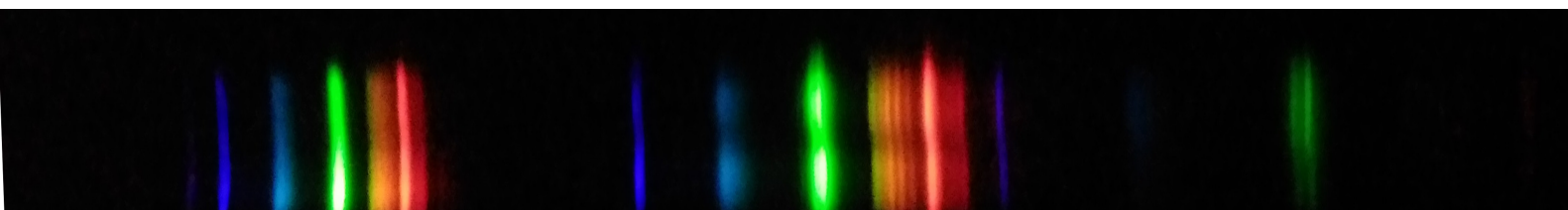


Manual de un espectroscopio casero

tuCiencia.org

Roberto Machorro Mejía



Copyright © 2019 SAOMLab

PUBLICADO POR EDICIONES UNAM

WWW.TUCIENCIA.ORG

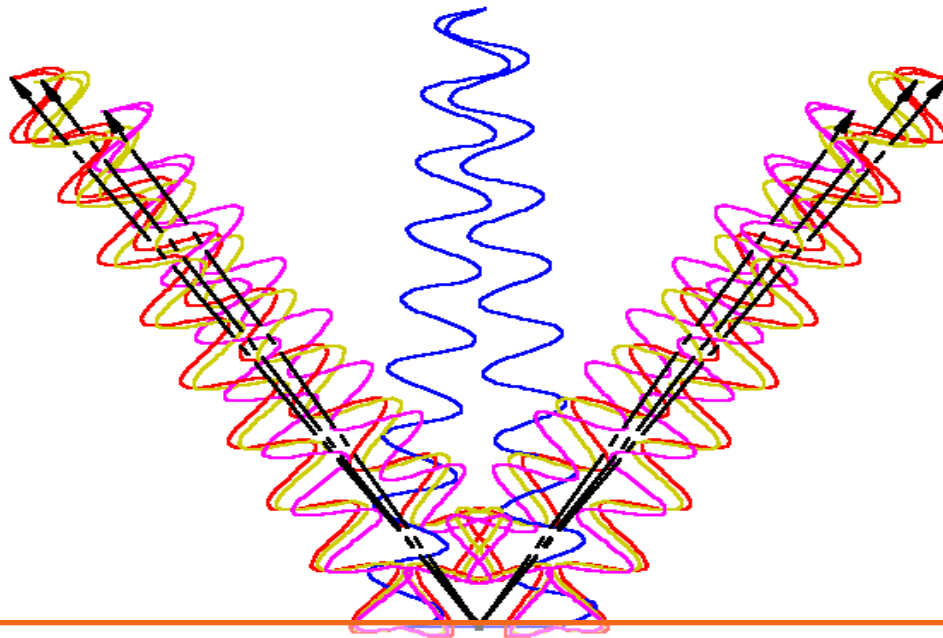
Licenciado bajo la licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 3.0 Unported (la "Licencia"). Usted no puede usar este archivo excepto en conformidad con la Licencia. Usted puede obtener una copia de la Licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>. A menos que sea requerido por la ley aplicable o haya sido acordado por escrito, el presente libro distribuido bajo la Licencia se distribuye bajo una base de "TAL COMO ESTÁ", SIN GARANTÍAS O CONDICIONES DE NINGÚN TIPO, ya sea expresa o implícita.

Primera impresión, Febrero de 2018.

