

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK



FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y COMPORTAMIENTO HUMANO

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN
DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS,
CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE
TRABAJO”.**

Realizado por:

BYRON SAMUEL GAMBOA MARIÑO

Director del proyecto:

Esteban Carrera

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Quito, 28 de agosto del 2018

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, BYRON SAMUEL GAMBOA MARIÑO, con cédula de identidad # 1600351207, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Byron Samuel Gamboa Mariño

C.C.: 1600351207

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO”.

Realizado por:

BYRON SAMUEL GAMBOA MARIÑO

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

ha Sido dirigido por el profesor

Esteban Carrera

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Esteban Carrera

DIRECTOR

DECLARATORIA PROFESORES INFORMANTES

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

OSCAR TAPIA

FRANZ GUZMAN

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



Oscar Tapia



Franz Guzmán

Quito, 28 de agosto de 2018

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios por cuidar de mí y de mi familia a lo largo de mi vida y por guiar mis pasos durante toda mi estancia en esta universidad.

Con mucho cariño dedico este trabajo a mi amada esposa Samia, a mis hijos Samantha, Valerie, y Mateo por ser mi razón de superación, les amo.

AGRADECIMIENTO

Un infinito agradecimiento a mi amada esposa, a mis hijos por la comprensión, paciencia y apoyo incondicional en el trayecto de mis estudios de cuarto nivel, a mis padres por darme la vida, y sobre todo a Dios por permitirme escalar en el conocimiento, por darme la salud y la vitalidad para alcanzar una meta más en mi vida profesional.

A su vez agradecer a mis maestros por los conocimientos impartidos en las aulas, por impulsarnos a ser buenos profesionales en el área de la seguridad y salud en el trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. El problema de investigación	1
1.1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.1.1.1. Diagnóstico del problema.....	2
1.1.1.2. Pronóstico.....	4
1.1.1.3. Control del Pronóstico.....	5
1.1.2. Objetivo General.	5
1.1.3. Objetivos Específicos.	5
1.1.4. Justificaciones.	6
1.2. Marco Teórico.	9
1.2.1. Estado actual del conocimiento del tema	10
CAPITULO II.	25
MÉTODO.....	25
2.1. Nivel de estudio.....	25
2.2. Modalidad de investigación	26
2.3. Método	26
2.4. Población y muestra	26
CAPITULO III.	28

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

RESULTADOS	28
3.1. Presentación y análisis de resultados	28
3.2. Aplicación Práctica	42
3.2.1. Procedimiento para la preparación	43
3.2.2. Procedimiento para la calibración.	53
CAPITULO IV	58
DISCUSIÓN.....	58
4.1 Conclusiones	58
4.2 Recomendaciones	61
Bibliografía.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	11
FIGURA 2. ILUMINANTES ESTANDARIZADOS POR LA CIE.	12
FIGURA 3. LAS FUNCIONES $V(\lambda)$ Y $V'(\lambda)$	14
FIGURA 4. LUXÓMETRO (SPER SCIENTIFIC, 2015).....	18
FIGURA 5. ESPECIFICACIONES DEL LUXÓMETRO (SPER SCIENTIFIC, 2015)	19
FIGURA 6. LÁMPARA PATRÓN RS-10D (GAMMA SCIENTIFIC, INC., 2015)	22
FIGURA 7. CARACTERÍSTICAS DE LA LÁMPARA PATRÓN RS-10D	23
FIGURA 8. ESQUEMA DE LA PROPAGACIÓN DE UNA ONDA. (CENAM, 2010).....	28
FIGURA 9. BANCO FOTOMÉTRICO DEL CENAM (A) DISTANCIA VARIABLE Y (B) TRANSMITANCIA VARIABLE.....	29
FIGURA 10. ESTRUCTURA DEL BANCO FOTOMÉTRICO.....	31
FIGURA 11. TORRE PARA EL FOTOSENSOR.....	32
FIGURA 12. REGLA MÉTRICA PATRÓN.....	33
FIGURA 13. CAJA NEGRA (A).....	34
FIGURA 14 CAJA NEGRA (B).....	34
FIGURA 15. MESA DE TRABAJO.....	35
FIGURA 16. CUARTO NEGRO.....	36
FIGURA 17. ILUMINANCIA COMPROBADA.....	41
FIGURA 18. PREPARACIÓN DE LA LÁMPARA PATRÓN	48
FIGURA 19. POSICIONAMIENTO DEL BANCO FOTOMÉTRICO.....	48
FIGURA 20. ESTABILIZACIÓN DEL FOTOSENSOR - LÁMPARA PATRÓN.....	49

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

FIGURA 21. ENCERAMIENTO DEL LUXÓMETRO.....	54
FIGURA 22. BANDA DE CALIBRACIÓN	57

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS Y SUS UNIDADES DEL SI .	14
TABLA 2. ILUMINACIÓN MÍNIMA EN ACTIVIDADES	20
TABLA 3. RANGOS DE CALIBRACIÓN	39
TABLA 4. ILUMINANCIA COMPROBADA	40
TABLA 5. ERROR PORCENTUAL	42
TABLA 6. FORMATO PARA MUESTREO	51
TABLA 7. FORMATO CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	52
TABLA 8. PUNTOS DE CALIBRACIÓN	53
TABLA 9. MUESTREO DE LA CALIBRACIÓN	55

Resumen

El diseño de un banco fotométrico para la calibración de luxómetros tiene una base teórica, científica en la ley de Bouguer, Ley fotométrica de la distancia o ley del inverso al cuadrado, en donde la iluminancia es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, esta ley se emplea en el diseño del banco fotométrico utilizando una fuente de luz certificada con una trazabilidad de su calibración, a su vez se utiliza un luxómetro de referencia para comprobar los valores calculados en el diseño, para el desempeño del banco fotométrico en este diseño se plantea la utilización de una torre de estabilización para ubicar el fotosensor del luxómetro bajo prueba a la distancia variable de calibración dentro del rango de 50 a 2400 lux.

El banco fotométrico debe estar completamente aislado de perturbaciones de iluminación hacia el interior para evitar sesgos en la calibración de los luxómetros, por ello se sugiere utilizar una caja negra dentro de la cual se ubica al banco, y toda la infraestructura utilizar dentro de un cuarto negro.

Palabras claves:

Calibración, luxómetros, banco fotométrico.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. El problema de investigación

A nivel mundial el aseguramiento de la calidad probablemente es uno de los pilares más importantes en los sistemas productivos, por ello en los procesos en los que es esencial disponer de la trazabilidad de las medidas, los equipos de medición deben calibrarse, verificarse, o ambas, a intervalos especificados, o antes de su utilización, ya que esto puede aumentar los tiempos efectivos de producción mediante la predicción de posibles problemas antes que causen fallas en la medición. En este aspecto en países desarrollados cuentan con laboratorios acreditados con la norma ISO 17025, o con normas internacionales como A2LA para competencias de laboratorio en el mesurando de la variable de luminancia, al utilizar bancos fotométricos y lámparas patrones para calibrar los instrumentos medidores de iluminancia, más conocidos como luxómetros.

Países cercanos como Colombia, Perú, Chile, Argentina, México cuentan con laboratorios para calibrar los instrumentos en cuestión, sin embargo en nuestro país no existe un laboratorio acreditado para suplir la necesidad de calibración de estos equipos, por lo cual las empresas que cuentan con estos instrumentos deben enviar al exterior a certificar, incurriendo en periodos prolongados de absentismo del instrumento con un lucro cesante y con un costo elevado por la logística de importación de equipos.

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

En nuestro país empresas productoras y prestadoras de servicios cuentan con instrumentos en seguridad e higiene industrial para realizar mediciones de iluminación y verificar que los niveles de iluminación se encuentren enmarcados dentro de los estándares establecidos por la normativa nacional Decreto ejecutivo 2393 y estándares internacionales como ISO 8995, dentro de los estándares seguros para la preservación de la vida humana, estando íntimamente relacionado con el concepto de responsabilidad social empresarial, en el orden de crear conciencia sobre el ofrecimiento de buenas condiciones laborales a los trabajadores, por ello la importancia de contar con un instrumento de medida de iluminación calibrado a la hora de realizar estas mediciones.

1.1.1. Planteamiento del Problema

Haciendo referencia a la necesidad que tiene nuestro país de contar con un laboratorio para la calibración de luxómetros, en este proyecto se plantea diseñar un banco fotométrico con capacidad de calibrar estos instrumentos en un rango entre 50 y 2500 luxes con la utilización de una lámpara patrón certificada y un luxómetro de referencia para comparar los valores establecidos y establecer una incertidumbre de la medida, basándose en la utilización de métodos normalizados internacionalmente.

1.1.1.1. Diagnóstico del problema.

Entres los hechos más relevantes en la identificación de nuestro problema se pueden mencionar que la utilización de un instrumento de medida de iluminancia o luxómetro calibrado en la industria nacional es de crucial importancia para se pueda alcanzar niveles de productividad, competitividad y calidad deseados en sus productos y servicios en entidades públicas y privadas, al realizar mediciones de iluminación para proveer un uso eficiente de la energía, diseñar y dotar de niveles de iluminación apropiados en los diferentes puestos de

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

trabajos para aumentar la eficiencia de la tareas asignadas, es así que es diferente el nivel de iluminación en un pasillo que en una sala de quirófano, por ende el consumo energético, y el diseño de la cantidad de luminarias y la utilización de diferentes tipos de lámparas, focos o luminarias de igual manera son diferentes en cada caso.

Estos instrumentos son utilizados por los departamentos de seguridad e higiene de las empresas así también de las empresas consultoras para brindar servicios de medición de los niveles de iluminación en puestos de trabajo y en verificación de áreas correctamente iluminadas y en algunos casos para verificar la eficiencia de las lámparas de varios tipos, siendo necesario e importante el diseñar y seleccionar el tipo de iluminaria correctamente a utilizar en las diferentes áreas de trabajo o de tránsito para tener un consumo eficiente de energía ligado de la mano con una buena condición de trabajo y espacios correctamente iluminados.

La utilización de los equipos hace que con el pasar del tiempo las desviaciones de la medida crezca por su tipo de uso, por el deterioro de instrumento o fotosensor, en algunos casos por el mal uso y falta de competencia de las personas encargadas de estos instrumentos, almacenamiento precario, condiciones ambientales de almacenamiento extremas, entre otros, por ello los propietarios de los instrumentos se ven obligados a hacer uso de un servicio de calibración de los equipos para dar un aseguramiento metrológico de su trabajo y medición, para esto se envían al exterior a realización de una calibración y un mantenimiento preventivo y correctivo a fin de disponer de un equipo en óptimas condiciones, y al no existir un laboratorio acreditado localmente en nuestro país, implica que se debe enviar al exterior, incurriendo en periodos prolongados de absentismo del instrumento con un lucro cesante y con un costo elevado por la logística de importación de equipos como se mencionó anteriormente.

Lo mencionado anteriormente lo podrá encontrar con mayor detalle y esquematizado en el diagrama en el Anexo A. ARBOL DE PROBLEMAS, en donde se evidencia las causas, los efectos y el problema central

1.1.1.2. Pronóstico

En un futuro la eficiencia de los procesos productivos y de servicios estará ligada al aseguramiento metrológico de la calibración de los instrumentos de medición de iluminación como una variable importante, además el desempeño de los trabajadores y su salud está cada vez más controlada por normativas legales a nivel nacional en cuanto a los niveles de iluminación, que son necesarios para desempeñar las diferentes tareas dependiendo del puesto de trabajo específico en cada empresa pública o privada.

Es así que los servicios de calibración de equipos de medición de iluminancia siguen incrementando y cada vez más en países en el extranjero, por lo cual las empresas que cuentan con estos instrumentos se ven retados a enviar sus equipos a recertificación en el exterior, y sobre todo las empresas que manejan sistemas de gestión ISO en donde se especifica que en caso de utilizar equipos para la medición de alguna variable que sea importante en el proceso de producción o de servicio se debe calibrar y tener una trazabilidad de la calibración.

Un impacto de salida de capital por parte del pago del servicio de calibración de un luxómetro en el exterior será cada vez más alto al pasar los años, en caso de no existir un laboratorio a nivel nacional con la competencia para realizar las calibraciones de los equipos en detalle.

1.1.1.3. Control del Pronóstico

Una solución a los problemas anteriormente expuestos puede ser la capacitación de técnicos a nivel nacional con la competencia en metrología aplicada a la calibración de equipos de medición de Iluminancia con el fin de implantar un laboratorio a nivel nacional, siempre y cuando se encuentre respaldado y apoyado por una inversión privada o pública en cuanto a la predisposición de implementar una instalación estructural adecuada con el respectivo banco fotométrico, una lámpara patrón, un luxómetro patrón de referencia y la adquisición de los métodos y normas de calibración de este tipo de instrumentos para poder satisfacer la demanda de equipos a calibrar en nuestro territorio ecuatoriano.

1.1.2. Objetivo General.

Diseñar un banco fotométrico para la calibración de luxómetros basado en un método internacional, con una proyección a instalarse en la ciudad de Quito hasta finales del año 2018.

1.1.3. Objetivos Específicos.

- Especificar las condiciones ambientales necesarios para el acondicionamiento del área para instalar el banco fotométrico.
- Determinar el área y condiciones de infraestructura necesarias para el desarrollo de un servicio de calibración de luxómetros con la utilización de un banco fotométrico.
- Determinar los rangos en luxes en la calibración de luxómetros, para que puedan ser utilizados en el diseño según requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, y se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores.

