

Espectroscopía láser y Efecto Zeeman

Grupo 3

Santiago Perez, Santiago Rodriguez, Felipe Murchison

Marzo de 2019

Resumen

La idea general de la práctica es lograr armar un lazo de control PID (Proportional, Integral, Differential) para setear la frecuencia a la cual emite un láser VCSEL. Para eso, se usa el efecto Zeeman para generar una señal DAVS (a fines prácticos, es una resta entre dos señales obtenidas con el osciloscopio) y buscar la frecuencia para la cual la señal es cero. La aplicación de un campo magnético externo a la muestra de rubidio *desdobla* los niveles de energía de absorción de este simétricamente respecto a su valor sin campo (efecto Zeeman), por lo que el cero de la señal DAVS se corresponde con el valor de frecuencia de absorción sin campo. La señal DAVS se obtiene haciendo un barrido en frecuencias con el láser mediante una modulación triangular de la corriente, logrando obtener los espectros de absorción para ambas polarizaciones del láser (todo esto se explica mejor después). Una vez obtenida la señal DAVS en todo el rango de frecuencias barrido, se alimenta al láser con una corriente y temperatura fija y se mide el valor de la DAVS correspondiente; mediante la comparación de este valor con el cero encontrado en la señal completa, debería ser posible armar el lazo de control, que regulará la temperatura de láser únicamente (no nos metemos con la variación de la corriente porque el láser es demasiado sensible ante pequeños cambios de esta). No llegamos a hacer el lazo por varios problemas con la comunicación entre la computadora y la fuente. Perdimos bastante tiempo también con la comunicación con el osciloscopio, pero creemos que ya está resuelto (ver abajo).

1. Día 1 - 19/03/2019

El experimento se centra en utilizar espectroscopia láser de una muestra de vapor de Rubidio (Rb) para estabilizar la frecuencia de un láser VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser). Para lograr dicho objetivo, se necesita dominar la técnica espectroscópica y conocer las características fundamentales de un láser VCSEL. Es por ello que lo primero que hicimos fue *estudiar la teoría detrás del experimento, el instrumental involucrado y cómo utilizarlo*, lo que incluye:

- Espectro de absorción^[1]: al iluminar una muestra gaseosa con una fuente de cierta longitud de onda, este puede absorber la energía lumínica ($h\nu$ por cada fotón absorbido), disminuyendo la intensidad de la luz al atravesar esta. Esto ocurre solo para ciertas longitudes de onda que dependen puramente del elemento. A la relación intensidad de salida-longitud de onda se la llama espectro de absorción; este muestra campanas de intensidad alrededor de las frecuencias de absorción (fijas) del elemento en cuestión.
- Efecto Zeeman^[2]: división de niveles energéticos atómicos de distinto spin al atravesar una región con campo magnético constante. Esto nos permitirá observar un desdoblamiento de las campanas de absorción (ver fig. 1) de nuestra muestra, y a partir de estas señales podremos *lockear* frecuencias particulares (las de absorción) y estabilizar la frecuencia de emisión de nuestro láser.
- Láser VCSEL^[3]: su frecuencia depende de la corriente de alimentación y su temperatura. El modelo utilizado fue Vixar 795nm *Narrow λ tolerance Single-Mode VCSEL*. Cabe destacar que su rango de frecuencias pertenece al infrarrojo, lo cual es esencial para poder ver transiciones del Rb, ya que sus frecuencias de absorción están en dicho rango^[4] ^[5].
- ThorLabs ITC4001^[6]: permite controlar la corriente y temperatura de alimentación del láser, determinando su frecuencia de emisión. Hay que ver cómo es la dependencia de la frecuencia con ambos parámetros.
- Equipo de espectroscopía^[7]: modelo SKDAV de Thorlabs. Cuenta con 1 polarizador lineal, 1 celda con vapor de Rb, 2 placas con imanes, 1 lámina de $\frac{\lambda}{4}$ junto a 1 prisma de Wollaston inteC en un único elemento (como resultado, divide haz polarizado linealmente en dos partes, una con polarización circular a izquierda y otra a derecha), 2 espejos y 1 fotodiodo con 3 outputs (canal 1, canal 2 y su resta).

