



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

Calibración de patrones radiométricos

Presentado por Clara Álvarez Rodríguez

Tutelado por: Carlos Toledano

Tipo de TFG: Revisión Investigación

En Valladolid a, 25 de Junio de 2020

Contenido

RESUMEN	3
ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	4
1.1. Que es la calibración y para qué sirve.....	4
1.2. Magnitudes radiométricas	5
1.3. Patrón irradiancia, radiancia y flujo radiante.....	6
1.4. Como se transfiere calibración de una lampara a una esfera.....	7
2. MATERIAL Y METODOS	8
2.1. MATERIAL	8
2.2. METODOS.....	12
3. RESULTADOS Y DISCUSION DEL TRABAJO ESPERIMENTAL REALIZADO	14
3.1. Resultados	14
3.2. Discusión	16
CONCLUSIONES	17
BIBLIOGRAFÍA.....	18
ANEXOS	19
ANEXO 1	19

RESUMEN

Las esferas integrantes se pueden usar como fuentes de radiancia uniforme. La radiancia es una magnitud radiométrica que nos da el flujo de energía remitido por unidad de superficie y de ángulo sólido. A partir de la radiancia de un instrumento se pueden realizar múltiples aplicaciones, como traspasar la calibración del mismo a otros instrumentos.

El objetivo de este trabajo es calibrar una esfera integrante a partir de un patrón radiométrico de irradiancia, en nuestro caso una lámpara tipo FEL calibrada y certificada por el NIST. La calibración de un instrumento es muy importante ya que nos asegura que las medidas que estamos tomando son las adecuadas en unidades físicas.

Como a la hora de realizar cualquier medida primero se deberá alinear todo el banco óptico lo cual tiene un papel fundamental ya que si este paso no se realiza de manera adecuada todas las medidas que se tomen con posterioridad serán erróneas y no servirán quedando el instrumento sin calibrar de forma correcta.

Los resultados obtenidos son los esperados ya que comparamos varias longitudes de onda conocidas de un instrumento ya calibrado y obtenemos unos valores muy similares, esto nos indica que el coeficiente de calibración que hemos obtenido es válido para una calibración posterior.

ABSTRACT

The integrating spheres can be used as uniform radiance sources. The Radiance is a radiometric magnitude that gives us the energy flux remitted by unit of surface and solid angle. From the radiance of an instrument we can do multiple applications, like transferring the calibration to other instruments.

The aim of this work is to calibrate an integrating sphere from a radiometric irradiance reference, in our case a FEL type lamp calibrated and certified by NIST. The calibration of an instrument is important because it assures us that the measurement we are taking are the right ones in physical units.

As in the case of any measurement, first the entire optical bench must be aligned, which plays a fundamental role, because if this step is not carried out properly, all the measurements taken afterwards will be wrong and will not serve, leaving the instrument without calibrating it correctly.

The results obtained are those expected, since we compare several known wavelengths of an already calibrated instrument and we get a few values that are very similar, this tell us that the coefficient of calibration we have obtained is valid for a later calibration.

1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El objetivo principal de este trabajo consiste en obtener la radiancia de una esfera integradora. Para ello primero deberemos traspasar el coeficiente de calibración a partir de un patrón de irradiancia. Dicho coeficiente lo conseguiremos con ayuda de una lámpara ya calibrada, con la cual calibraremos un espectrorradiómetro, y así a partir de él podremos calibrar otro tipo de instrumentos, como en este caso la esfera integradora.¹

Una vez conseguida la irradiancia tendremos que calcular la radiancia de la esfera, ya que es a lo que queremos llegar. Para ello utilizaremos la expresión que relaciona estas dos magnitudes¹:

$$E = \pi L \sin^2 \alpha$$

Siendo L el valor de la radiancia que queremos obtener, α el tamaño angular de la boca de la esfera vista desde el detector y E el valor de la irradiancia que hemos obtenido a partir de la calibración.¹

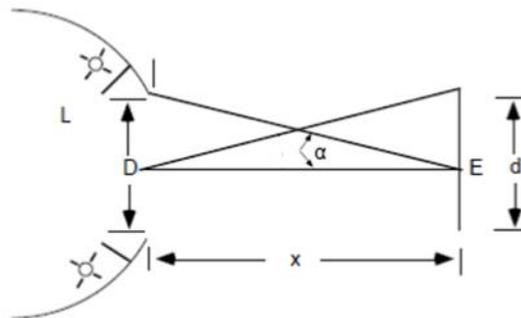


Ilustración 1: Valores para la ecuación de la radiancia. Obtenida de: *Integrating Sphere Theory and Applications. Labsphere. :22.*

1.1. Que es la calibración y para qué sirve

Para garantizar la fiabilidad de una medición los instrumentos deben ser calibrados periódicamente.

