



Proyecto co-financiado por la Unión Europea

Subvención No.: 824603
Marco: H2020-SwafS-2018-1
Tipo de acción: RIA
Fecha de comienzo: 1/02/2019



Tutorial: Identificación de espectros de luminarias comunes

Coordinador: [Jaime Zamorano]

Revisor: [ADD NAME]

Deliverable nature	
Dissemination level	
Work package and Task	D2.1
Contractual delivery date	01/2020
Actual delivery date	

Autores

Autor	Organización	E-Mail
Jaime Zamorano	UCM	jzamorano@fis.ucm.es
Rafael González	UCM	rafael08@ucm.es
Carlos Tapia	UCM	carloseugeniotapia@ucm.es

Resumen	Este documento explica los pasos necesarios para obtener espectros del alumbrado público, cómo determinar su naturaleza y cómo contribuir con esta información al proyecto de ciencia ciudadana StreetSpectra. Las primeras secciones se dedican a presentar el proyecto StreetSpectra así como el problema de la contaminación lumínica (LP). Hemos incluido conocimientos básicos de ciencia (sobre contaminación lumínica y física elemental sobre espectros).
Palabras Clave	Alumbrado público - Contaminación lumínica -Espectro - Smartphone - Ciencia ciudadana.

Descargo de responsabilidad

La información, documentación e imágenes de este documento están escritas por el consorcio del proyecto ACTION bajo la subvención 824603 y no refleja necesariamente los puntos de vista de la comisión europea. La comisión europea no es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida a continuación.



Este entregable tiene licencia Creative Commons Attribution 4.0 International License

Como citar este documento

J. Zamorano, R. González & C. Tapia (2019), ACTION Street Spectra Manual

TABLA DE CONTENIDOS

1. Introducción.	6
2. El proyecto StreetSpectra.	6
3. Lámparas usadas en el alumbrado público.	9
4. Espectrógrafo simple para tomar espectros de lámparas.	12
5. Cómo obtener espectros de lámparas con el smartphone.	18
5.1 Trucos para sacar buenos espectros.	18
5.2 Cómo mejorar los resultados.	19
6. Cómo contribuir con observaciones.	22
6.1 Paso a paso.	22
6.2 Comenzar a usar la aplicación móvil.	23
6.2.1 Crear una entrada nueva.	23
6.2.2 Subir entradas.	26
7. Tutorial: identificación de espectros del alumbrado público.	28
ANEXO I. Atlas de espectros típicos de lámparas de alumbrado.	36
AI.1 La base de datos de espectros de lámparas de la UCM.	36
AI.2 Ejemplos de espectros tomados con smartphones.	38
ANEXO II. El color de las lámparas.	40
ANEXO III. Cómo construir un espectrógrafo visual de mano.	43

1. Introducción.

Este documento explica todos los pasos necesarios para obtener el espectro del alumbrado público y cómo contribuir con esta información al proyecto de ciencia ciudadana StreetSpectra,

Este documento amplía el ámbito inicial del documento acordado inicialmente, siendo el “Tutorial para identificar el espectro del alumbrado público” una de las secciones (sección 7) del manual completo actual de Street Spectra.

Antes de iniciar el tutorial, se dedican las primeras secciones a presentar el proyecto StreetSpectra así como el problema de la contaminación lumínica (LP, *Light Pollution*). También hemos incluido algunas nociones básicas sobre LP y la física de los espectros. El lector puede saltarse esta parte del manual si está familiarizado con estos temas y/o se muestra impaciente por comenzar.

Proporcionamos un atlas de espectros de comparación y un anexo con información sobre cómo construir un espectroscopio visual portátil y cómo clasificar las luminarias por sus colores.

2. El proyecto StreetSpectra.

La luz emitida por el alumbrado público puede analizarse utilizando las cámaras de los modernos teléfonos móviles (*smartphones*) u otros dispositivos portátiles asequible. Deseamos convertir a los smartphones en instrumentos científicos para analizar el color de las farolas así como sus espectros. Definiremos tanto un proceso como las herramientas necesarias para que el ciudadano sea capaz de determinar el tipo de lámpara instalada en las farolas, así como sus principales características. Estamos desarrollando un método muy sencillo para obtener el espectro de una lámpara (StreetSpectra) y también un fotómetro con distintos canales de color para determinar el color de las lámparas (StreetColors). Esto es un piloto del proyecto europeo H2020-SwafS-2018-1-824603. Más información en <https://actionproject.eu/>

Estamos experimentando un importante cambio en la tecnología del alumbrado público donde la mayoría de farolas de sodio a alta presión (HPS), halogenuros metálicos (MH) y vapor de mercurio (MV) están siendo sustituidas por lámparas de diodos emisores de luz (LEDs). Los expertos en contaminación lumínica que trabajan en distintos campos

han alertado acerca del impacto de la luz artificial azul por la noche tanto en la salud de la fauna como en la humana. Algunos de los LEDs usados en las calles son demasiado blancos y contienen una componente azul potencialmente dañina. En varias ciudades de EEUU, donde la sustitución se había efectuado empleando LEDs demasiado blancos, los ciudadanos están empezando a reclamar a las autoridades la reintroducción de la antigua iluminación de color más cálido.

El reemplazo del alumbrado público por tecnología LED ya se está efectuando en Europa. La figura 1 muestra una foto tomada por los astronautas a bordo de la Estación Espacial Internacional y muestra claramente las diferencias de iluminación entre zonas de Berlín donde dichos cambios han tenido lugar (se pueden ver más ejemplos en <http://citiesatnight.org/>). Hay un amplio abanico de lámparas de diferentes modelos y fabricantes, desde LEDs muy blancos con temperatura de color (CCT) de 6000K a tonos cálidos con 2700K e incluso luces de color ámbar con un CCT más bajo.

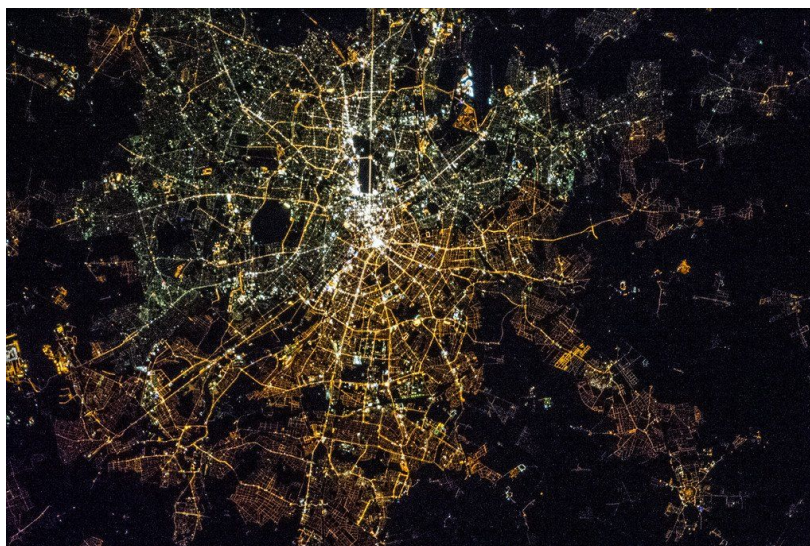


Figura 1. Imagen de Berlín por la noche tomada por los astronautas de la ISS que muestra los distintos colores de la iluminación de la calles: LEDs blancos y farolas naranjas de HPS.

¿Cómo podrían participar los ciudadanos? Los participantes podrán utilizar y calibrar la cámara de su propio móvil para determinar y analizar los espectros de las lámparas. Contribuirán enviando sus medidas a un repositorio de datos público. Además, se

diseñará un sencillo fotómetro portátil con *hardware* abierto para enriquecer más los datos obtenidos.

El proyecto es muy adecuado para fines educativos e incrementar la conciencia sobre la contaminación lumínica. Proporcionamos a educadores y profesorado de primaria y secundaria con recursos para prácticas de laboratorio. Los datos se usarán para asociar las ubicaciones de las farolas con su tipo. Los resultados tienen también interés científico. La ubicación, el tipo, el número de fuentes y la cantidad de brillo de la contaminación lumínica se usan para alimentar modelos científicos que describen la dispersión de la luz en la atmósfera y el impacto de la contaminación lumínica tanto a distancias medias como a gran distancia de las fuentes de dicha contaminación.

3. Lámparas usadas en el alumbrado público.

La luz que escapa a la atmósfera, debido al exceso de iluminación o por un mal diseño de las luminarias, se dispersa en la misma y parte de esa luz vuelve a nosotros. Por ello, uno de los efectos no deseados de la contaminación lumínica es el aumento del brillo del cielo nocturno y la pérdida de la visión del cielo estrellado en las ciudades.

La iluminación artificial de nuestras calles es uno de los mayores contribuyentes a la contaminación lumínica. Utilizando una [red de difracción](#) (véase más abajo) se puede obtener el espectro de la lámpara. Dicho espectro no es más que la descomposición de la luz en sus componentes como ocurre en la naturaleza cuando vemos el espectro del Sol ([luz solar](#)) como los colores del arco iris. El espectro proporciona información sobre los componentes de iluminación de la lámpara. Por ejemplo, las lámparas de vapor de sodio muestran una línea amarilla de sodio a 589 nm (el [nanómetro](#) es la unidad empleada para la [longitud de onda](#) de la luz).

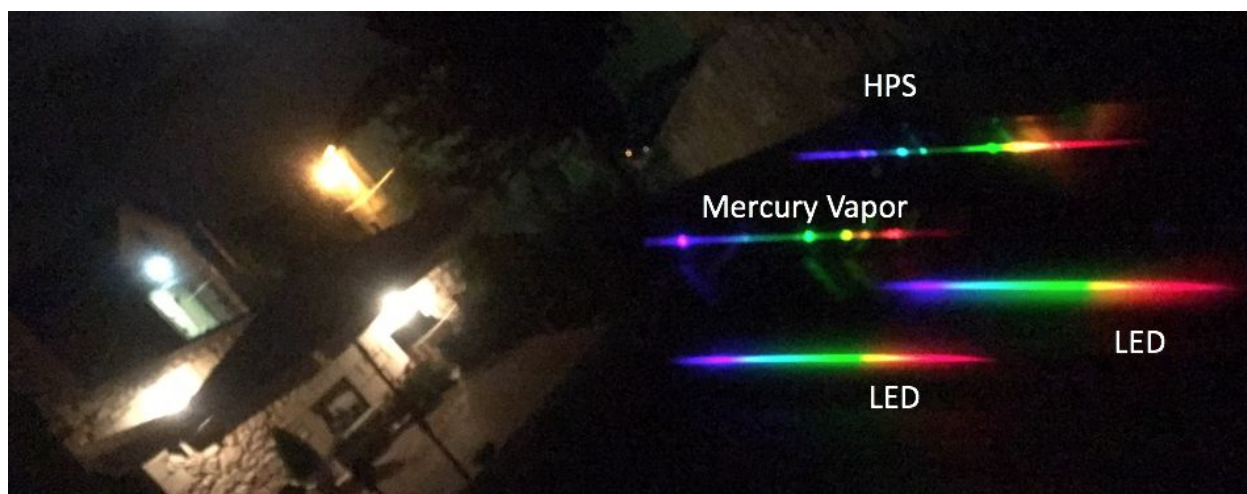


Figura 2. Imagen de unas lámparas y sus espectros tomada de noche en una ubicación con una mezcla de tipos de luminarias.

La figura 2 muestra una imagen con las fuentes de luz a la izquierda y tres clases de lámparas que son habituales en nuestras calles: sodio de alta presión (HPS), halogenuros metálicos cerámicos (CMH) y dos LEDs. Sus espectros (“arcoiris nocturnos”) son claramente distintos y podemos determinar la naturaleza de una

lámpara comparándola con una serie de espectros de referencia. Disponemos de un catálogo de espectros de referencia al efecto, véase el anexo I.