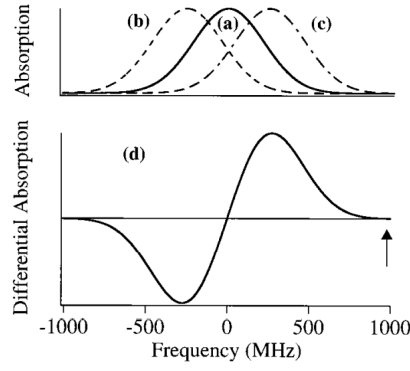


Figura 1: Esquema teórico del efecto Zeeman: bajo el efecto del campo magnético, esperamos ver campanas de absorción corridas simétricamente a un lado y otro ((b) y (c)) de la campana de absorción medida sin campo (a). En la parte inferior se muestra la resta de las campanas (b) y (c).

El paper de Corwin^[8] et. al propone la configuración experimental que se muestra en la fig. 2; sin embargo, leyendo cuadernos de laboratorios anteriores (y considerando los elementos disponibles en el labo), utilizamos la configuración mostrada en fig. 3. Para la alineación, se buscó primero atornillar los elementos en la misma línea de la mesa óptica. Luego, con el láser encendido, la muestra de vapor de rubidio y los imanes colocados a un lado y otro de la muestra, se corrigió angularmente los distintos elementos de modo que el láser los atravesara; esto se hizo con la ayuda de un tarjeta detectora y la cámara del celular (que detectaba en rojo la frecuencia al a que emitía el láser), ya que la frecuencia del láser corresponde al infrarrojo. Una vez logrado esto, se manipuló el polarizador lineal para maximizar la intensidad de señal a la salida. Se acomodó la lámina de cuarto de onda de modo que el prisma de Wollaston separara las polarizaciones de la luz incidente en señales de igual intensidad. Para lograr esto, se acomodó los espejos a la salida del prisma de modo que las polarizaciones distintas incidieran una en cada espejo, y luego cada una en uno de los fotodiodos conectados al osciloscopio (es fundamental buscar que incidan de manera tal que se observe máxima intensidad en el osciloscopio para que se pueda asegurar luego que ambas polarizaciones poseen misma intensidad); una vez logrado esto, sí se modificó la lamina de cuarto de onda, modificando su ángulo acorde a la respuesta medida en el osciloscopio.

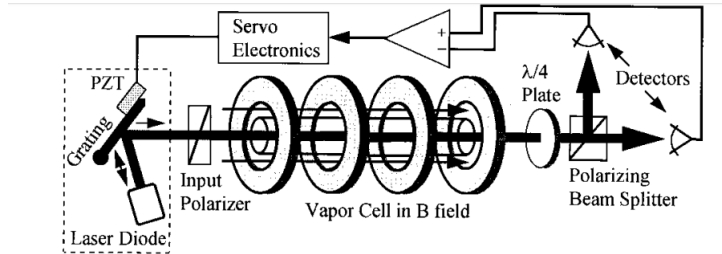
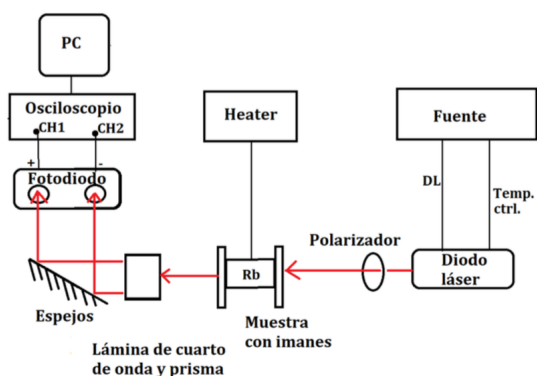
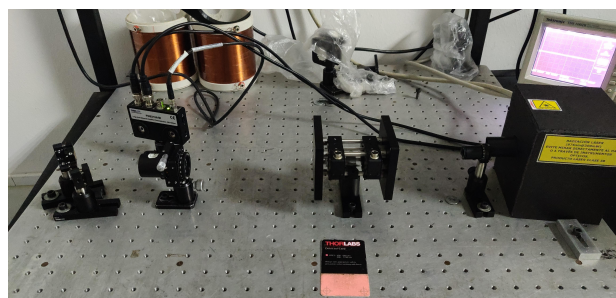


Figura 2: Esquema experimental sugerido por el paper de Corwin et. al. Así podría armarse un lazo de control para la frecuencia del láser.



