

Informe final

Análisis cualitativo y cuantitativo de fenómenos ópticos utilizando fotografía digital

Prof. Cinthia Cerpa
Prof. Marcelo Vachetta

Curso-taller de profundización en Física Experimental

Tutores: Pablo García
Alejandro Villamil

Objetivos: Profundizar en el uso del software libre Tracker, poniendo a prueba su capacidad para analizar imágenes de interferencia y difracción de luces monocromáticas y policromáticas provenientes de diversas fuentes.

Introducción: En nuestro trabajo anterior exploramos las posibilidades del software Tracker aplicadas al análisis de un movimiento de caída. Con el objetivo de ampliar dicho trabajo, decidimos utilizar el mismo programa aplicado a la realización de los siguientes experimentos:

- Interferencia de la luz de un láser verde pasando por una doble rendija.
- Difracción de la luz de un láser verde pasando por una abertura.
- Obtención del espectro de un tubo de descarga de mercurio.
- Análisis del espectro de una lámpara incandescente a diferentes temperaturas.

Este trabajo reúne los resultados obtenidos así como algunas de las dificultades que se presentaron en la captura y el análisis de los datos experimentales.

Dispositivo:

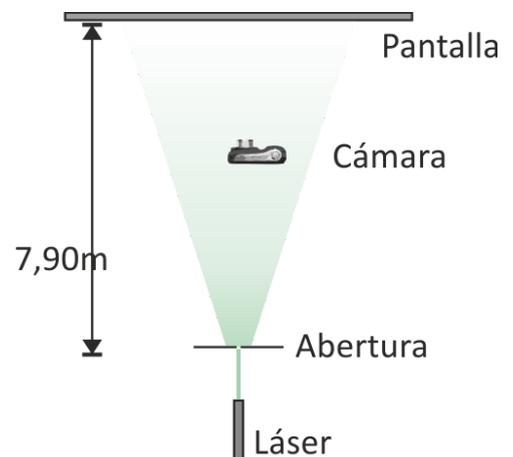
Primera parte – Difracción e interferencia del láser verde

Para esta primera parte utilizamos los siguientes materiales:

- Puntero láser verde, con $\lambda = (532 \pm 10)$ nm dato del fabricante.
- Abertura para difracción de 0,20 mm de ancho.
- Doble abertura para interferencia de 0,20 mm de ancho y 0,25 mm de separación.
- Cámara digital Kodak de 9,2 Mpix con autoenfoco.
- Soportes, pantalla negra y cinta métrica.

Con estos materiales armamos el siguiente dispositivo:

En la pantalla se trazaron dos marcas separadas por una distancia conocida (0,20 m) como forma de calibración.

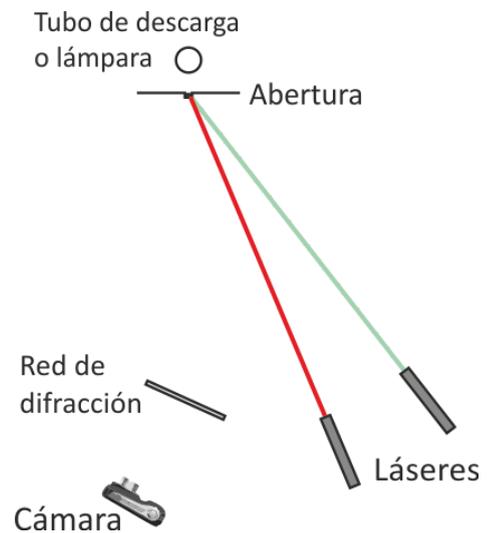


Segunda parte – Obtención de espectros de emisión del mercurio y de una lámpara incandescente

En este caso utilizamos los siguientes materiales:

- Tubo de descarga de mercurio y fuente de alto voltaje (puede utilizarse una lámpara de mercurio).
- Lámpara incandescente de filamento, fuente de C.A. y reóstato.
- Abertura regulable.
- Red de difracción de 600 líneas/mm
- Láser verde, con $\lambda = (532 \pm 10)$ nm dato del fabricante.
- Láser rojo, con $\lambda = (633 \pm 10)$ nm dato del fabricante.
- Cámara digital Kodak de 9,2 Mpix con autoenfoco.
- Soportes.

Con estos materiales armamos el siguiente dispositivo:



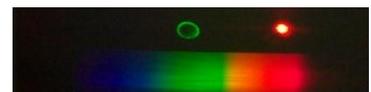
Fotografía y esquema del dispositivo utilizado para capturar el espectro de luces policromáticas

Los Láseres de longitud de onda conocida servirán como forma de calibración.

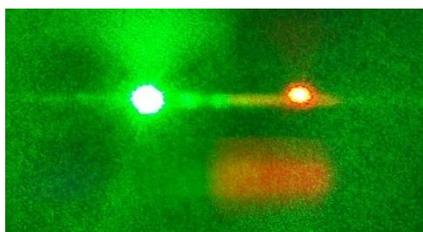
La abertura se encuentra tapada en su parte superior por una etiqueta blanca, de forma que sobre la red de difracción incidan simultáneamente la luz proveniente de la fuente a analizar (lámpara o tubo de descarga) y del reflejo de los láseres sobre la etiqueta.

Para captar las imágenes necesarias, movemos la cámara y la red hasta encontrar el máximo de primer orden del espectro correspondiente. Obteniendo una imagen como la de la figura:

Como el láser verde emite luz por momentos muy intensa, fue necesario utilizar dos filtros polarizadores.



Fotografía del espectro de la luz proveniente de una lámpara de filamento. Los círculos de arriba corresponden a los láseres utilizados para calibración.

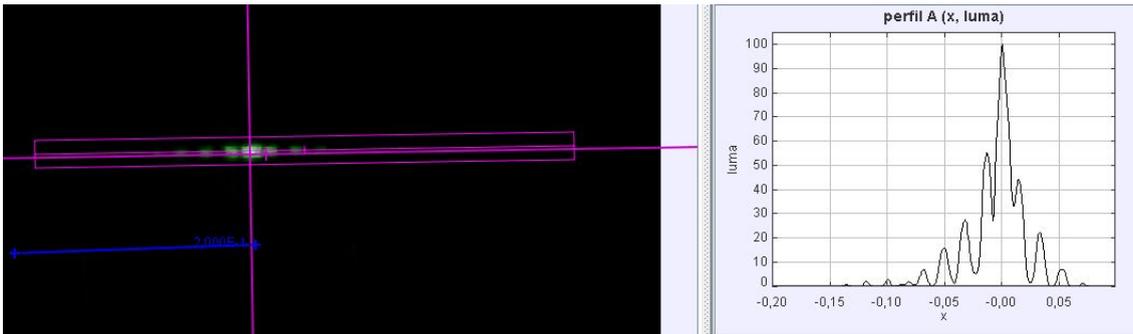


La luz del láser verde puede ser muy intensa. Lo que perjudica al experimento.

Datos experimentales:

Interferencia de luz monocromática

Para la interferencia del láser verde obtuvimos el siguiente resultado:



A partir del gráfico de intensidades relativas en función de x, determinamos que los máximos se encuentran en las siguientes posiciones:

n	x (m)
0	0,000
1	0,014
2	0,032
3	0,050
4	0,068
5	0,082
6	0,100
7	0,119
8	0,136

Donde x representa la distancia medida desde el máximo central y n el número de máximo comenzando con 0 en el central y creciendo hacia la izquierda.

