

# MANUAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL CIRCUITO DE ANCLADO ANALÓGICO PARA EXPERIMENTOS DE DOS FOTONES EN RUBIDIO

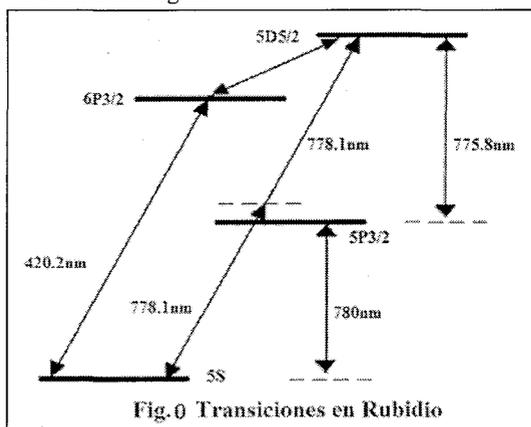
Miguel Angel Bastarrachea Magnani. *Facultad de Ciencias, UNAM*

José Ignacio Jiménez Mier y Terán. *Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM*

En este trabajo se describirá el procedimiento para anclar la frecuencia de emisión de un diodo-láser en las transiciones atómicas entre los estados  $5s_{1/2}$  y  $5p_{3/2}$  en una celda de vapor de Rubidio a través de realizar espectroscopia en este elemento. El objetivo es lograr obtener espectroscopia de sistemas de dos fotones en este elemento alcalino. Con este fin, se explicará cómo se realiza la espectroscopia libre de Doppler o de absorción saturada así como la estructura y la operación de los circuitos que participan activamente en la estabilización, el circuito de detección y el de anclado.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de láseres con una frecuencia estable, es esencial en la actualidad para varias ramas de la investigación en física. En particular, los diodos laser ofrecen ventajas con respecto a otros láseres como los de He-Ne en cuanto a eficiencia y tamaño. En este trabajo se describirá el proceso por el cual se puede anclar la frecuencia de un diodo láser por medio de transiciones atómicas en  $^{85}\text{Rb}$  y  $^{87}\text{Rb}$  para experimentos de física atómica. Para esto, primero se explicará cómo se realiza la espectroscopia necesaria para caracterizar las transiciones atómicas que permitirán el anclado de frecuencias. Las técnicas espectroscópicas que se describirán de manera cualitativa son: espectroscopia de absorción, espectroscopia de absorción libre de Doppler y espectroscopia de polarización. A través de estas técnicas espectroscópicas se puede identificar la estructura hiperfina del Rubidio y caracterizar las transiciones en las que se quiere anclar el diodo láser. Los dispositivos para realizar la espectroscopia se describirán en la siguiente sección. En la sección 3, se mostrará un circuito de detección elaborado para obtener señales de voltaje a partir de las señales de corriente obtenidas al hacer la espectroscopia. En la sección 4 se enumerarán los pasos a seguir para llevar a cabo la espectroscopia e ir caracterizando la emisión del diodo láser. Por último, en las secciones 5 y 6 se explicará en detalle la estructura y funcionamiento así como la operación del circuito de anclado de frecuencias analógico.

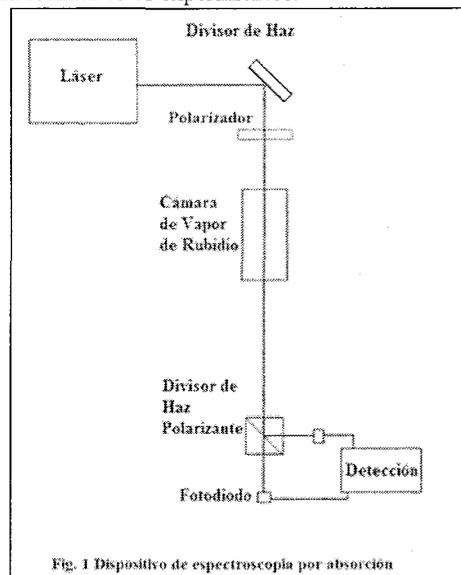


## 2. DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES PARA REALIZAR LA ESPECTROSCOPIA.

El primer paso para lograr el anclado de frecuencias es usar técnicas espectroscópicas para identificar las transiciones atómicas del Rubidio. Es en estas frecuencias en las que se anclará el láser. En esta sección se describirán los dispositivos experimentales para realizar espectroscopia de absorción, de absorción libre de Doppler y de polarización.

### 2.1 RUBIDIO

El Rubidio es un átomo conveniente para estudiarse con espectroscopia de absorción debido a que su estructura atómica es hidrogenoide. Los estados base y el primer excitado son  $5s_{1/2}$  y  $5p_{3/2}$  con transiciones alrededor de los 780nm. En la figura 0 se muestran las principales transiciones cerca del estado base para el Rubidio. Ya que en esta región los diodos-láser convencionales emiten resulta conveniente usarlo pues es accesible realizar experimentos de espectroscopia y átomos fríos usando este elemento. Además la presión de vapor del Rubidio permite tener celdas con este elemento a temperaturas cercanas a la ambiente. Es principalmente por estas razones que el Rubidio es útil para realizar estos experimentos.