- Determinar una lámpara patrón acorde a los alcances del servicio de calibración de luxómetros.

1.1.4. Justificaciones.

El proyecto de instaurar un sistema de calibración de luxómetros se debe a una gran cantidad de solicitudes de clientes por un servicio de calibración de estos instrumentos a nivel nacional, es decir para suplir la necesidad de clientes en este ámbito.

Teórica

Actualmente en nuestro país se cuenta con un laboratorio de luminotecnia administrado por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, INER, que se enfocan a la certificación de conformidad de calidad de lámparas de alumbrado público y varios tipos de focos o luminarias a ser distribuidas a nivel nacional, este laboratorio cuenta con un sistema que desarrollará procesos de investigación en el ámbito de la luz, visión, colorimetría y fotometría, para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de iluminación, sin embargo con una limitante en la calibración de equipos luxómetros.

El desarrollo de nuevos conocimientos en el área de iluminancia en nuestro país no ha tenido un avance en comparación a otros países, por ello el desarrollo de este proyecto pretende plasmar conocimientos en el ámbito de la calibración de equipos de medición de iluminancia, que actualmente en nuestro país no se lo ha desarrollado, esto servirá para que técnicos especialistas puedan utilizar los aportes teóricos y prácticos para realizar avances en esta rama de la ciencia, y así hacer un aporte de conocimientos a la sociedad.

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

A su vez las empresas que tienen implantado los diferentes sistemas de gestión como las normas ISO, se ven obligados a cumplir con lo mencionado en cuanto al aseguramiento metrológico de sus instrumentos de medida por lo cual se debe gestionar por lo menos una vez al año la calibración de estos instrumentos con su respectiva trazabilidad, cálculo de la incertidumbre o factores de corrección, entre otros. Por ello la importancia en el desarrollo de este proyecto aportando con conocimientos en el campo de la calibración de los luxómetros.

Metodológica

La metodología a utilizar está enfocada en la implementación de la *Calibración De Luxómetros Y Su Uso En La Medición De Niveles De Iluminación*, publicación técnica del Centro Nacional de Metrología, Área de metrología física, División de Óptica y Radiometría del CENAM en México (E. Rosas, 2010).

También se utilizará metodologías tales como: *NIST MEASUREMENT SERVICES: PHOTOMETRIC CALIBRATIONS*. NIST Special Publication 250-37, del National Institute of Standards and Technology, Optical Technology Division, Physics Laboratory (Robert E. Hebner, July 1997).

El *PROCEDIMIENTO OP-001 PARA LA CALIBRACION DE ILUMINANCIMETROS (LUXOMETROS)*. (Centro Español de Metrología CEM, Subdirección General de Seguridad y Calidad Industrial, Ministerio de industria y Energía, Ministerio de Fomento).

El Procedimiento específico: PEL07RFB. *CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS DE REFERENCIA A PARTIR DE LÁMPARAS PATRONES DE INTENSIDAD LUMINOSA*. (Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI, Centro de Desarrollo e Investigación en Física y Metrología, Septiembre 2014).

Las referencias bibliográficas en cuanto a metodologías a utilizar se basarán a los cuatro modelos que actualmente se utilizan en los diferentes países para dar una justificación al diseño de nuestro banco fotométrico con su respectiva lámpara patrón y condiciones ambientales y de infraestructura.

Práctica

Se realizará el análisis de factibilidad y operatividad del diseño del sistema de calibración de luxómetros planteado en este proyecto para sugerir o no la implantación física del sistema, de igual manera se analizará si es factible llevarlo a la práctica el análisis teórico y los diferentes sesgos probables que se tendrían en la realidad.

Relevancia social

En el Decreto Ejecutivo 2393, Reglamento De Seguridad Y Salud De Los Trabajadores Y Mejoramiento Del Medio Ambiente De Trabajo. Menciona que todos los lugares de trabajo y tránsito deberán estar dotados de suficiente iluminación natural o artificial, para que el trabajador pueda efectuar sus labores con seguridad y sin daño para sus ojos, por ello el IESS y el Seguro General de Riesgos del Trabajo tienen la responsabilidad social de salvaguardar el bienestar de los trabajadores en los diferentes puestos de trabajo, ya sean entidades públicas, privadas, o trabajadores informales.

De igual manera en el Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo, DECISIÓN 584, en sus apartados en cuanto a la salud ocupacional: Rama de la Salud Pública menciona que se debe promover y mantener el mayor grado de bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas las ocupaciones; prevenir todo daño a la salud causado por las

condiciones de trabajo y por los factores de riesgo; y adecuar el trabajo al trabajador, atendiendo a sus aptitudes y capacidades.

Por las razones mencionadas anteriormente, el desarrollo de este proyecto acuñará pilares impotentes en nuestro país en cuanto a la salud ocupacional de los trabajadores se refiere, al disponer del servicio de calibración de los luxómetros, instrumentos que se deberán utilizar para la verificación de las condiciones de trabajo en cuanto a la iluminación necesaria para el desempeño de sus actividades.

Obligatoriedad jurídica.

Se gestionarán sanciones a través del Ministerio de Trabajo. La Dirección General o Subdirecciones del Trabajo, quienes sancionarán las infracciones en materia de seguridad e higiene del trabajo, de conformidad con lo dispuesto en el Código del Trabajo. De igual manera se emitirán sanciones a través del Ministerio de Salud Pública y el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.

El Ministerio de Salud Pública y el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social impondrán las sanciones de acuerdo al Código de Salud y la Ley del Seguro Social Obligatorio y sus reglamentos.

1.2. Marco Teórico.

El desarrollo del diseño de este proyecto tiene como necesidad detallar conocimientos previos y términos básicos que facilitarán al lector la comprensión de los temas de Iluminación y fotometría, conceptos necesarios para comprender adecuadamente el proceso de la calibración de los luxómetros, de igual manera detallar las especificaciones del instrumento de medida, el

luxómetro para comprender su funcionamiento y aplicabilidad en la industria y en el área de la seguridad y salud ocupacional.

1.2.1. Estado actual del conocimiento del tema

Radiación Óptica

En el universo podemos encontrar diferentes formas de energía como la energía mecánica, química, calórica, electromagnética, entre otras. La energía que estudiaremos en este caso es la electromagnética que es transportada por campos eléctricos y magnéticos en forma ondulatoria a través de un medio, y así podemos encontrar manifestaciones en las diferentes categorías como el calor, la luz, las ondas de radio, las ondas de televisión, los rayos X, los rayos gamma, entre otros. A esta energía electromagnética se le conoce como radiación y se transporta a una velocidad cercana a los $300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ (CENAM, 2010).

Al tener una forma ondulatoria esta tiene dos parámetros importantes que son la longitud de onda (λ) que es la distancia entre dos crestas sucesivas de la onda dada en metros o comúnmente se maneja como nanómetros, y la frecuencia de oscilación f , es el número de crestas que pasan por un punto dado por cada unidad de tiempo, se mide en hertz, cuyo símbolo es el Hz o s^{-1} , en la Figura 1, El espectro electromagnético. Se muestra la franja visual en la que nos enfocaremos en este trabajo con su rango de longitud de onda que comprende el espectro visual de 380 nm a 780 nm. (CENAM, 2010).

Es importante mencionar que dentro del espectro visible se encuentran a diferentes longitudes de onda los colores como por ejemplo a 632.8 nm se percibe el color rojo, a los 594 nm el color amarillo, a los 543,5 nm el color verde y a los 450 nm el color azul (CENAM, 2010).

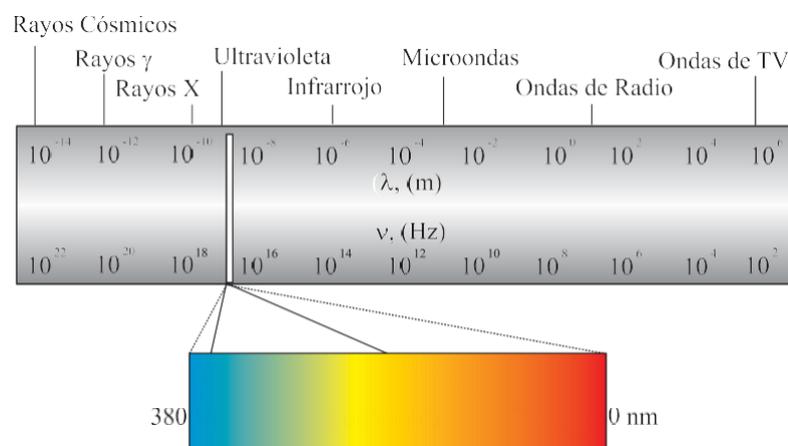


Figura 1. El espectro electromagnético

Elaborado por: CENAM

Fuente: PUBLICACIÓN TÉCNICA CNM-MFO-PT-004

Fotometría

La fotometría es la disciplina que se ocupa del estudio de la medición de la luz visible evaluándola en función de su capacidad para estimular el sentido ocular humano. Esta radiación visible se presenta con suficiente intensidad entre las longitudes de onda de 360 nm y 830 nm; aunque no existen límites claramente definidos para el intervalo del espectro visible, debido a que éstos dependen del flujo radiante que llega a la retina y de la sensibilidad del observador. Generalmente se acepta que el límite inferior se encuentra entre 360 nm y 400 nm, mientras que el límite superior se encuentra entre 760 nm y 830 nm (CENAM, 2010).

La sensibilidad espectral del ojo humano depende de la percepción visual del color, que es un atributo que se puede describir por una serie de elementos cromáticos (amarillo, naranja, azul, rojo, verde, etc.) y acromáticos (blanco, negro o gris) además del tamaño, la forma, la estructura y los alrededores de la superficie del estímulo, que tienen también un alto grado de importancia para obtener una definición completa del objeto bajo observación.

Para tener bases de medición convenientes para la fotometría; es decir, referencias exactas y reproducibles tanto para su aplicación en la ciencia como en el comercio, la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) ha generado ciertas convenciones que permiten realizar la caracterización de la radiación óptica en términos puramente físicos. Estas convenciones se traducen en la estandarización de modelos teóricos que atienden tanto las características de emisión de las fuentes de luz, como las de respuesta espectral de los dispositivos utilizados para la detección de esta radiación, es así que en la Figura 2. Iluminantes estandarizados por la CIE se muestra la estándar más utilizado que es el Iluminante A.

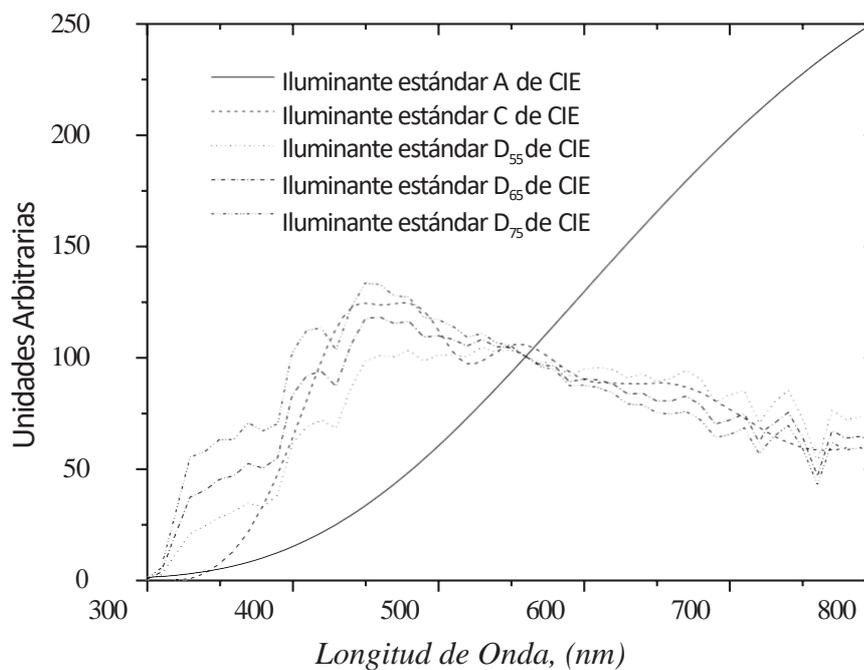


Figura 2. Iluminantes estandarizados por la CIE.

Elaborado por: CENAM

Fuente: PUBLICACIÓN TÉCNICA CNM-MFO-PT-004

Iluminante A

La iluminante estándar, establecido por la CIE, son espectros de emisión de radiación generados teóricamente y que en algunos casos pueden ser reproducidos por artefactos contruidos por los humanos. Algunos iluminantes estándar de la CIE se muestran en la Figura 2. En donde se puede apreciar la variedad de iluminantes.

Entre estos iluminantes estandarizados existe uno que utilizaremos en este proyecto que es uno que busca simular las condiciones naturales de iluminación, como la luz del día o de los atardeceres, esta iluminante es una pieza clave en fotometría para el diseño de la calibración.

En fotometría el más utilizado es el iluminante estándar A de la CIE, que corresponde a un espectro de emisión teórico llamado radiador Planckiano a una temperatura de color de 2856 Grados kelvin ($^{\circ}\text{K}$) (CENAM, 2010), en este estándar se puede apreciar al similitud teórica y llevarla a la práctica la fotometría más semejante al espectro visible de los humanos. Afortunadamente, este iluminante estándar A de la CIE es realizable utilizando lámparas incandescentes cuya intensidad de corriente eléctrica de operación es ajustada a fin de producir una temperatura de color cercana a los 2 856 K, con una curva de ondas electromagnéticas como se muestra en la figura 3. Las funciones $V(\lambda)$ y $V'(\lambda)$.