La calibración de un instrumento consiste en la comparación de las unidades fundamentales de medida con otro instrumento, para convertir la señal bruta (en cuentas digitales) en una medida calibrada en unidades físicas (W/m², etc.). La calibración frecuente proporciona una mayor precisión en la lectura de las medidas que se tomen con posterioridad. Dicha cadena de comparación tiene las bases en organismos nacionales o internacionales. En Estados Unidos esta organización es el Instituto Nacional de Normas y Tecnologías o también llamado NIST. Este instituto establece las unidades de medida usando los fenómenos naturales de la física.¹

A la hora de hablar de la calibración de un instrumento se tiende a confundir los términos exactitud, tolerancia e incertidumbre, tomándolos como equivalentes, pero no lo son. La exactitud se refiere los límites de error que tiene

un determinado parámetro de un instrumento en condiciones específicas. Los errores totales que presenta ese instrumento en particular sería la tolerancia del propio instrumento. Combinando estos errores, en primer lugar con los mismos errores del instrumento y después con los totales de los instrumentos adicionales, este resultado es lo que se conoce como incertidumbre total de lectura.¹

El objetivo principal que tiene la calibración es la capacidad de poder realizar una medida obteniendo un punto de medición de tal manera que esta se pueda repetir en otro momento y en otro lugar del planeta. Y esto se consigue a partir de patrones definidos gracias a fenómenos o constantes físicas conocidos y reproducibles en un laboratorio, combinando las precisiones formando un total de incertidumbre para el instrumento, y finalmente utilizando el resultado para conseguir medir el estímulo con un grado de certidumbre.¹

1.2. Magnitudes radiométricas

La radiometría es la ciencia que estudia la medición de la radiación electromagnética a lo largo de todas las longitudes de onda del espectro electromagnético. Fundamentalmente se ocupa de la medida de la potencia radiante asociada a la radiación.

El espectro electromagnético comprende longitudes de onda desde rayos X ($\lambda=1\text{nm}$) hasta las ondas de radio ($\lambda=1\text{mm}$), esta limitación de intervalo es la elegida por el Vocabulario Internacional de Iluminación, aunque otros autores lo restringen incluyendo únicamente la radiación ultravioleta, la visible y la infrarroja. En radiometría la oscilación temporal en vez de describirse por la frecuencia de la onda se describe típicamente por la longitud de onda.²

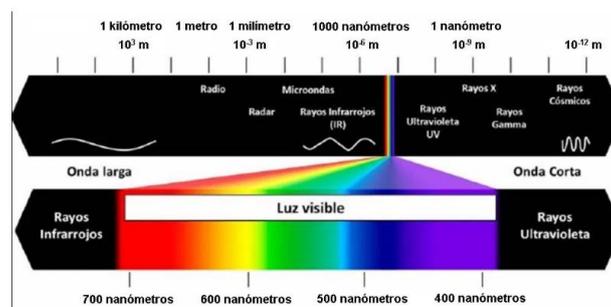


Ilustración 2: Espectro electromagnético. Obtenida de: Radiometría y fotometría: Magnitudes y leyes básicas - Revista e-medida [Internet]. [cited 2020 Jun 25].

Las magnitudes radiométricas tienen la capacidad de evaluar la potencia óptica en distintas geometrías, que se emplean en distintas aplicaciones.

La radiación emitida, propagada y recibida no es la misma para todas las longitudes de onda, su potencia varía. Por lo que las magnitudes radiométricas tienen dos maneras de definirse, o bien de una manera global en todo el intervalo, o de una manera espectral mostrando la densidad de la magnitud por unidad de longitud de onda.²

1.3. Patrón irradiancia, radiancia y flujo radiante

Para la mejor comprensión del trabajo hay que comprender una serie de términos, si se entienden dichos términos será más sencillo el seguimiento del trabajo.³

Se define la irradiancia como la cantidad de potencia óptica o flujo por unidad de área que incide sobre un plano real o ficticio de referencia, se trata de una magnitud clave en muchas aplicaciones, ya que diferentes fenómenos físicos dependen de la densidad superficial radiante o dicho de otra manera se trata de la densidad de flujo radiante por unidad de superficie. Se deben incluir todas las posibles direcciones que hay en el ángulo sólido hemisférico. Se representa con el símbolo E , siendo su unidad W/m^2 .³

$$E = \frac{d\Phi}{dS_0}$$

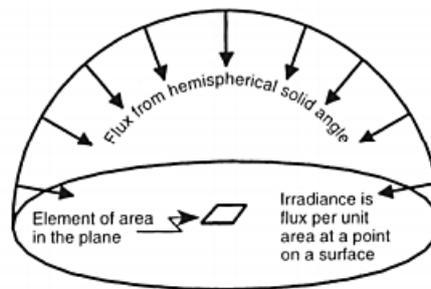


Ilustración 3: Flujo radiante por unidad de área incidente de un ángulo sólido hemisférico. Obtenida de: González Gómez E. Guía básica de conceptos de radiometría y fotometría. Campos electromagnéticos - Óptica [Internet]. 2006;1-41.

