabeza del fotómetro: ≥ 1 cm;

7.2.- Instrumentación de luminancia

Debe proveerse un medidor de luminancia, calibrado para medir luminancia fotópica. El medidor de luminancia debe ser, ya sea un telefotómetro, o un medidor de luminancia de contacto, dependiendo si se utiliza el método de telefotómetro (véase apartado 9.1) o el método de contacto (véase apartado 9.2), y debe tener las siguientes características mínimas:

- error espectral: $f_1' \leq 5 \%$
- respuesta UV: $u \leq 0,5 \%$ – resolución: al menos 0,1 mcd/m²;
- error de linealidad: $f_3 \leq 0,5 \%$
- relación señal – ruido: al menos 10:1 para todas las mediciones;
- intervalo de medición: $\geq 10^{-1}$ mcd/m² a 10³ mcd/m²;
- diámetro de entrada de luz de la cabeza del fotómetro: ≥ 1 cm;
- pantalla: $\geq 3,5$ dígitos, intervalo mínimo $\geq 0,001 \times 10^{-1}$, max $\leq 1,999 \times 10$.

8.- Luz de excitación

La excitación de los especímenes de prueba fotoluminiscentes debe ser llevada a cabo de acuerdo a la lista siguiente.

- a) 200 lx usando una fuente de luz estándar D65 durante 20 min;
- b) 50 lx usando una lámpara fluorescente blanca fría de temperatura de color 4 300 K durante 15 min;
- c) 25 lx usando una lámpara fluorescente blanca templada de temperatura de color 3 000 K durante 15 min.

El cuerpo del espécimen de prueba no debe exceder de 25 °C, 1 min después de la excitación. Ninguna luz ambiental o dispersa estará presente durante la excitación. La iluminancia deberá ser medida utilizando el medidor de iluminancia especificado

Las áreas de prueba para la medición de la iluminancia deben ser colocadas en el centro del área iluminada del espécimen de prueba y en cada uno de los cuatro puntos a 90° en el borde externo de la superficie del espécimen de prueba. La iluminancia media en las cinco áreas de prueba puede ser como se describe en los incisos a), b) y c) anteriores. El proveedor y el comprador pueden acordar otras condiciones de nivel de iluminación y tipo de fuente de luz, así como el tiempo de excitación de acuerdo a los requerimientos específicos de servicio, adicionalmente a los incisos a), b) y c) anteriores.

9.- Medición de la luminancia

Las mediciones de luminancia deben llevarse a cabo usando el medidor especificado empleando ya sea el método del telefotómetro o el método de contacto.

9.1.- Método del telefotómetro

En este método se utiliza un telescopio acoplado al detector tal que la distancia entre el medidor de luminancia y el espécimen de prueba medido y la apertura del medidor de luminancia, se elige de tal forma que el área del espécimen de prueba a ser evaluado, sea suficiente para que el medidor de luminancia dé una lectura en bajos niveles.