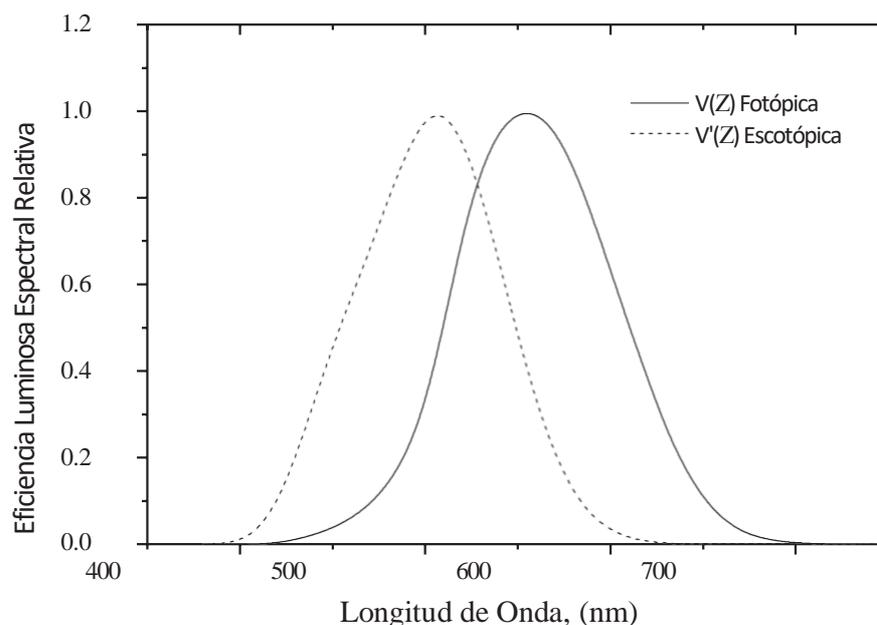


Figura 3. Las funciones $V(\lambda)$ y $V'(\lambda)$.

Elaborado por: CENAM

Fuente: PUBLICACIÓN TÉCNICA CNM-MFO-PT-004

Magnitudes y Unidades fotométricas

La CIE por medio de la utilización de la iluminante A en fotometría, ha podido detallar las diferentes magnitudes que representan las diferentes variables de medida de manera integral la luz que es visible al ojo humano, así la luz visible de una fuente radiante en todas las direcciones o en una determinada dirección, también la luz que llega a una superficie, y el brillo de esta luz. Algunas de estas magnitudes fotométricas junto con sus correspondientes unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI) se listan en la Tabla 1. Magnitudes fotométricas y sus unidades del SI que se discutirán brevemente a continuación.

Tabla 1. Magnitudes fotométricas y sus unidades del SI.

Magnitud Fotométrica	Símbolo de la CIE	Unidad del SI	Nombre de la Unidad
Flujo Luminoso	Φ_v	lm	Lumen
Intensidad Luminosa	I_v	cd	Candela
Luminancia	L_v	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Candela sobre metro cuadrado
Iluminancia	E_v	lx	Lux
Responsividad Fotométrica	s_v	$\text{A}\cdot\text{lx}^{-1}$ $\text{V}\cdot\text{lx}^{-1}$ $\text{Lectura}\cdot\text{lx}^{-1}$	Ampere sobre lux Volt sobre lux Lectura sobre lux

Elaborado por: CENAM

Fuente: PUBLICACIÓN TÉCNICA CNM-MFO-PT-004

Flujo luminoso

El flujo luminoso Φ_v es la cantidad de radiación electromagnética que emite una fuente y puede ser detectada por el ojo humano; éste se obtiene a partir de la interacción del flujo radiante o potencia óptica Φ , y la respuesta definida por la CIE para el observador estándar. En el caso de la visión fotópica la respuesta correspondiente es la función $V(\lambda)$ y por tanto:

$$\Phi_v = K_m \int_0^\infty V(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) d\lambda$$

Donde $K_m = 683 \text{ lm W}^{-1}$ es la eficacia lumínica de radiación. La unidad de medida del flujo luminoso es el **lumen** y su símbolo es lm (CENAM, 2010).

Intensidad Luminosa

La intensidad luminosa I_v está definida como el flujo luminoso Φ_v emitido por una fuente por unidad de ángulo sólido Ω

$$I_v = \frac{\Phi_v}{\Omega}$$

La unidad de medida de la intensidad luminosa es la **candela**, cuyo símbolo es cd; que es una de las siete unidades de base del SI y también la unidad básica en la fotometría. La candela se define como la intensidad luminosa, en una cierta dirección, de una fuente que emite una radiación monocromática con frecuencia de $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ y cuya intensidad energética es de $1/683 \text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}$.

La candela puede realizarse midiendo la energía de una fuente a través de un detector cuya respuesta espectral de detección reproduzca la función $V(\lambda)$, que simula la respuesta del sistema visual humano en función de la longitud de onda. La candela se disemina mediante métodos de comparación con lámparas patrón y fotodiodos.

Luminancia

La luminancia L_v es la intensidad luminosa I_v emitida por unidad de área A de la superficie de una fuente extendida en una dirección determinada.

$$L_v = \frac{I_v}{A}$$

La unidad de medida de la luminancia es la candela sobre metro cuadrado, cuyo símbolo es cd m^{-2} y no tiene un nombre particular; en cambio, los equipos que se encargan de medir dicha magnitud, identificada habitualmente como el brillo, se conocen como medidores de luminancia y encuentran su principal aplicación en la industria manufacturera de televisores y monitores, así como en los anuncios.

Iluminancia

La iluminancia E_v se define como el flujo luminoso Φ_v que incide en una superficie por unidad de área A iluminada

$$E_v = \frac{\Phi_v}{A}$$

En esta definición se asume que el área es perpendicular a la dirección del cono de iluminación; es decir, si una superficie de determinado tamaño es iluminada por un flujo luminoso, la iluminancia tendrá un valor máximo cuando la superficie sea perpendicular a la dirección del haz luminoso debido a que en esta posición la superficie es iluminada por la mayor parte del haz.

Si se despeja el flujo luminoso Φ_v de la definición para la intensidad luminosa I_v , entonces vemos que:

$$E_v = \frac{I_v \cdot \Omega}{A};$$

Donde es posible sustituir explícitamente la definición para el ángulo sólido $\Omega = A/d^2$ para obtener:

$$E_v = \frac{I_v \cdot A}{A \cdot d^2};$$

Por lo que encontramos que si la intensidad luminosa I_v de una fuente puntual en una determinada dirección es conocida, entonces es posible calcular la iluminancia E_v producida por la fuente puntual a una distancia d a lo largo de esa misma dirección, usando la relación:

$$E_v = \frac{I_v}{d^2},$$

Que se conoce como la **Ley de Bouguer, Ley fotométrica de la distancia** o **Ley del inverso al cuadrado**.

La unidad de medida de la iluminancia es el **lux**, cuyo símbolo es lx; y su relación con otras unidades fotométricas es la siguiente.

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}.$$

Medidores de Iluminancia (Luxómetros).

Un luxómetro es un instrumento de medida de niveles de iluminancia o cantidad de luz visible que incide sobre una superficie al contar con una foto sensor para medir el nivel de iluminación en un plano de trabajo.

El instrumento mide en lux, y en candelas. Registra datos en tarjetas de memoria SD estándar

Carga de datos pre- formateados para Excel, sin necesidad de software o cables adicionales.

Cada conjunto de datos incluye lectura en lux o candelas, la hora y la fecha.

Un luxómetro cuenta con un fotosensor compuesto por un fotodiodo de silicio y con un filtro para reproducir la responsividad espectral en función de $V(\lambda)$. Sobre este arreglo está

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

sobrepuesto una cubierta hecha de material translúcido conocido como un corrector cosenoidal.

De igual manera consta de una parte electrónica para realizar la amplificación y el procesamiento de la señal eléctrica para poder visualizar en la pantalla.

Actualmente la mayoría de instrumentos de medición de iluminancia son de tipo digital por lo que el procesamiento de la información y visualización tiene mayor fidelidad y menor error por toma de la medida, tal como es el instrumento que se puede visualizar en la Figura 4. Luxómetro.

Las características que difieren suelen ser el rango de medición, exactitud, precisión, o tolerancia, entre otros, a continuación, presentamos uno de los instrumentos que se suele utilizar en la industria a nivel nacional, por ello se detallan las características del instrumento en la Figura 5. Especificaciones del Luxómetro.



Figura 4. Luxómetro (*Sper Scientific, 2015*)

Elaborado por: Sper Scientific.

Fuente: Instruction Manual 850007

SPECIFICATIONS

The following specification tests were performed in an ambient temperature of $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$:

Light

Unit	Range	Maximum In-Range Display
Lux (Auto Range)	2,000 Lux	0 to 1,999 Lux
	20,000 Lux	1,800 to 19,990 Lux
	100,000 Lux	18,000 to 99,900 Lux
Foot Candles (Auto Range)	200 Ft-cd	0 to 186 Ft-cd
	2,000 Ft-cd	167 to 1,860 Ft-cd
	10,000 Ft-cd	1,670 to 9,290.7 Ft-cd

Range	Resolution	Accuracy
2,000 Lux	1 Lux	$\pm (4\% \text{ reading} + 2 \text{ dgt})$
20,000 Lux	10 Lux	
100,000 Lux	100 Lux	
200 Ft-cd	0.1 Ft-cd	$\pm (4\% \text{ reading} + 2 \text{ Ft-cd})$
2,000 Ft-cd	1 Ft-cd	
10,000 Ft-cd	10 Ft-cd	

Note...

The accuracy for the specifications shown above was tested with a standard parallel light tungsten lamp of 2856 K temperature.

Figura 5. Especificaciones del Luxómetro (*Sper Scientific, 2015*)

Elaborado por: Sper Scientific.

Fuente: Instruction Manual 850007

Normativa legal

Los niveles de iluminación en puestos de trabajo que deben ser monitoreados o que se puede establecer para los diferentes diseños de áreas de trabajo o tránsito deben ser basados a los detallados en el Decreto Ejecutivo 2393 Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo según se menciona en la Tabla

2. Iluminación mínima en actividades, que se presenta a continuación, (Instituto Ecuatoriano De Seguridad Social, Seguro General De Riesgos Del Trabajo, 17 de Noviembre de 1986)

Tabla 2. Iluminación mínima en actividades

(Instituto Ecuatoriano De Seguridad Social, Seguro General De Riesgos Del Trabajo, 17 de Noviembre de 1986)

ILUMINACIÓN MÍNIMA	ACTIVIDADES
20 luxes	Pasillos, patios y lugares de paso.
50 luxes	Operaciones en las que la distinción no sea esencial como manejo de materias, desechos de mercancías, embalaje, servicios higiénicos.
100 luxes	Cuando sea necesaria una ligera distinción de detalles como: fabricación de productos de hierro y acero, taller de textiles y de industria manufacturera, salas de máquinas y calderos, ascensores.
200 luxes	Si es esencial una distinción moderada de detalles, tales como: talleres de metal mecánica, costura, industria de conserva, imprentas.
300 luxes	Siempre que sea esencial la distinción media de detalles, tales como: trabajos de montaje, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía.
500 luxes	Trabajos en que sea indispensable una fina distinción de detalles, bajo condiciones de contraste, tales como: corrección de pruebas, fresado y torneado, dibujo.
1000 luxes	Trabajos en que exijan una distinción extremadamente fina o bajo condiciones de contraste difíciles, tales como: trabajos con colores o artísticos, inspección delicada, montajes de precisión electrónicos, relojería.

Fuente: Decreto Ejecutivo 2393.

En caso de utilizar los instrumentos luxómetros para validar lámparas, es importante que se haga referencia e hincapié al rango de medida ya que estos valores suelen ser mucho

mayores a los que se utiliza en el ambiente laboral, por ejemplo, es posible que se necesite un instrumento que tenga un rango de medición de hasta los 200 000 luxes, instrumentos que si se los puede encontrar en el mercado.

En caso de utilizar un instrumento para medir niveles en actividades específicas que no se detalla en el decreto ejecutivo 2393, es importante que se haga referencia a normativas internacionales para garantizar una evaluación de iluminación.

Lámpara patrón

la lámpara que se utilizará en el diseño del sistema de calibración será una lámpara patrón RS-10D de la marca Gamma Scientifics, misma que tiene características físicas que se pueden evidenciar en la Figura 6: Lámpara patrón RS-10D.

La fuente de luz de calibración RS-10D es una fuente de precisión de flujo radiante, utilizada principalmente para calibrar instrumentos de medición de luz y como estímulo para medir dispositivos de detección. Se pueden usar como estándares de irradiancia o radiación, trazables al Instituto Nacional de Tecnología de Estándares (NIST).

La producción de flujo radiante casi constante se logra mediante el uso exclusivo de lámparas halógenas de tungsteno. Los suministros ultraestables de corriente constante utilizan circuitos de comparación y medición de derivación de corriente de precisión integrados en la carcasa de la fuente.



Figura 6. Lámpara patrón RS-10D (*Gamma Scientific, Inc., 2015*)

Elaborado por: Gamma Scientific.

Fuente: Hoja de especificaciones Lámpara RS-10D.