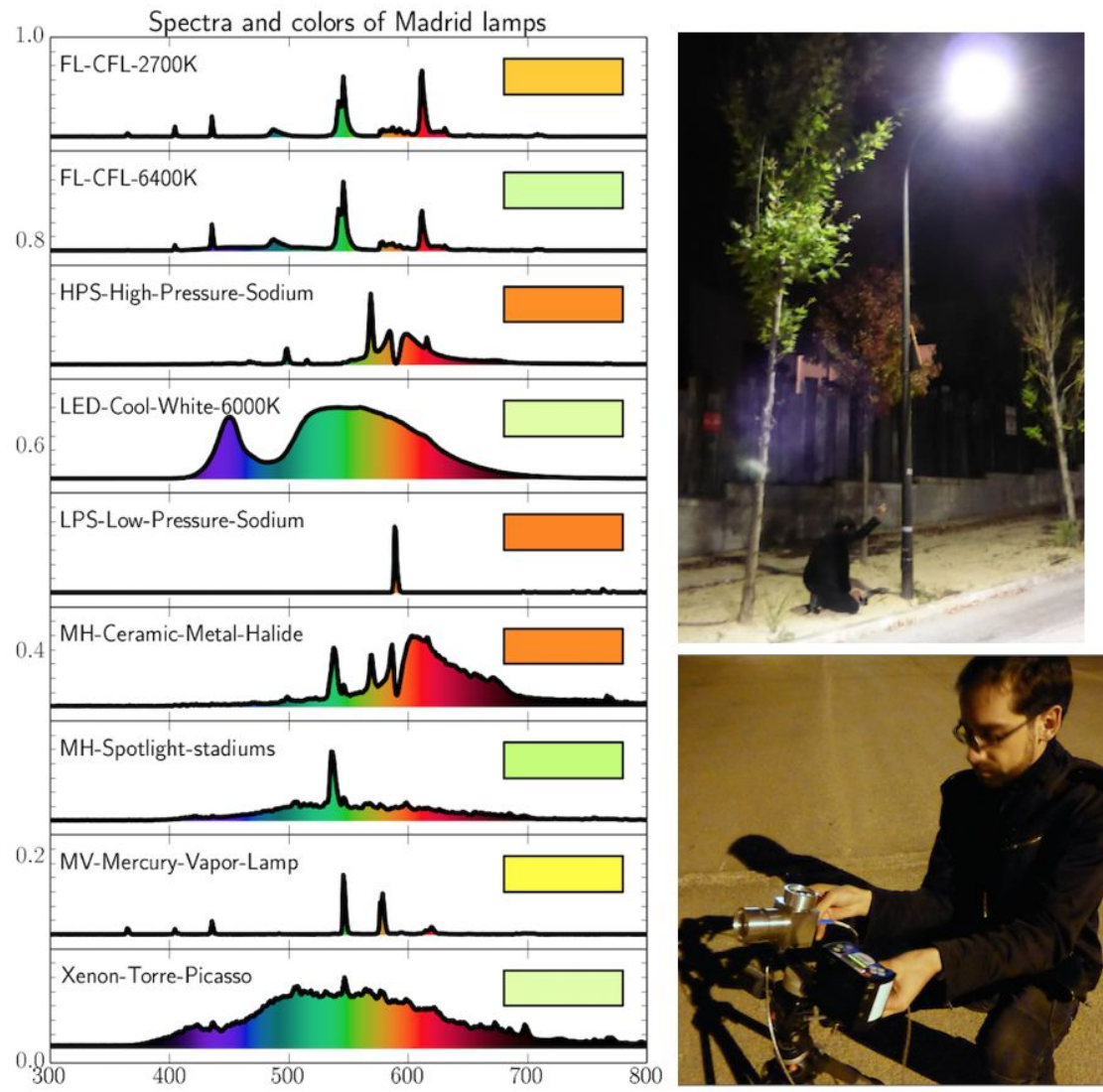


Figura 3. Una colección de espectros típicos de lámparas obtenidos en Madrid y el investigador manipulando un espectrógrafo portátil para obtener los datos *in situ*.

Examinando los espectros mostrados en la figura 3, podemos entender cómo las características espectrales pueden ayudar a distinguir entre varios tipos de lámparas.

Las gráficas muestran la cantidad de luz emitida en cada longitud de onda o color del espectro (eje x). Algunas de las lámparas muestran líneas de emisión, por ejemplo los picos aislados de la luz del sodio a baja presión (LPS) o de vapor de mercurio (MV). La mayoría de los espectros pertenecen a [lámparas de descarga gaseosa](#) y también hay un ejemplo de [luz emitida por diodo](#) (LED).

Las gráficas de la figura 3 también muestran para cada lámpara el color global. Debido a la alta intensidad de la lámpara y la respuesta espectral del ojo humano, vemos la mayoría de ellas como blancas, excepto las luces naranjas de sodio. El color y espectro del cielo nocturno en una ubicación depende de la naturaleza de las fuentes de contaminación lumínica. Así, podemos ver cielos anaranjados (resplandores anaranjados) cerca de ciudades con luces de sodio, por ejemplo.

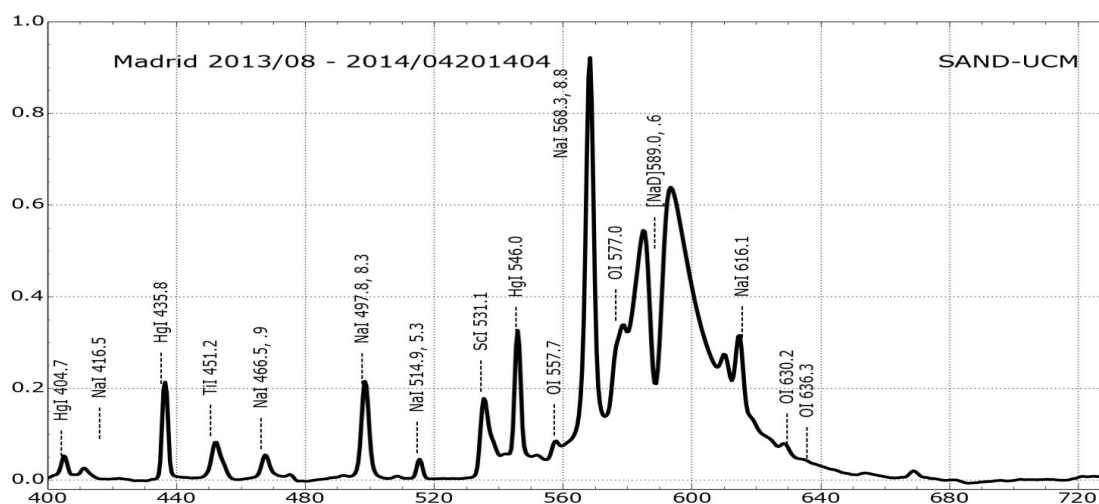


Figura 4. El espectro del cielo nocturno de Madrid muestra una mezcla del espectro de las lámparas del alumbrado público y luz ornamental empleada para iluminar monumentos. El eje Y muestra la intensidad relativa y el eje X es la longitud de onda en nanómetros (nm).

La figura 4 muestra el típico espectro promedio del cielo nocturno de Madrid. Las principales características espectrales (líneas de emisión) se etiquetan indicando el elemento atómico y la longitud de onda de la línea. Por ejemplo, HgI 435.8 es la línea del mercurio a 435.8 nm. La mayoría de las líneas pertenecen a la iluminación artificial. Se puede encontrar un catálogo completo de lámparas eléctricas en el sitio web del [Museum of Electric Lamp Technology](#).

4. Espectrógrafo simple para tomar espectros de lámparas.

Los espectrógrafos son los instrumentos científicos que se usan para obtener el espectro de una fuente de luz. La parte principal de este sistema es el elemento dispersor: una red de difracción o un prisma que descomponen la luz en sus componentes de color. Otros elementos ópticos de un [espectrómetro óptico](#) son la rendija de entrada, el colimador y la cámara (bien con lentes o espejos).

Los espectrógrafos son instrumentos científicos caros. De ahí la necesidad de un dispositivo de bajo coste que pueda satisfacer nuestros requisitos: obtener un espectro analizable de las lámparas del alumbrado público. Por Internet se pueden encontrar desarrollos de algunos espectrógrafos de bajo coste. La mayoría se dedican a obtener espectros en para análisis químicos de muestras (gases o líquidos).

Algunos son diseños simples que podrían valer para nuestros propósitos pero son todavía complicados. Dichos espectrógrafos se conectan a la cámara del *smartphone* para registrar el espectro però necesitan una montura que debería obtenerse tras la impresión 3D de un modelo que además es diferente para cada teléfono móvil. Un ejemplo de esta clase de diseño es el *Smartphone Spectrometer*¹ de la Universidad Privada Boliviana.

El proyecto europeo [Multiscale Observation Networks for Optical monitoring of Coastal waters, Lakes and Estuaries](#) (MONOCLE) ha diseñado el proyecto de ciencia ciudadana [iSpex](#) para medir la contaminación del aire utilizando *smartphones*. iSPEX consta de un [accesorio](#) que se coloca delante de la cámara del smartphone. Este accesorio es esencialmente un espectrógrafo de rendija que utilizar una lente de plástico (en adición a la del móvil) y una red de transmisión (en forma de lámina). Por desgracia, tenemos el mismo problema: se necesita un accesorio a medida de cada modelo de smartphone.

Siendo la luz de la farola casi una fuente puntual a la distancia donde utilizaremos el espectrógrafo, por ejemplo desde la acera delante de la farola, no se necesita una rendija para la obtención del espectro. Esta es la razón que nos permite diseñar el espectrógrafo más simple que pueda usarse con la cámara de un móvil: una red de

¹ <http://www.upb.edu/en/contenido/smartphone-spectrometer>

difracción justo delante de la cámara de la lente del móvil (espectrógrafo de red objetivo). La figura 5a muestra este simple montaje y algunas redes de difracción.

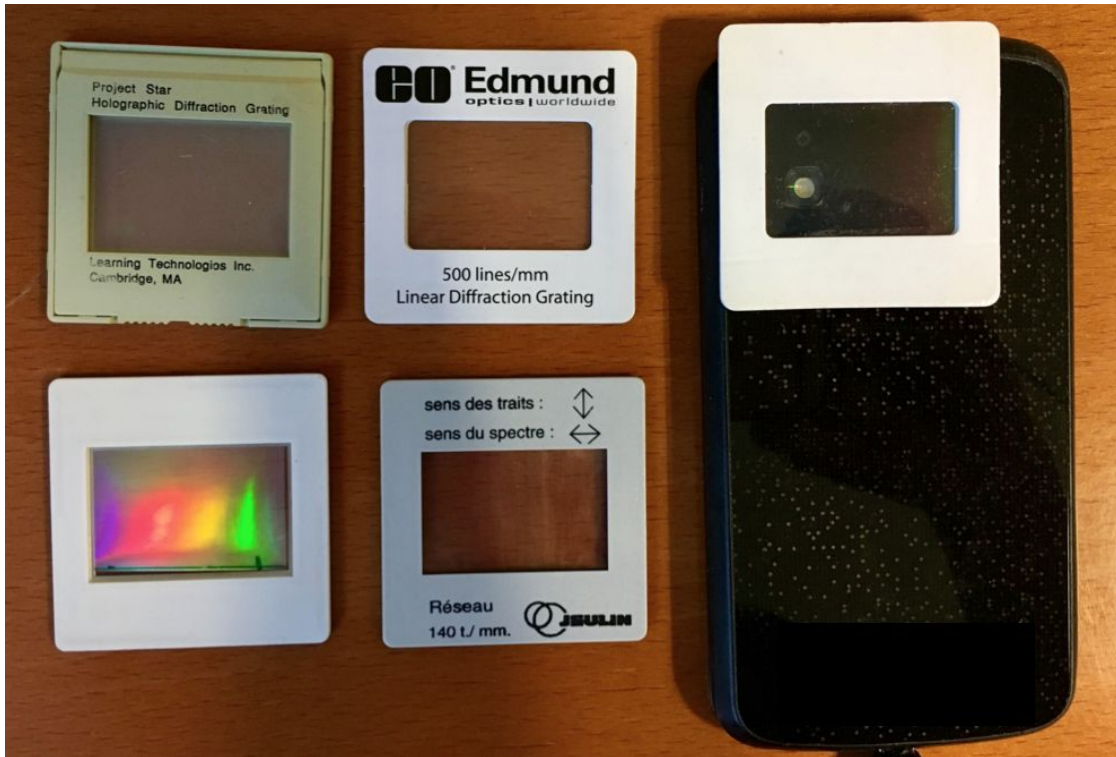


Figure 5a. *Smartphone* con una red de difracción que cubre la lente de la cámara y algunos ejemplos de redes de difracción comerciales.

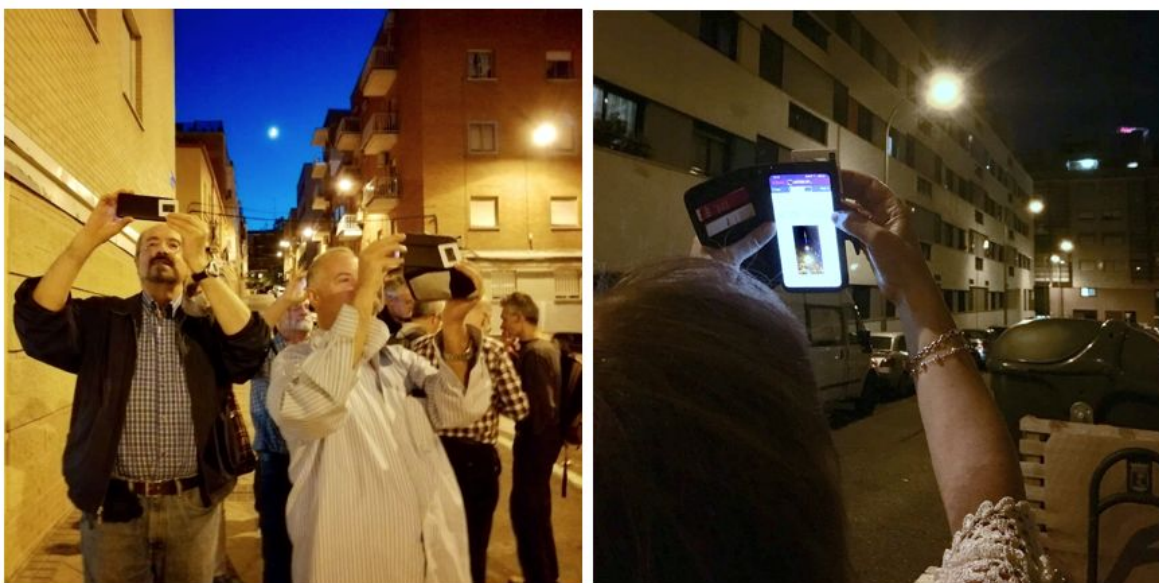


Figure 5b. Ciudadanos obteniendo espectros de farolas de la calle con este sencillo montaje.

Al usar la red de difracción se obtiene una imagen directa, sin dispersión) y los espectros de cada fuente de luz de la escena, como se muestra en la figura 6. La imagen obtenida con el elemento dispersivo (panel B) muestra múltiples espectros. En el panel C, se ha dibujado un recuadro en dos de las fuentes para resaltar la asociación de la imagen directa a su espectro.

Los espectros registrados en la figura 6 corresponden al llamado *orden uno* ($m=1$). La distancia entre la imagen de la lámpara (imagen directa u *orden cero*, $m=0$) y su espectro depende de la lente de la cámara, la distancia del observador a la lámpara y el tipo de red de difracción usada. El principal parámetro de la red de difracción es el número de líneas por milímetro (líneas/mm). La dispersión aumenta en proporción lineal a las líneas/mm: cuanto mayor es este valor, el espectro queda más extendido.