Considerando la condición de máximo de interferencia:

$$n\lambda = d \cdot \text{sen}(\theta)$$

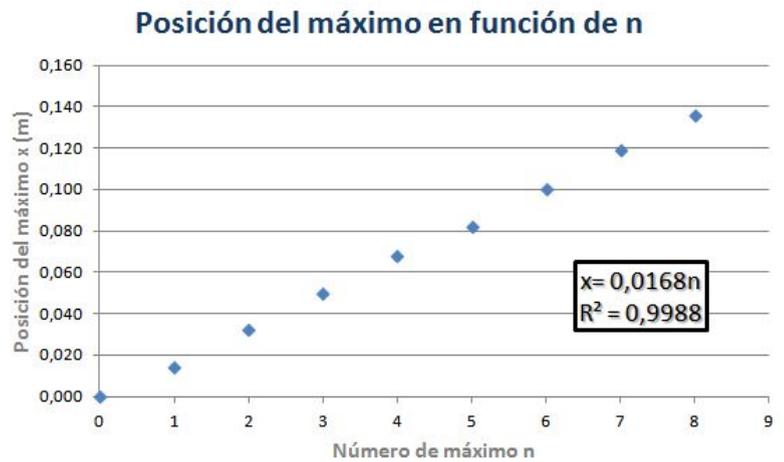
Como el ángulo θ es pequeño podemos aproximar $\text{sen}(\theta) \approx \text{tg}(\theta) = \frac{x}{L}$

De donde: $x = \frac{L}{d}n$

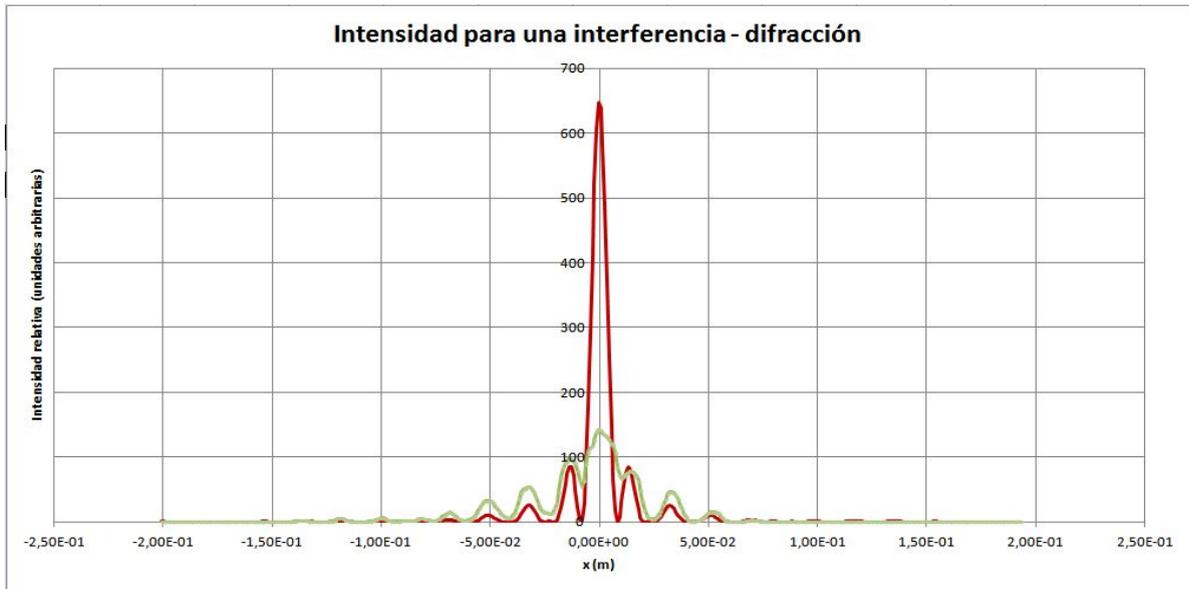
Graficamos $x=f(n)$ y obtenemos:

A partir del gráfico determinamos la longitud de onda del láser resultando:

$\lambda = 531,6 \text{ nm}$



Si comparamos el diagrama de intensidades relativas obtenidas en la práctica con los valores esperados para los materiales utilizados obtenemos:



Vemos en el gráfico que, si bien las posiciones de los máximos de interferencia coinciden bastante bien con la predicción teórica, las intensidades relativas de los máximos se encuentran muy alejadas del valor teórico esperado, probablemente esta diferencia esté vinculada con la no linealidad del sensor CCD de la cámara.

El sensor de una cámara digital define un valor de las coordenadas RGB para cada punto de la imagen que genera. El inconveniente es que la transformación imagen captada -> imagen generada (o sea, brillo percibido -> valor numérico) no es lineal.

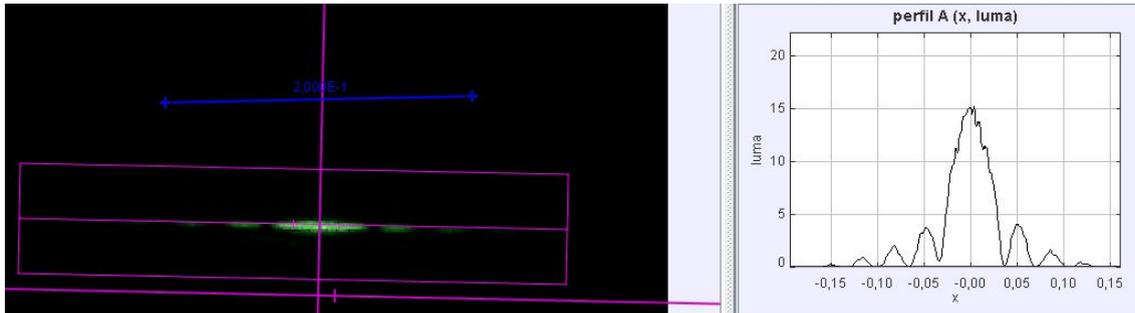
Esto afecta la intensidad relativa captada por la cámara especialmente para el máximo central en relación a los otros máximos de interferencia y de difracción.

Es probable que la cámara ajuste automáticamente las lecturas de intensidad para evitar imágenes saturadas.