Índice General

1	El espectroscopio para analizar la luz	5
1.1	Notas aclaratorias	5
1.2	Introducción	5
1.3	Fenómeno físico	5
1.4	Relación con texto de ciencias (textoSEP)	6
1.4.1	3er grado.- Fuerzas, pags. 96-99	6
1.4.2	4o grado.- Capacidad de hombre y mujer, pags. 18-19	6
1.4.3	5o grado.- Gravedad, pags. 98	6
1.4.4	6o grado.- Máquinas simples, pags. 102	6
1.4.5	6o grado.- Palancas, Poleas, pags. 103-107	6
1.4.6	3er grado.- Balanza 78	6
1.5	Relación con otros temas de ciencias (textoSEP)	6
1.5.1	3o y 4o grados.- Nuestro cuerpo, huesos, musculos 12 a 22 22-24	6
1.5.2	6o grado.- Energía, pags. 128-134	6
1.5.3	6o grado.- Aprovechamiento, pags. 133-141	6
1.5.4	6o grado.- Tipos de energía, pags. 133	6
1.5.5	6o grado.- Transformación de la energía, pags. 128-131	6
2	Manos a la obra	7
2.1	Introducción	7
2.2	Principio de funcionamiento	7
2.2.1	Espectrómetro convencional	7
2.2.2	Espectrómetro de esta práctica	8
2.2.3	Física de la separación de colores	8
	2.2.3.1 Fenómeno de difracción	8
	2.2.3.2 Ecuación de la rejilla (ley de Bragg)	8

2.2.3.3	Dispersión y resolución	9
2.3	Elemento difractor, un CD o un DVD	10
2.4	Fabricación	10
2.4.1	Optica necesaria	10
2.4.1.1	Colimador	10
2.4.1.2	Telescopio	10
2.4.2	Detector, cámara de un celular	11
2.5	Calibración	11
2.5.1	Capturando el espectro de fuentes conocidas	11
2.5.2	Buscando las líneas de calibración	11
2.5.3	Ecuación del instrumento	12
2.5.4	Programa computacional de calibración	12
2.6	Uso	12
2.6.1	Observación de resultados	12
2.6.2	Capturando el espectro de fuentes conocidas	12
2.6.2.1	Mercurio (Hg)	12
2.6.2.2	Espectro del sol	12
2.6.3	Espectro de lámparas de la calle	13
2.6.3.1	Na	13
2.6.3.2	Hg	13
2.6.3.3	Tungsteno	13
2.6.3.4	Espectro de una TV con LED	13
2.6.4	Determinación de la temperatura de un cuerpo caliente	13
2.6.4.1	Ajuste de una Plankiana a un espectro de emisión de un cuerpo negro 13	
2.6.4.2	Espectro del sol	13
2.6.4.3	Espectro de una lámpara de tungsteno	14
2.6.5	Espectro de una llama	14
2.6.5.1	Espectro de un mechero Bunsen	14
2.6.5.2	Poner azúcar a la llama de mechero Bunsen	14
2.6.5.3	Poner sal a la llama de mechero Bunsen	14
2.6.5.4	Poner azufre a la llama de mechero Bunsen	14
2.6.6	Espectrofotómetro	14
2.6.6.1	Hacer un espectrofotómetro	14
2.6.6.2	Obtener la respuesta de un instrumento	14
2.6.6.3	Medir la transmitancia de varios líquidos	14
2.6.6.4	Medir la transmitancia de varios vidrio	14
2.6.7	Errores y tolerancias	14
3	Aplicaciones	15
3.0.1	Nuestro cuerpo	15
3.0.2	Balanza	15
3.0.3	Prensa para hacer tortillas	15
3.0.4	En todos lados!	15
3.0.5	Cómo divertirse con el experimento	15
4	Agradecimientos	17
4.1	Derechos (Copyleft)	17



1. El espectroscopio para analizar la luz

1.1 Notas aclaratorias

- Este manual está en versión preliminar, quedan varias secciones por depurar, completar, traducir figuras, etc.
- Este experimento se inició pensando en los niños de primaria, para que hicieran su propio espectrofotómetro.
- Posteriormente nos lo solicitaron muchachos de secundaria y preparatoria, por lo que le añadimos conceptos más elaborados y ecuaciones que a los pequeños no han estudiado aún (secciones 2.2.3.2, 2.2.3.3, 2.5. 2.6.4.1), por lo que se los pueden saltar.

1.2 Introducción

La espectroscopía óptica está presente en muchos de los avances de la ciencia, desde el aprendizaje de la formación del universo al análisis de nuestra salud de todos los días.

La luz es una maravillosa sonda de estudio de la materia. Analizando la respuesta de los átomos y moléculas ante la radiación electromagnética aprendemos mucho de ella. El propósito es indagar con un color a la vez, para poder entender paso a paso la interacción. Esto implica que debemos separa los colores y enviarlos uno por uno. Para esto sirven los espectrómetros.