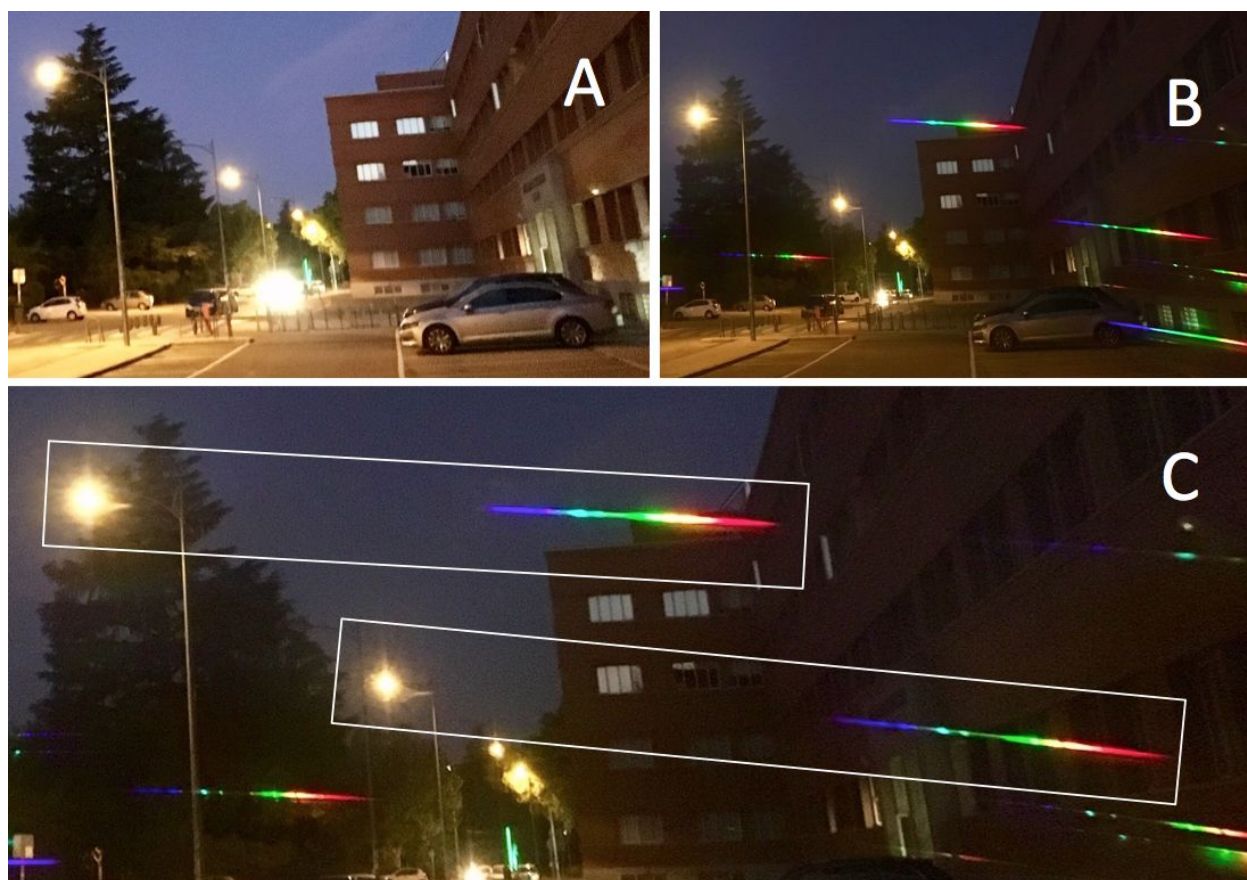


Figura 6. Espectros de lámparas HPS obtenidas con una red de difracción y grabados en el *smartphone*. (A) Foto directa obtenida con el móvil. (B) Misma foto tomada tras colocar la red de difracción delante de la lente de la cámara. (C) Detalle de dos de las lámparas con su espectro correspondiente.

De hecho, la red de difracción dispersa la luz entrante en *órdenes múltiples*, como se muestra en la figura 7. Podemos ver en la lámpara brillante superior órdenes hasta el tercero ($m=3$). Los espectros de los distintos órdenes son similares (misma fuente) pero con una anchura cada vez mayor a medida que va aumentando el número de orden. El segundo orden ($m=2$) tiene el doble de anchura mientras que el $m=3$ tiene el triple. En este caso, podemos observar que el orden $m=1$ está saturado y el orden $m=3$ muestra la línea de absorción del sodio. Para la fuente de abajo en la imagen, podemos ver que los órdenes se extienden también hacia el otro lado de la fuente. En este caso los órdenes se etiquetan con números negativos: $m=-1$, $m=-2$, etc.

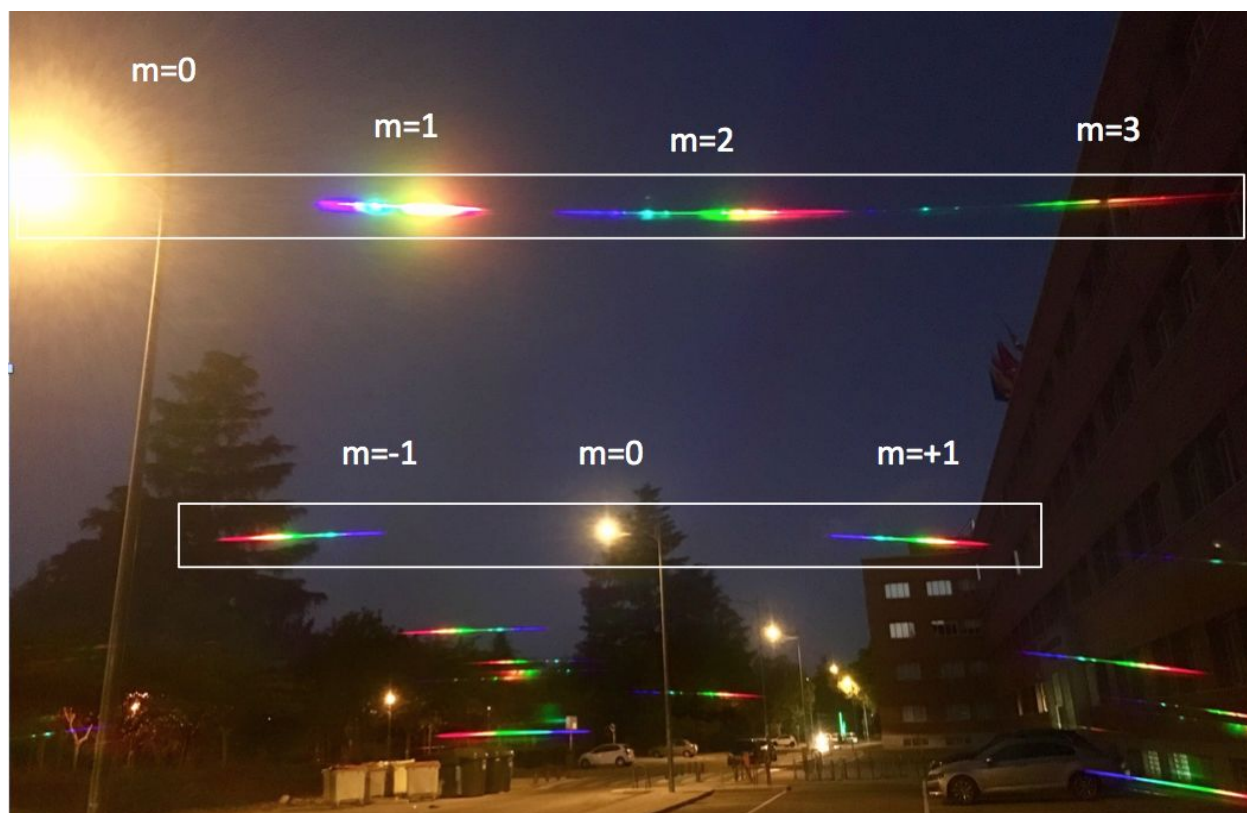


Figure 7. Órdenes anotados sobre la imagen obtenida con la red de difracción. Ver el texto para su explicación.

El principal parámetro de la red de difracción es el número de líneas por milímetro (ln/mm). La dispersión aumenta en proporción lineal: cuanto más alto es este valor, el espectro queda más extendido. La figura 8 muestra dos imágenes de una lámpara y su espectro, obtenida en la misma ubicación pero con distintas redes. Los órdenes $m=1$ y $m=2$ son visibles en la imagen de la izda (500 ln/mm) mientras que en la imagen de la dcha tomada con la red de 1000 ln/mm sólo aparece el orden $m=1$. La longitud del orden $m=2$ de la izda es igual al del orden $m=1$ de la dcha ya que la dispersión depende linealmente con el valor del orden y del número de líneas por milímetro de la red de difracción.

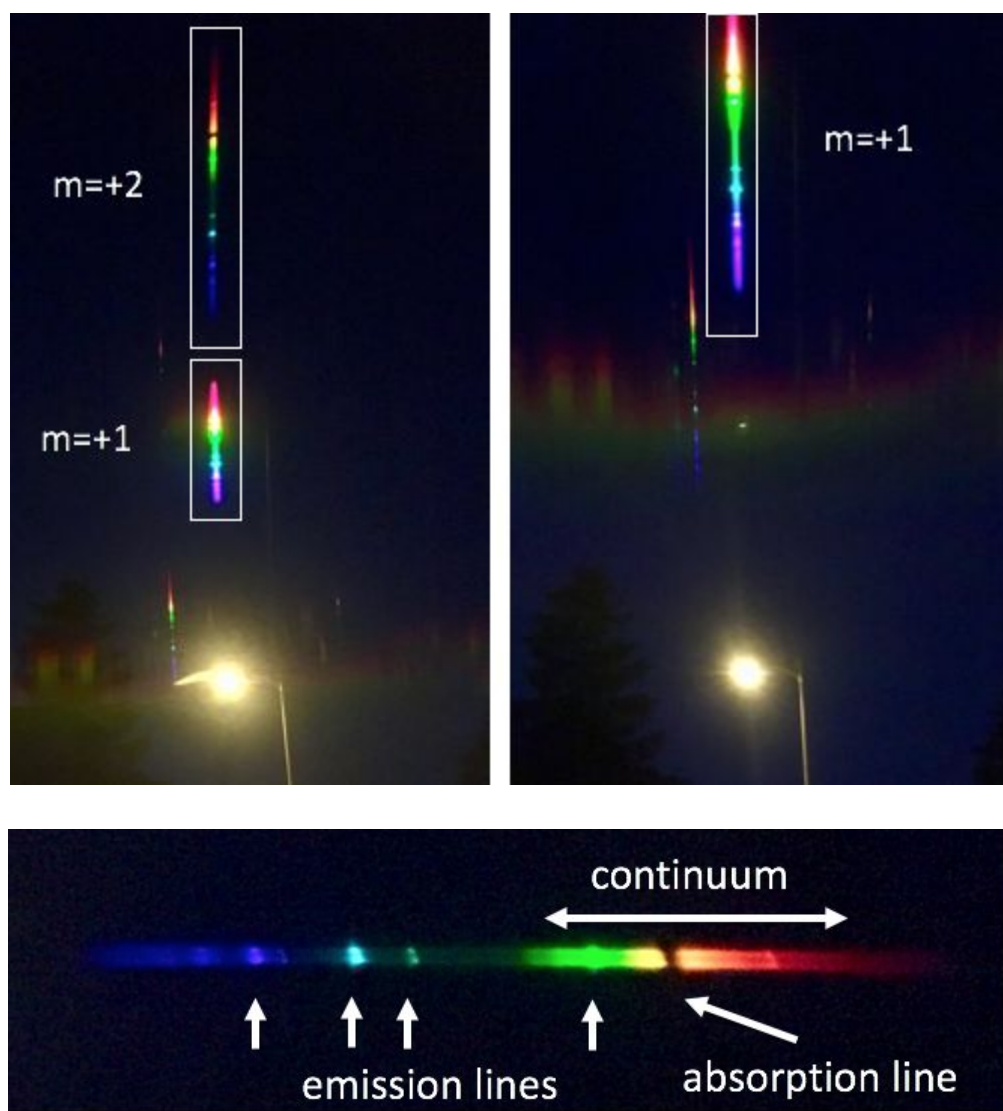


Figura 8. Imagen idéntica de lámpara HPS tomada con una red de difracción de 500 ln/mm (izda) y otra de 1000 ln/mm (dcha). Se muestran las diferencias en la dispersión lineal así como las características principales de la emisión (abajo).

El espectro de HPS de la figura 8 nos permite describir sus principales características espectrales. En este caso, se ve un contínuo de colores desde el verde hasta el rojo con una línea de absorción (línea oscura en el amarillo) y algunas líneas de emisión (líneas brillantes de color) en el azul y en el verde.

5. Cómo obtener espectros de lámparas con el smartphone.

Se necesitará el *smartphone* del observador como principal dispositivo del espectrógrafo. Se usará la cámara del móvil para registrar el espectro. La ubicación de la foto también se obtendrá del *smartphone*. También se necesitará una red de difracción. La mayoría de los ejemplos mostrados se tomaron con una red de 500 ln/mm y un *smartphone*. Con esta red, es fácil obtener una imagen con la lámpara y sus dos primeros órdenes (con diferentes brillos y dispersión) lo que facilita su identificación.

La red se coloca sobre la cámara como muestra la figura 5a, en contacto directo con la lente de la cámara. Se puede sujetar la red con los dedos o bien fijarla usando algún otro medio como una cinta adhesiva. Después, se debe apuntar con la cámara a la lámpara o lámparas seleccionadas, realizar el encuadre de la escena y tomar la foto, espectros incluidos. Después de algunos intentos, el observador adquirirá soltura en cómo colocarse, como sujetar y mantener juntos la red y el teléfono y como encuadrar las lámparas y espectros sobre un fondo oscuro.