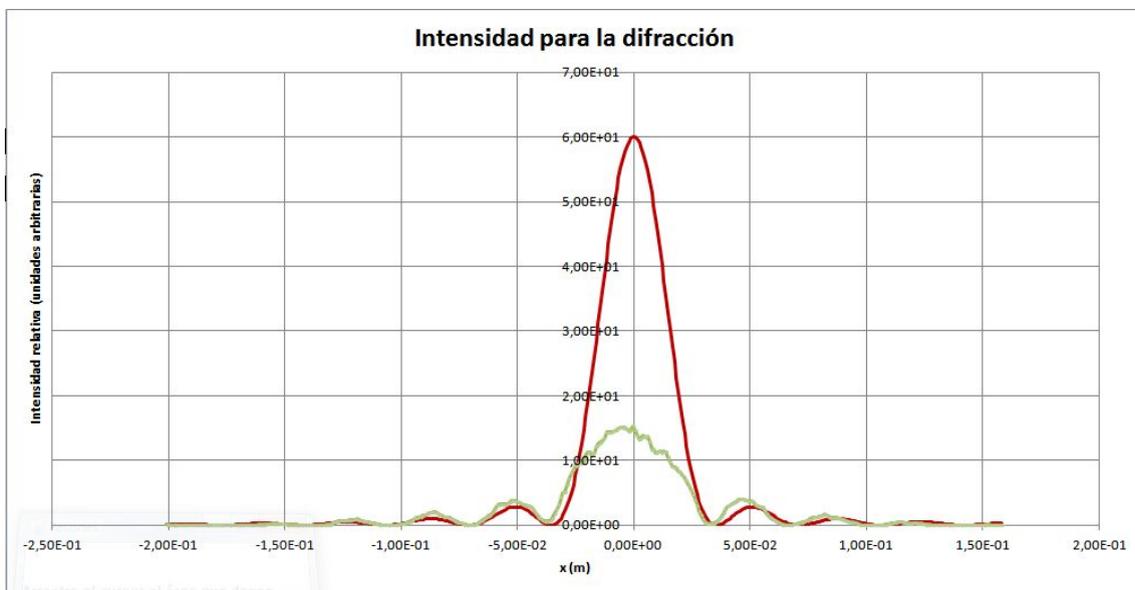


Difracción de luz monocromática

Para la difracción de este mismo láser obtuvimos el siguiente resultado:



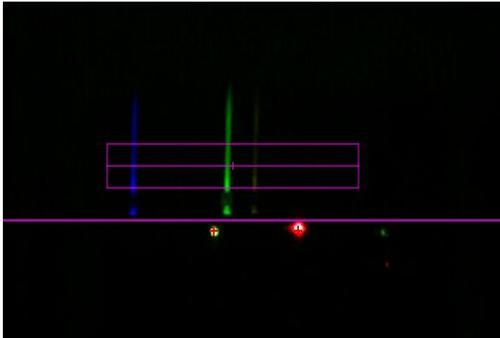
Si comparamos el diagrama de intensidades relativas obtenidas en la práctica con los valores esperados obtenemos:



Nuevamente podemos observar que, si bien los máximos y mínimos de difracción aparecen en las posiciones predichas teóricamente, la intensidad relativa del máximo central se encuentra bastante lejos del valor esperado.

Espectro de emisión del Mercurio:

En las figuras siguientes podemos ver la imagen del espectro del tubo de descarga del mercurio y la gráfica obtenida de distribución de intensidades relativas según la longitud de onda.



El espectro de emisión obtenido muestra tres bandas de color añil, verde y amarillo.

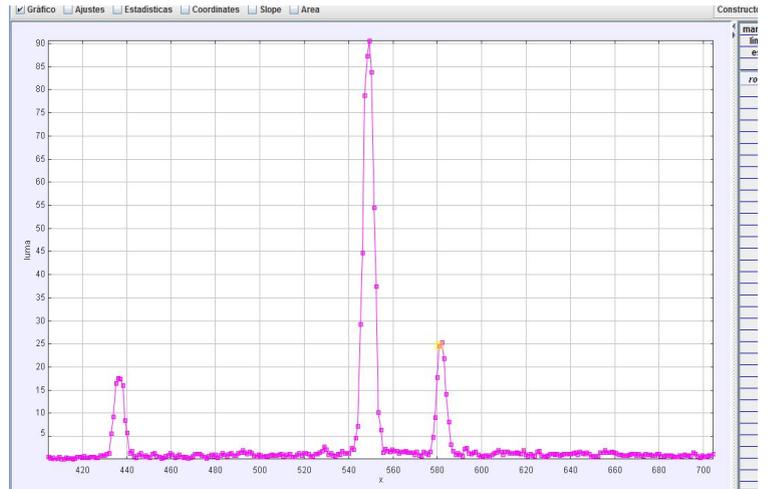
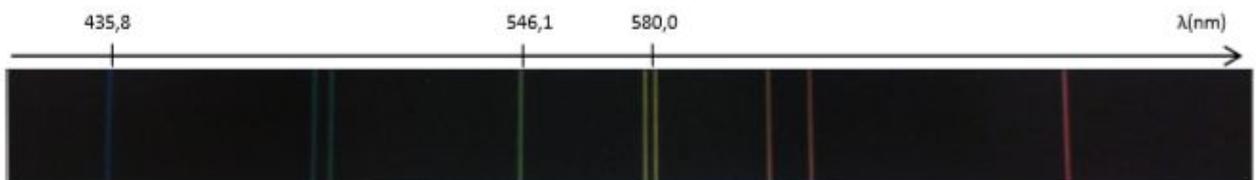


Gráfico de intensidad relativa en función de la longitud de onda. Los picos aparecen en 435,1 nm, 549,3 nm y 581,0 nm, en las regiones añil, verde y amarillo respectivamente.

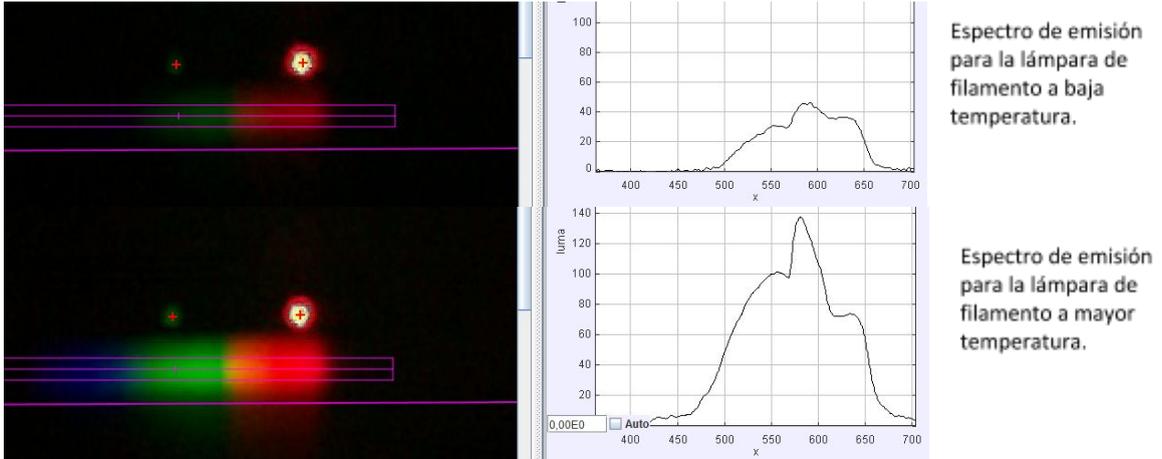
De acuerdo a la bibliografía consultada, el espectro completo del mercurio en el rango visible es:



- Imagen de espectro del mercurio, extraída de "Física para ciencias e ingeniería" Vol. II, Serway-Jewett, 6ª Ed.
- Se agregó la referencia de λ en la parte superior, tomando solamente las bandas que fueron visibles en nuestra experiencia.