En este experimentos fabricaremos un espectrometro casero, que no difiere de los profesionales mas que en la calidad de las componentes, aunque los principios físicos y procedimientos sean prácticamente los mismos.

Una vez separados debemos calibrarlos en términos de la longitud de onda de cada color. Con esta herramienta podremos estudiar entonces varios fenómenos, al menos verlos. Su comprensión podría estar fuera del panorama de este proyecto, pero al menos mostraremos los primeros resultados.

1.3 Fenómeno físico

La luz es una maravillosa sonda de estudio de la materia. Analizando la respuesta de los átomos y moléculas ante la radiación electromagnética aprendemos mucho de ella. El propósito es indagar

con un color a la vez, para poder entender paso a paso la interacción. Esto implica que debemos separar los colores y enviarlos uno por uno. Para esto sirven los espectrómetros.

En este experimento fabricaremos un espectrometro casero, que no difiere de los profesionales mas que en la calidad de las componentes, aunque los principios físicos y procedimientos sean prácticamente los mismos.

Una vez separados debemos calibrarlos en términos de la longitud de onda de cada color. Con esta herramienta podremos estudiar entonces varios fenómenos, al menos verlos. Su comprensión podría estar fuera del panorama de este proyecto, pero al menos mostraremos los primeros resultados.

1.4 Relación con texto de ciencias (textoSEP)

1.4.1 3er grado.- Fuerzas, pags. 96-99

1.4.2 4o grado.- Capacidad de hombre y mujer, pags. 18-19

1.4.3 5o grado.- Gravedad, pags. 98

1.4.4 6o grado.- Máquinas simples, pags. 102

1.4.5 6o grado.- Palancas, Poleas, pags. 103-107

1.4.6 3er grado.- Balanza 78

1.5 Relación con otros temas de ciencias (textoSEP)

1.5.1 3o y 4o grados.- Nuestro cuerpo, huesos, musculos 12 a 22 22-24

1.5.2 6o grado.- Energía, pags. 128-134

1.5.3 6o grado.- Aprovechamiento, pags. 133-141

1.5.4 6o grado.- Tipos de energía, pags. 133

1.5.5 6o grado.- Transformación de la energía, pags. 128-131



2. Manos a la obra

2.1 Introducción

La espectroscopía óptica está presente en muchos de los avances de la ciencia, desde el aprendizaje de la formación del universo al análisis de nuestra salud de todos los días.

La luz es una maravillosa sonda de estudio de la materia. Analizando la respuesta de los átomos y moléculas ante la radiación electromagnética aprendemos mucho de ella. El propósito es indagar con un color a la vez, para poder entender paso a paso la interacción. Esto implica que debemos separa los colores y enviarlos uno por uno. Para esto sirven los espectrómetros.

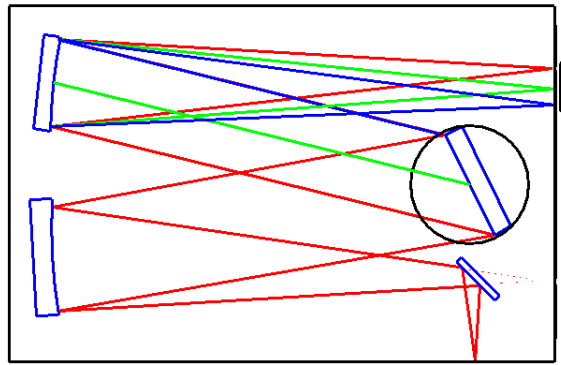
En este experimentos fabricaremos un espectrometro casero, que no difiere de los profesionales mas que en la calidad de las componentes, aunque los principios físicos y procedimientos sean prácticamente los mismos.

Una vez separados debemos calibrarlos en términos de la longitud de onda de cada color. Con esta herramienta podremos estudiar entonces varios fenómenos, al menos verlos. Su comprensión podría estar fuera del panorama de este proyecto, pero al menos mostraremos los primeros resultados.

2.2 Principio de funcionamiento

2.2.1 Espectrómetro convencional

Un espectrómetro convencional, usando una rejila de difracción, consta de una rendija, una lente o espejo colimador, otro lente o espejo formador de imagen y el detector. Aquí les mostramos una versión con espejos esféricos, en configuración conocida como Zerny-Turner.