5.1 Trucos para sacar buenos espectros.

Presentamos una pequeña lista de pasos para tomar una buena imagen de una lámpara y su espectro.

- Seleccionar la posición del observador desde donde tomar los espectros. Si hay demasiadas fuentes de luz, los espectros saldrán solapados y no serán útiles. Es mejor encontrar una lámpara aislada o dos no muy cercanas.
- Colocarse en un lugar seguro a 15-25 m de la fuente de luz. Alejarse de la lámpara. La lámpara debería aparecer como una fuente puntual (esto es, tan pequeña como sea posible). Algunas veces el mejor lugar es el otro lado de la calle, en un lugar seguro como la acera. Si se dispara demasiado cerca de la lámpara, la foto resultante estará probablemente saturada. Esto no es demasiado importante para el orden $m=0$ (imagen directa) pero lo que es importante es que el resto de órdenes sean identificables.
- Usar el modo automático de la cámara. Normalmente, los ajustes automáticos de la cámara van bien para obtener una imagen bien expuesta. El resultado final

puede mejorarse después de la toma con las opciones de edición de la cámara. Apuntar la cámara y encuadrar la lámpara y los espectros, dependiendo de la distancia entre la imagen directa y los espectros (órdenes $m=1$ y $m=2$). Un espectro $m=1$ bien expuesto sería suficiente pero obtener dos órdenes facilita la identificación. Se puede girar la red respecto a la cámara del móvil (o viceversa) para obtener los espectros alineados con el lado largo de la foto o incluso en diagonal. Cambiar la orientación ayuda a evitar el solapamiento de espectros.

- No es necesario tomar el espectro de cada farola de una calle típica. Las farolas serán probablemente idénticas, así que vale con tomar en ambos extremos de la calle. Sin embargo, inspeccionar brevemente el alumbrado. Cualquier farola diferente deberá ser registrada.
- Los observadores más perspicaces probablemente noten cosas como "Luces brillantes en un parque infantil pequeño entre casas de vecinos.", "Muchas farolas juntas en una rotonda" o "Escaparate de tienda encendido a las 3h". Esto es información valiosa y se ha dispuesto un campo de comentarios en la aplicación de captura.

5.2 Cómo mejorar los resultados.

Las páginas precedentes contenían buenos ejemplos de exposiciones correctas. La cámara podría orientarse en horizontal (paisaje) o en vertical (retrato). Algunas veces es difícil decidir qué orientación de cámara y red es mejor. Por ejemplo, las dos imágenes de la figura 9 se tomaron desde la misma ubicación y mirando a la misma farola. La imagen de la izda se tomó en modo paisaje con la red rotada para obtener los espectros en diagonal y en la parte oscura del campo de visión (fondo oscuro). La imagen de la dcha se tomó en modo retrato y también muestra los órdenes espectrales $m=1$ y $m=2$ en la parte brillante de la imagen. Estos espectros son todavía identificables y la imagen muestra la calle iluminada y la acera.



Figura 9. Farola fotografiada con la cámara en modo paisaje (izda) y en modo retrato (dcha).

A pesar de que el espectro de la figura 10 está bien expuesto, se ve el típico problema de la sobreexposición. Cuando la imagen se toma demasiado cerca de la lámpara el resultado del espectro podría ser demasiado brillante y saturado. La saturación - cuando el detector de la cámara alcanza su máximo nivel - nos impide una identificación correcta.



Figura 10. Espectros de fuentes tomadas demasiado cerca de las lámparas y mostrando saturación.

El espectro de primer orden ($m=1$) de la imagen izda de la figura 10 está completamente saturado mientras que el segundo orden ($m=2$) todavía es útil. Los órdenes $m=1$ y $m=-1$ (a ambos lados de la lámpara) de la imagen de la dcha están saturados y es muy difícil identificar de qué tipo de lámpara se trata.

6. Cómo contribuir con observaciones.

Para ser de utilidad, las imágenes resultantes deberían compartirse con nosotros. En este momento estamos usando una aplicación móvil y plataforma web llamada [EpiCollect5](#). Es una aplicación móvil gratuita, para iOS y Android, de propósito general para la recogida de datos, muy fácil de usar y desarrollada por el [Imperial College London](#).

Dentro de la plataforma EpiCollect5, nuestro proyecto se llama “**ACTION Street Spectra**”. Los participantes pueden ver [todos los datos recolectados hasta ahora](#) mediante un navegador web.

6.1 Paso a paso.

- [Descargar la App epicollect5](#)

Android:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=uk.ac.imperial.epicollect.five>

iOS: <https://itunes.apple.com/us/app/epicollect5/id1183858199?mt=8>

- [Registrarse como usuario](#)

Clarificación importante del propio sitio web de Epicollect5: *“En la actualidad, como única opción de registro, Epicollect5 requiere que usuarios públicos tengan una cuenta de Google. No almacenamos credenciales, solo el nombre, correo electrónico y foto de perfil (si está disponible) después de que el usuario se ha autenticado correctamente con Google. El Imperial College requiere esta política de autenticación ya que Google ofrece un nivel muy alto de seguridad. Una cuenta de Google acepta cualquier tipo de email, no solo Gmail”*.

- [Encontrar y añadir al proyecto action.street-spectra](#)

Para añadir un proyecto (desde el móvil), tocar en ‘+ Añadir proyecto’ en la parte de arriba y dcha de la pantalla. Existe [una ayuda \(en inglés\) de Epicollect5](#) sobre cómo añadir un proyecto.

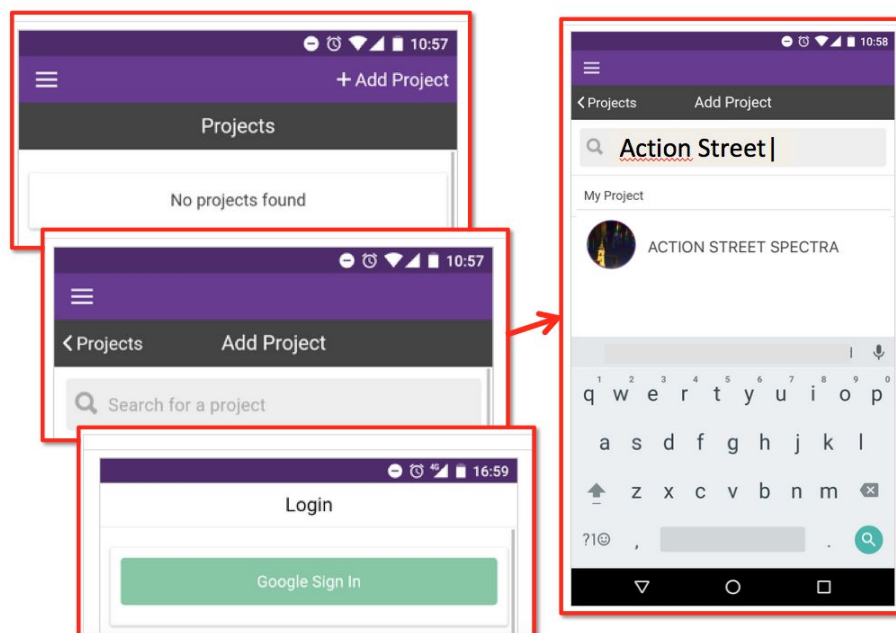


Figura 11. Añadir el proyecto StreetSpectra a la lista de proyectos y muestra de la autenticación de la aplicación.

6.2 Comenzar a usar la aplicación móvil.

6.2.1 Crear una entrada nueva.

Usar epicollect5 es fácil. Se puede encontrar el manual completo en el sitio web de epicollect5. Se debe abrir la app y seleccionar nuestro proyecto - ACTION STREET SPECTRA - (también se puede contribuir a otros proyectos epicollect5). Añadir una entrada es un proceso sencillo descrito en las figuras 13 a 15. La imagen a subir se puede tomar en el momento de crear la entrada o bien puede provenir de la galería de imágenes del teléfono. Aunque no sea estrictamente necesario, añadir un *nick* de observador ayuda enormemente en el análisis de datos.

En el caso más sencillo (foto tomada al momento), la ubicación GPS, fecha y hora se obtienen automáticamente del teléfono. Cuando se introduce una

imagen ya tomada previamente, estos datos relevantes deberían editarse si fuera necesario para introducir los datos correctos.

La información completa (en inglés) en:

<https://epicollect5.gitbooks.io/epicollect5-user-guide/content/add-an-entry.html>

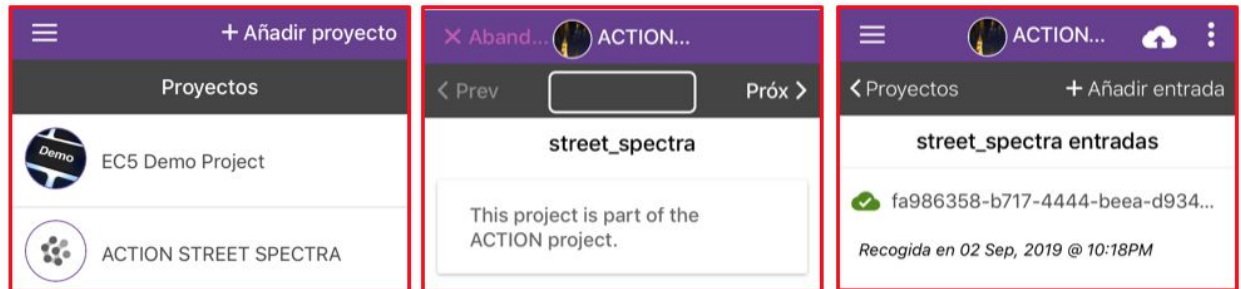


Figura 12. Selección del proyecto StreetSpectra para crear una nueva entrada. La tercera pantalla muestra una una entrada previa actualizada por el mismo usuario.

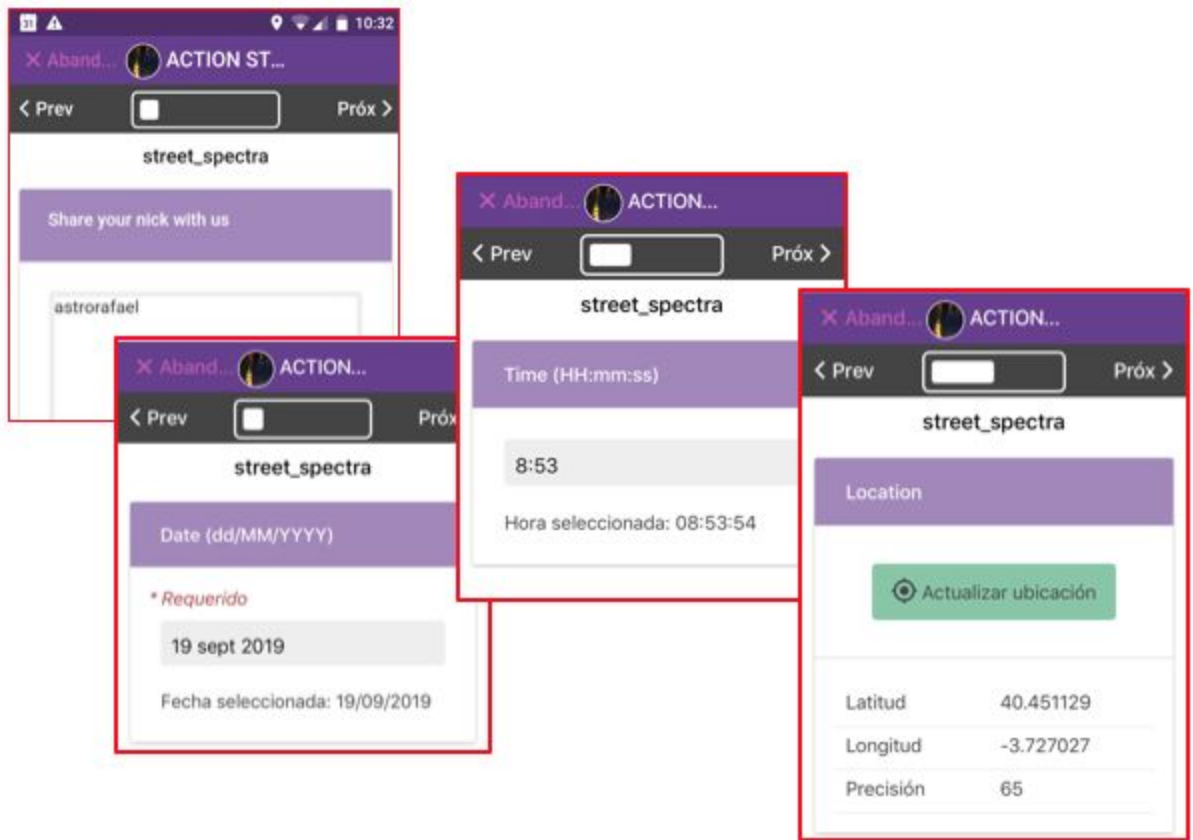


Figura 13. Pantallas en secuencia tras pulsar “Añadir entrada”.