Análisis del espectro continuo de una lámpara de filamento

Para la lámpara incandescente buscamos analizar el cambio en el espectro de emisión para diferentes temperaturas del filamento, obteniendo los siguientes resultados:

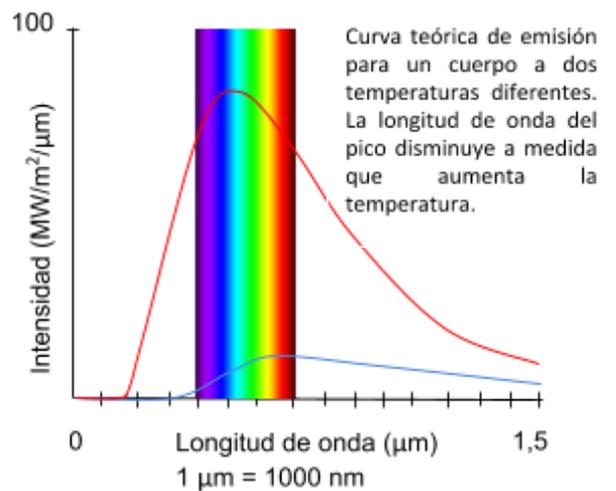


Podemos observar en las gráficas que ambas presentan un pico de intensidad relativa para la misma longitud de onda (aproximadamente 580 nm).

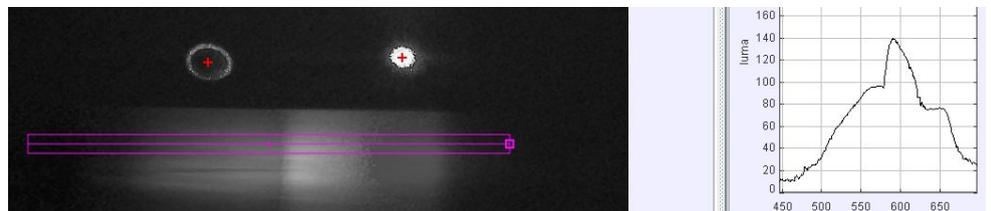
La ley del desplazamiento de Wien afirma que la longitud de onda a la cual se presenta la emisión más intensa es inversamente proporcional a la temperatura:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{2,898 \times 10^{-3} K.m}{T}$$

Sin embargo, nuestros resultados experimentales muestran que la longitud de onda a la cual se presenta la emisión más intensa no cambia con la temperatura, además, si aplicamos la ley de Wien la temperatura correspondiente a ese pico sería del orden de los 5000K (cerca a la temperatura del Sol, más del doble de la esperada para un filamento de tungsteno, incluso mayor que su punto de fusión de 3695 K).



En la bibliografía consultada se sugiere realizar la captura de la imagen en modo escala de grises. Sin embargo, poniendo en práctica dicha sugerencia, obtuvimos resultados similares.



Conclusiones:

A partir de las observaciones realizadas pudimos determinar que el método presentado resulta adecuado para analizar situaciones de interferencia y difracción de luces monocromáticas. Permitiendo incluso observar cualitativamente la distribución de intensidades para ambos fenómenos.

Para el espectro del mercurio, encontramos que el método utilizado permite obtener resultados para las longitudes de onda emitidas comparables a lo predicho por el modelo teórico.

Para el espectro de la lamparita de tungsteno, los resultados obtenidos no son consistentes con la teoría. Consideramos que el principal problema tiene que ver con la forma en la cual la cámara responde a cada longitud de onda. Los sensores CCD acentúan la percepción de las longitudes de onda correspondientes a los colores verdes-amarillos imitando la sensibilidad del ojo, lo que explicaría la persistencia del máximo de amplitudes para un entorno de longitudes de onda cercano a los 580 nm.

Apéndice I: *Inconvenientes presentes en el momento de capturar y analizar las imágenes.*

Todo proceso de medición viene acompañado de dificultades y limitantes vinculadas con el método, los instrumentos y los operadores que lo realizan. En este apéndice revisaremos algunas de estas dificultades.

A) El problema del foco

La cámara digital utilizada para la práctica no presenta la posibilidad de regular manualmente la distancia focal de su sistema de lentes, por este motivo, las imágenes capturadas son en general borrosas. Seguramente una cámara de mejor calidad permitiría captar imágenes más nítidas y por lo tanto medidas más fidedignas.

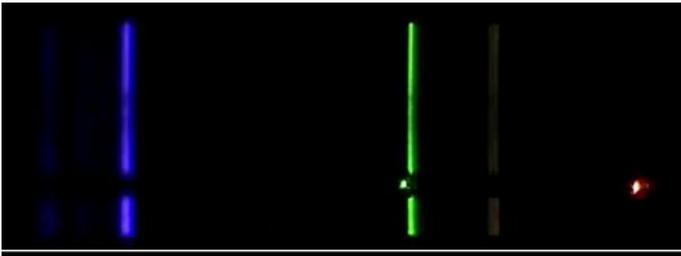


Imagen del espectro del mercurio obtenida con una cámara Sony DCR-TrV 25 de apertura manual. Tomado de http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/spectroscopy_videos.zip

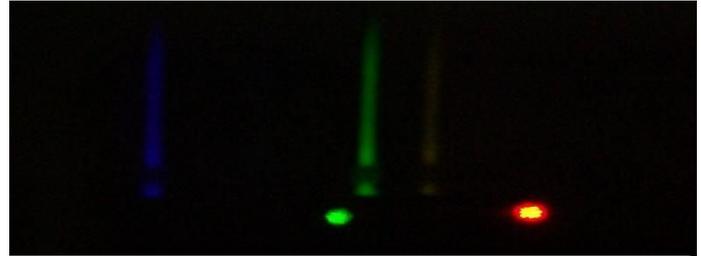
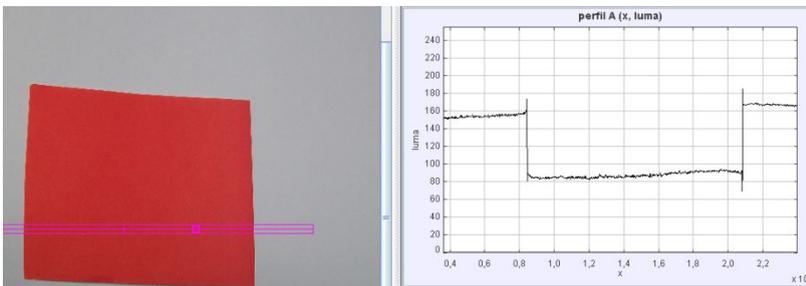


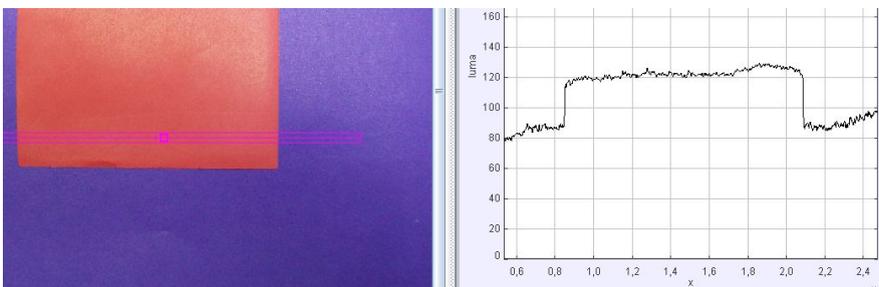
Imagen del espectro del mercurio obtenida con nuestra cámara digital.