(a) esquema



(b) real

Figura 3: Esquema experimental propuesto por otros grupos de labo; hoy nos vamos a enfocar en lograr alinear el sistema óptico y medir algo que tenga sentido con el osciloscopio. La figura (a) corresponde a la idea teórica de cómo deber ser el armado, mientras que (b) es una foto de cómo pudimos armarlo en el labo.

Para la adquisición de datos, decidimos trabajar en Python. La comunicación con el osciloscopio falló durante toda la jornada, por lo que no fue posible grabar ninguna de las mediciones hechas con este instrumento. El error era del tipo 'no se puede convertir *string* a *float*' y provenía del archivo 'instrumentos.py', línea 'xze, xin, yze, ymu, yoff = self.osci.queryasciivalues('WFMPRE:XZE?;XIN?;YZE?;YMU?;YOFF?;', separator=';')' (a grupos futuros, en caso de tener este problema, la solución está en el día 3, lo que sigue es solo un relato de lo que intentamos para solucionarlo). Este comando sirve para pedir las escalas y offsets horizontales y verticales del osciloscopio, además de un punto de referencia en x, según lo indicado en el código en líneas previas. Sin éxito, para solucionar este problema se verificó que la computadora posea los drivers necesarios, se modificó la línea problemática (variando su sintaxis y cambiando el separador), se desinstaló el módulo visa y se instaló pyvisa y se actualizó visa. Al hacer esto último, dejó de funcionar la función ResourceManager(), que permite identificar alias y status de instrumentos conectados a la PC. Bajo las mismas condiciones, esta función no presentaba problemas en otras PC, lo que nos pareció consistente con que el problema estaba en la computadora con la que se pretendía adquirir los datos.

Sin embargo, fue posible alinear correctamente el sistema experimental y ver los efectos de absorción y efecto Zeeman con el osciloscopio (ver fig. 4), viendo los pozos de intensidad a la salida en ambos canales (uno para cada haz de luz saliente del prisma de Wollaston), tanto en el caso con campo magnético sobre la muestra como sin. En el caso afectado por un campo magnético, también se pudo ver los desplazamientos de las frecuencias de absorción en sentidos opuestos, observado mediante la señal "resta" entre los canales del osciloscopio.

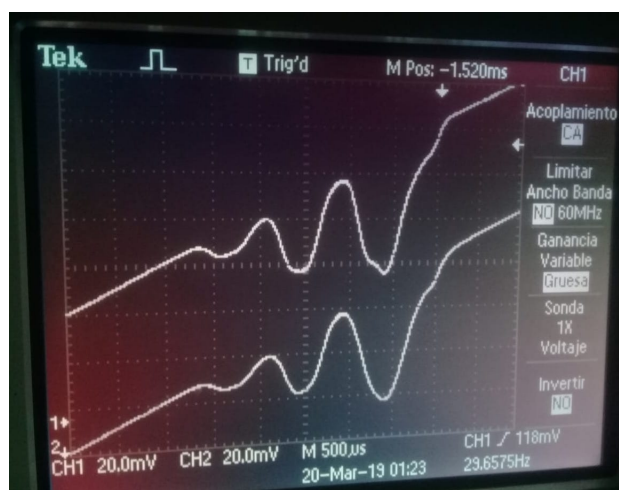


Figura 4: Pantalla de lo medido con el osciloscopio en ambos canales sin campo. Pueden verse los pozos de absorción del rubidio, el experimento funciona!

Cabe decir que el láser VCSEL se alimentó con una fuente ThorLabs ITC4001, que permite controlar la corriente y temperatura de este, así como modularlas. Se utilizó valores PID especificados en laboratorios anteriores (ver Día 2): $P=10$, $I=0.5$, $D=50$ y $O=20$. Además, para estudiar el espectro de absorción del rubidio, se moduló triangularmente la corriente, de modo tal que las frecuencias de absorción del Rubidio quedaran en el centro

de las frecuencias barridas por la modulación; es decir, se buscó una temperatura de alimentación fija tal que la modulación triangular permitiera observar los pozos de absorción en el osciloscopio lejos de los picos de la señal moduladora (básicamente, quiere decir que el espectro está centrado en el rango barrido).