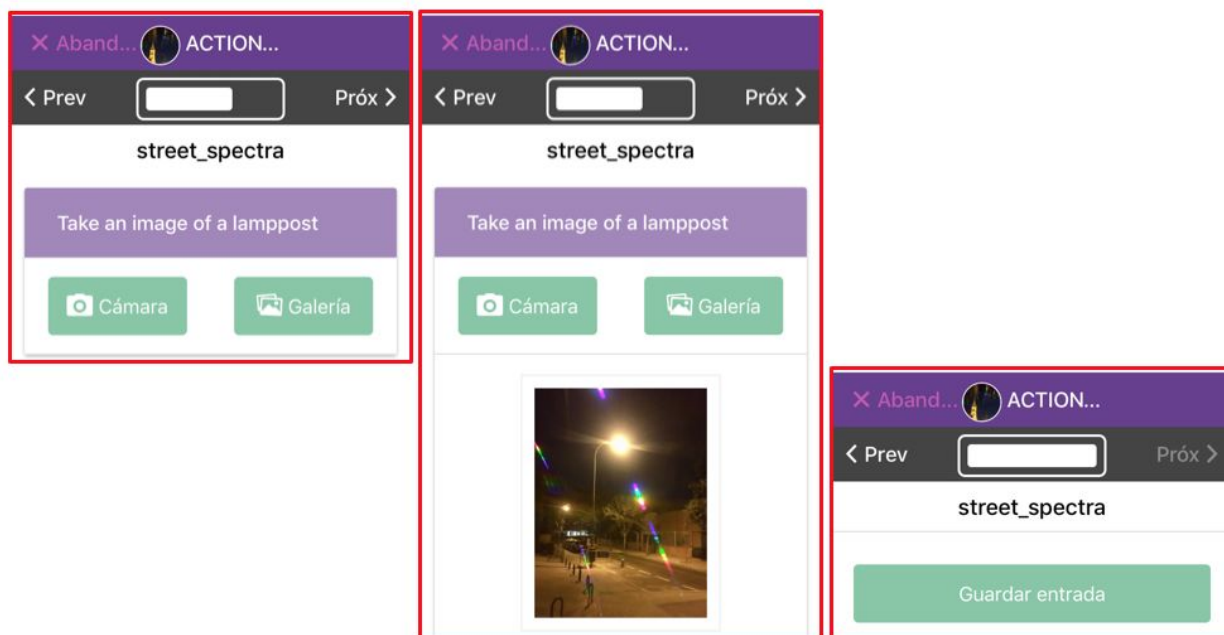


Figura 14. Se puede escoger entre tomar una foto al instante o subir una tomada previamente y almacenada en la galería del móvil. La segunda pantalla muestra la imagen seleccionada (bien de la galería o tomada en este mismo momento). Tras estos pasos, se debería guardar la entrada.

6.2.2 Subir entradas.

La entrada debe subirse al repositorio de epicollect5 para contribuir al proyecto. Se puede subir en el mismo momento que se creó la entrada o más tarde utilizando la conexión WiFi de casa, por ejemplo.

En la figura 16 se muestra una entrada que no ha sido subida con anterioridad. Se marca con un símbolo de “nube vacía”. Picar en este icono de nube en la esquina derecha superior (la que tiene la flecha) para comenzar a subir las entradas. Se puede seleccionar el botón ‘Upload Entries’, si se tienen entradas que subir. Si hay información multimedia que subir (fotos en nuestro caso), eso se podrá hacer una vez que todos los datos se han subido. Se mostrará una barra indicadora de progreso cuando se están subiendo los datos y una vez se ha completado, se notifica de que todas las entradas se han subido.

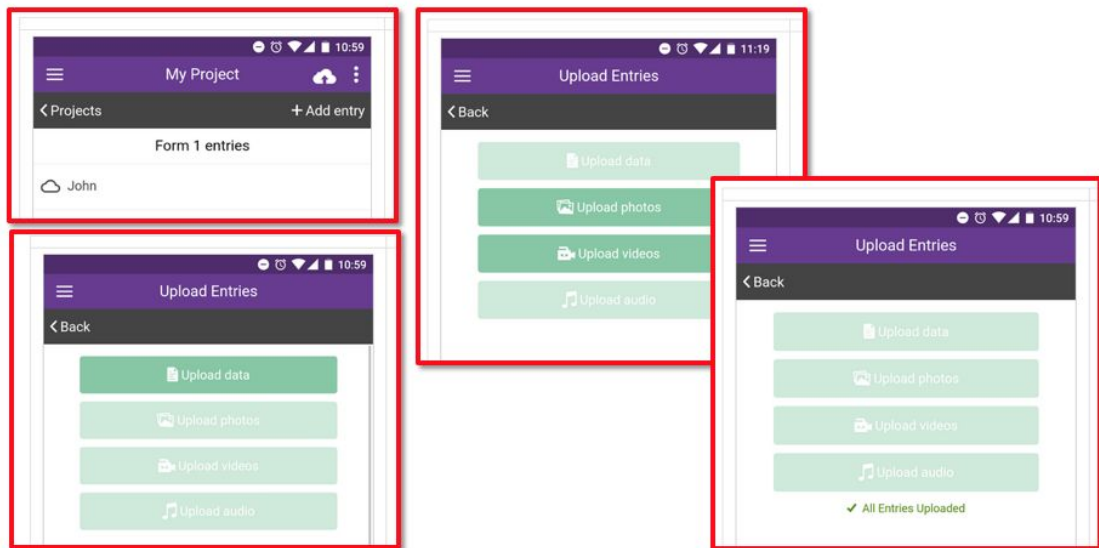


Figura 15. Seleccionando una entrada para subir y los pasos sucesivos..

Toda la información (en inglés) en:

<https://epicollect5.gitbooks.io/epicollect5-user-guide/content/upload-entries.html>

7. Tutorial: identificación de espectros del alumbrado público.

Los espectros se identifican por comparación con otros de lámparas similares. Todas las lámparas del mismo tipo y fabricante presentan el mismo espectro. Aunque hay pequeñas diferencias entre lámparas del mismo tipo y diferentes marcas, las características principales son comunes para cada tipo. El lector encontrará un talas de espectros típicos de lámpara usadas en alumbrado público en el Anexo I.

Se puede adivinar la clase de lámpara examinando su color (véase Anexo II). Las lámparas naranjas son probablemente de sodio a alta presión (HPS) o a baja presión (LPS). Es difícil encontrar hoy en día lámparas LPS (que presentan solamente una línea de emisión naranja). Con suerte, podrá encontrar lámparas LED con un color anaranjado similar que son más amigables para el entorno. Algunas de las luces blancas que se encuentran en las calles son de lámparas de descarga de gas de vapor de mercurio (MV) y de halogenuros metálicos (MH). Sin embargo, la introducción masiva de lámparas LED ha llenado las calles de luces blancas. La mayoría de las nuevas lámparas bancas son probablemente LED.

El espectro de lámparas con descarga de gas muestra líneas de emisión. Estas características espectrales corresponden a los elementos químicos presentes en el gas encerrado en la ampolla. Son fáciles de encontrar puesto que aparecen siempre en la misma longitud de onda o color.



Figura 16. Tres lámparas distintas nos permiten comparar sus espectros, obtenidos al mismo tiempo con la misma imagen. De arriba a abajo, lámparas de tipo HPS, MH y MV.

Al final de esta sección, proporcionamos un diagrama de flujo para la identificación de los tipos principales de lámparas que se pueden encontrar en el alumbrado público. Pero antes, revisaremos las principales características espectrales de dichas lámparas.

A) Lámparas de sodio HPS

Las líneas más prominentes de emisión aparecen en 569, 594, 595, 598, y 616 nm. La línea de 569 nm es verde mientras que el resto están en la parte amarillo-naranja del espectro. Otras líneas conspicuas se encuentran en 467, 475, 515 nm y el doblete (dos líneas muy cercanas) intenso en 498 nm.

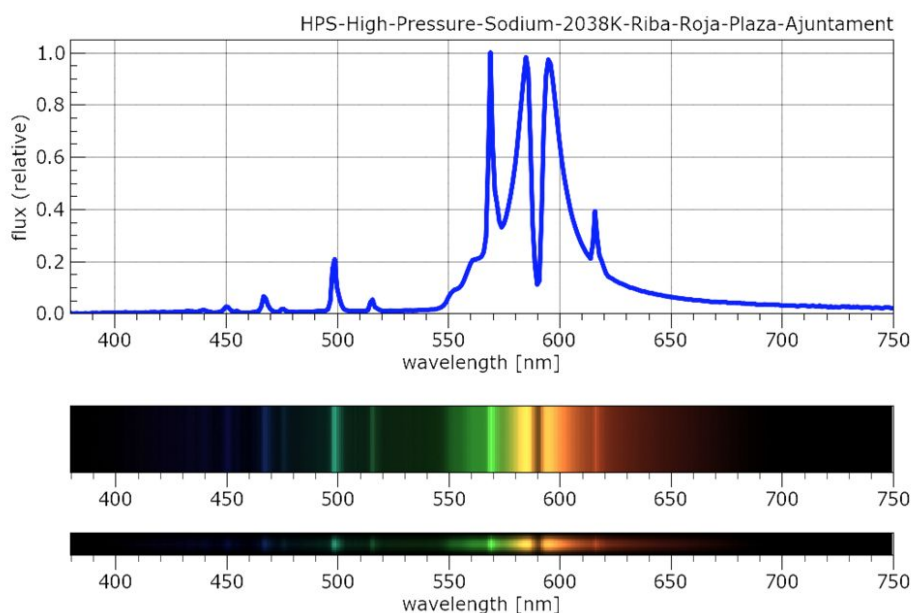


Figura 17. Ejemplo de lámpara de sodio HPS lamp (base de datos de espectros de lámparas del LICA-UCM).



Figura 18. Espectro de HPS. El orden $m=1$ está saturado pero vemos en el orden $m=2$ que la mayor parte de la luz está en el amarillo y hay líneas de emisión presentes en azul-verde. En el orden $m=3$, se ve la línea de absorción (raya negra) en 589 nm, partiendo el espectro del amarillo en dos.

B) Vapor de mercurio MV

El espectro tiene las líneas de emisión del mercurio de 408, 436, 492 (muy débil), 546, 577, 579, 620 nm.

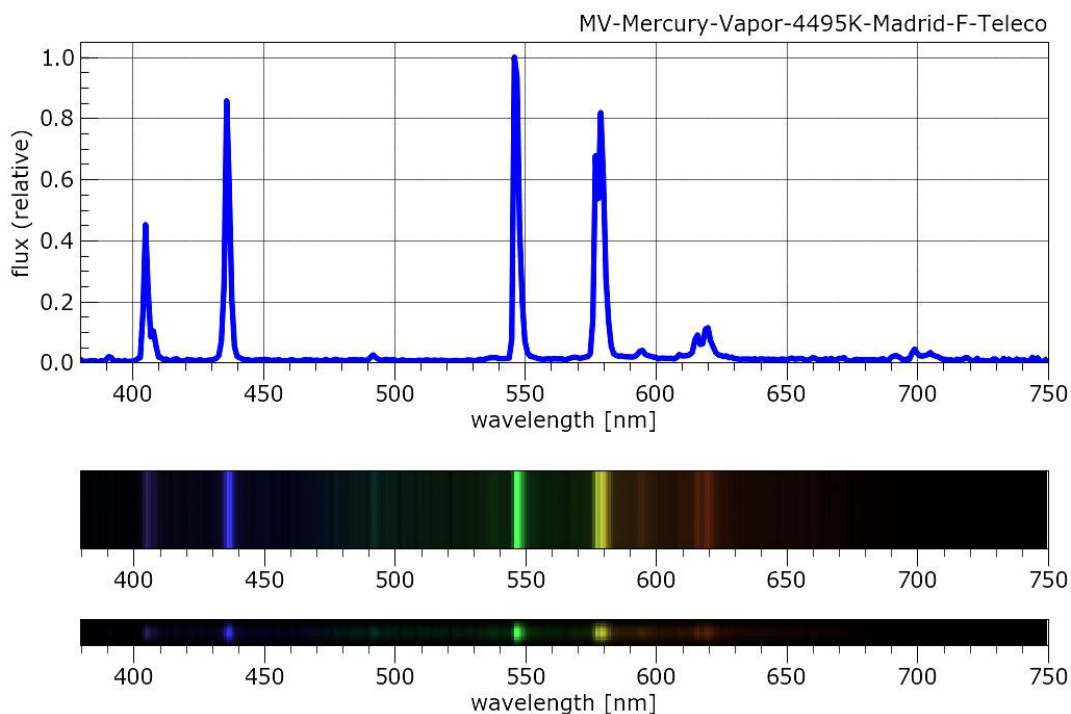


Figura 19. Ejemplo de espectro de una lámpara de MV (base de datos de espectros de lámparas del LICA-UCM).

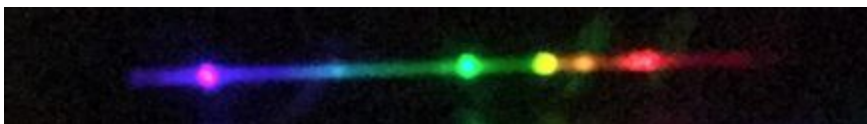


Figura 20. Espectro de una lámpara MV de alumbrado público. Se ven claramente algunas líneas de emisión aisladas: 436 nm (magenta), 492 nm (azul, débil), 546 nm (verde), el doblete (amarillo) de 577, 579 nm, el doblete (rojo) de 620 nm. También se ve una línea adicional de emisión (naranja).

C) Halogenuros metálicos MH

Las líneas de emisión más prominentes pertenecen al mercurio y aparecen en 405, 436, 546, y 579 nm. Son similares a las lámparas de MV. Otras líneas observables son las de 474, 509, 536, 571, 591, 631 nm.