B) El brillo captado por la cámara en un punto depende del entorno

La cámara digital utilizada realiza ajustes a la imagen para mejorarla estéticamente que atentan contra nuestras intenciones de utilizarla como aparato de medida. Para ejemplificar esto colocamos un trozo de papel glacé rojo sobre fondos diferentes obteniendo los siguientes resultados:



En la zona del papel rojo, el tracker capta una intensidad relativa de entre 80 y 90 luma.

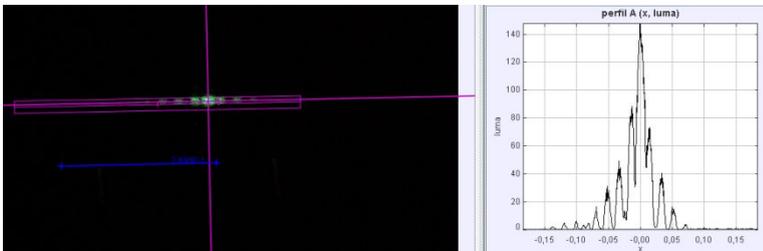


En este caso, le asigna un valor de aproximadamente 120 luma.

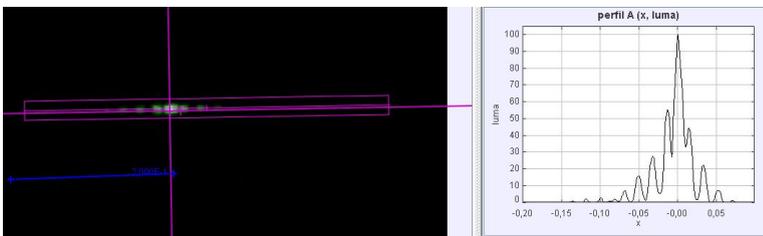
C) Las fotografías presentan “ruido”

Las fotografías digitales presentan en general distorsiones distribuidas aleatoriamente en toda la imagen.

Para solucionar este problema, utilizamos un filtro incluido en el programa Tracker que permite sumar o promediar cuadro a cuadro los brillos correspondientes a cada punto a lo largo de una secuencia de fotografías o un video. De esta manera disminuye el efecto del ruido como podemos apreciar en las siguientes imágenes.



Distribución de intensidades para un fotograma.



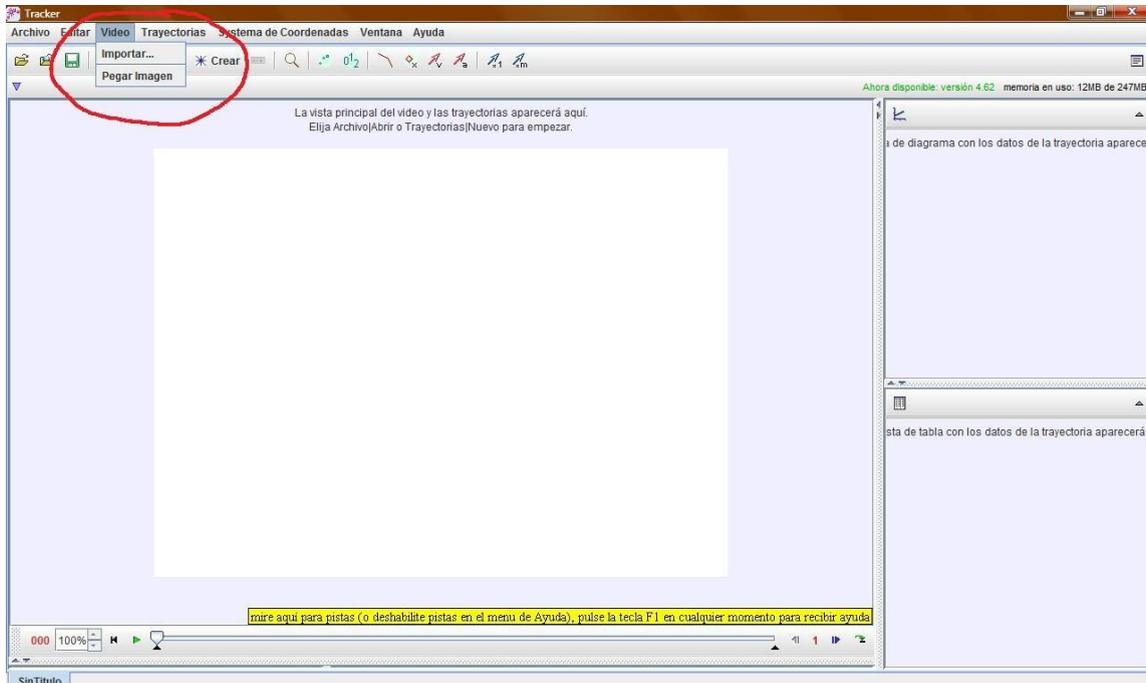
Distribución de intensidades para el promedio de 40 fotogramas realizado con el filtro SUM.

Apéndice II: Manejo del programa

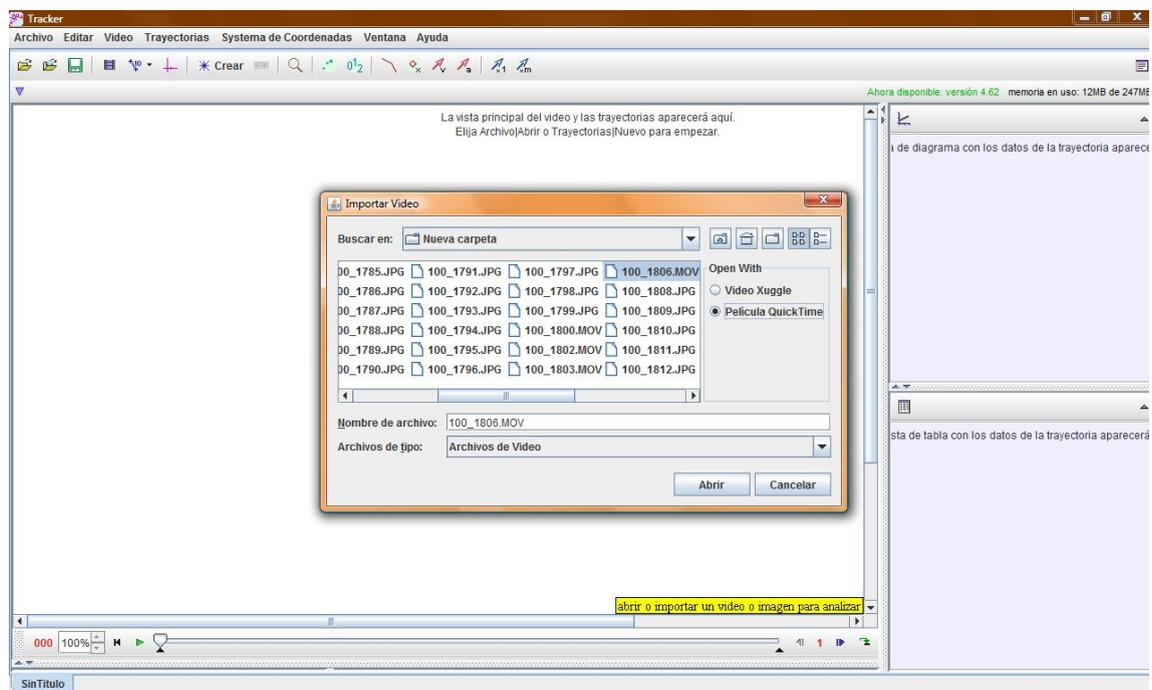
Espectros de emisión:

Ya abierto el programa lo primero que haremos es importar el video. Es importante que tanto el video o la foto que se vaya a usar esté en la misma carpeta en que guardaremos el análisis hecho con Tracker.