2.2.2 Espectrómetro de esta práctica

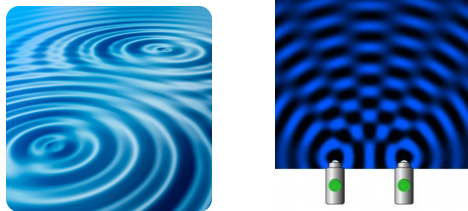
Se les va a pedir que hagan dos versiones, una para apreciar el fenómeno de difracción (sec. 2.3) y la segunda construir el espectrómetro, sec. 2.4. Pero antes veamos algunos elementos de la física involucrada.

2.2.3 Física de la separación de colores

2.2.3.1 Fenómeno de difracción

La física detrás de un espectrómetro es la separación de colores con una rejilla de difracción.

Ver refs [[Wiki Diffraction](#) , [Veritasium difraccion](#), [Diffraction video](#)]



2.2.3.2 Ecuación de la rejilla (ley de Bragg)

Ver ref. [[Rejilla](#)]

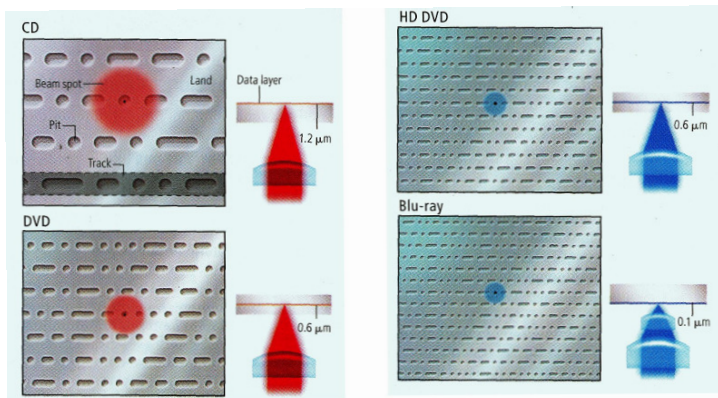
$$d(\sin \theta_m + \sin \theta_i) = m\lambda \quad (2.1)$$

Puedes verificar esta ecuación experimentalmente. Haces incidir un haz de luz, ya sea blanco, o de preferencia un haz de luz láser, perpendicularmente a un trozo de dvd o cd. Lo puedes hacer por reflexión o preparando el disco, por transmisión. Monta esto sobre una hoja de papel.

Para prepara el disco por transmisión, en el caso de un CD, pega una cinta adhesiva lo más posible la cara de la pintura de la marca. Arranca súbitamente la cinta y esta se traerá consigo la pintura, dejando el CD transparente.

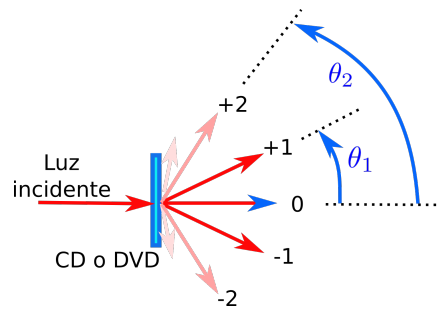
En el caso de un DVD, lo que debes hacer es partirlo en dos, por el diámetro, eso hará que se separen dos capas de plástico, una de ellas con el grabado de los "surcos" que llevan la información de los datos. Esa parte es la útil para el experimento de difracción.

La rayadura de las marcas conteniendo los datos en el CD o DVD es la causante de la difracción. Pueden ver estas marcas de una fotografía tomada de Scientific American (Blu-ray vs HD-DVD por Mark Fischetti, Agosto 2007)



Cada rayado hace las funciones de emisores de ondas esféricas (cilíndricas, en este caso), como las que vimos en la figura anterior.

Al incidir el haz de luz láser o luz blanca en el disco, se difracta, como se ve en la figura siguiente.



Los rayos difractados serán repartidos sobre un plano que es perpendicular a la rayadura o rejilla en el CD o DVD.