9.2.- Método de contacto

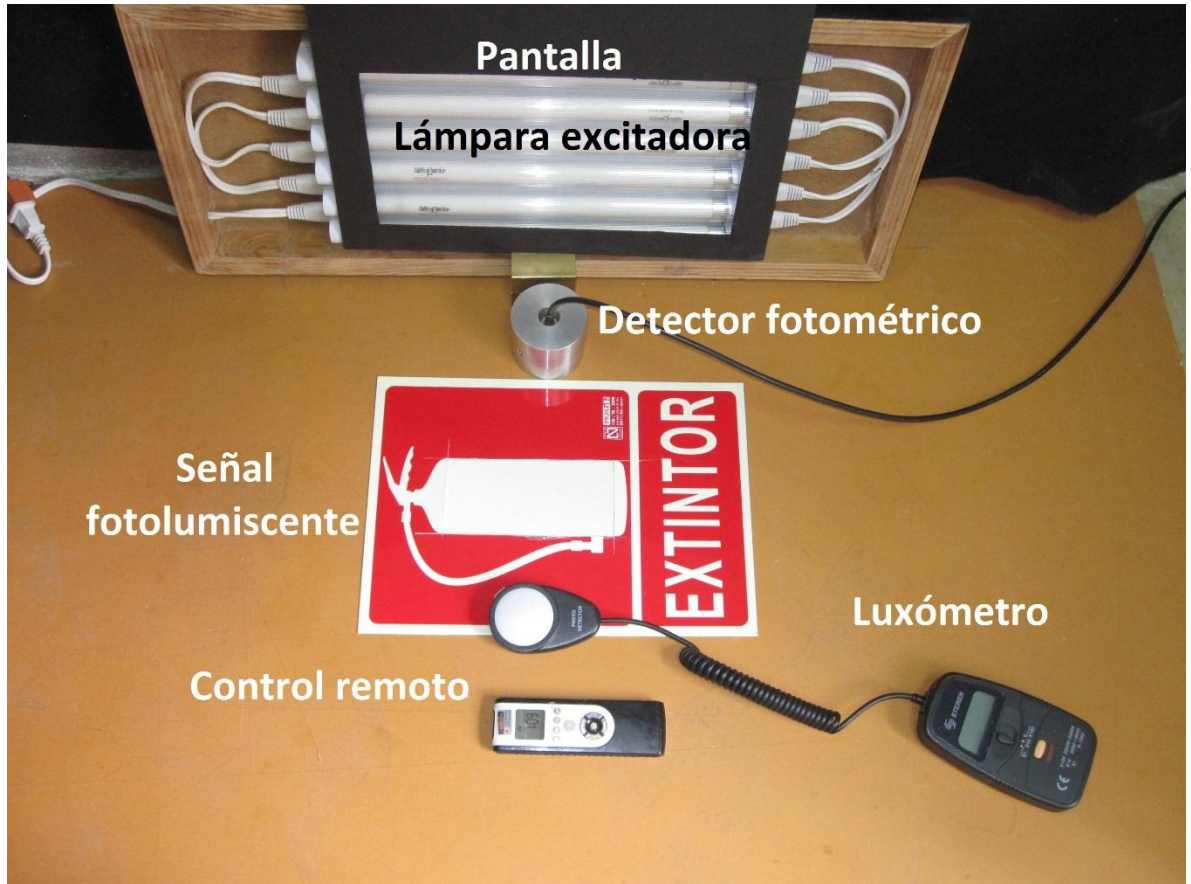
La cabeza de medición del medidor de luminancia debe ser colocada sobre la superficie del espécimen. Debe evitarse la influencia de la luz ambiental cubriendo la superficie del espécimen alrededor de la cabeza de medición de luminancia con un material de protección contra la luz. En el caso del fotómetro, la montura del detector suministra la protección contra la luz, de tal forma que al colocarlo sobre una superficie blanca y con la lámpara excitadora encendida, el fotómetro indica una lectura menor a una milicandela por metro cuadrado (000.0 mcd/m^2). El área del espécimen de prueba a ser evaluada debe ser suficiente para que el medidor proporcione una lectura de luminancia a bajos niveles.

Por las características de detector, se utilizó el **método de contacto** excitando la muestra de la señal como lo indica la norma y al momento de iniciar la medida de la luminancia, se coloca simultáneamente la cabeza de medición sobre la señal y activando el proceso de lectura de la computadora y a continuación se apaga la lámpara excitadora.

Como el fotómetro está calibrado para mostrar directamente la lectura en milicandelas con resolución de décimas de milicandelas, la lectura en la computadora se realiza cada 5

minutos, seleccionando las lecturas de 10, 30 y 60 minutos como lo especifica la Norma, utilizando el total de las 12 lecturas de 5 minutos cada una para realizar la estadística.