2. Dia 2 - 26/03/2019

El objetivo de este día es tomar mediciones para caracterizar la frecuencia de emisión del láser sin campo magnético y el espectro de absorción del Rb.

En esta oportunidad, la computadora funcionaba adecuadamente (el por qué se explica en el día 3).

Se comenzó por caracterizar la frecuencia de emisión del láser sin la muestra, de forma directa con un espectrómetro CCS200. Este dispositivo consiste en una fibra óptica que recibe la señal del láser y la envía a una red de difracción que separa las distintas longitudes de onda enviándolas a distintos fotodetectores. Estas señales son después adquiridas por desde la computadora con el software Thorlabs OSA (Optical Spectrum Analyzers). Este grafica en tiempo real (con la función Repeat”) intensidad vs longitud de onda, observándose un máximo en la frecuencia de emisión. Recordemos que los parámetros que determinan la frecuencia son corriente y temperatura del láser. Primero se fijó la temperatura, midiéndose la longitud de onda en función de la corriente.

Al efectuar la medición, se observó que la intensidad del láser saturaba al espectrómetro, por lo cual se reguló la intensidad colocando un polarizador entre medio, como lo indica el esquema de la fig. ???. Luego, se tomaron datos de la longitud de onda en función de distintos valores de la corriente. Estos valores se pueden observar en la tabla ???.

Corriente (A)	Longitud de onda (nm)
0,0007±0,0001	796,16±0,01
0,0008±0,0001	796,16±0,01
0,0010±0,0001	795,93±0,01
0,0015±0,0001	796,16±0,01
0,0017±0,0001	795,93±0,01

Analizando los datos de la tabla ???, se concluyó que la resolución del espectrómetro era mucho menor que la de las variaciones de la longitud de onda. Es decir, medir con el espectrómetro no sirve para observar cambios de la longitud de onda de emisión del láser debido a variaciones de la corriente. A pesar de esto se pudo obtener un valor de referencia para la longitud de emisión del láser de $\lambda = 795,0 \pm 0,2nm$.

Luego, se procedió a caracterizar el patrón de absorción de la muestra de rubidio. Se colocó la muestra sobre la mesa óptica y se alinearon nuevamente todos los dispositivos. Cuando se pretendió observar el voltaje en función del tiempo en la pantalla del osciloscopio se observó que nuestra señal de salida era modulada por una fluctuación de alrededor de unos 100Hz. Al ser un múltiplo de 50Hz, se conjeturó que estas fluctuaciones se debían a los tubos de luz. Efectivamente, al medir con la luz apagada, la señal molesta desapareció.

Una vez que se eliminó el ruido se vio la absorción en uno de los picos de la señal triangular del láser. Esto quería decir que estábamos emitiendo con el láser lejos de la frecuencia de absorción de la muestra. Para centrar la señal, se varió la temperatura (fijando la corriente) desde los 24C hasta los 22,5C. Esta variación se realizó tomando datos cada 0,5C. Se frenó el barrido a los 22,5C porque ahí la señal quedaba justo en la mitad de uno de los flanco de la señal triangular. Una vez centrado el patrón de absorción, se le hizo zoom y se tomaron datos de cada campana. La primera cosa que hay que notar de este patrón es que hay 4 campanas de las cuales dos tienen mas intensidad (ver fig. 5). Esto se debe a que dentro de la muestra se encontraban dos isótopos de rubidio 85 y 87. Las campanas con mayor intensidad indica el isótopo con mayor concentración dentro de la muestra.