La hoja de papel queda en la parte inferior de la rejilla. Mide con el mayor cuidado los ángulos donde veas las manchas de luz, tanto la mancha sin difractar (orden cero), como los otros órdenes. Los rayos difractados de orden mayor tendrán muy poca luz y serán difícil de ver. Al hacer incidir el haz de entrada de forma perpendicular al CD, el ángulo de incidencia es cero, $\theta_i = 0^\circ$. Sustituye los valores en la ec. 2.1, y despejando el valor de d ,

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \theta_m + \sin \theta_i}$$

2.2.3.3 Dispersión y resolución

Ver ref. [DispersiónResolución]

Suponiendo incidencia normal, $\theta_i = 0$

$$\lambda = \frac{d}{m \cdot \sin \theta_m}$$

derivando respecto al ángulo de difracción, se llega a la dispersión de la rejilla

$$\frac{d\theta_m}{d\lambda} = \frac{m}{d \cdot \cos \theta_m}$$

Definiendo la resolución como

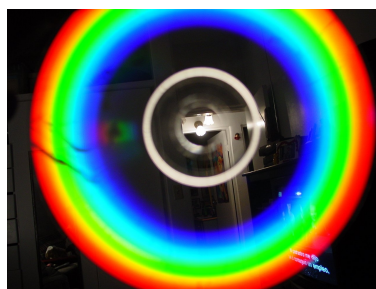
$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \tan \theta_m \frac{1}{\Delta\theta_m}$$

2.3 Elemento difractor, un CD o un DVD

Una manera espectacular de ver la difracción de luz con un CD, es limpiando toda la pintura que usan para poner las etiquetas. Coloca cinta adhesiva, presionando con la uña para una mejor adherencia. Levántala de manera súbita y se traerá consigo la pintura. Haz esto tantas veces como sea necesario para eliminar toda la pintura.

Apunta ahora hacia un foto de luz "blanca". Haz que la luz pase por el agujero del CD, con tu ojo asomando por ese agujero. Aleja lentamente el CD, y verás que eventualmente, todo el espectro inunda al plástico! como se ve en la figura siguiente. Es mejor que tu lo hagas, ya que la experiencia es muy diferente a verlo simplemente de la fotografía.

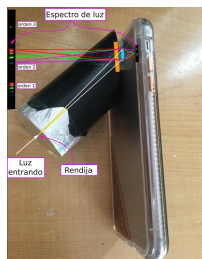
Si la fuente de luz es de focos con gas de Hg de baja presión, lo que verás son anillos muy delgados, en lugar de el espectro continuo.



2.4 Fabricación

2.4.1 Optica necesaria

Haremos en casa un espectrómetro simple, sin elementos complicados, disponibles en casa. En caso de no tenerlos, se los haremos llegar por paquetería.



2.4.1.1 Colimador

Esta versión no incluye un colimador, la luz entra por una rendija y se abre hasta llegar a la rejilla de difracción (trozo de cd o dvd).

2.4.1.2 Telescopio

En nuestro caso, el telescopio será nuestro propio ojo, o si prefieren, la cámara incluida en su celular.

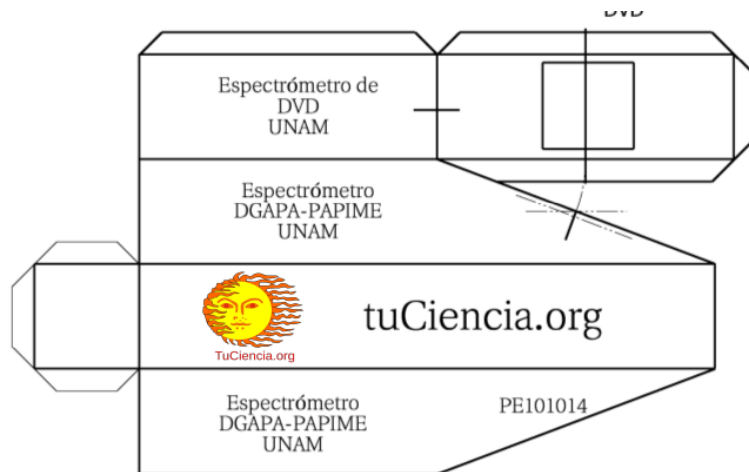
La luz entra por la rendija realizada sobre la hoja de aluminio, llega a la rejilla de difracción (trozo de dvd) y es difractada en sus diferentes órdenes.

En ambos casos, al colocar la rejilla cerca de nuestro ojo o lente de celular, se forma una imagen real, reducida.

2.4.2 Detector, cámara de un celular

Un prototipo lo puedes ver en ref. [**Espectrometro**]

Ver ref. [**tuCiencia 2**, **tuCiencia**], tuCiencia en Facebook, donde podrás bajar la plantilla



La imprimes al tamaño que gustes. Si cada lado del cuadrado queda de 3 cm es suficiente. Pega este en una cartulina negra mate. Recorta y arma la figura geométrica.