Por otro lado, la radiancia es una magnitud que tiene en cuenta la extensión superficial de las fuentes extensas y la variación de la emisión en función de la dirección. Se puede definir como el flujo radiante emitido por una fuente dada en una dirección por unidad de ángulo sólido y de área proyectada sobre la dirección. Se representa con el símbolo L y su unidad según el SI es $W/(sr.m^2)$. Su ecuación es:

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\omega ds} = \frac{d^2\Phi}{d\omega ds_0 \cos \theta}$$

En esta ecuación $ds = ds_0 \cos \theta$ ya que se trata de un área proyectada refiriéndose al área de proyección de la superficie elemental ds_0 sobre un plano el cual es perpendicular a la dirección de propagación.³

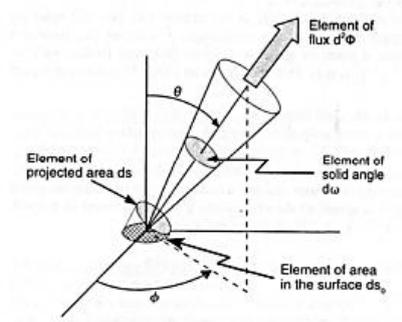


Ilustración 4: Esquema radiancia. Obtenida de: González Gómez E. Guía básica de conceptos de radiometría y fotometría. Campos electromagnéticos - Óptica [Internet]. 2006;1-41.

La radiancia depende de la posición y la dirección, por ello es muy importante definir claramente la superficie que se considera, la dirección desde esta y el punto sobre ella. Se puede entender de dos maneras, la intensidad por unidad de área proyectada o la irradiancia por unidad de ángulo sólido desde el área que se proyecta.³

Por último, el flujo radiante indica la potencia total emitida por una fuente, es decir flujo de energía radiante por unidad de tiempo, es la magnitud más elemental. Se mide en vatios (W) y se representa con el símbolo Φ_e .

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

Siendo Q la energía radiante definida como la cantidad de energía que se propaga a través de una superficie en un periodo de tiempo dado.

No obstante, si la radiación incide en un dispositivo, el cual produce una señal proporcional a la radiación incidente, la magnitud que verdaderamente importa es la cantidad total de flujo, por ello es necesario que se especifique la extensión espacial del campo de radiación cuyo flujo se está considerando.³

1.4. Como se transfiere calibración de una lámpara a una esfera

Como ya se ha explicado en el apartado anterior la calibración consiste en la comparación de las unidades de medida. Por lo tanto, para transferir la calibración de una lámpara a una esfera integradora se lleva a cabo el mismo procedimiento.

En primer lugar, tendremos que tomar una serie de medidas de la lámpara, las cuales se nos dan en cuentas digitales, como nosotros tenemos los valores dados por el NIST que deberíamos obtener de la lámpara, realizamos el cociente de estos sacando así el coeficiente de irradiancia. Una vez sacado este coeficiente sabemos el valor que tenemos que obtener en cada longitud de onda de irradiancia por ello, procedemos a tomar las medidas de la esfera integradora, al tomarlas igual que en la lámpara obtenemos los datos en cuentas digitales, por lo que conocemos ya el valor que debemos tener en cada longitud de onda y por ello podemos calibrar la esfera. Pasando así la calibración de la lámpara a la esfera.

2. MATERIAL Y METODOS

2.1. MATERIAL

Para la realización de las medidas necesitaremos

2.1.1. Banco óptico y soportes

Está compuesto por varios elementos, que permiten la alineación precisa de lámpara, esfera, detectores, etc.

- Sistema de perfil X 95:



Se trata de un perfil de aluminio cilíndrico hueco con cuatro aristas laterales de la marca Qioptic, utilizado como banco óptico.⁸

Ilustración 5:sistema de perfil X95. Obtenida de: Qioptiq Q-Shop | Sistema de riel / perfil 95 [Internet]. [cited 2020 Jun 25].

- Portadores FLR 95:



Soportes simples para el sistema de perfil X95 de la marca Qioptic, de aluminio anodizado negro.⁸

Ilustración 6:Portadores FLR 95. Obtenida de: Qioptiq Q-Shop | Sistema de riel / perfil 95 [Internet]. [cited 2020 Jun 25].

- Plataforma de inclinación y rotación:



Plataforma de inclinación multieje métrica modelo M-37 de la marca Newport, micrómetros SM-13, rosca M6.⁸

Ilustración 7:Plataforma multieje. Obtenida de: Qioptiq Q-Shop | Sistema de riel / perfil 95 [Internet]. [cited 2020 Jun 25].