9.3.- Dispositivo experimental



Fotografía 13.- Dispositivo experimental

10.- Resultados

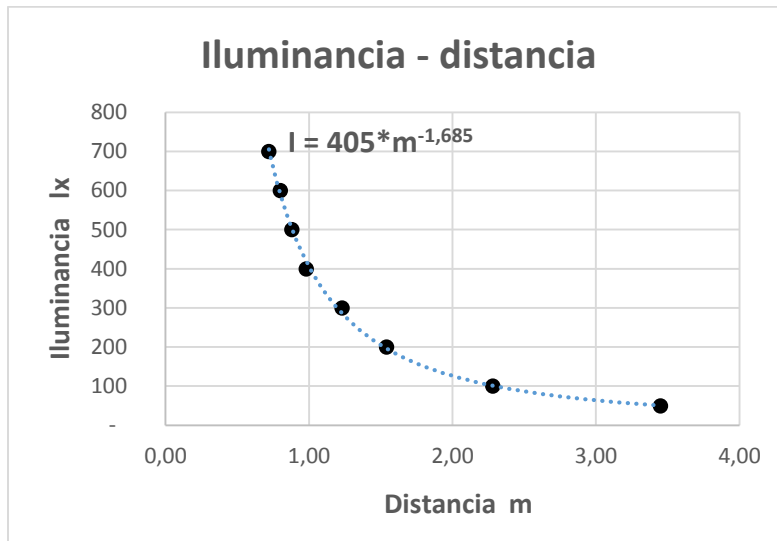
Tomando en cuenta los requisitos que pide la Norma para las condiciones de la luz de excitación de la señal, por una parte, se calibra la iluminancia en la señal cambiando la distancia de la lámpara desarrollada en el CCADET para este fin, ver Fotografía 11 y Gráfica 2, compuesta por 6 tubos fluorescentes con longitud de 30 cm de la marca Lights of America, modelo F8T5/CW 4200 K (4711) separadas 3.05 cm, como se muestra en la Tabla 4 y la Gráfica 4 y además, el ajuste final se logra colocando una pantalla en la lámpara con una apertura tal que la señal reciba 50 lux. La potencia espectral relativa de esta lámpara se muestra en la Gráfica 2 y se obtiene con un espectrofotómetro marca Ocean Optics Modelo HR2000. La iluminancia se mide con un Luxómetro comercial Modelo HER-410 y la luminancia se realiza con un fotómetro desarrollado por el físico Angel Arturo Nogueira Jiménez en el Laboratorio de Óptica Aplicada del CCADET. (2 y 3) Los resultados se registran en una base de datos para su tratamiento estadístico al repetir cada medida en 5 ocasiones con una incertidumbre de ± 0.5 milicandela, ya que el fotómetro proporciona una lectura de decimas de milicandela; el muestreo de la luminancia se realiza cada 5 minutos empezando a los 10 minutos hasta los 60 minutos, los resultados solo se muestran a los 10 minutos, 30 minutos y 60 minutos como lo requiere la Norma. El muestreo se realiza colocando el detector del fotómetro (ver Figura 12) sobre la señal, activando simultáneamente la lectura del fotómetro y apagando la lámpara excitadora.

La validación se realizó con el dispositivo experimental mostrado en la Fotografía 13.

Al comprobar la iluminancia como función de la distancia entre la señal fotoluminiscente y la lámpara excitadora, se obtiene que es un comportamiento del tipo potencial como se muestra en la Tabla 4 y Gráfica 4.

metros	lux
3,45	50
2,28	100
1,54	200
1,23	300
0,98	400
0,88	500
0,80	600
0,72	700

Tabla 4.- Datos de la calibración de la Iluminancia en la señal como función de la distancia.