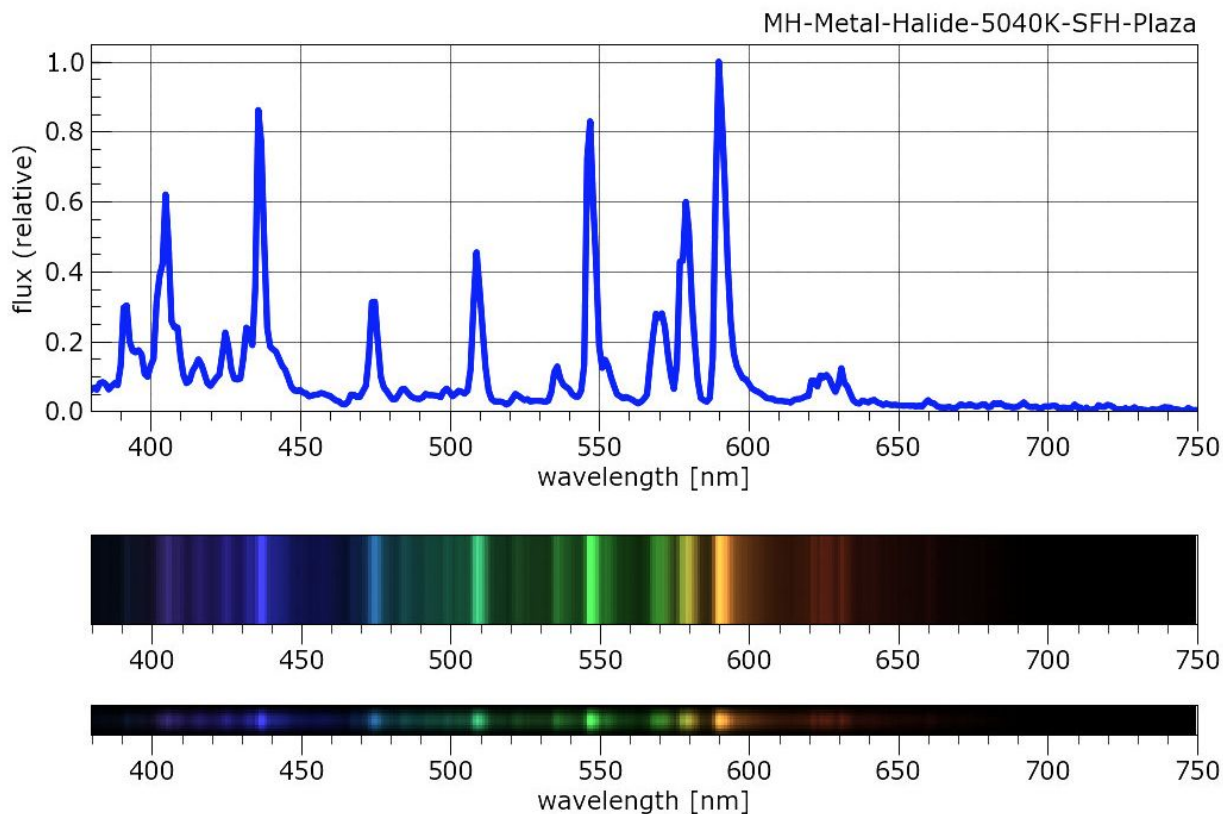


Figura 21. Ejemplo de espectro de lámpara MH. Además de las líneas de emisión de las lámparas de MV, hay líneas adicionales como la amarilla de 591 nm (base de datos de espectros de lámparas del LICA-UCM).



Figura 22. Espectro de una lámpara MH de alumbrado público..

D) Diodo emisor de luz LED

El espectro de estas lámparas es un arco iris de luz continuo sin ninguna característica espectral de líneas de emisión (brillantes) o absorción (oscuras).

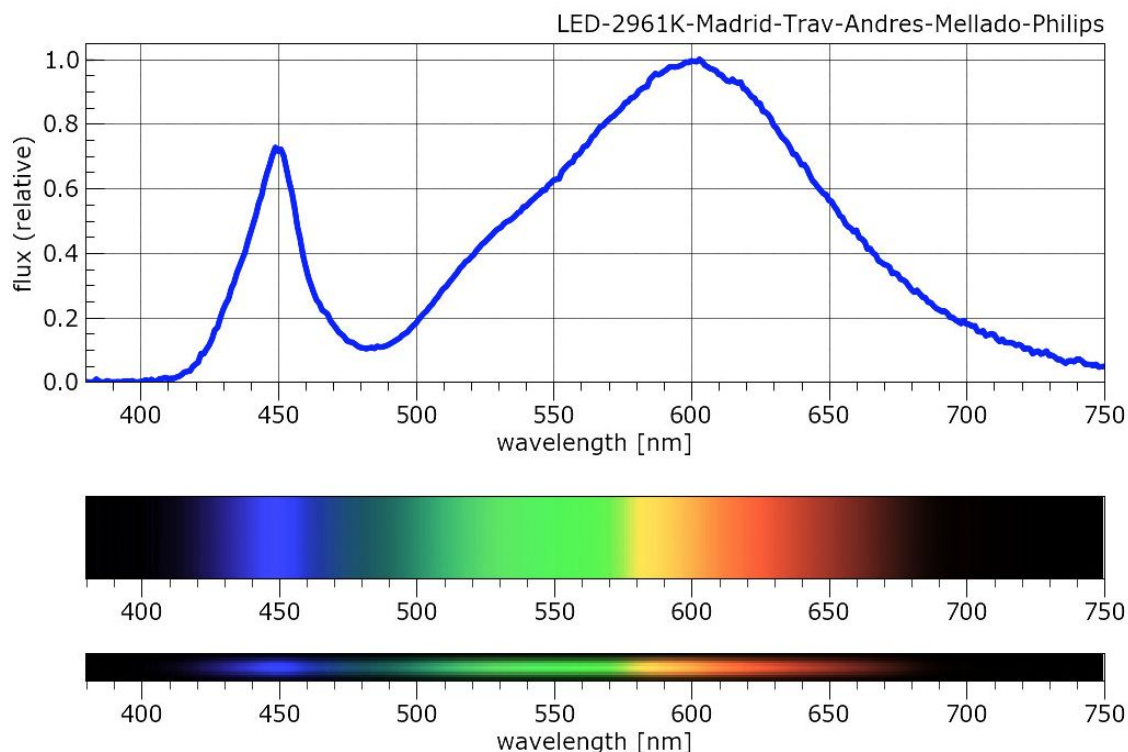


Figura 23. Ejemplo de espectro de lámpara LED (base de datos de espectros de lámparas del LICA-UCM).

Las lámparas LED vienen en distintos colores (ver ANEXO II). Como se puede apreciar, el espectro presenta dos “jorobas”: una centrada en la región de 450 nm y la otra en la de 600 nm. El color de la lámpara depende de la importancia relativa de la luz emitida en la parte azul del espectro (prime pico, por debajo de los 490 nm). La figura 24 muestra un ejemplo con cuatro espectros que pertenecen a lámparas LED con una componente azul cada vez mayor. La identificación entre LEDs usando el espectro tomado con un *smartphone* no es tarea fácil ya que la imagen resultante no está calibrada y los colores dependen de la cámara y detector de cada modelo de móvil.

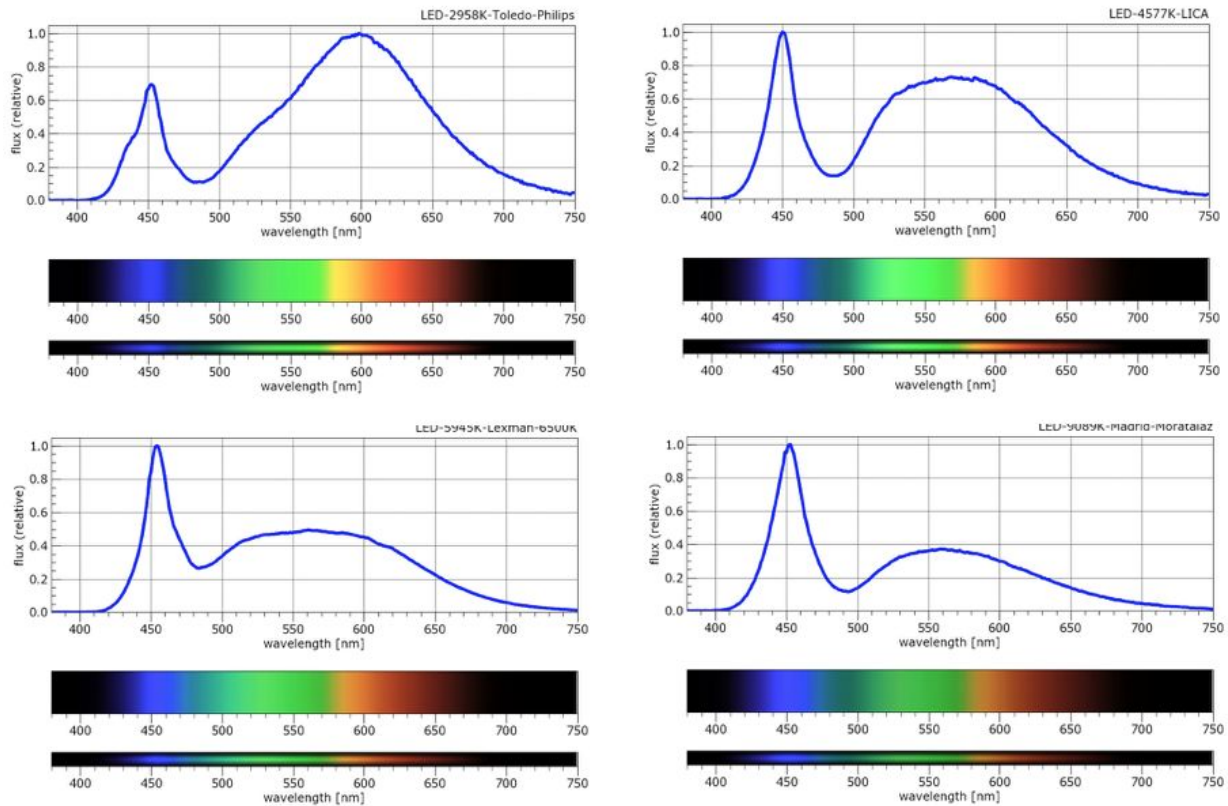


Figura 24a. Ejemplos de lámparas LED de diferentes colores.

Las lámparas LED muy blancas mostrarán un arcoiris de colores con un brillo creciente hacia la parte azul del espectro. Por el contrario, las lámparas LED con baja temperatura de color (véase ANEXO II) tienen un espectro con una contribución principal en el amarillo-naranja.

Existen ya lámparas LED diseñadas para aportar una baja o ninguna contribución en la parte azul del espectro. Los así denominados “LEDs PC ambar” son todavía muy raros de encontrar en nuestras calles, pero su instalación está creciendo en las áreas protegidas de contaminación lumínica. La imagen de la figura 24b fue tomada por Andreas Hänel en Rheda-Wiedenbrück (Alemania).

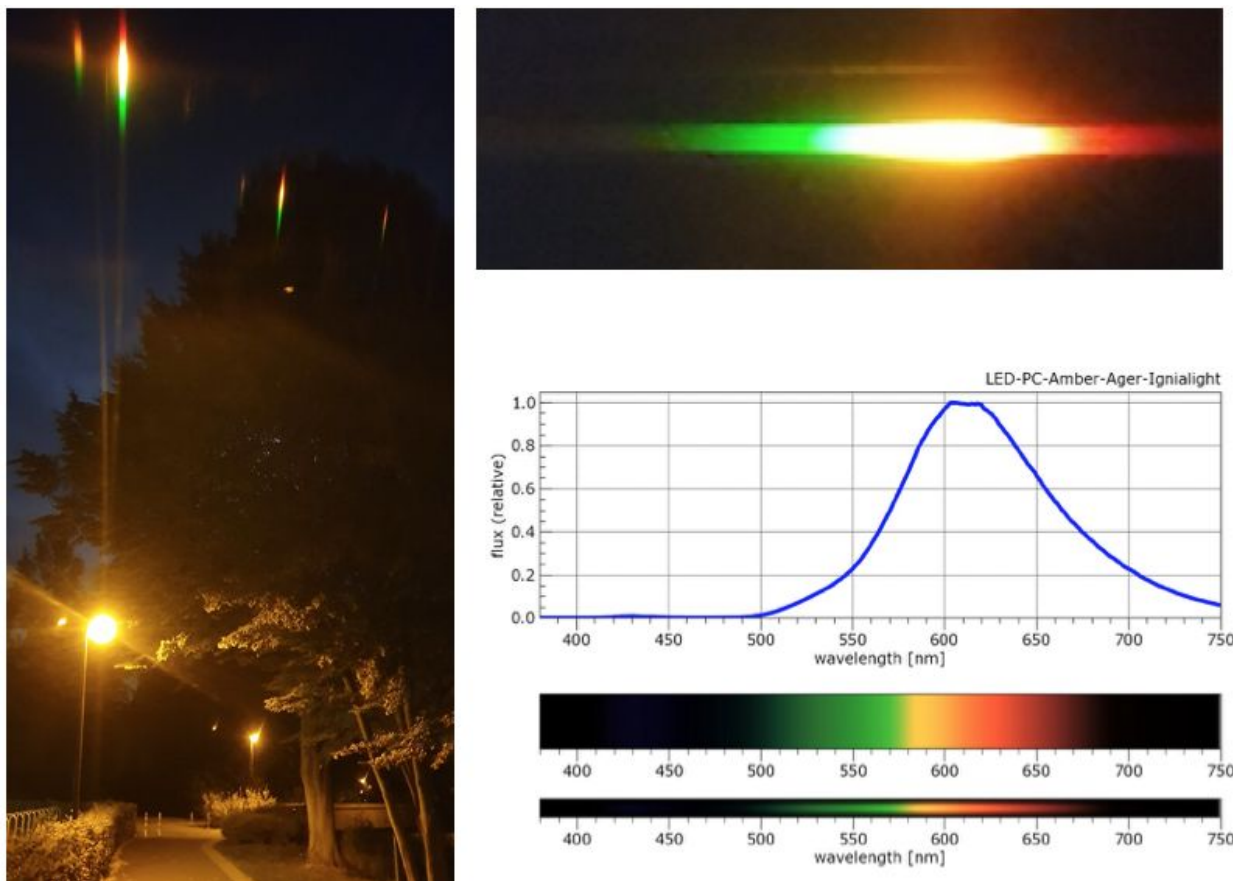


Figura 24b. Lámpara LED PC ambar. Imagen tomada en Rheda-Wiedenbrück (Alemania) por Andreas Hänel (izda). El color de la lámpara es naranja y el espectro no muestra rastros de luz azul (ver detalle de arriba dcha). La gráfica del espectro de una lámpara similar (abajo dcha) muestra la ausencia de luz por debajo de los 500 nm.