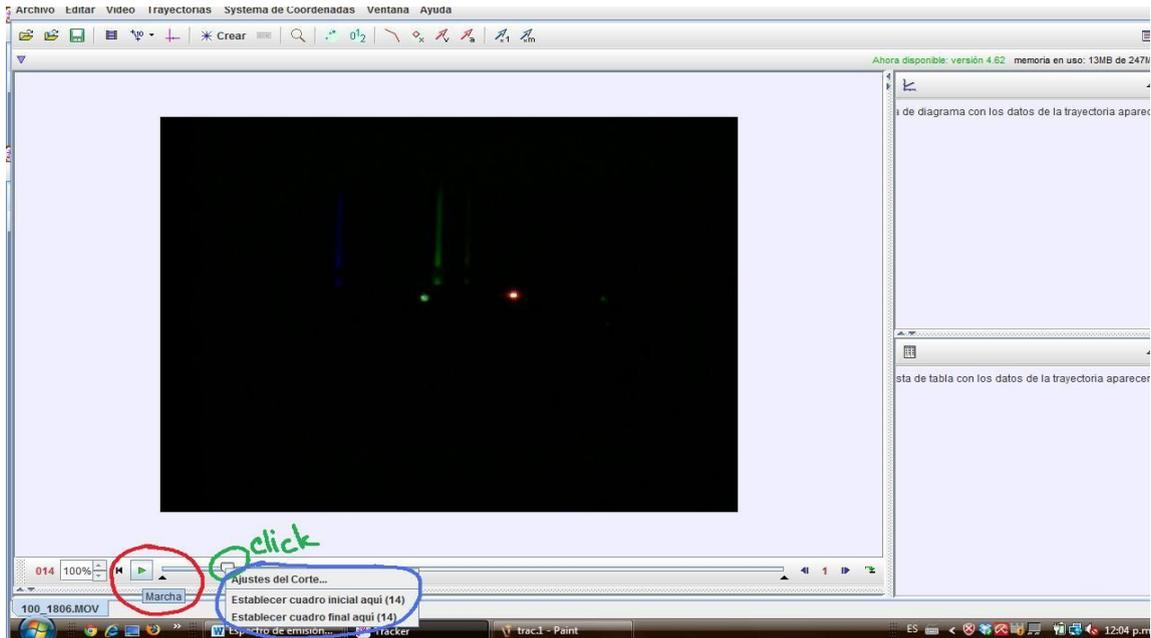
Hacemos click sobre video y allí elegimos importar.



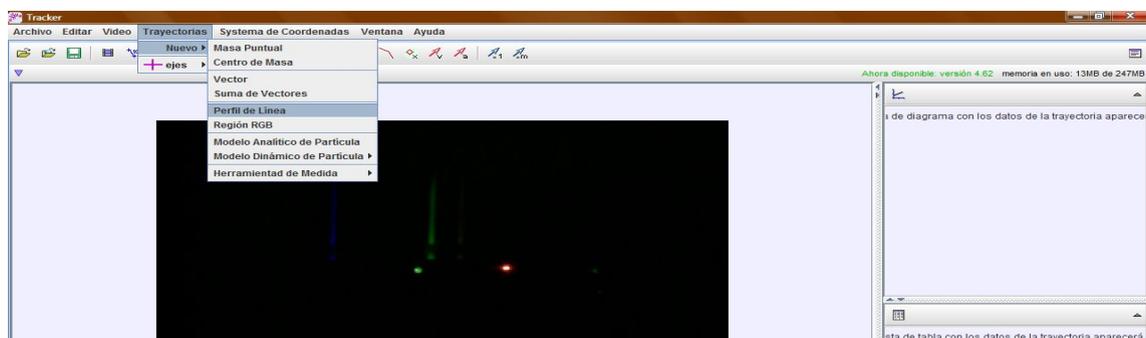
Se selecciona el archivo a analizar.



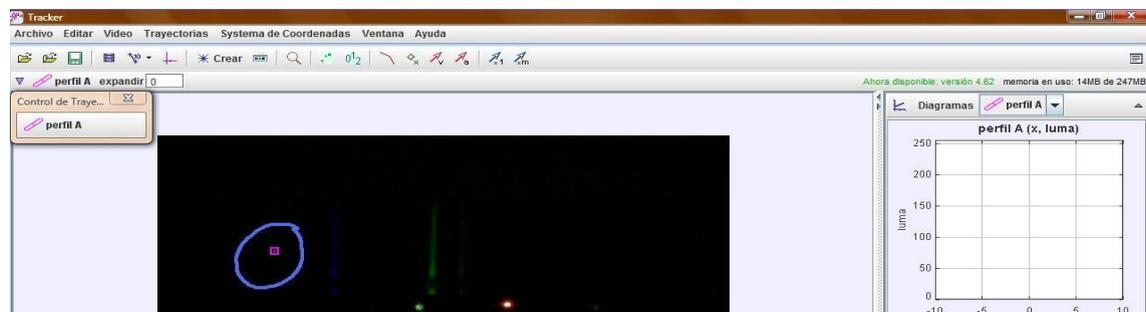
Con el botón “play” ponemos en marcha el video para seleccionar la sección que nos parezca más conveniente utilizar. La opción “Ajustes de corte” se obtiene clickeando sobre el cursor señalado con verde, desde allí podemos elegir exactamente el cuadro en que queremos comenzar con el análisis y también el cuadro final.



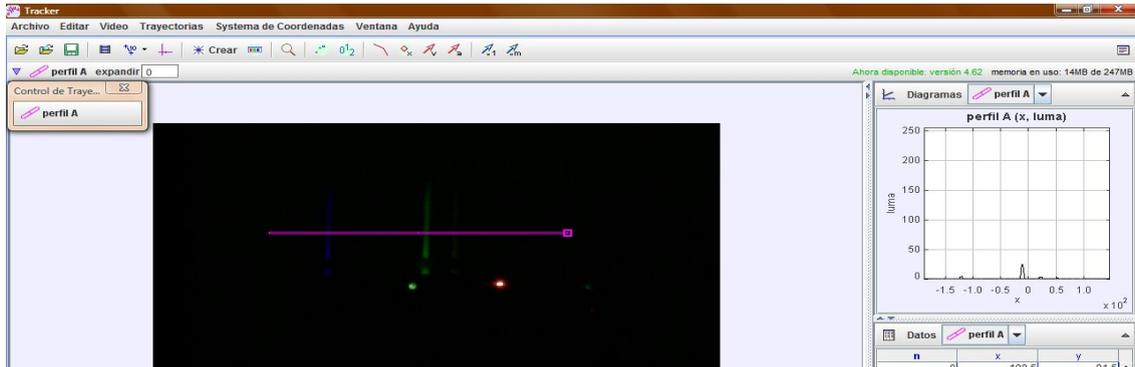
Hacemos click en “Trayectorias” → “Nuevo” → “Perfil de línea”