- Etapas lineales:



Etapea lineal XYZ de viaje M-460A-XYZ de la marca Newport, montaje rápido, recorrido 13 mm, M6, tiene un diseño integrado pero modular.⁸

Ilustración 8: Etapea lineal XYZ. Obtenida de: Qioptiq Q-Shop | Sistema de riel / perfil 95 [Internet]. [cited 2020 Jun 25].

- 271 Lab Jack:



Jack de laboratorio modelo 271 de la marca Newport, 44.5mm de recorrido, 4.375 x 6.5 in. Plataforma. 200 lb., 1 / 4-20 y M6. Proporciona un ajuste de altura suave y estable. ⁸

Ilustración 9: 271 Lab Jack. Obtenida de: Qioptiq Q-Shop | Sistema de riel / perfil 95 [Internet]. [cited 2020 Jun 25].

2.1.2. Lámpara FEL



Ilustración 10: Lámpara FEL. Obtenida de: Fraser GT, Gibson CE, Yoon HW, Parr AC. "Once is enough" in radiometric calibrations. J Res Natl Inst Stand Technol. 2007;112(1):39–51.

Lámpara de halógena de cuarzo de 1000W calibrada, donde FEL es el tipo de lámpara (no un acrónimo) designado por American National Standards Institute (ANSI). Lo que la diferencia de otras lámparas empleadas para el mismo fin es que establece el estándar. ⁷

Son utilizadas en laboratorios por las normas de irradiancia y radiancia para la calibración de espectrofotómetros, fotómetros y otros instrumentos de laboratorio. Se alimenta con una fuente estabilizada (Newport) que proporciona 8.2A de corriente. ⁷

2.1.3. Fibra óptica

La fibra óptica se trata de un medio físico con el cual se consigue la transmisión de radiación e información. Es un filamento de vidrio o plástico delgado, por el que viajan pulsos de luz laser o led, que contienen los datos que se quieren transmitir. ⁴

El funcionamiento de la fibra óptica se basa en el principio de la Ley de Snell, dicha ley nos permite calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar de un medio a otro con diferente índice de refracción. Esta ley nos indica que si la luz intenta salir a un medio de índice menos, incidiendo en un ángulo grande, se produce reflexión total y la luz queda confinada dentro del primer medio. Esto permite llevar luz sin sufrir apenas pérdidas. ⁴

La que se emplea hoy en día esta compuesta de un núcleo de plástico o vidrio que presenta un alto índice de refracción, recubierto por un plástico similar, pero con un índice de refracción menor. ⁴

2.1.4. Espectrorradiómetro

El espectrorradiómetro se trata de un instrumento con el que se mide la radiación de luz entrante, en un cierto rango espectral, esto quiere decir que permite medir la intensidad cuantitativa o absoluta en las diferentes longitudes de onda que hay en el espectro electromagnético.⁶

La forma que tiene de detectar la luz es a través de una fibra óptica, al entrar gracias a una rejilla de difracción holográfica se consigue la división de la longitud de onda, facilitando la medición a través del detector.⁶

El FieldSpec® Pro es el espectrorradiómetro que hemos utilizado para la toma de medidas el cual se encuentra conectando a un ordenador en el que se muestra medida en cuentas digitales que hemos obtenido.⁶

2.1.5. Esfera integrante

La esfera integrante es un instrumento simple utilizado para la medición de la radiación óptica. El funcionamiento físico de esta esfera se basa en la teoría de intercambio de radiación dentro de un espacio de superficies difusas, la luz que incide en una superficie difusa crea una fuente de luz virtual por reflexión, la luz que emana de la superficie se describe por su radiancia, es decir, densidad de flujo por unidad de ángulo sólido.⁵

La radiancia es importante ya que se utiliza para la predicción de cantidad de flujo que puede recoger un sistema óptico sobre la superficie iluminada.

La derivación de la radiancia de una esfera integrante iluminada desde el interior comienza con la expresión de la radiancia L , de una superficie difusa para un flujo de entrada Φ_i .

$$L = \frac{\Phi_i \rho}{\pi A}$$

Siendo ρ la reflectancia, A el área iluminada y π el ángulo sólido total proyectado desde la superficie.