Gráfica 4.- Curva de comportamiento de la iluminancia en la señal con la distancia

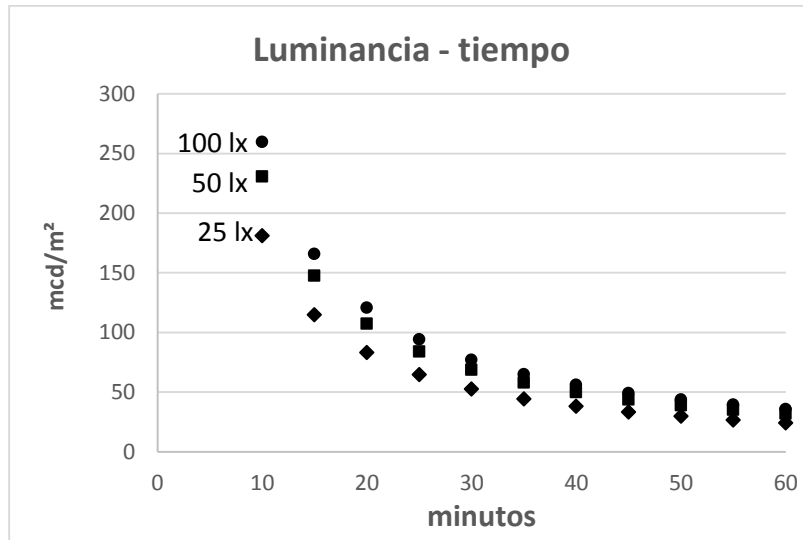
Tomamos una señal fotoluminiscente certificada como de Clase B de la Norma Española UNE 23035 excitada con iluminancias de 25 lx, 50 lx y 100 lx, y se mide la luminancia temporal cada cinco minutos. Los resultados se muestran en la Tabla 4 y Gráfica 5, donde se observa que la luminancia a los 10 minutos aumenta con la intensidad de la excitación pero no en forma proporcional debido a que el medio activo tiende a saturarse con el aumento de la excitación como se muestra en la Gráfica 5. Si realizamos los cocientes de las luminancias temporales de las excitaciones de 100 lx y 50 lux se observa que el

decaimiento temporal de la luminancia es proporcional a los valores iniciales, como se muestra en la Gráfica 6 donde el valor de la luminancia a los 10 minutos, no es proporcional a la iluminancia. Las variaciones sobre el valor constante se deben básicamente a las lecturas digitales del fotómetro, caracterizadas por ± 1 y a las aproximaciones de los cocientes.

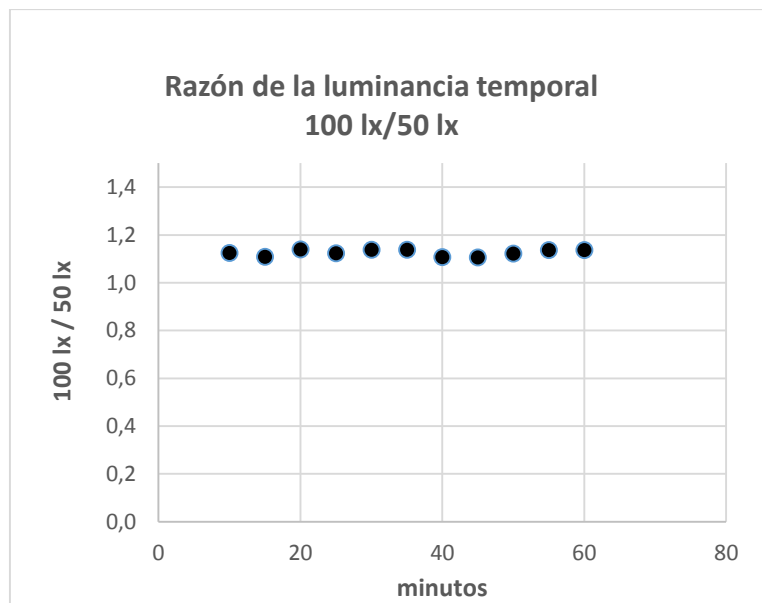
Lámpara fluorescente de 4200 K de Temperatura de color
Excitando una señal certificada durante 1/2 hora

Iluminancia	25 lx	50 lx	100 lx	
Luminancia	mcd/m ²	mcd/m ²	mcd/m ²	Razón 100 lx/50 lx
minutos				
10	181	231	260	1,125
15	115	148	166	1,109
20	83	108	121	1,139
25	65	84	94	1,123
30	53	69	77	1,138
35	44	58	65	1,137
40	38	50	56	1,106
45	34	44	49	1,106
50	30	39	44	1,121
55	27	35	40	1,136
60	24	32	36	1,136

Tabla 5.- Luminancia temporal de la señal excitada con distintas iluminancias.