Igualmente puedes utilizar un trozo de tubo de ABS, negro.

Pega con cinta adhesiva el trozo de CD o DV en el rectángulo superior. Debes tener mucho cuidado de poner la orientación de los surcos o rayadura del CD en forma vertical. Para identificar la orientación de la rayadura, ver la secc. 2.2.3.2.

En el cuadro haz una incisión con una navaja con buen filo. Resulta mejor hacer el corte en un trozo de papel de aluminio, usado en cocina. En este caso, has un agujero rectangular, de unos 5x10 mm. Lo cubres con el papel aluminio, fijando con cinta adhesiva. Haces un corte en el papel aluminio cuidando de que corte se vertical, considerando la impresión anterior.

2.5 Calibración

2.5.1 Capturando el espectro de fuentes conocidas

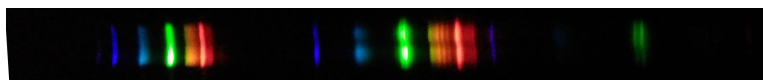
Ya sea usando el ojo directamente a la salida del espectrómetro, o sujetando con cinta adhesiva a tu celular, deja entrar la luz por el lado de la rendija, como se muestra en la figura siguiente.

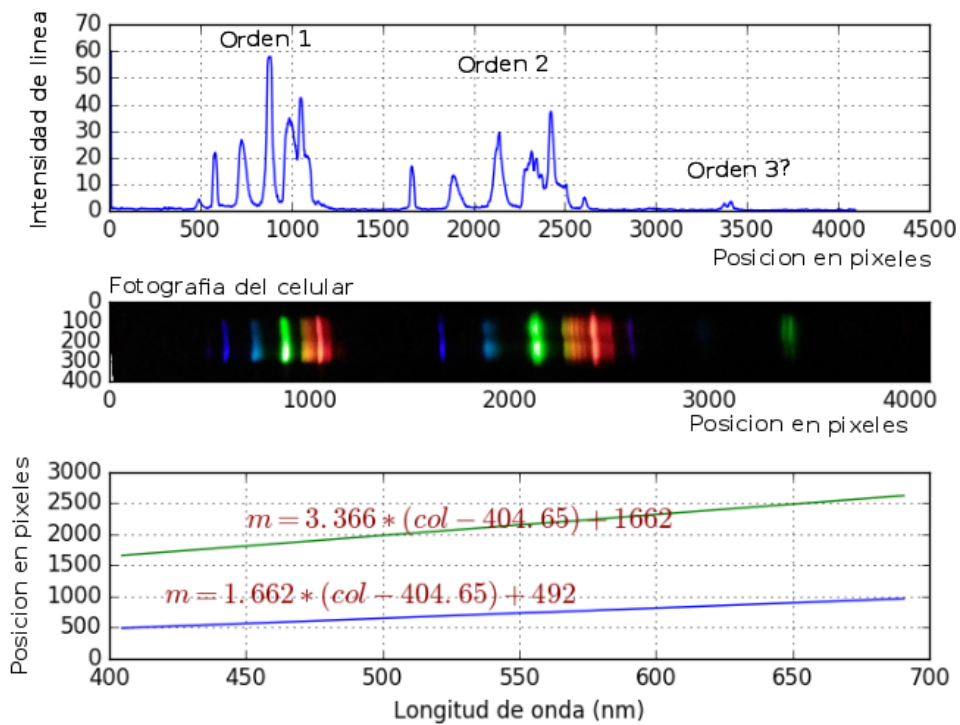
2.5.2 Buscando las líneas de calibración

Entra en la página electrónica https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html

En ella podrás obtener las longitudes de onda de varios elementos. Selecciona el mercurio, Hg, en el visible, de 400 a 700 nm, que es el rango que podrás apreciar con tu ojo. Presiona el ícono **Retrieve**. Ubica las líneas más intensas, en la columna denominada **Observed Wavelength Air (nm)** .