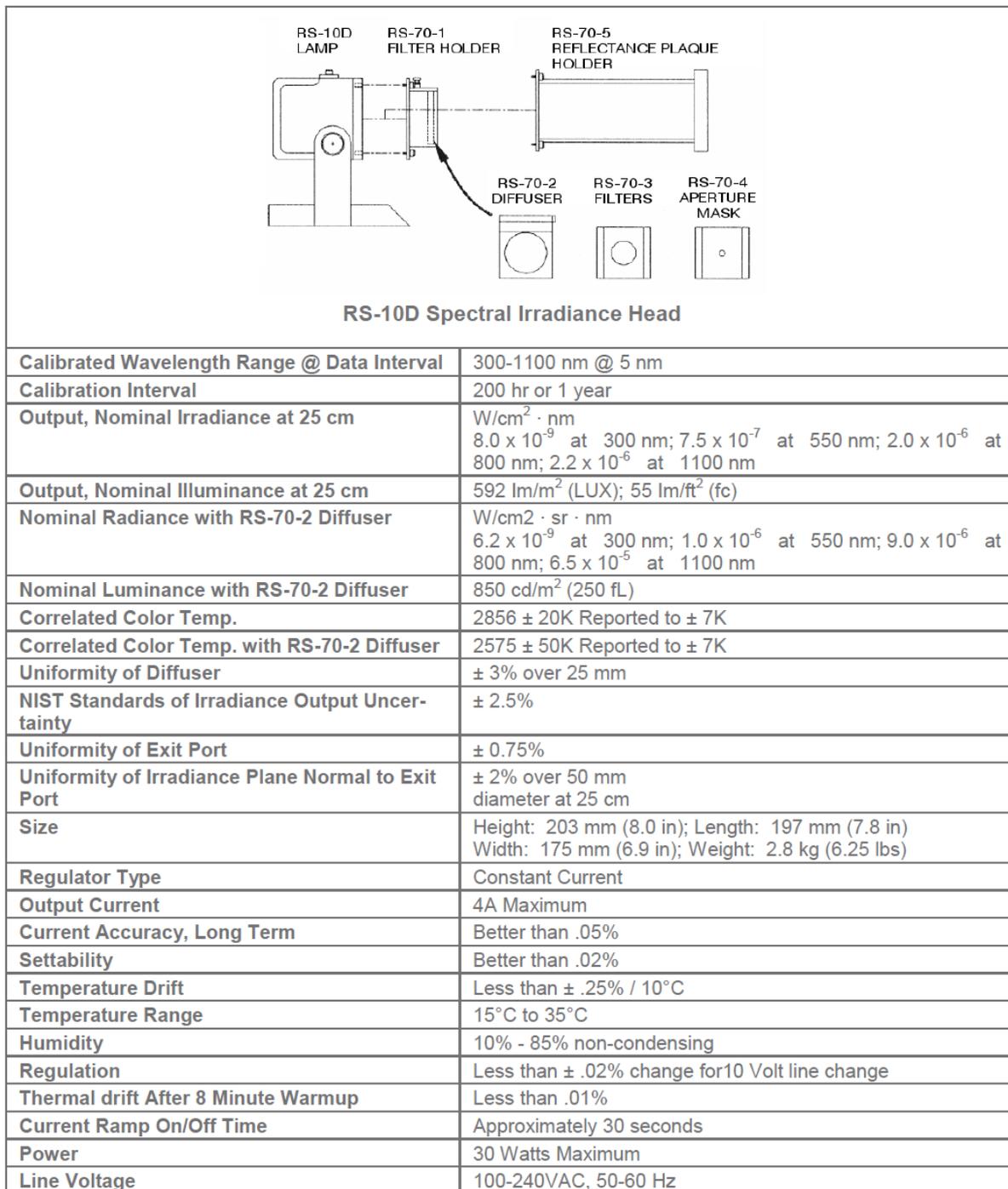
Es importante mencionar que la lámpara patrón se debe re certificar cada 200 horas de uso, por lo cual se debe considerar este particular en la implementación del proyecto, y necesita un tiempo de calentamiento hasta que la lámpara se envejezca y alcance su estado ideal para realizar el procedimiento de calibración de los luxómetros.

El laboratorio para certificar la lámpara patrón se puede encontrar en países extranjeros, sin embargo, se sugiere realizar con la empresa fabricante de la lámpara.

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

Las especificaciones de la lámpara son de mucha importancia ya que de esta información dependerá el diseño del banco fotométrico, por lo cual se detalla en la Figura 7.

Características de la Lámpara patrón RS-10D.



*Standard Operating Range for Gamma Scientific Instruments- Temperature: Minimum: 0°C (32°F) - Maximum: 35°C (95°F); Relative Humidity (Non-Condensing): Minimum: 20% - Maximum 70%

**The information contained in this data sheet is based on Gamma Scientific's internal evaluation and is subject to change at any time without notice.

***Revised on April 14, 2015

Figura 7. Características de la Lámpara patrón RS-10D

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

(Gamma Scientific, Inc., 2015)

Elaborado por: Gamma Scientific.

Fuente: Hoja de especificaciones Lámpara RS-10D.

Las características más importantes es que es un instrumento patrón, que se garantiza que a 25cm de distancia la lámpara proporciona una cantidad de iluminancia nominal de 592 Lux, y es una fuente estable con una temperatura de color de 2856 K más una tolerancia, estos datos nos servirán posteriormente en el diseño del banco fotométrico, (Gamma Scientific, Inc., 2015)

CAPITULO II.

MÉTODO.

Para el desarrollo de nuestro diseño de un banco Fotométrico para la calibración de luxómetros, utilizaremos una metodología basada en la implementación de métodos de calibración de este tipo de instrumentos ya establecidos a nivel internacional que se encuentran en la actualidad en uso en laboratorios acreditados en las variables o mensurandos tales como iluminancia, radiancia y fotometría.

2.1. Nivel de estudio

La elaboración de este proyecto se basará en el diseño fundamentado en la ley de Bouguer, Ley fotométrica de la distancia o Ley del inverso al cuadrado, que menciona que se puede calcular la iluminancia E_v producida por una fuente de intensidad luminosa I_v conocida a una distancia variable d , en donde la distancia puede ser medible y cuantificable, con esto se realizará un cálculo de iluminancia variable con la distancia para establecer puntos fijos de calibración.

En el desarrollo del Proyecto se visualizará cada detalle de los cálculos, y variables que interviene en el procedimiento estadístico de la información.

2.2. Modalidad de investigación

Según lo detallado anteriormente en el presente estudio se realizará cálculos estadísticos para diseñar los puntos exactos de calibración para los luxómetros de clientes, para ello se establecerán tablas de cálculos en Excel con la respectiva fórmula en la cual se basa el diseño.

Se tomará la información de las reglas que se utilizaran en el diseño del sistema y sus datos de tolerancia, resolución e incertidumbre.

Será necesario establecer los niveles de condiciones ambientales necesarios para el desarrollo de la actividad de implantación del sistema de calibración, al igual que el desarrollo de las dimensiones mínimas del área necesaria para la ubicación del sistema.

2.3. Método

El método que se utilizará es inductivo – predictivo, al utilizar procedimientos y diseños comprobados e implementados en laboratorios, y en base a la información proporcionada plantear el diseño de un banco fotométrico con los mismos objetivos ya pre escritos, sin embargo adaptables a nuestras condiciones en la ciudad de Quito en nuestro país, con el fin de llegar al mismo resultado, planteado en los métodos de calibración estandarizados, utilizando fuentes patrones, principios técnicos, formulas establecidas en la ciencia, entre otros.

2.4. Población y muestra

La población en este proyecto se basa en la utilización de una fuente patrón de iluminancia y la utilización de un luxómetro patrón para verificación del método, de esta manera establecer los rangos de calibración de 0 luxes a 2400 luxes con puntos específicos de calibración en donde se tomarían una muestra de 3 valores en cada punto de calibración para

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

realizar el análisis estadístico de la calibración con un número de cuatro o cinco puntos en todo el rango de calibración, esto se lo detallara con mayor claridad en el desarrollo del diseño del proyecto.

CAPITULO III.

RESULTADOS

En el presente capítulo se plantea realizar el diseño del banco fotométrico para la calibración de los luxómetros e ir cubriendo cada uno de los objetivos planteados, es así que se procede al análisis de la información obtenida para empezar con la propuesta de solución de problema que actualmente se tiene en nuestro país.

3.1. Presentación y análisis de resultados

Para desarrollar el método de diseño, nos basaremos en la ley de la conservación de la energía, por lo cual se puede demostrar que la propagación de la energía radiante en este caso la iluminancia al viajar por un medio, esta mantiene uniforme su densidad sobre las superficies de esferas virtuales concéntricas, como se puede ver en la Figura 8. Esquema de la propagación de una onda

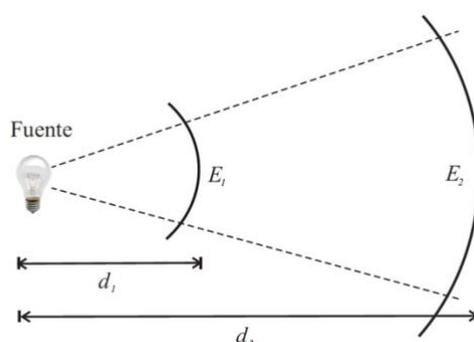


Figura 8. Esquema de la propagación de una onda. (CENAM, 2010)

Elaborado por: CENAM

Fuente: PUBLICACIÓN TÉCNICA CNM-MFO-PT-004

A su vez se utilizará la **Ley de Bouguer, Ley fotométrica de la distancia** o **Ley del inverso al cuadrado**.

$$E_v = \frac{I_v}{d^2}$$

Para ello se propone un esquema del banco fotométrico constituido con los principios técnicos como se muestra en la Figura 9. Banco Fotométrico del CENAM (a) distancia variable y (b) transmitancia variable.

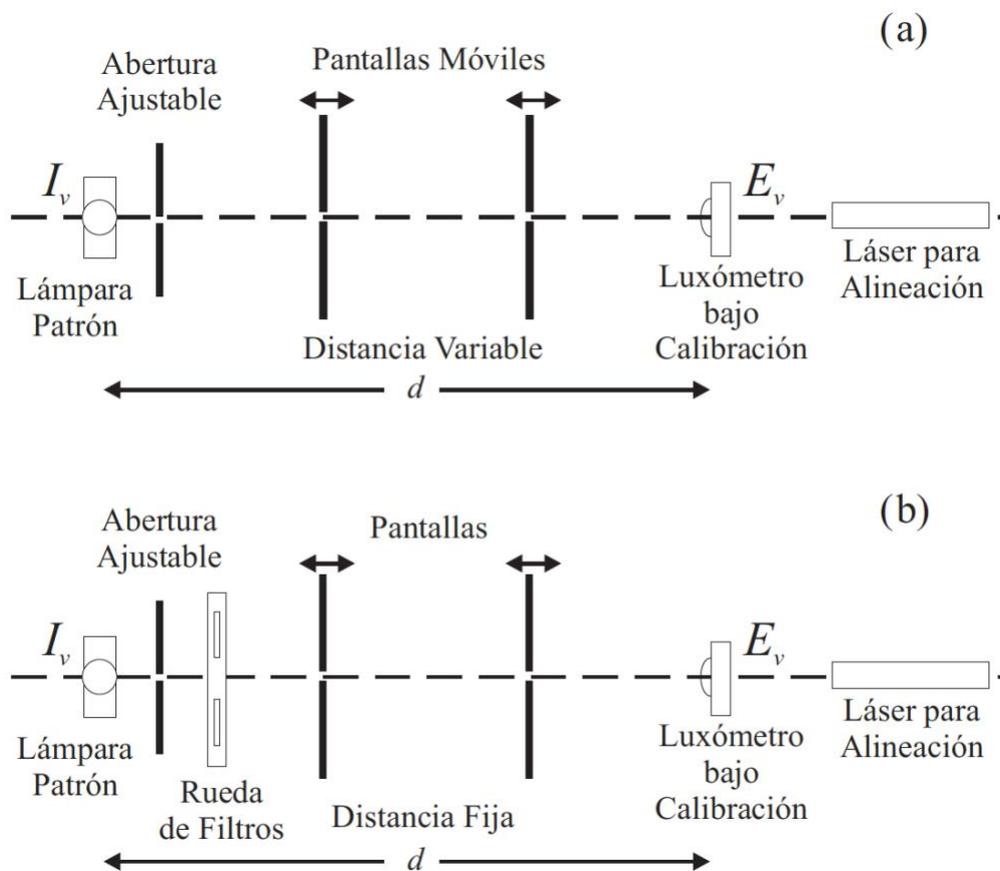


Figura 9. Banco Fotométrico del CENAM (a) distancia variable y (b) transmitancia variable.

Elaborado por: CENAM

Fuente: PUBLICACIÓN TÉCNICA CNM-MFO-PT-004

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

Con esta información generamos el cálculo de distancias máximas del banco fotométrico, para ello usaremos la ley de Bouguer.

$$E_v = \frac{I_v}{d^2} \quad \text{ec. 1}$$

En donde se conoce los datos de la fuente dados en el certificado de calibración:

E_v = Iluminancia nominal de la fuente = 592 Lux

d = Distancia nominal = 25 cm

I_v = Intensidad luminosa

Si sabemos que la intensidad luminosa es constante, se puede formar un sistema de ecuaciones igualando I_v .

$$E_{v1} = \frac{I_{v1}}{d_1^2} \quad \text{ec. 2}$$

$$E_{v2} = \frac{I_{v2}}{d_2^2} \quad \text{ec. 3}$$

$$I_{v1} = I_{v2} \quad \text{ec. 4}$$

$$E_{v1} d_1^2 = E_{v2} d_2^2 \quad \text{ec. 5}$$

En la ecuación 5 tenemos los adores de E_{v1} y d_1^2 por lo cual podemos formar calcular la distancia d_2 para tener una iluminancia mínima E_{v2} de 50 luxes, según el planteamiento del problema.