En el caso de la esfera integrante hay que tener en cuenta tanto las múltiples reflexiones superficiales como las pérdidas a través de las aberturas de los puertos necesarias para el flujo de entrada. Considerando una esfera con puerto de entrada A_i y puerto de salida A_e , la cantidad de flujo incidente en toda la esfera es:

$$\Phi = \Phi_i \rho \left(\frac{A_s - A_i - A_e}{A_s} \right)$$

A la hora de hablar del diseño de la esfera implica unos parámetros básicos, como la selección del diámetro óptimo para el cual hay que basarse en las aberturas, tanto el número como el tamaño de estas y los dispositivos periféricos. Para seleccionar el revestimiento adecuado se

tiene en cuenta el rango espectral, así como el rendimiento que se quiere conseguir. El uso de baffles con respecto a la radiación incidente y el campo de visión del detector, así como las ecuaciones radiométricas con el fin de determinar la eficacia del acoplamiento de la esfera integrante a un sistema de detección. ⁵

Las aplicaciones de la esfera integrante son variadas, aunque su mayor aplicación sea la medición de la reflectancia o transmitancia total de los materiales difusos o de dispersión. Otra aplicación que puede tener es, utilizando la apertura del puerto como fuente de gran área la cual presenta un resplandor uniforme. Estas fuentes pueden ser utilizadas tanto como para calibrar dispositivos y sistemas, como simples retroiluminadores uniformes. ⁵

Como se expresa con anterioridad la aplicación mas importante es la medición de la reflectancia y la transmitancia de los materiales difusos. Las mediciones se suelen realizar de forma espectral, en función de la longitud de onda. Una de las pocas excepciones puede ser la medición mediante un detector de respuesta fotópica.

A la hora de realizar una medida de transmitancia se coloca una muestra del material en el puerto de entrada de la esfera.

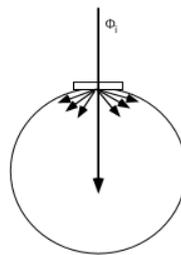


Ilustración 11: Esquema localización muestra. Obtenida de: *Integrating Sphere Theory and Applications*. Labsphere. :22.

Mientras que para medidas de la reflectancia se coloca la muestra en la abertura del puerto opuesta al puerto de entrada. El flujo incidente es reflejado en la muestra, y la esfera integradora recoge la reflectancia hemisférica total.

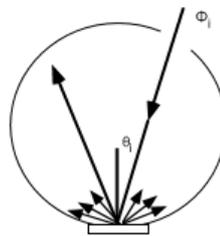


Ilustración 12: Esquema muestra localizada puerto opuesto y recorrido del flujo incidente. Obtenida de: *Integrating Sphere Theory and Applications*. Labsphere. :22.

Al medir la reflectancia el ángulo de incidencia suele estar ligeramente fuera de la normal pudiendo llegar hasta 10° de diferencia. Estas mediciones de reflectancia en ángulos de incidencia mayores o variables se realizan situando la muestra en el centro de la esfera y

girándola alrededor de un haz de entrada fijo. Se colocan baffles con el fin de evitar que el fotodetector vea directamente la muestra irradiada. Lo más preferible es utilizar un fotodetector con campo de visión hemisférico para la reducción de la función de distribución de dispersión de la muestra.⁵



Ilustración 13: Montaje del banco óptico. Fotografía tomada en el laboratorio.

2.2. METODOS

2.2.1. Alineación

A la hora de tomar una medida, primeramente, hay que alinear el banco de trabajo con los diferentes instrumentos, de esta manera se consigue que las medidas tomadas sean correctas, ya que si el banco no se encuentra alineado las medidas obtenidas serán erróneas y no fiables. Para ello nos ayudaremos de un láser que proyecta dos rayos perpendiculares entre sí, uno incide en el suelo de manera perpendicular a él, y el otro es paralelo al suelo. El láser se coloca en el medio del banco en un soporte el cual nos permita hacer ligeros movimientos en varias direcciones de rotación y desplazamiento, para realizar correctamente la alineación.

El rayo que proyecta el láser incidirá en la tapa de la esfera integrante, en la cual habremos dibujado el centro para ayudarnos en este proceso. Para efectuar la correcta alineación deberemos comprobar no solo si el rayo incide en el centro de la tapa de la esfera, sino si el reflejo de este vuelve por el mismo

camino. Para ello nos ayudaremos de un objeto reflectante el cual colocaremos en la incidencia del rayo y veremos si este impacta por donde sale. Tendremos que realizar varios movimientos en el soporte del láser hasta ver que la posición es la adecuada, incidiendo el rayo en el centro de la esfera y su reflejo en la salida del láser.

Este procedimiento habrá que repetirlo de igual manera para alinear el detector del espectrorradiómetro, y cerciorándonos de que se mantiene la alineación con la esfera integrante, por lo que deberemos hacer varias comprobaciones en la alineación de ésta.

2.2.2. Toma de medidas

Una vez que ya está alineado ambos sistemas procedemos a la toma de medidas.

Se coloca la lampara FEL delante del espectrorradiómetro, variando la distancia para obtener diferentes medidas, se toman los datos a dicha distancia. Hay que tener en cuenta que una vez encendida la lampara deberemos esperar un rato hasta que se estabilice ya que la intensidad va aumentando hasta este momento.