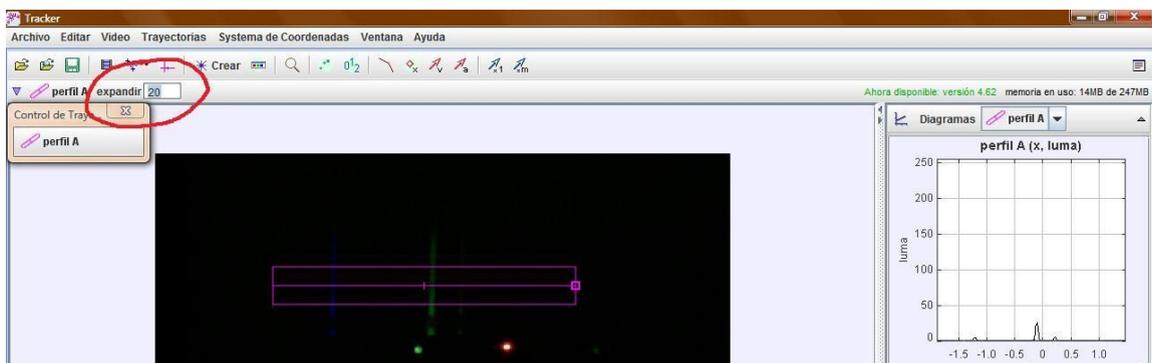
Aprecerá una “ventanita” de control de trayectoria del perfil A. Para obtener la herramienta que se muestra encerrada en el círculo celeste, debe apretarse simultáneamente la tecla SHIFT y el botón izquierdo del mouse.



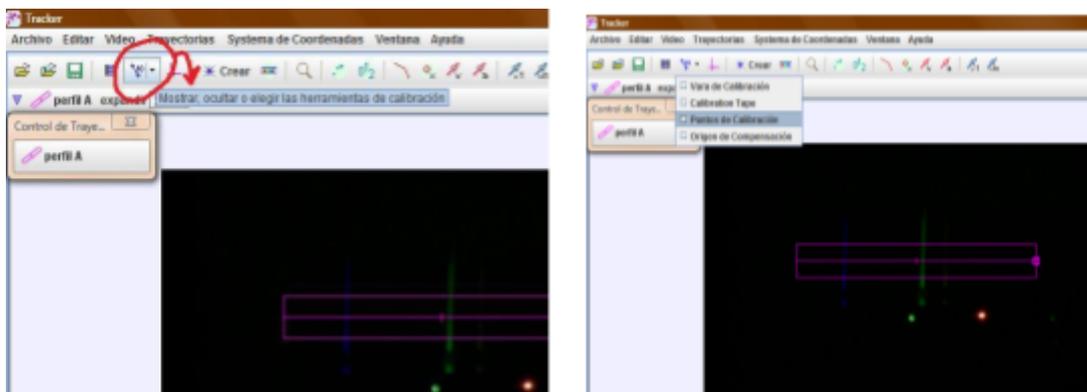
Nos posicionamos con el mouse sobre el cuadrado rosa y con botón izquierdo lo extendemos sobre la zona del espectro que deseamos analizar.



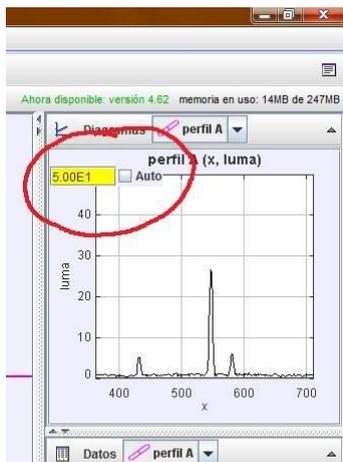
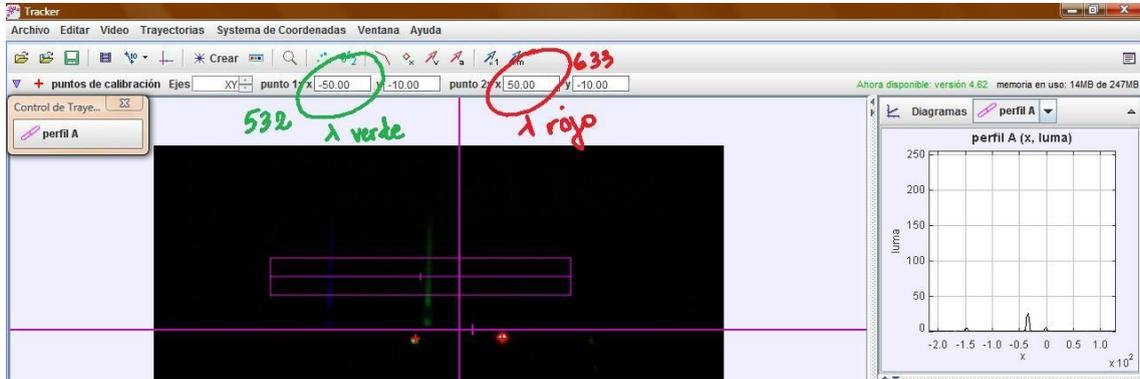
Para expandir el ancho del rectángulo que definirá la zona a analizar marcamos un valor en el espacio señalado en rojo en la figura de más abajo.



Para calibrar tomamos como referencia dos longitudes de onda conocidas, láser verde y láser rojo. Vamos al botón señalado con rojo que muestra las herramientas de calibración. Dentro de las opciones que nos muestra elegimos "Puntos de calibración".

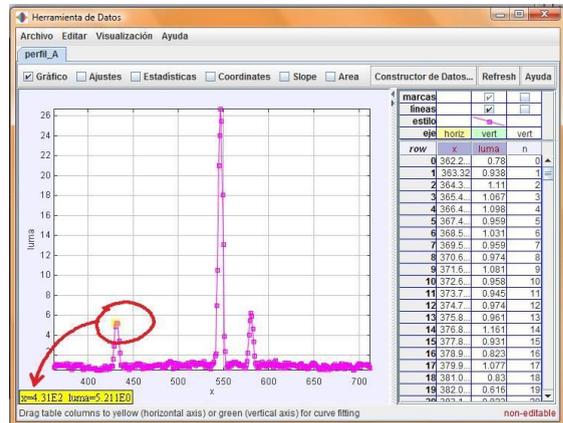


Luego de ubicar las cruces sobre los puntos de calibración, escribimos en las coordenadas "x" de cada punto la longitud de onda que corresponde a cada color. De esta manera en el gráfico de la derecha podremos ubicar la longitud de onda de cada franja.



Si queremos ajustar la escala en la gráfica basta pararse con el puntero sobre el eje y aparece un cuadro como el que se señala donde establecemos el alcance de la escala.