Entonces se tiene que:

$$d_2 = d_1 \sqrt{\frac{E_{v1}}{E_{v2}}} \quad \text{ec. 6}$$

De donde:

d_2 = Distancia a calcular

d_1 = Distancia fija (25cm)

E_{v1} = Iluminancia cte (592lux)

E_{v2} = Iluminancia variable (propuesta a 50 luxes)

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

$$d_2 = 25 \text{ cm} \sqrt{\frac{592 \text{ lux}}{50 \text{ lux}}}$$

$$d_2 = 86,02325267 \text{ cm}$$

Para poder diseñar el largo total del banco fotométrico, se evidencia con el resultado anterior que se debe contar con una distancia mínima de 86 cm de distancia desde el borde de la lámpara hasta el borde más cercano del fotosensor del luxómetro, sin embargo, se debe considerar las distancias de la lámpara patrón y de la torre en donde se colocará el fotosensor.

Distancia de la lámpara patrón = 19,7 cm

Torre para fotosensor (estimada) = 10,0 cm

Distancia de calibración = 86,0 cm

Sub Total = 115,7 cm

Considerando un margen del 20% para facilitar la manipulación de los instrumentos se debería construir un banco fotométrico de por lo menos **140 cm de largo**.

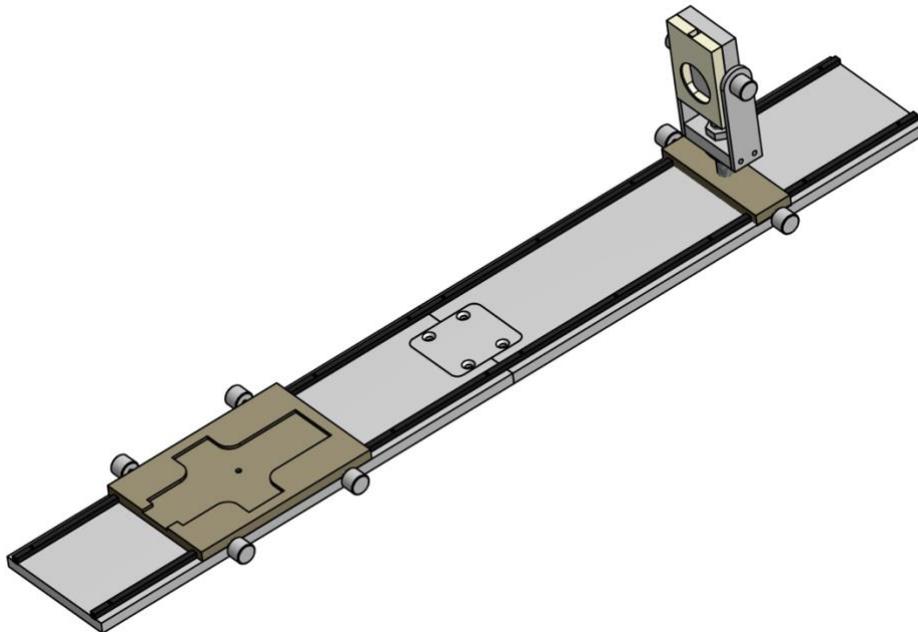


Figura 10. Estructura del Banco Fotométrico

Elaborado por: Byron Gamboa.

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

En él un extremo se ubicará la lámpara patrón, y al otro extremo la torre en donde se colocará el fotosensor del luxómetro bajo prueba, separados por una distancia calculada con la ley de **Bouguer**.

En la base de la estructura se debe instalar tornillos niveladores ya que toda la estructura se debe nivelar una vez se encuentre en la mesa de trabajo, y así trabajar en condiciones idóneas.

Torre de estabilización

La torre en la que se debe sujetar el fotosensor bajo prueba debe estar alineada con la lámpara patrón, y con regulaciones laterales de izquierda a derecha y viceversa, también con una regulación de arriba hacia abajo y viceversa, en la figura 11. Se muestra una torre para el fotosensor, este se encuentra ubicado en banco fotométrico.



Figura 11. Torre para el fotosensor

Elaborado por: Byron Gamboa.

Regla Métrica:

Para que las medidas tengan una trazabilidad se debe instalar una cinta métrica metálica en medio de la base de la estructura, para facilitar la medición y la ubicación tanto del fotosensor como de la lámpara patrón, en la figura 12. Regla Métrica Patrón. La cinta métrica debe ser

calibrada, ya que en el cálculo de la incertidumbre de la calibración de un luxómetro se debe tomar en cuenta como una de las variables la incertidumbre de la medida, una muestra del certificado de calibración de la regla lo pueden verificar en el Anexo B. Certificado de Calibración de la Regla Métrica.

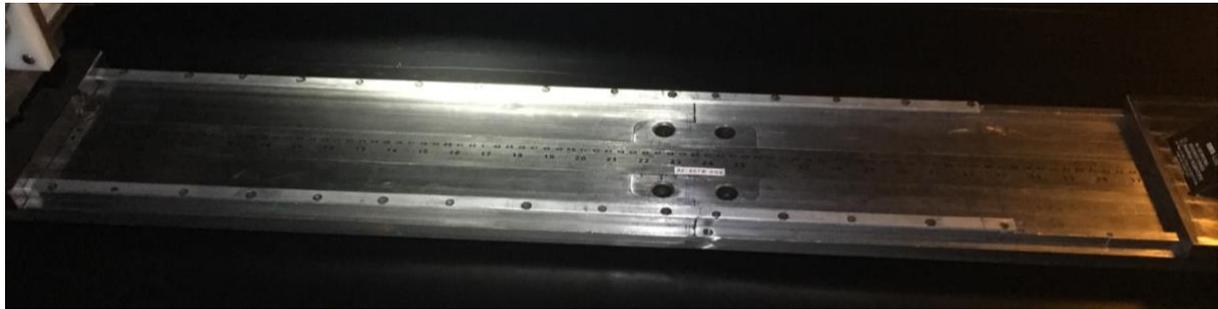


Figura 12. Regla Métrica patrón

Elaborado por: Byron Gamboa.

Caja Negra:

Para garantizar un alistamiento y evitar la perturbación de iluminación durante el proceso de calibración, se debe garantizar que no ingrese iluminación al banco fotométrico, para ello se propone utilizar una caja negra en donde se encuentra internamente el banco fotométrico, para la construcción de esta caja se deben tener las siguientes consideraciones:

- Revisar y sellar bien las esquinas de la estructura.
- En este proyecto se sugiere construir una caja metálica.
- El revestimiento interior de la caja debe ser de color negro mate para evitar refracciones de la luz en las paredes e introducir errores en la calibración, el color mate absorbe la radiación de la iluminación siendo la más idónea en este caso.
- Las dimensiones serán de:
 - 160 cm de largo
 - 40 cm de ancho
 - 60 cm de alto

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

- En la parte posterior debe tener una abertura para pasar el cable de energía de la lámpara patrón, Figura 15. Caja negra (B),

En la Figura 14. Caja negra (A), se muestra la estructura como una caja que aísla al equipo del exterior, para facilitar la manipulación se debe construir con una tapa frontal, la cual permitirá ubicar a los instrumentos bajo prueba.

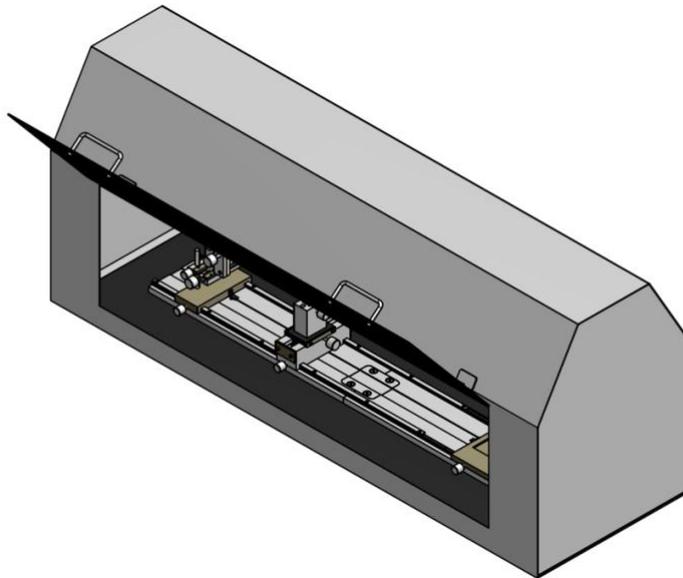


Figura 13. Caja negra (A)

Elaborado por: Byron Gamboa.



Figura 14 Caja negra (B)

Elaborado por: Byron Gamboa.

Mesa de trabajo:

La mesa de trabajo debe tener una dimensión estandarizada para trabajar con el banco fotométrico, es así que se debe utilizar una mesa de dimensiones por lo menos de:

200 cm de largo

60 cm de ancho

90 cm de alto

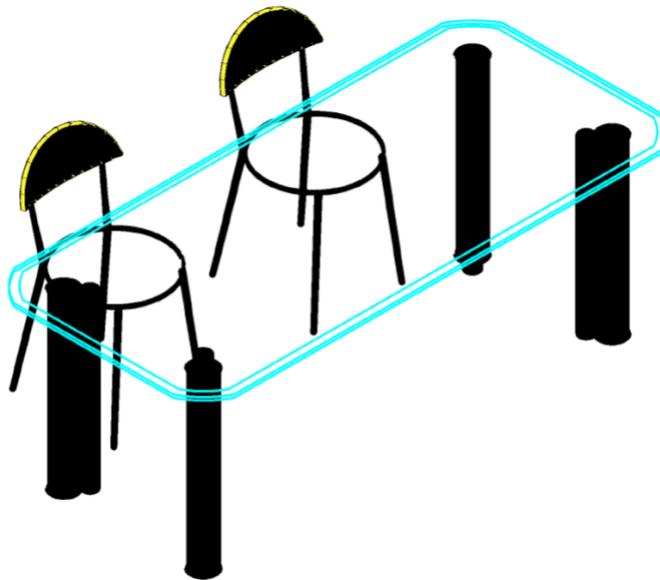


Figura 15. Mesa de trabajo

Elaborado por: Byron Gamboa.

Cuarto Negro:

El área de trabajo, es decir el espacio físico que se necesita para montar el banco fotométrico con su caja negra, en su mesa, se puede establecer a partir de las dimensiones anteriormente dadas, con estas consideraciones se sugiere que el área tenga las siguientes dimensiones.

400 cm de largo

300 cm de ancho

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

Este cuarto debe ser completamente negro mate tanto en piso, paredes laterales y techo, sin ventanas, con una fuente de iluminación tenue de unos 20 luxes que debe encenderse solamente cuando no se está realizando el procedimiento de calibración.

En la figura 16. Cuarto negro, se muestra un área designada con requerimientos solicitados:



Figura 16. Cuarto Negro.

Elaborado por: Byron Gamboa.

Lámpara Patrón:

En el capítulo II se detalla las características de la lámpara patrón, sin embargo es importante recordar que esta lámpara debe ser certificada bajo estándares de alto nivel, en este caso se tiene una certificación con trazabilidad ISO 17025, como se muestra en el Anexo C. Certificado Lámpara Patrón.

La Irradiancia nominal de salida de la lámpara es de 300 nm hasta 1100 nm por lo cual es idónea para calibrar luxómetros ya que trabaja en el espectro visible cuyo requisito es que

la lámpara trabaje por lo menos en longitud de onda de 380 a 780 nanómetros, con una temperatura de color de 2856 K más una tolerancia.

Condiciones Ambientales:

Según los requerimientos por Inti son:

La temperatura de la sala de medición, (laboratorio de fotometría básica), deberá estar entre 20°C y 25°C, la humedad relativa en la sala de medición, (laboratorio de fotometría básica), deberá estar entre 30% y 70%.

Lo sugerido por el laboratorio del Cenam es recomendable mantener constante la temperatura ambiental del lugar, por ejemplo a $22\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, para evitar que las respuestas espectrales sean variables por este motivo. Con lo que respecta a la humedad, el CENAM no se tiene registro de que su efecto en las mediciones sea determinante; sin embargo, es importante cuidar que esta no sea muy alta, por ejemplo $\leq 60\%$.

El CEM sugiere mantener una temperatura ambiente de entre $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ para la realización de las calibraciones, sin embargo, no toma consideraciones en cuanto a la humedad relativa.

Tomando estos temas se debe contar con un instrumento termo higrómetro para tener un registro constante de las variables de temperatura y humedad relativa, y mantenerlas dentro del margen permitido, en este caso se adoptaran los valores más rigurosos:

Temperatura de: $22\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$

Humedad Relativa de: $\leq 60\%$.

Se recomienda que este instrumento sea con data logger para tener un historico de las condiciones ambientales que se han tenido en el salón de calibración a travez del tiempo, en cado de encontrarse fuera de los valores máximos establecidos, se recomienda tomar acciones de control de ingeniería para tener las condiciones idealies para la realización de las calibraciones.

Rango de calibración:

En base al alcance de nuestro banco fotométrico diseñado, se planté hacer las calibraciones para los siguientes niveles de iluminancia $O_1= 0,0$ Lux, $O_2= 50,0$ lux, $O_3= 200$ lux, $O_4= 800$ lux, y $O_5= 2400$ lux. Estos valores fueron tomados por el rango máximo de la lámpara patrón, y se calcula valores intermedios para calibrar en todo el rango. Para poder calibrar en estos puntos es necesario calcular la distacia d para determinar en que posición debo colotar la torre con el fotosensor, por ello se utiliza la ecuacion ec.1 y despejamos la distacia.