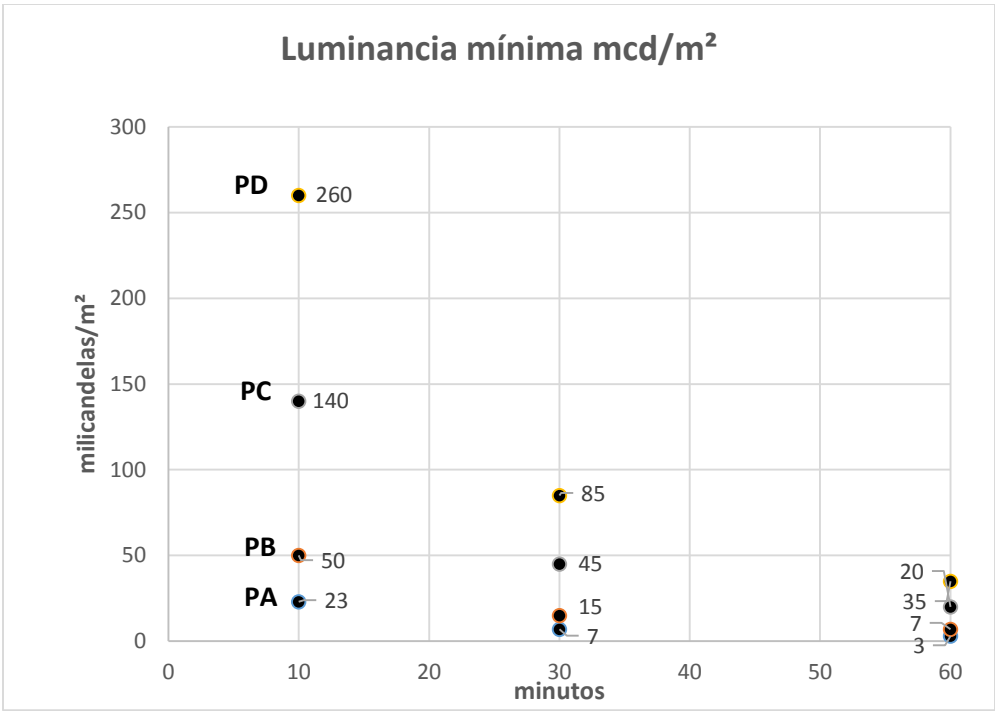
Gráfica 5.- Comportamiento de la luminancia como función del tiempo.



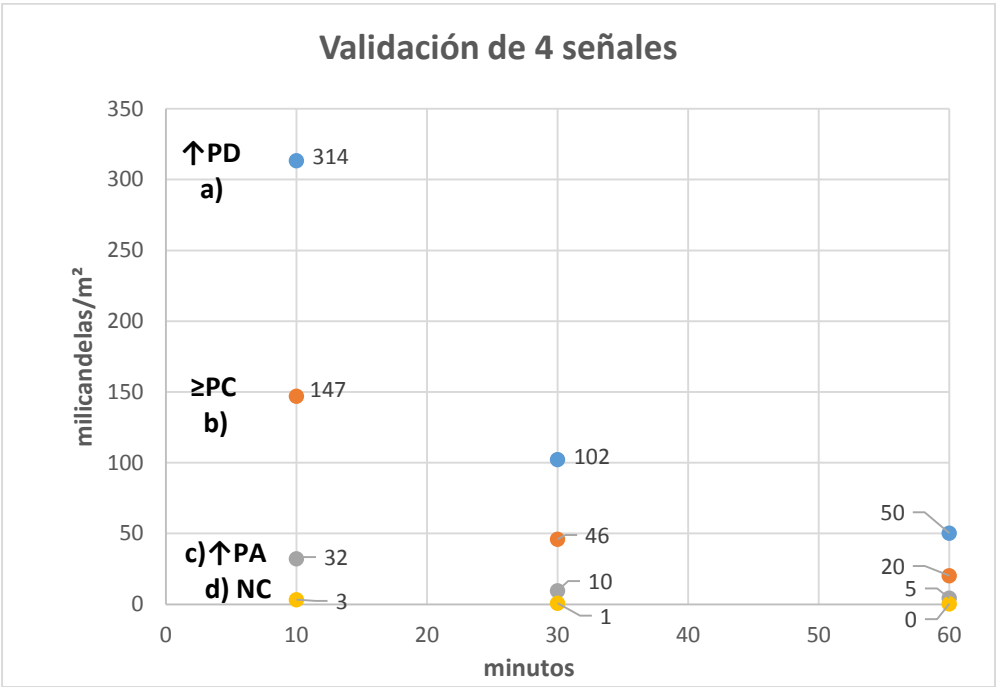
Gráfica 6.- Razón de las luminancias temporales para iluminancias de 100 lx y 50 lx.