Mercurio (Hg), $c1 = [404.7, 435.8, 546.1, 576.96, 579.07, 671.6, 690.7]$





2.5.3 Ecuación del instrumento

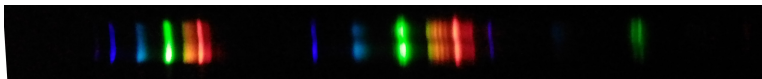
2.5.4 Programa computacional de calibración

2.6 Uso

2.6.1 Observación de resultados

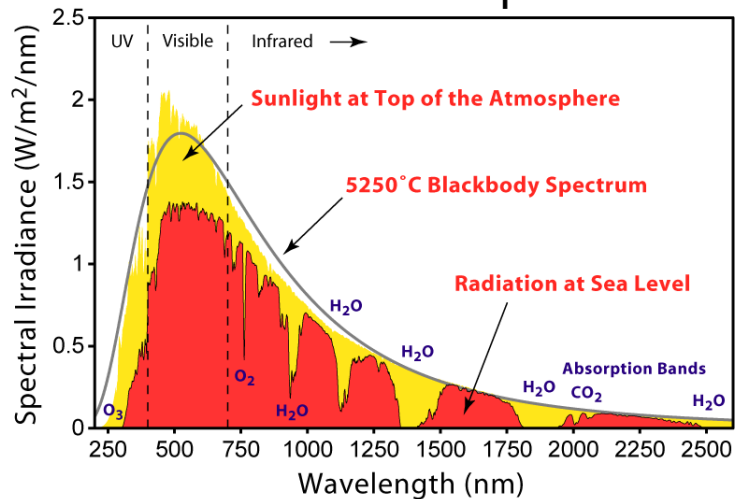
2.6.2 Capturando el espectro de fuentes conocidas

2.6.2.1 Mercurio (Hg)



2.6.2.2 Espectro del sol

Solar Radiation Spectrum



2.6.3 Espectro de lámparas de la calle

2.6.3.1 Na

2.6.3.2 Hg

2.6.3.3 Tungsteno

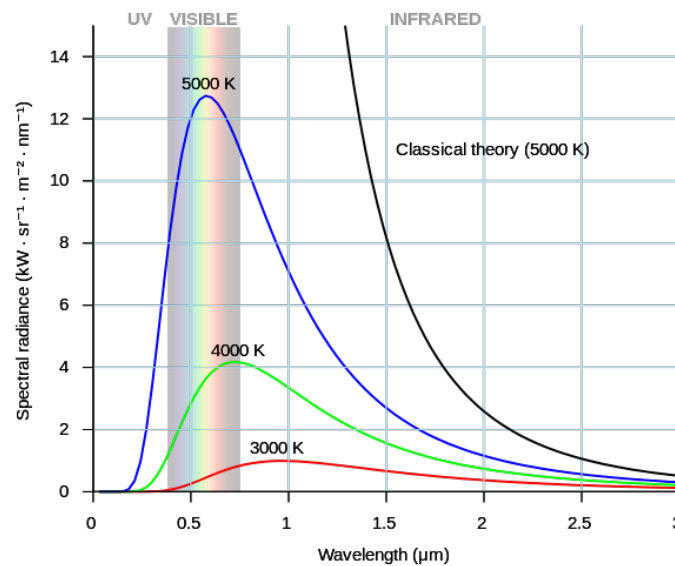
2.6.3.4 Espectro de una TV con LED

2.6.4 Determinación de la temperatura de un cuerpo caliente

2.6.4.1 Ajuste de una Plankiana a un espectro de emisión de un cuerpo negro

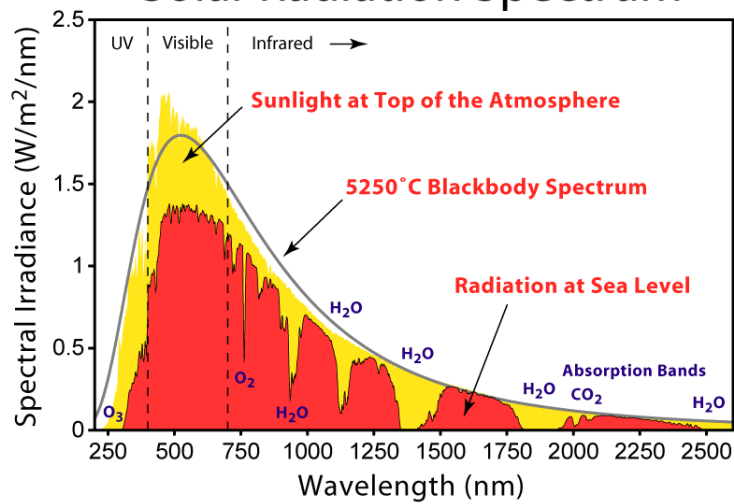
Ver ref. [Plankian]