De donde:

d_{O_x} = Distancia a calcular

d_1 = Distancia fija (25 cm)

E_{v1} = Iluminancia constante (592 lux)

E_{vO_x} = Iluminancia variable (propuesta a O_x luxes)

$$d_{50} = d_1 \sqrt{\frac{E_{v1}}{E_{v50}}} = 25 \text{ cm} \sqrt{\frac{592 \text{ lux}}{50 \text{ lux}}} = 86,023 \text{ cm} \quad \text{ec. 7}$$

$$d_{200} = d_1 \sqrt{\frac{E_{v1}}{E_{v200}}} = 25 \text{ cm} \sqrt{\frac{592 \text{ lux}}{200 \text{ lux}}} = 43,012 \text{ cm} \quad \text{ec. 8}$$

$$d_{800} = d_1 \sqrt{\frac{E_{v1}}{E_{v800}}} = 25 \text{ cm} \sqrt{\frac{592 \text{ lux}}{800 \text{ lux}}} = 21,506 \text{ cm} \quad \text{ec. 9}$$

$$d_{2400} = d_1 \sqrt{\frac{E_{v1}}{E_{v800}}} = 25 \text{ cm} \sqrt{\frac{592 \text{ lux}}{800 \text{ lux}}} = 12,42 \text{ cm} \quad \text{ec. 10}$$

Una vez que ya tenemos las distancias en las que debemos realizar las pruebas, es necesario que primeramente contemos con toda la infraestructura completa instalada, en este caso se dispone de un laboratorio en donde se implementó el diseño y se procede a validar el método con la siguiente Tabla 3. Rangos de Calibración.

La comprobación del cero se lo realiza cubriendo el fotosensor en su totalidad y verificando que el equipo se encere, en el caso que no se encuentre en cero, se recomienda ajustar el cero en el instrumento antes de realizar el procedimiento de calibración para todos los casos que sean posible, generalmente este procedimiento esta mencionado en el manual del fabricante y es un ajuste electrónico.

Tabla 3. Rangos de Calibración

DISTANCIA (cm)	ILUMINANCIA TEÓRICA (lux)	ILUMINANCIA COMPROBADA (lux)
Comprobación del Cero	0,0	0,0
86,02	50	52
43,01	200	207
21,51	800	811
12,42	2400	2420

Los valores de iluminancia comprobada se toman con un luxómetro patrón de la marca Sper Scientific 840022C cuyas especificaciones se encuentran en el Anexo D. Luxómetro Patrón. El muestreo se realiza mediante tres repeticiones de toma de datos de subida desde cero hasta el valor máximo del rango con un solo técnico en un día, se tiene como resultado la siguiente tabla 4 Iluminancia comprobada:

Tabla 4. Iluminancia comprobada

LUXOMETRO PATRÓN 840022C (LUX)				
X1	X2	X3	\bar{X}	δ
0	0	0	0	0
52	52	52	52	0
207	207	207	207	0
811	811	811	811	0
2420	2420	2420	2420	0

Elaborado por: Byron Gamboa.

Se calcula la media \bar{X} de cada muestra de la siguiente manera:

$$\bar{X}_{50} = \frac{52+52+52}{3} = 52 \text{ lux } \text{ ec. 11}$$

$$\bar{X}_{200} = \frac{207+207+207}{3} = 207 \text{ lux } \text{ ec. 12}$$

$$\bar{X}_{800} = \frac{811+811+811}{3} = 811 \text{ lux } \text{ ec. 13}$$

$$\bar{X}_{2400} = \frac{2420+2420+2420}{3} = 2420 \text{ lux } \text{ ec. 14}$$

Para el cálculo de la desviación estándar de las medidas se lo realiza de la siguiente manera:

$$\delta = \sqrt{\frac{(x1-\bar{x})^2+(x2-\bar{x})^2+(x3-\bar{x})^2}{3}} \text{ ec. 15}$$

En este caso no se tiene desviaciones en la muestra tomada.

Se calcula la gráfica de la respuesta del luxómetro con respecto al valor teórico en la figura 17. Iluminancia Comprobada.

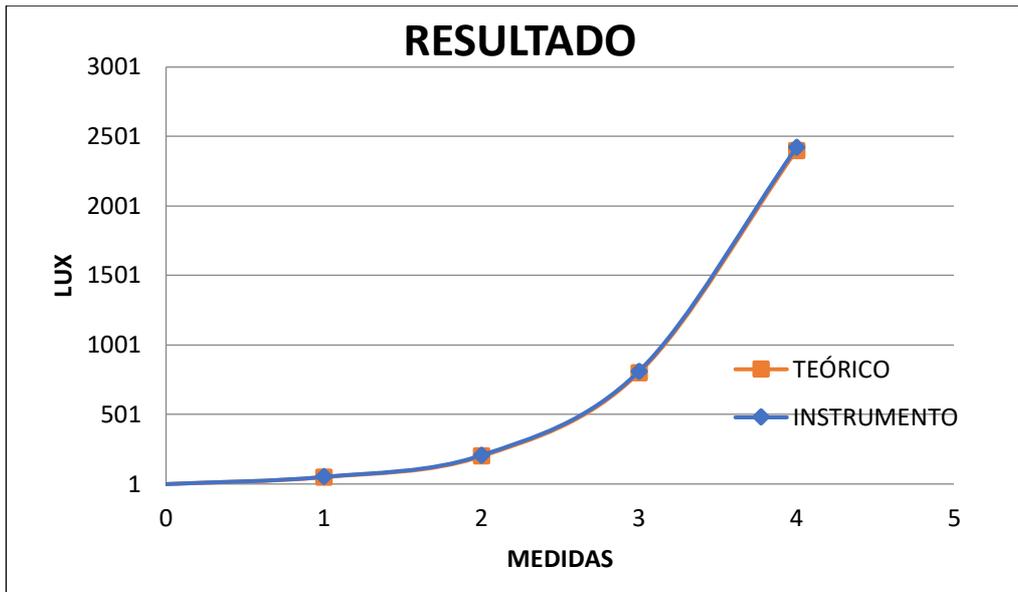


Figura 17. Iluminancia comprobada

Elaborado por: Byron Gamboa.

Se procede a calcular el error porcentual que existe entre el valor teórico y el valor comprobado con el luxómetro patrón.

$$\%Error = \frac{Valor\ Teórico - Valor\ Medido}{Valor\ Teórico} \% \quad ec. 16$$

$$\%Error_{50} = \frac{50\ lux - 52\ lux}{50\ lux} \% = -4\% \quad ec. 17$$

$$\%Error_{200} = \frac{200\ lux - 207\ lux}{200\ lux} \% = -4\% \quad ec. 18$$

$$\%Error_{800} = \frac{800\ lux - 811\ lux}{800\ lux} \% = -1\% \quad ec. 19$$

$$\%Error_{2400} = \frac{2400\ lux - 2420\ lux}{2400\ lux} \% = -1\% \quad ec. 20$$

El error de la comprobación práctica no tiene un valor mayor de error porcentual del 5% en todo el rango de medida de 50 lux a 2400 lux como se muestra en la Tabla 5. Error Porcentual.

Tabla 5. Error Porcentual

DISTANCIA (cm)	ILUMINANCIA TEÓRICA (lux)	ILUMINANCIA COMPROBADA (lux)	%Error
Comprobación del Cero	0,0	0,0	0%
86,02	50	52	-4%
43,01	200	207	-4%
21,51	800	811	-1%
12,42	2400	2420	-1%

Elaborado por: Byron Gamboa.

En este proyecto se tiene como objetivo diseñar un banco fotométrico para la calibración de luxómetros, sin embargo no se encuentra contemplado la evaluación y comprobación del método de calibración, para ello es importante tomar en consideración el cálculo de la incertidumbre expandida de la medida en donde interviene la incertidumbre de la resolución del luxómetro, condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa, resolución de la regla métrica, que influyen en la repetibilidad de las lecturas, así también la incertidumbre de la lámpara y luxómetro patrón.

3.2. Aplicación Práctica

Una vez diseñado el banco fotométrico con los estándares necesarios, y se han corroborado la parte teórica con la parte práctica, es decir que se ha comprobado que el diseño del banco fotométrico es idóneo para la calibración de instrumentos de medición de iluminancia, salta la inquietud de realizar procedimientos para la preparación del luxómetro a calibrar y a su vez poner a punto el sistema de calibración banco fotométrico antes de realizar la calibración en sí, y la verificación de la competencia del técnico a calibrar, entre otros.

También se ve la necesidad de utilizar el procedimiento para la calibración del luxómetro bajo prueba, ya que este particular no se encuentra estipulado en el diseño del sistema

de calibración, y al final de cuenta el servicio de calibración es el que se hará llegar al cliente final según la necesidad planteada al inicio del proyecto.

3.2.1. Procedimiento para la preparación

Una calibración de un luxómetro está determinada por la exactitud y la confiabilidad de la misma, esto depende de muchos factores que provienen de diferentes fuentes, entre estos podemos detallar los siguientes:

- de los factores humanos
- de las instalaciones y condiciones ambientales
- de los métodos de ensayo y de calibración, y de la validación de los métodos
- de los equipos
- de la trazabilidad de las mediciones
- del muestreo
- de la manipulación de los ítems de ensayo y de calibración.

Personal

El Laboratorio debe asegurar la competencia de todos los que operen equipos específicos en este caso los luxómetros y el sistema del banco fotométrico, así también para evaluar los resultados y firmar los informes de certificados de calibración.

En caso de disponer de personal en formación, se debe proveer de una supervisión apropiada, El personal que realiza tareas específicas debe estar calificado sobre la base de una educación, una formación, una experiencia apropiadas y de habilidades demostradas, según sea requerido.

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

- Conocimientos de la tecnología utilizada, en este caso sobre fotometría, iluminancia, luxómetros y del banco fotométrico.
- Conocimiento de los requisitos generales expresados en la legislación nacional y las normas que rigen sobre la iluminación en los puestos de trabajos y espacios iluminados.
- Comprensión de la importancia de las desviaciones halladas con respecto al uso normal de los luxómetros considerados y su calibración.

El laboratorio debe mantener actualizado el perfil del personal directivo, técnico, y de apoyo que sea empleado en la calibración de estos instrumentos, detallando las respectivas:

- Responsabilidades con respecto a las calibraciones.
- Responsabilidades en la planificación de las calibraciones y evaluación de los resultados.
- Responsabilidades para comunicar opiniones e interpretaciones de la calibración o revisión del luxómetro bajo prueba.
- Responsabilidades con respecto a la modificación de métodos y al desarrollo y validación de nuevos métodos en caso de ser necesarios cambios al sistema.
- Especialización y experiencia requerida en utilización de luxómetros y en medidas fotométricas, así como capacitación en medidas metrológicas.

Instalaciones y condiciones ambientales

Las instalaciones de calibraciones de luxómetros del laboratorio, tales como las fuentes de energía, la iluminación y las condiciones ambientales, deben facilitar la realización correcta de las calibraciones de los instrumentos.

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

El laboratorio debe asegurarse de que las condiciones ambientales no invaliden los resultados ni comprometan la calidad requerida de las mediciones en las pruebas preliminares y finales. Los requisitos técnicos para las condiciones ambientales que puedan afectar a los resultados de las calibraciones deben estar documentados y controlados en los siguientes valores:

- Temperatura de: $22\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ (CENAM, 2010)
- Humedad Relativa de: $\leq 60\%$. (CENAM, 2010)

- Verificar que los termohigrómetros se encuentren con su calibración vigente.
- Ler termohigrómetro debe tener activada la opción de datalogger y se encuentre grabando y almacenando información para su verificación en el tiempo.
- Verificar que las instalaciones en donde se encuentre el sistema del banco fotométrico se encuentre sin perturbación de iluminación en el interior del área de trabajo.
- Establecer un control de ingreso al solo al personal autorizado.
- Medidas de control de aseo y limpieza del laboratorio.
- Evitar la presencia de polvo al interior del área de trabajo, sobre todo en la lámpara patrón.
- Verificar que las instalaciones tengan una evaluación de una puesta a tierra para todos los tama corrientes.

Métodos de ensayo y de calibración y validación de los métodos

El método aplicado por el laboratorio para la calibración de luxómetros debe estar dentro del alcance del servicio que se está brindando. Esto incluye el muestreo, la manipulación, el transporte, el almacenamiento y la preparación de los ítems a calibrar.

El método utilizado para la calibración de los luxómetros se deben utilizar preferentemente los metodos publicados como normas internacionales regionales o nacionaes, (ISO/IEC 17025 Norma internacional, 2005), a nivel ecuatoriano el ente acreditador es el Servicio de Acreditación Ecuatoriano - SAE .

Todos los manuales, normas, e instrucciones y datos importantes correspondientes a la calibración de los luxómetros deben estar actualizados y deben estar facilmente disponibles para el personal técnico.