Los valores de la Norma Mexicana de luminancia mínima se presentan en la Gráfica 7, donde se muestran los valores de las Subclasificaciones A, B, C y D. Si evaluamos 4 señales certificadas con la Norma Europea UNE 23035 proporcionadas por los fabricantes, a), b), c) y d), concluimos que la primer señal cumple sobradamente con la Subclasificación D; la segunda señal entra en la región de la Subclasificación C; la tercera señal entra en la

Subclasificación A y finalmente la cuarta señal NC no cumple con los requisitos de certificación de acuerdo a los resultados mostrados en la gráfica 8.



Gráfica 7.- Luminancia temporal mínima en mcd/m² según la subclasificación de la Norma



Gráfica 8.- Validación de señales fotoluminiscentes de acuerdo a las subclasificaciones (NC – No Cumple con los parámetros de la Norma).

11.- Conclusiones

En este trabajo se validaron las propiedades fotométricas de la Norma Mexicana NMX-S-062-SCFI-2015 en las señales fotoluminiscentes de seguridad, donde se verificaron y modificaron los parámetros de la ISO 17398, de la luminancia mínima, por recomendaciones de los fabricantes y los resultados experimentales, se eliminó el muestreo de los dos minutos ya que la velocidad de la atenuación temporal de la luminancia en ese tiempo cambia rápidamente y como el tiempo de muestreo del fotómetro es de 1/4 s, la incertidumbre es considerable. La repetibilidad en la medida de la iluminancia resultó ser mejor a ± 2 milicandelas por metro cuadrado a los 10 minutos.

Para lograr la validación de las propiedades fotométricas de las señales de seguridad fotoluminiscentes fue necesario conocer el Proyecto de Norma Mexicana, entender los conceptos de fotometría, familiarizarse con la instrumentación óptica, el desarrollo del iluminante requerido para la excitación, el acondicionamiento de las señales y las técnicas de medida.

Si se cumplen los requisitos de colocar la señal en un contenedor completamente oscuro al menos durante 48 h, con las condiciones ambientales de temperatura y humedad y los luxómetros y fotómetro cumplan con al menos lo establecido; y la exposición de la señal a una intensidad definida de una lámpara fluorescente con temperatura de color de 4200 K por el tiempo especificado que establece la Norma Mexicana, se obtiene un alto grado de **repetibilidad** en la toma de varias medidas de una misma característica y en las mismas condiciones, con el mismo instrumento de medición y por el mismo operario.

La Norma Mexicana NMX-S-062-SCFI-2015 se elaboró con base en la Norma Internacional *ISO 17398: 2004 Safety color and safety signs- Classification, performance and durability of safety signs*, la cual plantea como propósito proporcionar a fabricantes/proveedores y usuarios con elementos para la especificación de parámetros de desempeño de las señales de seguridad fotoluminiscentes, las cuales, cuando se han definido deberán mantenerse a lo largo de la vida útil esperada del producto y garantizar la

visualización a la señal hasta los 60 minutos después de la interrupción de la iluminación en una contingencia retirada con el propósito de asegurar su desempeño para indicar las rutas de evacuación, salidas de emergencia, localización de escaleras, extintores, etc.