Pero la lampara tiene lo que se denomina ruido, dicho ruido consiste en la luz que no procede directamente de la lámpara, sino que se refleja en otros medios (techo, mesa, pared, etc.) y llega al espectrorradiómetro, para tener una medida correcta deberemos colocar un objeto opaco delante de la lampara y tomar otra medida consiguiendo así conocer la medida del ruido o fondo, para posteriormente poder obtener una medida con mayor precisión.

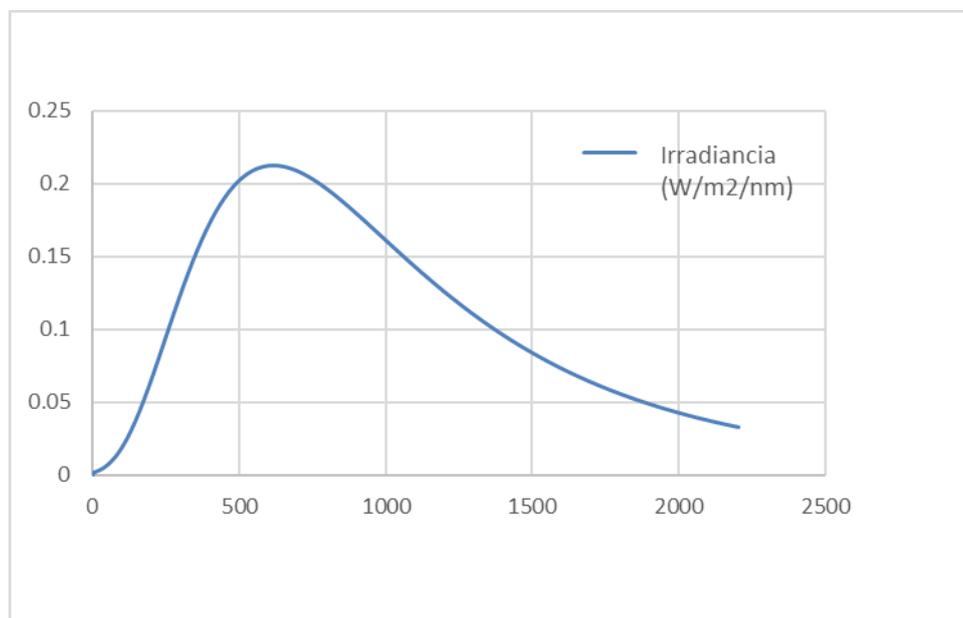
Una vez que se han tomado las medidas de la lampara se retira del banco y comenzamos a tomar las de la esfera integrante, siguiendo el mismo procedimiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSION DEL TRABAJO EXPERIMENTAL REALIZADO

3.1. Resultados

Una vez que ya tenemos todas las medidas necesarias tenemos que realizar las relaciones adecuadas para así conseguir la radiancia de la esfera y por tanto su calibración a partir de nuestra lámpara calibrada.

En primer lugar, conociendo los datos dados por la NIST de la lámpara deberemos calcular su irradiancia en $W/m^2/nm$, de la cual se hará la gráfica, obteniendo una gráfica propia de un cuerpo negro. Los coeficientes utilizados se detallan en el Anexo 1.

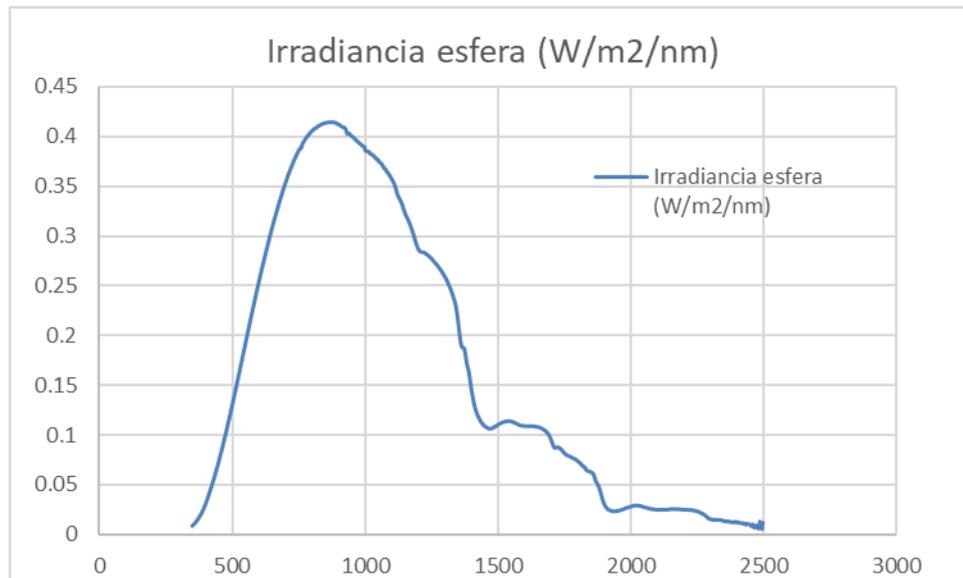


Gráfica 1: Irradiancia lámpara NIST

Posteriormente, con las diez medidas que hemos tomado de la esfera, la lámpara y el ruido de esta realizaremos un promedio de cada una para obtener una media de los valores. Como se ha explicado en el apartado anterior, al tomar la medida de la lámpara esta se encuentra contaminada por el ruido (luz reflejada en objetos, etc.), por ello deberemos restar al promedio de la lámpara el del ruido, consiguiendo así el valor de los rayos que llegan directamente al detector.