En caso de usar un método no normalizado como el nuestro, el método de calibración debe ser validado en el SAE y debe tener los siguiente detalles:

- b) el alcance;
- c) la descripción del tipo de ítem a calibrar;
- d) los parámetros o las magnitudes y los rangos a ser determinados;
- e) los aparatos y equipos, incluidos los requisitos técnicos de funcionamiento;
- f) los patrones de referencia y los materiales de referencia requeridos;
- g) las condiciones ambientales requeridas y cualquier período de estabilización que sea necesario.
- h) la descripción del procedimiento, incluida la siguiente información:
 - la colocación de las marcas de identificación, manipulación, transporte, almacenamiento y preparación de los ítems;
 - las verificaciones a realizar antes de comenzar el trabajo;
 - la verificación del correcto funcionamiento de los equipos y, cuando corresponda, su calibración y ajuste antes de cada uso;
 - el método de registro de las observaciones y de los resultados;

- las medidas de seguridad a observar.
- i) los criterios o requisitos para la aprobación o el rechazo;
- j) los datos a ser registrados y el método de análisis y de presentación;
- k) la incertidumbre o el procedimiento para estimar la incertidumbre.

Equipos

El laboratorio debe tener los equipos necesarios para el muestreo, la medición, y la calibración de los luxómetros, entre ellos se tienen:

- Lámpara patrón
- Banco fotométrico
- Regla certificada
- Torre de estabilización del fotosensor del luxómetro
- Luxómetro patrón de comparación
- Luxómetro bajo prueba.
- Termo higrómetro
- Escuadras certificadas.

Para ello la lámpara patrón se debe energizar y dejar por 10 minutos encendida para que la lámpara se embejzca y alcance la temperatura de color necesaria, cuando se encuentre solamante el led verde encendido quiere decir que la lámpara se encuentra lista para ser usada para las calibraciones de los luxómetros y se encuentra en sus condiciones ideales para ser usada, así se muestra en la Figura 18. Preparación de la lámpara patrón.

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO



Figura 18. Preparación de la lámpara patrón

Elaborado por: Gamma Scientific.

Fuente: Hoja de especificaciones Lámpara RS-10D.

Previo a la realización de la calibración se debe comprobar el correcto nivel del banco fotométrico, para ello la estructura metálica cuenta con estabilizadores regulables para poder ubicar en la estructura en posición horizontal, Figura 19. Posicionamiento del banco fotométrico.



Figura 19. Posicionamiento del banco fotométrico.

Elaborado por: Byron Gamboa.

La regla certificada debe encontrarse en buen estado para que el técnico pueda visualizar y ubicar en la distancia correcta la torre móvil que tiene el fotosensor del luxómetro bajo prueba, además con la certificación vigente.

La torre de estabilización debe estar correctamente centrada con la lámpara patrón ya que el flujo luminoso que envía la lámpara debe concentrarse y enfocarse al centro del fotosensor, para esto se puede utilizar una laser de posicionamiento o una escuafra de medición certificada para hacer una correcta ubicación del centro de los dos instrumentos, como se muestra en la Figura 20. Estabilización del fotosensor – lámpara patrón.

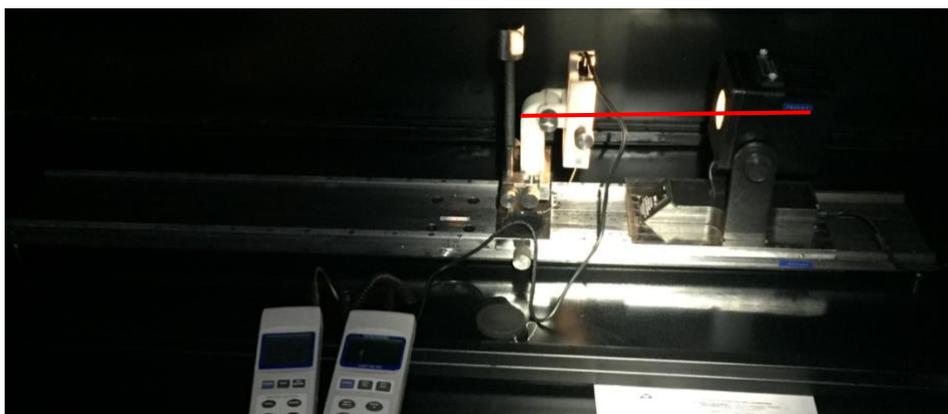


Figura 20. Estabilización del fotosensor - lámpara patrón

Elaborado por: Byron Gamboa.

El luxómetro de comparación debe ser utilizado con mucho cuidado para evitar daños en el mismo y debe ser guardado en un lugar seguro en condiciones ambientales acorde a las especificadas anteriormente:

- Temperatura de: $22\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$
- Humedad Relativa de: $\leq 60\%$.

A su vez este instrumento debe encontrarse certificado de preferencia por un laboratorio acreditado ISO 17025, y vigente. Se recomienda que la calibración de este luxómetro no sea mayor a un año en sus recertificaciones conforme a lo estipulado en la norma ISO 17025.

Al luxómetro bajo prueba se debe realizar una inspección física antes de la calibración para encontrar posibles anomalías en su condición física que pueda influir en la respuesta de

calibración, es así que se verifica que la batería se encuentre a completa carga y en casos de no estar completa, se recomienda cargar el instrumento o cambiar de baterías según corresponda, se debe realizar una limpieza del fotosensor, específicamente el filtro cosenoidal que tiene para retirar las posibles impurezas que pudieran ser depositadas en esta parte, para ello se puede utilizar un paño seco sin ningún tipo de producto líquido o grasa, de igual manera se recomienda evitar tomar con las manos o dedos para evitar colocar grasa de nuestras manos en el filtro del fotosensor, ya que estas impurezas evitan que la concentración de luz llegue al fotosensor, esto puede incurrir en una calibración errónea.

El termo higrómetro debe estar grabando y almacenando información en la memoria y sobre todo no debe superar los valores establecidos en cuanto a las condiciones ambientales necesarias para realizar la calibración, en caso de encontrarse fuera del rango debemos esperar a que las condiciones sean idóneas ya sea que se establezcan naturalmente o con medios de control como sistemas de ambientación en lugares de trabajo, en este caso en las pruebas realizadas en ningún momento han sido necesario utilizar medios de control.

Un método para ubicar paralelamente el fotosensor y la lámpara patrón es utilizando escuadras, estas deben ser certificadas para tener una trazabilidad en la calibración.

Trazabilidad de las mediciones

La trazabilidad de las mediciones está dada por la certificación de todos los instrumentos de medida, y se recomienda que deban ser calibrados por un laboratorio acreditado ISO 17025 bajo las unidades del sistema internacional según correspondan.

Se debe establecer un periodo de calibración para cada instrumento, por ello se deben calibrar por lo menos anualmente cada instrumento necesario para la calibración de luxómetros

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

Formato de Muestreo

Para tomar la muestra se recomienda utilizar el siguiente formato de tabla para llenar según lo establecido en el procedimiento de calibración así como se muestra en la Tabla 6.

Formato para muestreo:

Tabla 6. Formato para muestreo.

Solicitado por: _____ EMPRESA: _____de...
 Contactos: _____ FECHA: _____
 VALIDACIÓN VALIDACIÓN Y MANTENIMIENTO REVISIÓN Y DIAGNÓSTICO
 EQUIPO MODELO: _____ Nº de Serie Equipo: _____ Nº de Serie Fotosensor: _____

PATRON				INSTRUMENTO		
0 lux						
50 lux						
200 lux						
800 lux						
2400 lux						

Observaciones: _____

Tiempo de entrega: _____ Revisado por: _____ Proforma Taller Nº: _____

Elaborado por: Byron Gamboa.

Manipulación de los ítems de ensayo o de calibración

Se debe establecer un formato para el certificado de calibración que se emitirá posterior a la calibración del luxómetro, por ello se sugiere usar el siguiente formato en la Tabla 7: Formato certificado de calibración.

A su vez es de responsabilidad del laboratorio tener un historial y una correcta forma de lamacenamiento y seguridad de los certificados de calibración de cada cliente, en este caso se sugiere tener respaldos en una nube propietaria en medio magnético para salvaguardar la información de los clientes.

La vigencia de la certificación del instrumento bajo prueba se sugiere implantar las recomendaciones de cada fabricante, la mayoría recomienda calibrar cada 6 meses.

Tabla 7. Formato certificado de calibración

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Cliente:
 Descripción del Equipo:
 Fabricante:
 Sistema Fijo:

N° LX0081

N° DE Serie:
 Sistema Portátil:

Condiciones ambientales del laboratorio: HR: ___% Temp. : ___°C

PATRON:

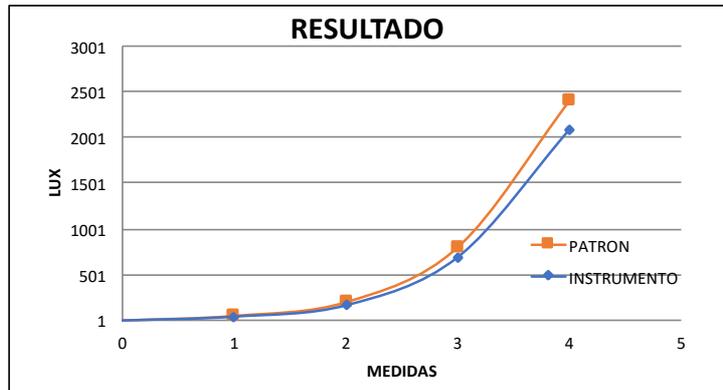
DESCRIPCIÓN	MODELO	MARCA	N° DE SERIE	MEDIDA	RANGO	RESOLUCIÓN	TOLERANCIA
Visible Light SD Card Dataloger	840022C	SPER SCIENTIFIC	073890	LUX	40.00 400.0 4,000 40,000 400,000	00.1 0.1 1 10 100	±(3% del rango + 0.5% F.S.) <100,000 ±(3% del rango + 0.5% F.S.) >100,000 for reference only

MEDICIONES: (lux)

MEDIDA	!	INSTRUMENTO					
		X1	X2	X3	#	\$	FC
0	0	0	0	0	0	0	0
1	50,0	42	42	42	42,1	0	1,19
2	200	167	166	166	166	1	1,20
3	800	694	692	692	693	1	1,15
4	2401	2090	2087	2084	2087	3	1,15

! = Media del Patrón, # = Media del Instrumento, σ = Desviación estándar, FC = Factor de Corrección

COMPARACIÓN GRÁFICA:



Validez del Certificado: 6 MESES Lugar y Fecha de Emisión: Quito, _____.

Comentarios: Referirse a la Tabla de mediciones para correcciones respectivas.

Realizado por: _____ Revisado por: _____ Recibido por: _____

Elaborado por: Byron Gamboa.

3.2.2. Procedimiento para la calibración.

Para realizar una calibración de un instrumento de medida de iluminancia (luxómetro) se debe seguir el siguiente procedimiento, sin embargo, el instrumento debió ser revisado y pasado por el servicio técnico en donde se revisará el estado físico, la batería, el estado del fotosensor, entre otros, esto antes de ingresar al proceso de calibración, y se debe realizar y verificar lo estipulado en el procedimiento de preparación.

El procedimiento se realizará para todos los puntos de calibración detallados en la Tabla 8. Puntos de calibración. Iniciando por el punto más extremo de 50 lux. Posterior en 200 lux, 800 lux, y finalizando en 2400 lux.

Tabla 8. Puntos de calibración

DISTANCIA (cm)	ILUMINANCIA TEÓRICA (lux)
Comprobación del Cero	0,0
86,02	50
43,01	200
21,51	800
12,42	2400

Elaborado por: Byron Gamboa.

Datos informativos

Para realizar el levantamiento de la información de la calibración es importante tener listo el formato de muestreo impreso y escribir la información:

- Solicitado por
- Empresa

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

- Contactos
- Fecha
- Equipo modelo
- N° de serie equipo
- N° de Serie Fotosensor:

Enceramiento del luxómetro

El primer paso en la calibración del equipo es realizar un enceramiento con el fotosensor tapando completamente en el cuarto oscuro para no tener perturbaciones e incidencia de iluminación en el equipo, este procedimiento se lo realiza según las especificaciones del fabricante de cada luxómetro, en este caso se coloca un ejemplo con el luxómetro 850007C.



Figura 21. Enceramiento del luxómetro

Elaborado por: Byron Gamboa

Fuente: Instruction Manual 850007

Fuente: Manual

El ajuste de cero de este instrumento esta detallado en la pag. 8 del manual de funciones de equipo, en donde claramente se detalla que se debe cubrir el fotosensor completamente y mantener presionado la tecla de ZERO por tres segundos y automáticamente el equipo se reconfigura colocando cero en la pantalla LCD del equipo, luego sin ningún problema podemos des cubrir el fotosensor y el quipo se encuentra en modo de monitoreo normal.

Muestreo de datos

Se debe colocar la torre de estabilización del fotosensor en la distancia definida para calibrar el instrumento a 50 lux, que sería 86,02 cm de distancia del fotosensor a la lámpara patrón. Una vez la lámpara patrón se encuentre lista y pre calentada, y el fotosensor se encuentre alineado con la lámpara patrón, se procede a tomar la información del valor en el luxómetro de referencia o patrón. Y luego se toma la lectura del luxómetro bajo prueba.

Este procedimiento se repite en los puntos de 200lux, 800lux, y en 2400lux, es decir se realiza una corrida ascendente en el rango de la calibración, este procedimiento se repite tres veces para tener información suficiente para sacar el promedio de la muestra y realizar el tratamiento estadístico, esto se visualiza en la tabla 9. Muestreo de la calibración.

Tabla 9. Muestreo de la calibración

	PATRON			INSTRUMENTO		
0 lux	0	0	0	0	0	0
50 lux	50	50	50	42	42	42
200 lux	200	200	200	166	166	166
800 lux						
2400 lux						

Elaborado por: Byron Gamboa

Luego de recoger la información se debe apagar la lámpara patrón y ubicar el luxómetro patrón y el luxómetro bajo prueba en sus respectivos lugares de almacenamiento.