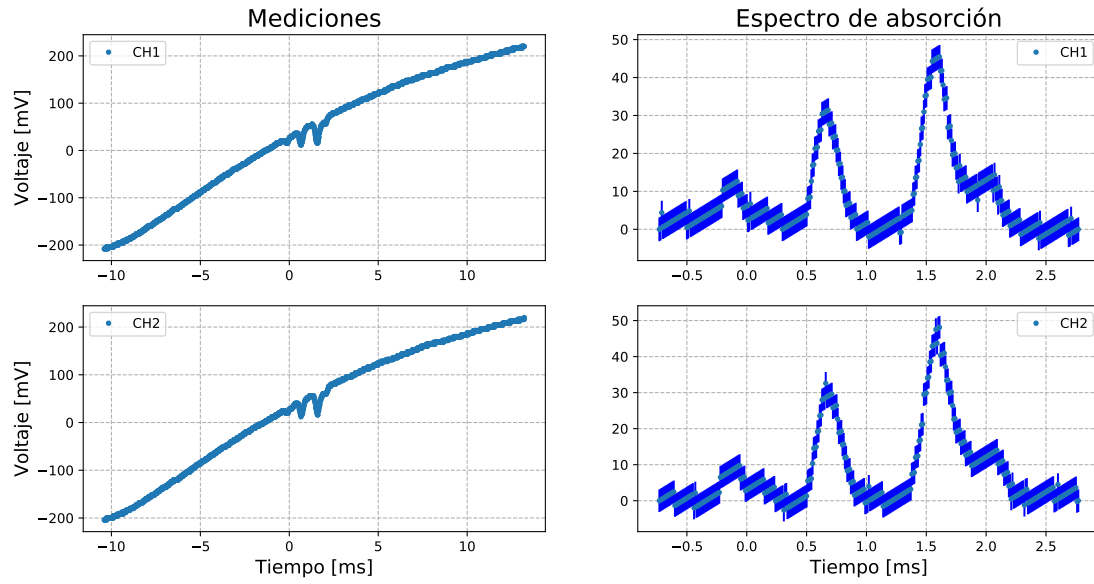


Figura 5: Gráficos de voltaje en función del tiempo a 23,5C. A izquierda se muestran las mediciones sin procesamiento de ambos canales y a derecha la resta entre la señal directa y la modulación.

El ancho de cada campana tiene que ver con el ancho Doppler que se debe a la velocidad de agitación de los átomos del gas. Para observar el ensanchamiento de las campanas de absorción se varió la temperatura de la muestra manteniendo el láser a 22,5C. Se conectó un calentador al soporte de la muestra (Thorlabs Temperature Controller TC200 ^[9]) y se lo programó para llevar al Rb a unos 30 C. Se observó que el proceso llevaba mucho tiempo así que se modificaron los valor PID del dispositivo. El PID (Proportional, Integrative, Diferential) es un tipo de lazo de control que permite manipular cierta variable de un sistema (en nuestro caso, la temperatura). El parámetro P modifica la variable de manera proporcional a la diferencia entre la el valor deseado y el del sistema. El parámetro D modifica la variable en base a la velocidad con la cual esta se acerca o se aleja de valor deseado y el parámetro I lo hace con respecto a la integral de la diferencia entre ambos valores. Como el controlador del laboratorio solamente puede calentar la fuente, se tuvo cuidado de ajustar el PID de manera tal que caliente a la muestra mas rápido pero que no se pase del valor deseado. De esta forma se tomaron datos para 30C, 40C y 45C (la máxima temperatura a la que puede llegar la muestra es de 80C) (ver fig. ??). Se cambió solamente el parámetro D: en la subida de 30C a 40C por $D = 30$ y en la de 40C a 45C por $D = 40$.