En lo referente a la medición de la luminancia fotópica de los señalamientos, cabe mencionar que actualmente no se cuenta con laboratorios de prueba acreditados oficialmente para este fin, no obstante, uno de los efectos que se esperan de la publicación de la Norma Mexicana NMX-S-062-SCFI-2015, (18) será precisamente el promover que se creen y acrediten dichos laboratorios, esto último a través de la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) en el país, con el fin de atender la demanda de fabricantes y comercializadores de este tipo de productos, ya sea para ofrecer al consumidor una señalización certificada conforme a los requerimientos impuestos por la norma en mención, o por algún requerimiento reglamentario o normativo en materia de seguridad industrial y protección civil. Con base a esta experiencia el CCADET cuenta con la infraestructura necesaria para desarrollar un laboratorio de certificación de estos parámetros.

12.- Bibliografía

- (1) Liza Colombo y Beatria O'Donell. Luz, color y Visión, Cap. 2, hoja 5.
- (2) Determinación de la Luminancia en Señales de Seguridad Fosforescentes. Angel Arturo Nogueira Jiménez, Arturo Ávalos Ruiz, Guillermo Valencia Luna.- Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, UNAM; Secretaría del Trabajo y Previsión Social, Centro Nacional de Metrología. SOMI XIII, Congreso de Instrumentación, Xalapa, Veracruz.
- (3) Caracterización de la fosforescencia en señales de seguridad. Angel Arturo Nogueira Jiménez. Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico UNAM.
LIII Congreso Nacional de Física. Boca del Rio, Veracruz.
- (4) D. L. MacAdam. Color Measurement, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1981.
- (5) Miles V. Klein, Thomas, Thomas E. Furtac. Optics, John Wiley & Sons, Singapore, 1986.
- (6) Curso de Fotometría. Centro Nacional de Metrología. División de Óptica y Radiometría, 1996.
- (7) The Book Photons Tools. Oriel Instruments. Optical Radiation Terminology and Units. P. 1-1, 1-11, 2004.
- (8) American National Standards Institute. Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering ANSI /IES RP-16-198.
- (9) Commission Internationale de l'Eclairage. The basis of Physical Photometry

- (10) D. Mielenz. National Bureau of Standards. Optical Radiation Measurements Volume 3, Measurement of Photoluminescence. Academic Press Inc, 1982.
- (11) Eugene Hecht. Óptica, Adison Wesley, España, Fluorescencia, p.609-610.
- (12) Norma Internacional ISO 17398:2004 *Safety colours and safety signs – Classification, performance and durability of safety signs.*
- (13) Norma Internacional UNE 23.035-4:2003 Seguridad contra incendios. Señalización fotoluminiscente. Parte 4: Condiciones generales. Mediciones y clasificación.
- (14) Norma Internacional ISO 105-X12:2001, *Textiles — Tests for colour fastness — Part X12: Colour fastness to rubbing*
- (15) Norma Internacional ISO 291:2008, *Plastics — Standard atmospheres for conditioning and testing.*
- (16) Norma Internacional ISO 3864-1:2002, *Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Part 1: Design principles for safety signs in workplaces and public areas*
- (17) Norma Internacional ISO 4892-2:2013, *Plastics — Methods of exposure to laboratory light sources — Part 2: Xenon-arc sources*
- (18) DECLARATORIA DE VIGENCIA DE LA NORMA MEXICANA NMX-S-062-SCFI-2015, SEGURIDAD-COLORES Y SEÑALES DE SEGURIDAD-CLASIFICACION, DESEMPEÑO Y DURABILIDAD DE LAS SEÑALES DE SEGURIDAD. Secretaría de Economía – Subsecretaría de Competitividad y Normatividad .- Dirección General de Normas. DIARIO OFICIAL Lunes 30 de mayo de 2016.