Tratamiento Estadístico.

Una vez se tiene los datos en el formato escrito se pasa la información a un formato digital en una plantilla de Microsoft Excel en donde se calcula la desviación de las medidas en cada punto de calibración, y se calcula el error máximo porcentual comparando el valor del luxómetro bajo prueba y el luxómetro de referencia.

$$\overline{X}_{50} = \frac{50+50+50}{3} = 50 \text{ lux } \textit{ec. 21 luxómetro patrón}$$

$$\overline{X}_{50} = \frac{42+42+42}{3} = 42 \text{ lux } \textit{ec. 22 luxómetro bajo prueba}$$

$$\%Error = \frac{\textit{Valor Teórico}-\textit{Valor Medido}}{\textit{Valor Teórico}} \% \quad \textit{ec. 23}$$

$$\%Error = \frac{50-47}{50} \% = 6\% \quad \textit{ec. 24}$$

En la calibración se detalla el factor de corrección en cada punto de calibración, ya que cualquier desviación de la medida se puede corregir al multiplicar por este factor.

$$FC = \frac{\textit{Valor Teórico}}{\textit{Valor Teórico}} \quad \textit{ec. 25}$$

$$FC = \frac{50}{47} = 1,06 \quad \textit{ec. 26}$$

Con este factor al momento que el cliente realiza una medición en esta escala puede tener el valor real al multiplicar por el factor de corrección.

Criterio de calibración.

El criterio para descartar un instrumento es básicamente verificar que los valores del luxómetro bajo prueba se encuentren dentro del valor del error máximo permitido por el luxómetro patrón o de referencia, en este caso se realiza una evaluación.

$$\pm(3\% \textit{rdg} + 0.5\% \textit{F.S.}) \textit{ Error máximo permitido } \textit{ec. 27}$$

Con esto se tendrá una banda de rango de calibración, Es así que se calcula los valores mínimos considerando la información técnica del luxómetro de referencia o patrón de la siguiente manera.

$$50-(50*0,03)-(400*0,005)=46,5 \text{ lux} \quad \textit{ec. 28}$$

$$200-(200*0,03)-(400*0,005)=192,0 \text{ lux} \quad \textit{ec. 29}$$

$$800-(800*0,03)-(4000*0,005)=756,0 \text{ lux} \quad \textit{ec. 30}$$

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

$$2400-(2400*0,03)-(4000*0,005)=2309,0 \text{ lux} \quad \text{ec. 31}$$

los límites máximos de calibración serian:

$$50+(50*0,03)+(400*0,005)=53,5 \text{ lux} \quad \text{ec. 32}$$

$$200-(200*0,03)-(400*0,005)=208,0 \text{ lux} \quad \text{ec. 33}$$

$$800-(800*0,03)-(4000*0,005)=826,0 \text{ lux} \quad \text{ec. 34}$$

$$2400-(2400*0,03)-(4000*0,005)=2475,0 \text{ lux} \quad \text{ec. 35}$$

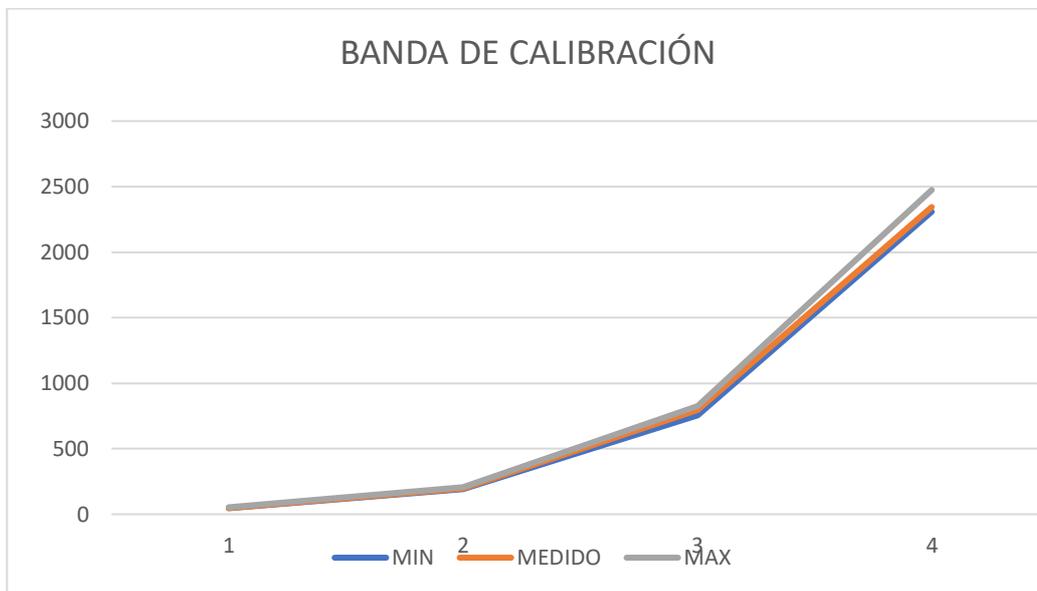


Figura 22. Banda de calibración

Elaborado por: Byron Gamboa

Siempre y cuando la respuesta de calibración del luxómetro bajo prueba se encuentre dentro de la banda de calibración la prueba se confirma como positiva, caso contrario el instrumento necesita un ajuste o mantenimiento y no se certifica la calibración realizada, los valores mínimos y máximos se muestran en la Figura 22. Banda de calibración.

CAPITULO IV.

DISCUSIÓN

4.1 Conclusiones

En el desarrollo de este proyecto se concluye con el diseño del banco fotométrico para la calibración de luxómetros basado en principios teóricos detallados en métodos internacionales, y con una comprobación práctica, para ello es necesario diseñar cada parte del banco en función de la lámpara patrón y las magnitudes especificadas en la ley de Bouguer, ley fotométrica de la distancia o ley del inverso al cuadrado, viéndose la viabilidad de implantación en la ciudad de Quito con la posibilidad de tenerla en funcionamiento y operación hasta el fin de año 2018.

Se concluye que las condiciones ambientales más influyentes para el acondicionamiento del área en donde se instalará en banco fotométrico son la temperatura y la humedad relativa, por lo cual la presión barométrica con la que cuenta la ciudad de Quito no influirá en la ejecución de este proyecto.

El área mínima que se necesita para la implantación del proyecto es un cuarto negro que tiene como medidas, 400 cm de largo y 300 cm de ancho, con consideraciones de piso, techo, paredes y puerta de color negro mate, a su vez completamente hermético para evitar perturbaciones externas.

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

El rango de calibración de los luxómetros bajo prueba se lo ha diseñado conforme a las especificaciones de la lámpara patrón con sus límites de 0 a 2400 luxes, con puntos intermedios de calibración de 50, 200, y 800 luxes, estos puntos de referencia se utilizaron de los métodos aprobados internacionalmente, con lo que se garantizará que el luxómetro calibrado se encuentra en perfectas condiciones para realizar mediciones en centros de trabajo, y así verificar la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, apoyando a tener un ambiente seguro y saludable.

Se concluye que la lámpara patrón seleccionada en este diseño se encuentra acorde con los rangos de calibración mencionados en los métodos de calibración de luxómetros ya probados internacionalmente, la lámpara que se utiliza en este diseño es una Lámpara RS-10D de Gamma Scientific con certificación traceable ISO 17025, con una Irradiancia nominal de salida de 300 nm hasta 1100 nm que trabaja en el espectro visible ya que el requisito es que la lámpara trabaje en longitudes de onda de por lo menos 380 a 780 nm, con una temperatura de color de 2856 K.

La aplicación del método que se utilizó en el desarrollo del proyecto en el diseño de un banco fotométrico para la calibración de luxómetros se basa en la aplicación de la Ley de Bouguer, Ley fotométrica de la distancia o Ley del inverso al cuadrado, esta es la parte fundamental ya que de esta teoría parte todo el diseño del banco, y haciendo uso de la información técnica estipulada en los métodos de calibración utilizados en los países que ya cuentan con laboratorios acreditados en esta variables, se selecciona el rango de calibración con los respectivos puntos intermedios de calibración y se selecciona una lámpara patrón se sujete a las necesidades de hasta 2400 luxes, y que trabaje en el espectro de frecuencia del rango visible.

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

Es importante rescatar que en el desarrollo del diseño del banco fotométrico se tiene valores teóricos y en este caso se pudo corroborar en la práctica ya se implementó el diseño en la realidad, dando buenos resultados en la comprobación del método.

Para complementar el diseño del banco fotométrico para la calibración de luxómetros se detalla un procedimiento de preparación en donde se encuentra los requisitos que se necesita tener antes de realizar la calibración de un luxómetro bajo prueba, así también se presenta un procedimiento de calibración de un luxómetro con el respectivo tratamiento estadístico para establecer el criterio de aceptación o rechazo de la calibración de un instrumento de medida de iluminancia.

Por el alcance del proyecto, en el desarrollo de resultados no se presenta los cálculos de la incertidumbre de la calibración, ya que en este tratamiento se debe usar herramientas estadísticas y el valor de la incertidumbre que aportan a la calibración como son las condiciones ambientales, calibración de los instrumentos patrones que son la lámpara patrón, luxómetro de referencia, regla metálica, escuadras, y considerar las desviaciones de la medida por repetibilidad y reproducibilidad, entre otros.

Con la implementación de este proyecto se presume dar un servicio a la mayor cantidad de clientes a nivel nacional que cuentan con estos instrumentos de medida, y así contribuir con el desarrollo de nuestro país incursionando una nueva variable de calibración a nivel nacional, ahorrando tiempos de envío al exterior, costos por envíos al exterior, tiempos muertos con un lucro cesante, y dando una opción más ágil, a un valor de servicio accesible para que aún las empresas que no certifican sus instrumentos puedan optar por esta nuevo servicio.

4.2 Recomendaciones

El área en donde se establezca la utilización del banco fotométrico se recomienda mantener cerrada y en lo posible bien hermético para evitar que partículas pequeñas se encuentren dispersas en el ambiente y ocasiones perdidas de rayos lumínicos que viajan por el espacio desde la lámpara patrón hacia el fotosensor del luxómetro bajo prueba durante la calibración del instrumento.

En la construcción del banco fotométrico se sugiere utilizar acero y construirlo en un laboratorio o torno milimétrico para que la estructura no tenga juego en sus acoples mecánicos y evitar errores en la distancia de ubicación del fotosensor en el lado opuesto de la lámpara patrón.

Para tener una verificación más acertada del método de calibración de los luxómetros se puede realizar por lo menos tres pruebas con el mismo instrumento y repetir las con otro técnico especialista para comprobar la reproducibilidad del método de calibración.

BIBLIOGRAFÍA

- CENAM. (Julio de 2010). Calibración de Luxómetros y su uso en la medición de niveles de iluminación. *PUBLICACIÓN TÉCNICA CNM-MFO-PT-004*. El Marqués, Qro., MEXICO.
- Centro Español de Metrología CEM, Subdirección General de Seguridad y Calidad Industrial, Ministerio de industria y Energía, Ministerio de Fomento. (s.f.). *PROCEDIMIENTO OP-001 PARA LA CALIBRACION DE ILUMINANCIMETROS (LUXOMETROS)*. (0 ed.). ESPAÑA.
- E. Rosas, R. C. (2010). *Calibración de Luxómetros, y su uso en la medición de niveles de iluminación*. México, México.
- European Standard. (July de 2004). EN 13032-1 Light and lighting - Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires - Part 1: Measurement and file format. Brussels.
- Gamma Scientific, Inc. (14 de Abril de 2015). RS-10D Uniform Light Source. San Diego, CA 92131, USA.
- Gamma Scientific, Inc. (s.f.). INSTRUCTION MANUAL FOR RS-SERIES LAMPS, MONITORS AND CONTROLS. San Diego.
- Instituto Ecuatoriano De Seguridad Social, Seguro General De Riesgos Del Trabajo. (17 de Noviembre de 1986). *DECRETO EJECUTIVO 2393, REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO*. Quito, Ecuador.

DISEÑO DE UN BANCO FOTOMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS USADOS EN MEDICIONES HIGIÉNICAS, CERTIFICACIÓN DE LAMPARAS Y DISEÑO DE AMBIENTES DE TRABAJO

Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI. (Octubre de 2016). Procedimiento

específico: PEL05RFB CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS. Argentina.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI, Centro de Desarrollo e Investigación en

Física y Metrología. (Septiembre 2014). *CALIBRACIÓN DE LUXÓMETROS DE*

REFERENCIA A PARTIR DE LÁMPARAS PATRONES DE INTENSIDAD

LUMINOSA. Argentina.

International Commission On Illumination. (July de 2010). CIE AND MESOPIC

PHOTOMETRY. Vienna, Austria.

INTERNATIONAL STANDARD . (01 de 06 de 2014). ISO/CIE 19476 Characterization of

the performance of illuminance meters and luminance meters. Vienna, Austria.

ISO/IEC 17025 Norma internacional. (15 de 05 de 2005). Requisitos generales para la

competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.

Robert E. Hebner, A. D. (July 1997). *NIST MEASUREMENT SERVICES: PHOTOMETRIC*

CALIBRATIONS. Gaithersburg, MD 20899.

SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL. (30 de 12 de 2008). NOM-025-

STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. México, México.

Sper Scientific . (2015). Advanced Light Meter 840022 Instruction Manual. USA.

Sper Scientific. (2015). Visible Light SD Card Datalogger - 850007. USA.