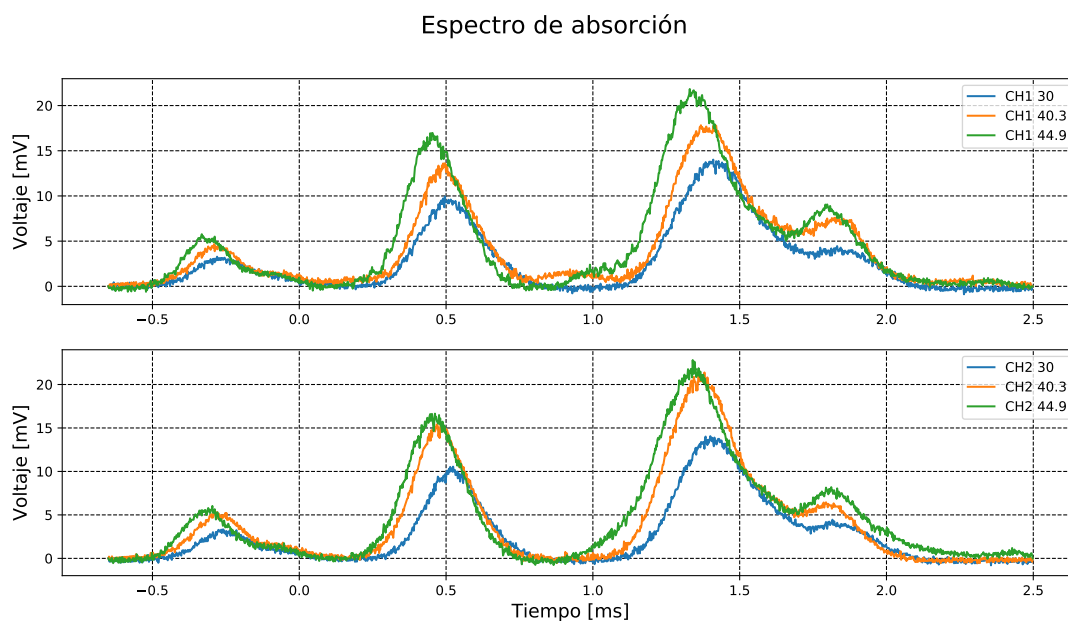


Figura 6: Mediciones de voltaje en función del tiempo de ambos canales para distintas temperaturas del Rb. Como puede notarse, hay un corrimiento de los picos hacia la izquierda.

3. Día 3 - 2/04/2019

El objetivo de este día es volver a tomar ciertos datos y caracterizar el espectro de absorción aplicando un campo magnético (Efecto Zeeman)

Luego de haber analizado los datos tomados el día 2, se decidió volver a realizar las mediciones con una mayor resolución promediando sobre un mayor numero de muestras (observación: si se quieren comparar viejas y nuevas mediciones, en el ITC4001 se deben usar los mismos valores de current setpoint y depth. Al no tener en cuenta esto, no pudimos hacer dicha comparación).

Comenzamos alineando los aparatos. Es importante chequear esto cada día porque todo el sistema es bastante sensible; por ejemplo, el apoyarse sobre la mesa óptica modifica la señal medida. Luego, al querer adquirir datos con el osciloscopio volvió a fallar la conexión con la computadora presentándose el mismo error del día 1. Después de varios intentos por corregirlo, nos dimos cuenta (con la ayuda de Fer, el ayudante) de que había que cambiar la configuración del osciloscopio en cuanto a que aparato se conectaba, indicándole que estaba conectado a una computadora. Esto puede modificarse entrando en Utility-Options-Rear USB port-computer^[10]. El problema subyacía en que estaba seteado en impresora.

Una vez que se estableció la conexión de la computadora con el osciloscopio, se realizaron las mediciones. El sistema se desalineó nuevamente, nos dimos cuenta de esto porque se obtenía una señal de amplitud comparable con el ruido en el osciloscopio. Después de alinear todo, volvimos a hacer el barrido de temperaturas del día 2, esta vez con el promediado en 16. Además, se realizaron las mismas mediciones con campo magnético. De este último set de mediciones, se extrajeron señales de diferencia (DAVS), como las de la fig. 7.