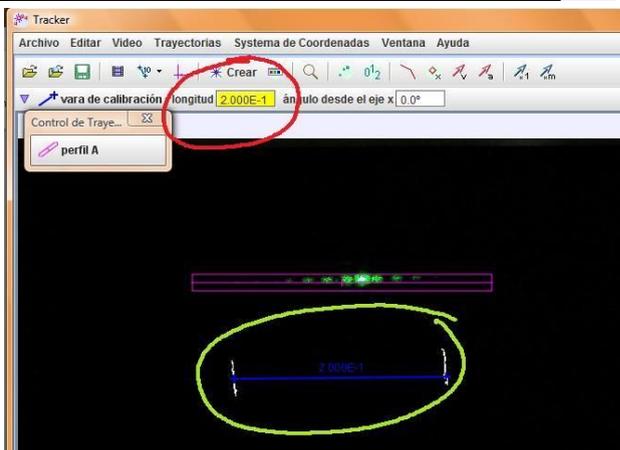
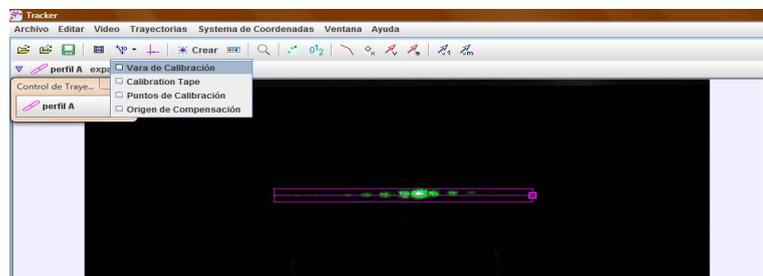
Haciendo doble click sobre la gráfica se abre una ventana "Herramienta de Datos" con una muestra más detallada de ella. Aquí podemos determinar la longitud de onda de cada pico oprimiendo el botón izquierdo del mouse sobre él.



Interferencia y difracción:

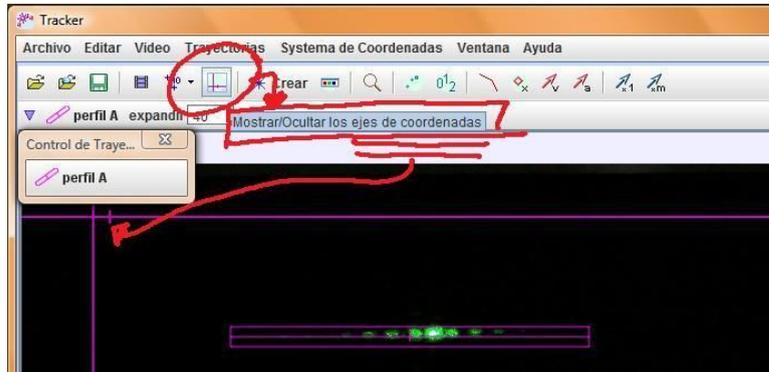
Los primeros pasos son de la misma manera que para los espectros, es decir: "Video" → "Importar" → elegir foto o video; "Trayectoria" → "Nuevo" → "Perfil de línea"; tecla SHIFT + botón izquierdo del mouse, estirar el cuadrado hacia la derecha sobre la zona a analizar, escribir un número adecuado en el cuadro "expandir".

Las diferencias serán a partir de clicar sobre el botón de herramientas de calibración. De las opciones que este botón despliega elegiremos "Vara de calibración". Se estiran los extremos de la vara de calibración entre las marcas establecidas en

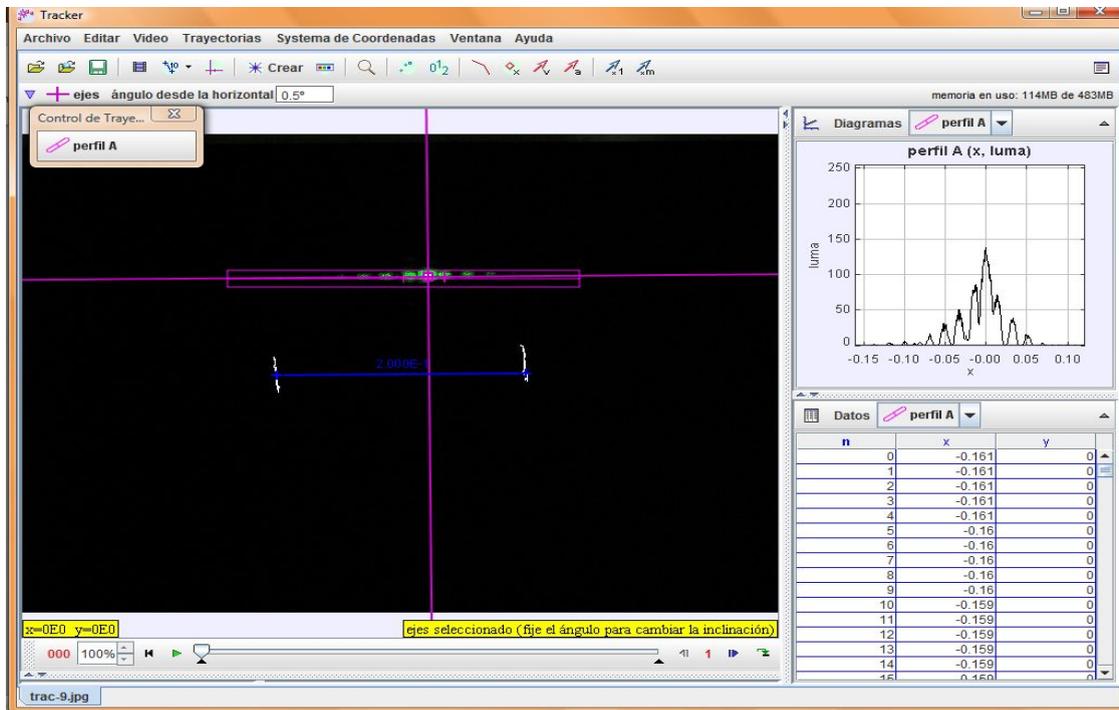


la pantalla sobre la que se proyecta la interferencia (señalado en amarillo), y se especifica la longitud entre dichas marcas en el recuadro "longitud" encerrado en rojo.

También colocaremos los ejes para definir el cero y así medir la distancia entre máximos. Para esto haremos click en el botón encerrado en rojo y aparecerán los ejes.



Centramos los ejes en el máximo central y podemos ver en el gráfico de la derecha que este queda justamente en cero. A partir de este gráfico justamente podemos determinar la distancia entre los picos.



Bibliografía consultada:*Libros:*

- 1-Física para ciencias e ingenierías. Serway – Jewett 6ª ed. Thomson.
- 2-Física cuántica. Eisberg – Resnick. 12ª ed. Limusa.

Sitios web:

- 3-Applet <http://phet.colorado.edu/en/simulation/blackbody-spectrum> Consultado el 7/3/2012.
- 4-http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/AAPT_spectroscopy_poster.pdf Consultado el 9/2/2012.
- 5-Tracker - Video Analysis and Modeling Tool. Software libre. Licencia: [GNU, General Public Licence, Version 3](#)

Imágenes:

- Las imágenes son: capturas de pantalla del programa Tracker, editadas por los autores, fotos tomadas por los autores o realizadas en el programa de edición de imágenes Gimp con [Licencia Pública General de GNU](#).
- [Spectrevertical2.png](#). Autor: De Megodenas modificado por H'arnet. Licencia: [CC BY-SA 3.0](#), <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6014130>

Este trabajo está bajo la licencia:



[Atribución-CompartirIgual CC BY-SA 4.0](#)