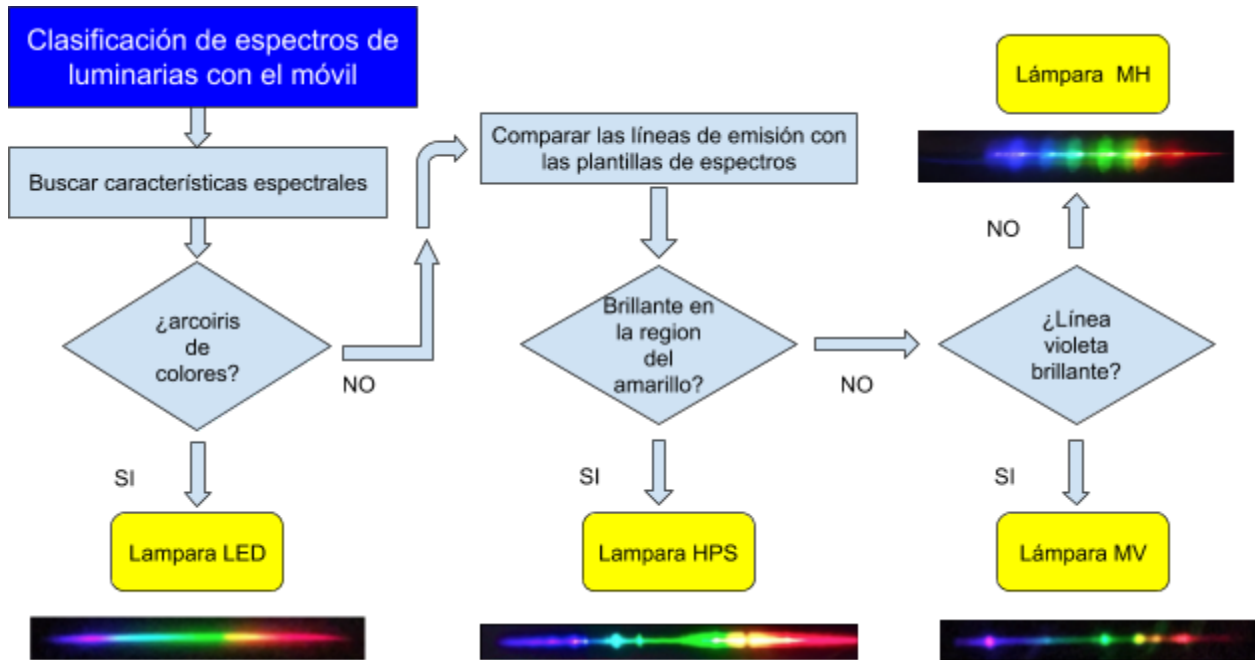


Figura 25. Diagrama de flujo para clasificar lámparas de acuerdo a su espectro.

ANEXO I. Atlas de espectros típicos de lámparas de alumbrado.

AI.1 La base de datos de espectros de lámparas de la UCM.

Para este proyecto, hemos mejorado la “base de datos de espectros de lámparas del LICA-UCM” (C. Tapia, A. Sánchez de Miguel & J. Zamorano [UCM-eprint 40930](#))

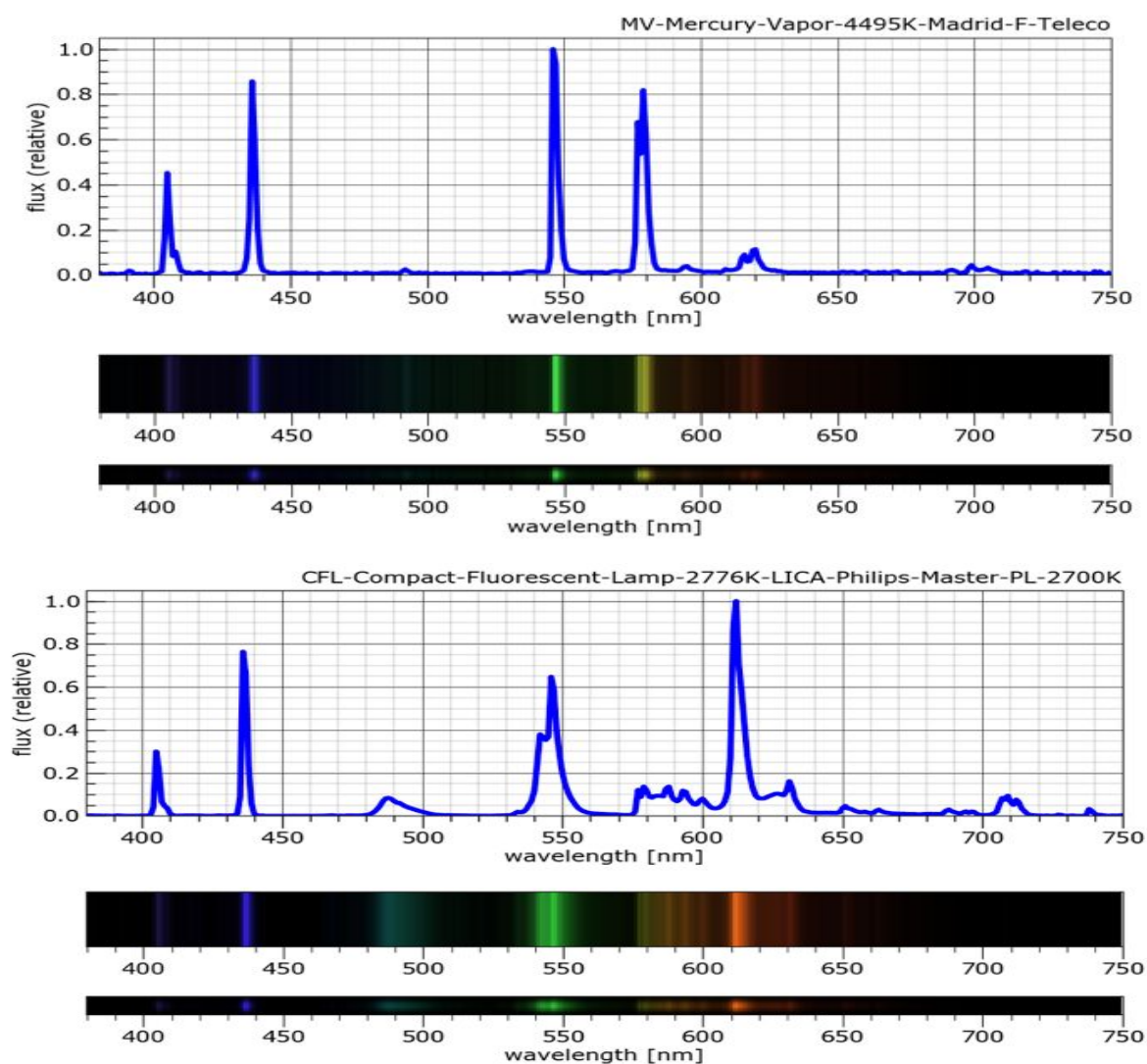


Figura 26. Dos de los espectros de la base de datos del LICA-UCM mostrando las gráficas y una representación visual del color de los espectros.

La base de datos (https://guaix.fis.ucm.es/lamps_spectra) contiene un repositorio de espectros de lámparas (la mayoría de ellas del alumbrado público) obtenidas por Carlos E. Tapia et al. usando la instrumentación profesional del LICA-UCM (espectrógrafos portables y monocromadores).

La base de datos puede utilizarse como un atlas de tipos espectrales. Además de las gráficas (mayormente utilizadas por los investigadores para identificar y medir características espectrales) incluimos una visualización de los colores del espectro tal y como se ven a través de una red de difracción. Los datos y gráficos están disponibles como de uso libre (datos abiertos) a investigadores y ciudadanos interesados. A efectos prácticos, añadiremos sólo los principales espectros que se pueden encontrar en el alumbrado público al final de este manual.

Las visualizaciones son espectros modelados o predichos de los espectros tal y como se mostrarán en las pantallas de los *smartphones*. Sus cámaras tienen tres canales (R, G y B) y la imagen final es una composición de estos tres canales.

El color final de la representación depende de las características del detector (respuesta espectral) de cada modelo de *smartphone*. Nótese que solo se usan los ficheros JPEG o PNG proporcionados por los *smartphones* porque estamos interesados en clasificación, no en calibración. Algunos *smartphones* pueden proporcionar imágenes sin procesar (RAW). Con estos ficheros, uno podría calibrar y hacer mediciones en las imágenes ya que hay una correspondencia proporcional entre el brillo y el valor del pixel.

La base de datos también contiene espectros de lámparas de alumbrado doméstico (no de alumbrado público) por si acaso se desea obtener espectros de esta lámparas o para profesores que deseen usar este montaje en algún experimento práctico de iniciación en el colegio.

AI.2 Ejemplos de espectros tomados con smartphones.

Para propósitos comparativos, es más útil comparar el espectro a identificar con un espectro real tomado con un montaje similar: smartphone + red de difracción.

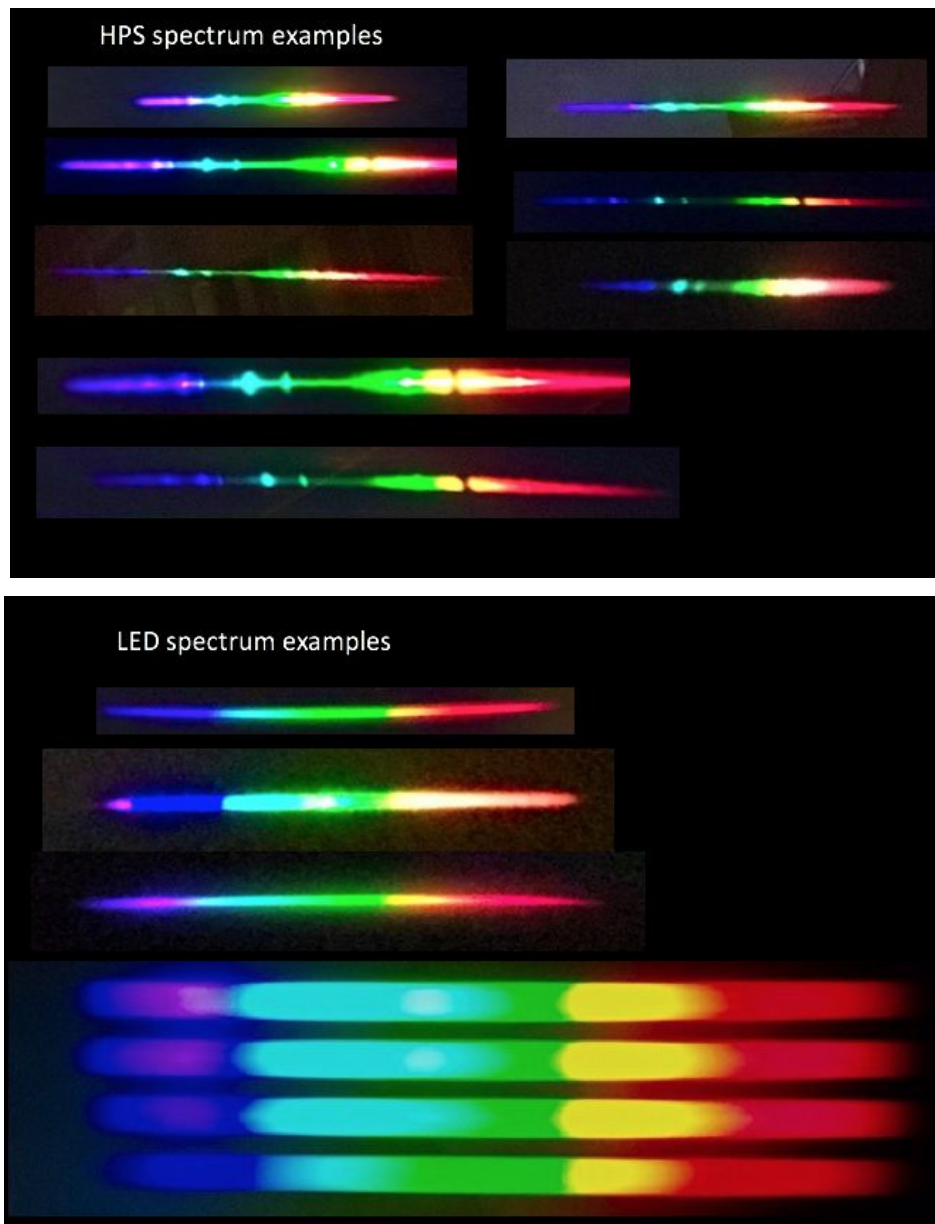


Figura 27. Ejemplos de espectros tomados con un móvil y una red para lámparas HPS y LED.