$$B_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$



2.6.4.2 Espectro del sol

Solar Radiation Spectrum



2.6.4.3 Espectro de una lámpara de tungsteno

2.6.5 Espectro de una llama

2.6.5.1 Espectro de un mechero Bunsen

2.6.5.2 Poner azúcar a la llama de mechero Bunsen

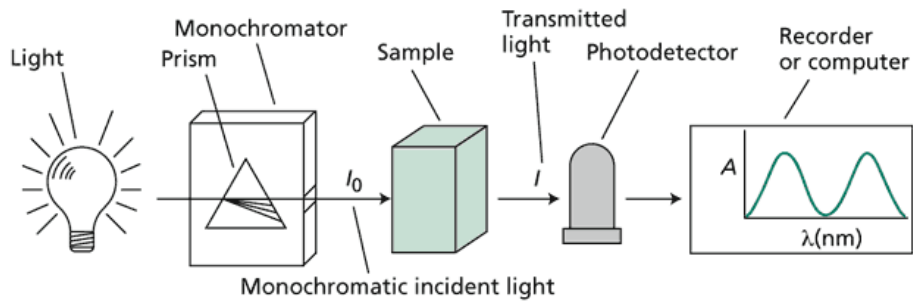
2.6.5.3 Poner sal a la llama de mechero Bunsen

2.6.5.4 Poner azufre a la llama de mechero Bunsen

2.6.6 Espectrofotómetro

Ver ref. [Spectrofotometer]

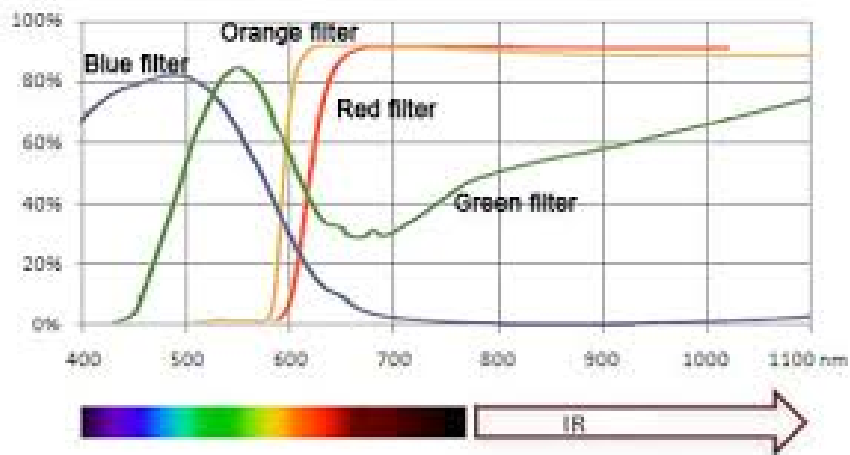
2.6.6.1 Hacer un espectrofotómetro



2.6.6.2 Obtener la respuesta de un instrumento

2.6.6.3 Medir la transmitancia de varios líquidos

2.6.6.4 Medir la transmitancia de varios vidrios



2.6.7 Errores y tolerancias



3. Aplicaciones

- 3.0.1 Nuestro cuerpo
- 3.0.2 Balanza
- 3.0.3 Prensa para hacer tortillas
- 3.0.4 En todos lados!
- 3.0.5 Cómo divertirse con el experimento




4. Agradecimientos

Este proyecto empezó por iniciativa de un grupo de voluntarios, Chicas Solares (ver página aquí [[tuciencia](#)]). Gracias al PAPIME, por los proyectos 101014 y 100618, con el que ha sido posible la adquisición de material para dejar experimentos en las escuelas y los experimentos itinerantes.

Agradecemos también estudiantes de CICESE y UNAM por su creativa participación durante los eventos que organizamos.

4.1 Derechos (Copyleft)

Los derechos de estos manuales quedan registrados con la licencia de Creative Commons  **creative commons**, ver liga aquí [[Creative](#)].



Bibliography

- [1] <https://www.dropbox.com/sh/I9tfja53gjhv7w8/AAA60twrXYWINWWcF62x2RUaa?dl=0>
- [2] libro de ciencias para 4^o grado
- [3] libro de ciencias para 6^o grado
- [4] <http://tuciencia.org>
- [5] <https://creativecommons.org/>
- [6] <http://www.stargazing.net/david/spectroscopy/ScrewdriverCDROMSpectroscope.html>