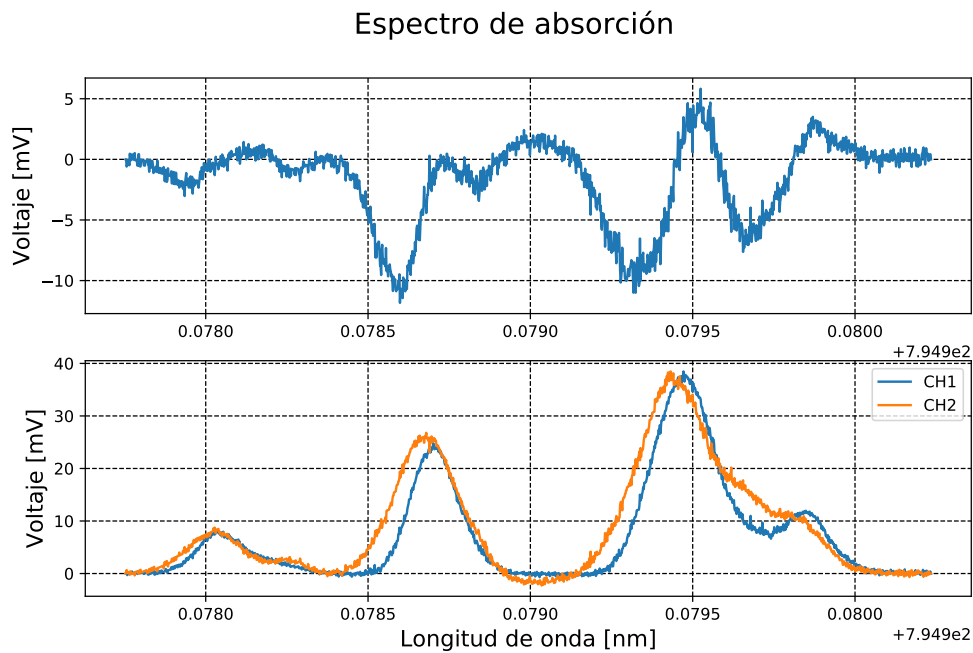


Figura 7: Arriba, la señal DAVS obtenida a partir de los canales 1 y 2 (abajo).

4. Día 4 - 16/04/2019

El objetivo de este día fue realizar un lazo de control PID realimentando la señal del láser VCSEL para estabilizar su frecuencia de emisión. ¿cómo se comunica el ITC4001 con la computadora? Hace falta el mismo cable que para un osciloscopio y el código asociado al ICT4001.

La mayor parte del día se dedicó a hallar $\lambda_{laser}(T)$ a I fija, lo cual es de suma importancia para el lazo de control, ya que nos indica como variar la temperatura del láser para estabilizar su frecuencia/longitud de onda (hacer esto antes de ir a clase para aprovechar más el tiempo en el labo! Nosotros nos). Finalizada esta etapa, se buscó el código de comunicación con el ITC4001. Este no se encontraba en el PC del labo, por lo que nos lo compartió Fer, el ayudante. El código requería de 'instruments.py', que NO es el mismo del GitHub de Grecco y tampoco estaba en la PC, así que también nos lo dió Fer. Dentro de este nuevo archivo se llamaba a un paquete 'tools' (instalamos el de Python y no era) que no se encontraba en ningún lado así que analizamos su rol en el código y eliminamos las líneas que lo llamaban. Este módulo se activaba en ciertos *if* que si el programa entra en ellos puede tirar error. Quizás, si se utiliza ese mismo código para guardar las tiras de datos se tiene que poner todo en un 'np.array' en vez de usar el comando *save* del aparato. Al ejecutar el programa, faltaban instalar ciertos módulos, como PyUSB, el cual fue instalado. Finalmente, un mensaje de error indicaba la falta de una librería del estilo libusb 0.1, libusb 1.0, libusbx, libusb-win32 u OpenUSB. Intentamos instalar al menos una de ellas, pero el pip install no las encontraba. Descargarlas e instalarlas desde internet requiere de autorización de un administrador. La solicitamos a Ale, el pañolero, pero no nos la dió.

5. Bibliografía

- [1] R. Eisberg, *Fundamentos de la Física Moderna*, p. 117-120
- [2] D. Griffiths, *Introduction to Quantum Mechanics*, p. 244-246
- [3] <http://vixarinc.com/wp-content/uploads/2017/06/795S-0000-x006-edited.pdf>
- [4] D. A. Steck, *Rubidium 85 D Line Data*, p. 17
- [5] D. A. Steck, *Rubidium 87 D Line Data*, p. 17
- [6] <https://www.thorlabs.com/drawings/a8cb8e1a1d8623b0-91E2B59E-FC0E-C8A8-A12BE976E690ACC9/ITC4001-Manual.pdf>
- [7] <http://materias.df.uba.ar/l5a2018c1/files/2018/02/SKDAVM-Manual.pdf>
- [8] Corwin et. al. *Frequency-stabilized diode laser with the Zeeman shift in an atomic vapor*, 1998
- [9] <https://www.thorlabs.com/drawings/a8cb8e1a1d8623b0-91E2B59E-FC0E-C8A8-A12BE976E690ACC9/TC200-Manual.pdf>
- [10] Manual de la serie tektronix TBS1000B, p. 107