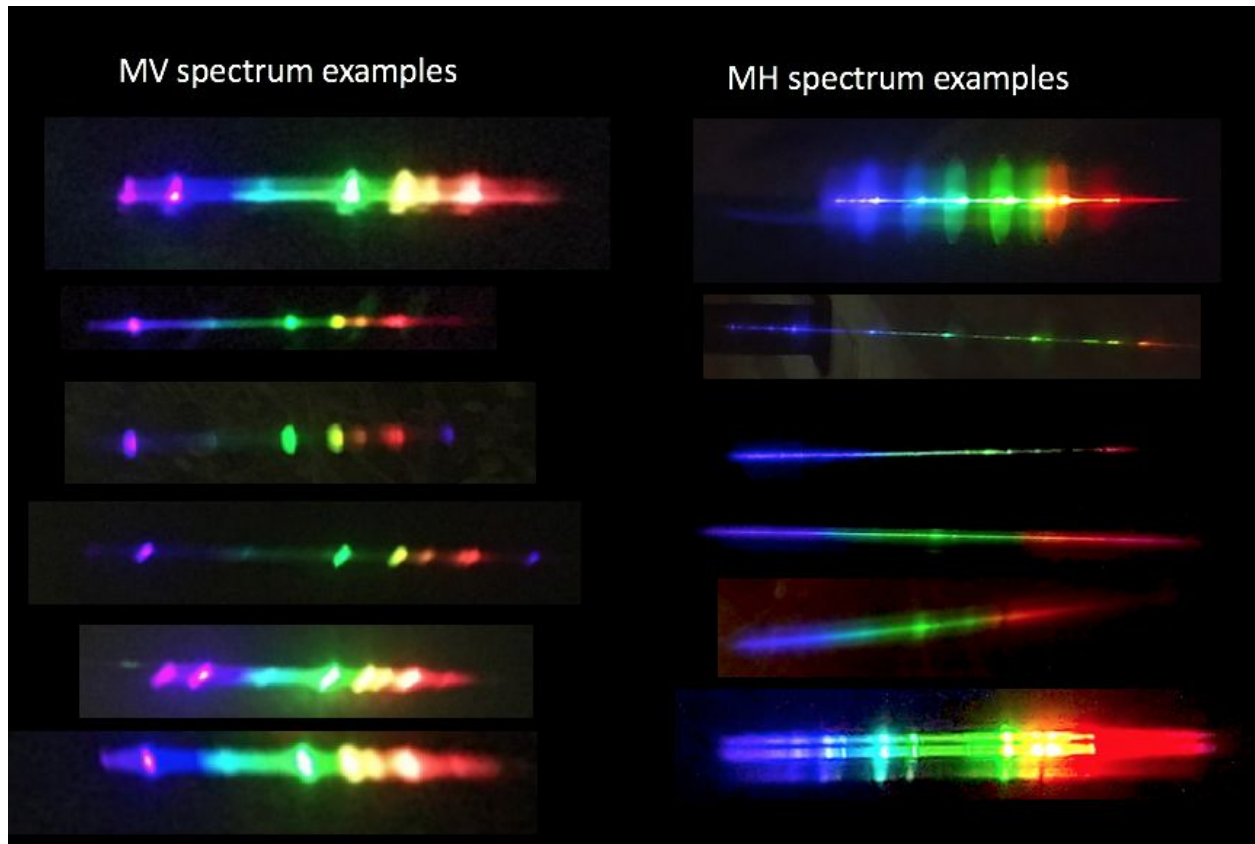


Figura 28. Ejemplos de espectros tomados con un móvil y una red para lámparas MV y MH.

ANEXO II. El color de las lámparas.

Antes de la invención y popularización del alumbrado eléctrico (a principios del siglo XX en las áreas desarrolladas), sólo se utilizaban fogatas, lámparas de aceite, velas y luz de gas. Todas estas lámparas emitían luz anaranjada. Las primeras bombillas de incandescencia comerciales eran también muy anaranjadas. La Humanidad ha estado usando luz anaranjada durante mucho tiempo. Su espectro es similar al de un cuerpo negro que constituye un radiador y absorbente de luz ideal.

Un cuerpo negro² emite un espectro continuo (sin líneas espectrales) cuyo color está relacionado con su temperatura. Si cambiamos la temperatura, el color cambia en consonancia. La temperatura se expresa en unidades de grados Kelvin. Por ejemplo, la temperatura de una vela es de 1850K. Las lámparas de incandescencia emiten como un cuerpo negro a 2400K, El pico de emisión cae en el infrarrojo cercano (este es el motivo por el que están muy calientes cuando las tocamos) y no son energéticamente muy eficientes. Por ello, la Unión Europea las prohibió en 2012³.

Para lámparas cuyo espectro se compone de líneas de emisión no tiene sentido asignar una temperatura, ya que no son un emisor de tipo cuerpo negro. Sin embargo, incluso a estas lámparas se les etiqueta con una temperatura de color (temperatura correlada de color CCT) que se refiere a la temperatura de un cuerpo negro que produciría un color semejante. Por ello decimos que una lámpara tiene un color “frío” (azulado) con una CCT de alrededor de 500K y un color “cálido” (amarillento) a aquellas cuya CCT es de ~ 2500 K. Para añadir más confusión, empleamos el término “frío” para temperaturas CCT más altas y “cálido” para temperaturas CCT más bajas.

Antes de continuar, reproducimos aquí un párrafo sobre el color de las lámparas, extraído de la información básica y las recomendaciones de la International Dark Sky Association (IDA) para iluminación de exteriores: *“La luz con bajas temperaturas de color tiene menos azul en su espectro y se la denomina como ‘cálida’. Las fuentes de luz temperaturas de color más altas son ricas en luz azul. La IDA recomienda que sólo se usen fuentes de luz ‘cálidas’ para alumbrado de exteriores. Esto incluye LPS, HPS y LED de baja temperatura de color”*⁴. La Unión Europea ha publicado un informe sobre

² https://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo_negro

³ https://europa.eu/rapid/press-release_IP-08-1909_en.htm

⁴ <https://www.darksky.org/our-work/lighting/lighting-for-citizens/lighting-basics/>

alumbrado de vías de circulación (incluidas las urbanas) “*Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals*”⁵ que incluye unos criterios de contaminación lumínica.

Las luces naranjas de la calle son principalmente HPS (sodio de alta presión) y en algunos casos LPS (sodio de baja presión) cuyas CCTs están en torno a 2200K-1700K, una luz cálida con colores similares a las lámparas de incandescencia y de las velas. Se están fabricando algunas lámparas LED denominadas PC-Ámbar con estos colores CCT tan bajos para evitar iluminar con luz azul por la noche.

La iluminación blanca en las calles proviene de las lámparas de descarga de gas de vapor de mercurio (MV) y halogenuros metálicos (MH). El mercurio de la bombilla se evapora mediante una descarga eléctrica y eso produce luz. Las lámparas MV tienen unas líneas de emisión fuertes en el azul (435.8 nm) y en el verde (546.1 nm) pero también en el ultravioleta (UV). Estas lámparas vienen generalmente recubiertas con fósforo para convertir parte de la luz UV a la zona roja del espectro. Para las lámparas MH, hay una adición además de halogenuros metálicos para aumentar la eficiencia. Una variante son las lámparas de halogenuros metálicos cerámicos (CMH) con cerámica en el punto de producción del arco en lugar de cuarzo. La temperatura de color de las lámparas de MV y MH se encuentra entre 3000K y 5000K.

Los llamados “fluorescentes” o lámparas fluorescentes compactas (CFL) se utilizan principalmente en interiores o alrededor de las casas. También contienen mercurio dentro de la bombilla y fósforo como recubrimiento. Se fabrican con diferentes colores desde “luz de día” (muy blanca 6500K-5000K CCT), blanco neutro (3500K) y *Luz muy cálida* (2700K).

Estas lámparas están siendo reemplazadas progresivamente con lámparas de diodos emisores de luz (LED), que se fabrican en diferentes colores. Desafortunadamente, la mayoría de los LED en nuestras calles son demasiado blancos, con una componente azul que es dañina para el medio ambiente.

5

https://susproc.jrc.ec.europa.eu/Street_lighting_and_Traffic_signs/docs/JRC115406_eugpp_road_lighting_technical_report.pdf



Figura 28. Algunas lámparas LED utilizadas en iluminación de interiores, mostrando diferentes colores.

ANEXO III. Cómo construir un espectrógrafo visual de mano.

Con una red de difracción y algunos materiales fácilmente disponibles en casa o en la escuela, se puede construir un espectrógrafo visual de mano. Se pueden ver los espectros de las lámparas de la calle o de cualquier fuente de luz utilizando este sencillo espectroscopio. El croquis de la figura 29 muestra un diseño simple utilizando un tubo de cartón.

No apuntar el espectrógrafo al Sol. NUNCA.

Materiales:

- Tubo de cartón o similar. Sugerencias de materiales: tubo del papel de cocina o el envoltorio cilíndrico de las patatas fritas. Se pueden utilizar también tubos de plástico, tuberías de PVC o alguna caja larga no necesariamente cilíndrica. El tubo debería ser opaco.
- Red de difracción
- Rendija. La apertura estrecha y rectangular se utiliza para aumentar la resolución espectral, esto es, para definir mejor las líneas del espectro. Se pueden probar distintas anchuras, pero para empezar recomendamos alrededor de 1mm. Se puede abrir esta rendija con un cutter (¡con cuidado!) en cartón duro, cartulina o cualquier material similar a mano.

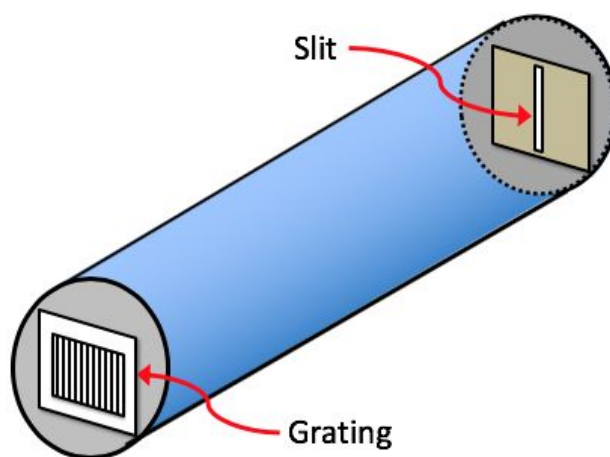


Figura 29. Esquema de un espectroscopio visual.

Montaje del espectroscopio:

La construcción es sencilla: La rendija y la red de difracción deben colocarse a ambos lados opuestos del tubo. Asegúrese de que las líneas de la red de difracción sean paralelas a la rendija, como se muestra en el esquema.

Uso del espectroscopio:

Para ver el espectro de una lámpara, agarre el espectroscopio, ponga el ojo cerca de la red de difracción y apunte el tubo hacia la fuente de luz.

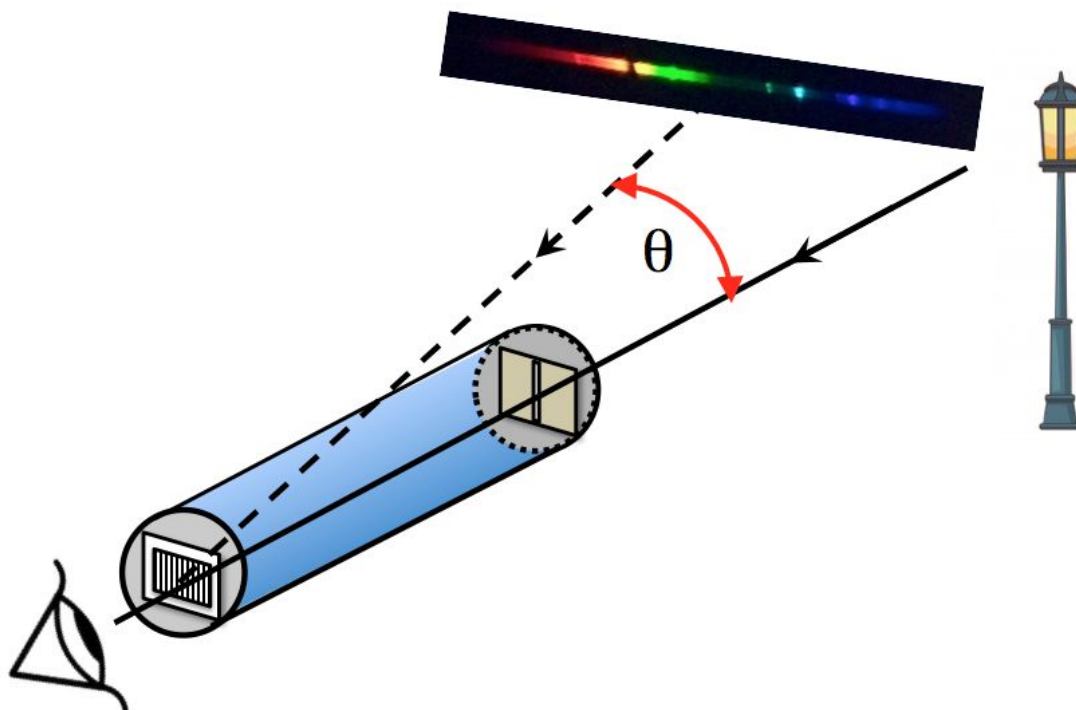


Figura 30. Uso del espectroscopio visual.

El espectro se desplaza de la imagen directa de la lámpara en un ángulo que depende del espaciado de la red de difracción (número de líneas por milímetro) y el orden del

espectro. Si se apunta el espectroscopio a una fuente de luz el ángulo de desviación θ se determina con la siguiente ecuación de la red de difracción:

$$m \lambda = \sigma \sin \theta$$

Donde m es el orden ($m=1$ en este caso), λ es la longitud de onda de la luz y σ es la distancia entre líneas de la red. Para una red con 500 ln/mm ($\sigma = 1/500$ mm) y utilizando la longitud de onda de la parte verde del espectro ($\lambda = 550$ nm) obtenemos una desviación de $\theta = 16^\circ$. Para una red con más líneas por milímetro, este ángulo es proporcionalmente más grande (23 grados para 750 ln/mm and 33° for 1000 ln/mm).