Como ya se ha explicado, para conseguir la radiancia de la esfera primero tenemos que conocer la irradiancia que produce la boca de la esfera a una distancia conocida. Para ello, hay que calcular previamente el coeficiente de calibración del espectrorradiómetro, el cual se obtiene comparando los datos de los valores de la lámpara NIST (calibrada) con los valores en cuentas digitales de nuestra lámpara al restarla el ruido, consiguiendo así dicho valor.

Una vez que tenemos el coeficiente de calibración podemos pasar las cuentas digitales de la medida con la esfera a irradiancia ya que este coeficiente nos da la relación que necesitamos obteniendo la siguiente gráfica.



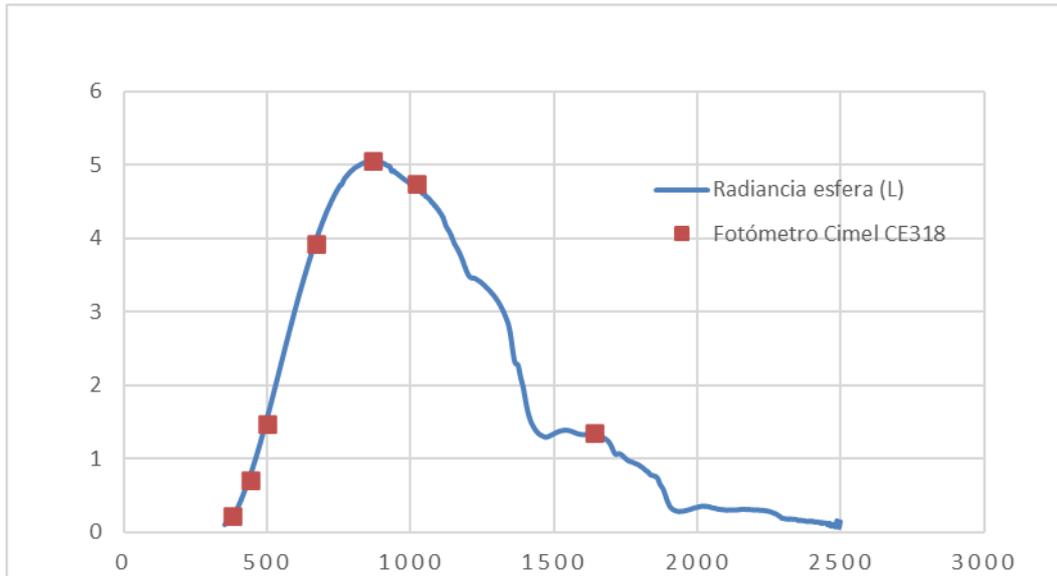
Gráfica 2: Irradiancia esfera

Lo siguiente será calcular la radiancia de la esfera consiguiendo así nuestro objetivo. Para ello, primero deberemos sacar el valor de α , el cual se consigue gracias a que conocemos el valor de la distancia a la que se han tomado (62cm) y el valor del diámetro de la boca de la esfera (8 pulgadas). La relación entre pulgadas y centímetros es que una pulgada equivale a 2.54cm por lo tanto la boca de la esfera mide 20.32cm. Mediante la tangente del ángulo, calculamos el valor que tiene α en radianes siendo este de 0.327741935.

La ecuación que relaciona la irradiancia con la radiancia es:

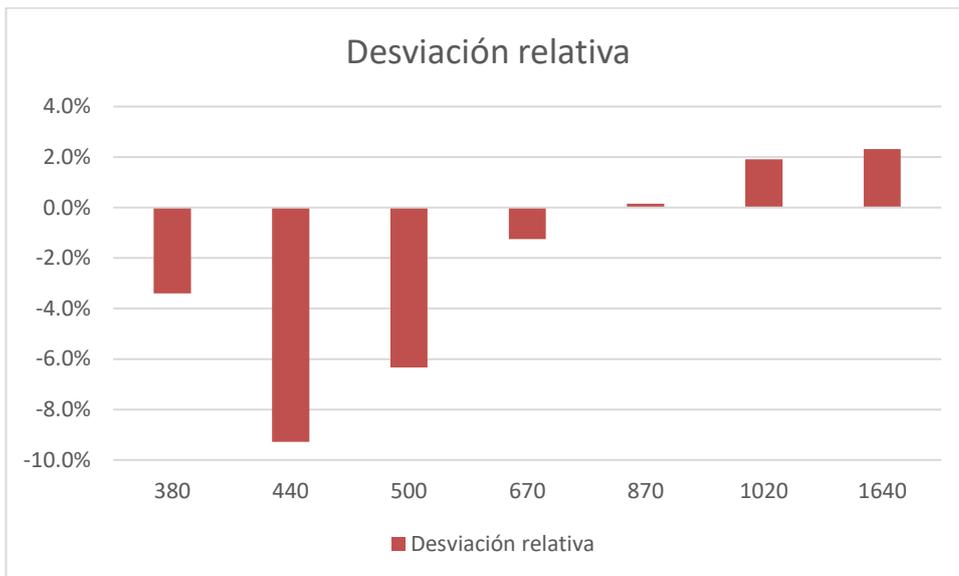
$$E = \pi L \sin^2 \alpha$$

Con lo cual, como conocemos todos los valores salvo la radiancia (L), la despejamos en la ecuación y obtenemos el valor de la radiancia en la esfera. Con estos datos realizamos la gráfica correspondiente. Sobre la cual realizaremos la gráfica con los valores de siete longitudes de onda del fotómetro Cimel CE318 para observar la diferencia que existe entre ambas.



Gráfica 3: Comparación radiancia esfera con la radiancia en siete longitudes de onda concretas del fotómetro Címel CE318.

Para finalizar, calculamos la desviación relativa que existe entre la esfera y el fotómetro, dando esta en porcentaje.



Gráfica 4: Desviación relativa dada en porcentajes de la diferencia en la radiancia entre el fotómetro Címel y la calibración espectral realizada.

3.2. Discusión

Observando los resultados que se han obtenido vemos a la hora de compararlos con los esperados (los datos del fotómetro Címel CE318) que ha habido algún dato algo desviado de lo que sería lo esperado (en torno a un 5%), sobre todo en las longitudes de onda de 440nm y 500nm, donde se ve claramente como ambas medidas se encuentran con una separación bastante notable.

Pero por lo general los resultados a los que hemos llegado son los normales en ese tipo de calibraciones, exceptuado algún dato que como es normal en la medida hemos podido cometer algún fallo lo que hace que se desvíe de lo normal. Esto puede deberse a que no se haya eliminado completamente el ruido, o bien a otros problemas como el envejecimiento de la lámpara FEL o problemas de estabilidad en el espectrorradiómetro.

La mayor dificultad ha estado en la alineación correcta de los distintos instrumentos. En este caso esa tarea se ha llevado a cabo con el láser, los soportes regulables, un espejo plano y el banco óptico. El proceso requiere bastantes iteraciones hasta conseguir una buena alineación.

CONCLUSIONES

La verdadera conclusión que se obtiene a partir de este trabajo es que a partir de cualquier instrumento calibrado ya previamente, somos capaces de poder calibrar cualquier otro instrumento, realizando las medidas y relaciones convenientes de acuerdo a las herramientas de la Radiometría. Hay que ser muy meticuloso y cuidadoso a la hora de la toma de medidas ya que cualquier mínimo error puede llevar a una invalidez de las mismas, tanto de alineación como de luz parásita, o de estabilidad de los elementos utilizados, como las fuentes de alimentación, la lámpara patrón o el espectrorradiómetro.

BIBLIOGRAFÍA

1. Calibración de Equipos Radiométricos | Construpedia, enciclopedia construcción [Internet]. [cited 2020 Jun 25].
2. Radiometría y fotometría: Magnitudes y leyes básicas - Revista e-medida [Internet]. [cited 2020 Jun 25].
3. González Gómez E. Guía básica de conceptos de radiometría y fotometría. Campos electromagnéticos - Óptica [Internet]. 2006;1–41.
4. Fibra Óptica - Concepto, usos, ventajas y desventajas [Internet]. [cited 2020 Jun 25].
5. Integrating Sphere Theory and Applications. Labsphere. :22.
6. Analytical Spectral Devices I. FieldSpec ® Pro User ' s Guide. Anal Spectr Devices, Inc. 2002;(January):1–136.
7. Fraser GT, Gibson CE, Yoon HW, Parr AC. “Once is enough” in radiometric calibrations. J Res Natl Inst Stand Technol. 2007;112(1):39–51.
8. Qioptiq Q-Shop | Sistema de riel / perfil 95 [Internet]. [cited 2020 Jun 25].

ANEXOS

ANEXO 1: Certificado de calibración en irradiancia de la lámpara FEL, proporcionado por NIST.

La calibración viene dada por un ajuste a un polinomio en función de la longitud de onda, con una serie de coeficientes.