## 2.2 ESPECTROCOPIAS DE ABSORCIÓN

El dispositivo básico se ilustra en la figura 1. El haz que sale del diodo láser pasa por una celda de vapor de Rubidio y se hace incidir sobre fotodiodos acoplados a un circuito de detección el cual se describirá después. Este haz se denomina haz de prueba. Mediante este dispositivo, se pueden obtener espectros de absorción a partir de la caída de intensidad del láser. Estos espectros se logran debido a que al ir variando la frecuencia emitida por el láser en algún momento se pasa por la frecuencia de transición con la consecuencia de que el vapor de Rubidio absorba energía del láser y ocurra una caída de intensidad en éste. Ahora, en la figura se muestra que antes de pasar por la celda de Rubidio, el haz pasa por un polarizador. Éste está dispuesto de forma que la luz se polarice diagonalmente con respecto a un divisor de haz polarizante (PBS por sus siglas en inglés) por el que pasa el haz, de esta forma se tienen dos señales después de la celda para compararlas. La detección de las señales se realiza mediante un par de fotodiodos y un circuito de detección. La generación de las dos señales permitirá hacer espectroscopias subsiguientes. En la figura 2 se muestra un espectro de absorción para las transiciones atómicas de  $^{85}\text{Rb}$  y  $^{87}\text{Rb}$ .

Una vez identificadas las regiones de las transiciones, el siguiente paso para mejorar la espectroscopia es hacer espectroscopia de absorción saturada o libre de Doppler.

En la espectroscopia de absorción el espaciamiento entre las líneas de la estructura fina o hiperfina no se puede resolver debido al ensanchamiento Doppler. La utilidad de la espectroscopia de absorción saturada consiste en que permite resolver éstas líneas debido a la intervención de un segundo haz más intenso y contrapropagante al haz de prueba; a este haz lo llamaremos haz de saturación. La distribución de velocidades de los átomos en el vapor de la celda es típicamente térmica o Maxwelliana. Debido a esto los átomos tienen recorrida la frecuencia de transición dependiendo de su componente de velocidad. Al hacer pasar un haz más intenso que el de prueba y contrapropagante, los átomos con ciertas componentes de velocidad se excitan y por ende el sistema se satura.

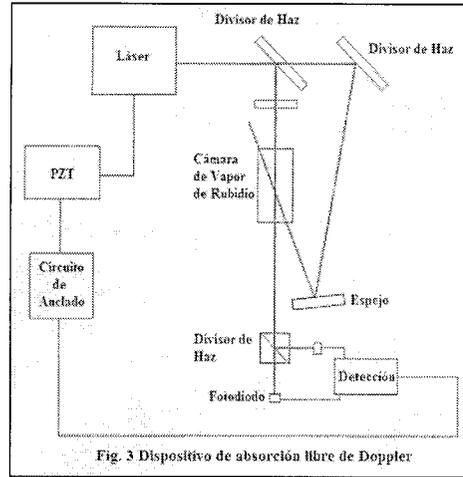
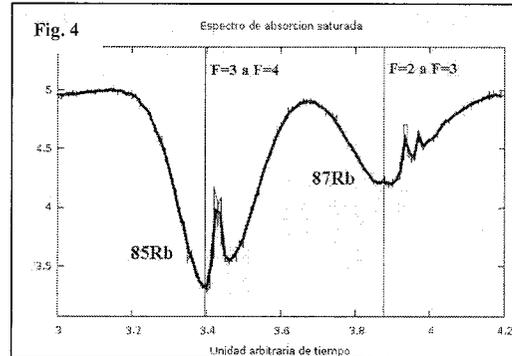
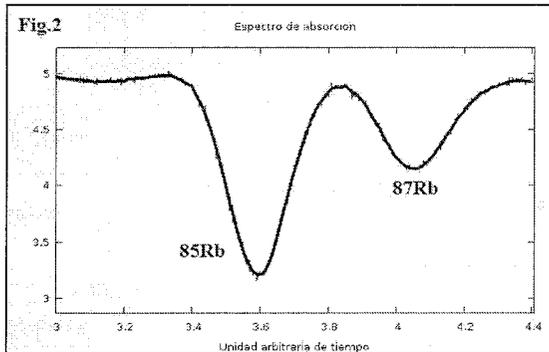


Fig. 3 Dispositivo de absorción libre de Doppler

En otras palabras, Cuando interactúa con el mismo número de átomos que el haz de prueba (velocidad cero), disminuye significativamente la absorción de este último, permitiendo observar la estructura hiperfina para el haz de prueba [1]. El dispositivo para la espectroscopia libre de Doppler consiste en dividir el haz proveniente del láser en uno de prueba (que pasa por la celda e incide sobre los fotodiodos) y en uno de saturación contrapropagante. El haz de saturación debe ser lo suficientemente intenso para saturar las transiciones atómicas. Este haz es entonces alrededor de tres veces más intenso que el haz de prueba, en nuestro caso el haz de prueba estaba alrededor de  $100\mu\text{W}$  de potencia, mientras que el haz de saturación tenía alrededor de  $300\mu\text{W}$ . Como se dijo anteriormente las transiciones ocurren cerca de una longitud de onda de  $780\text{nm}$  entre la estructura hiperfina de los estados  $5s_{1/2}$  y  $5p_{3/2}$  del  $^{85}\text{Rb}$  y del  $^{87}\text{Rb}$ . Como se muestra en la figura 3, para que sea contrapropagante con respecto al haz de prueba, el haz de saturación se hace incidir sobre un espejo como se muestra en la figura 3. Al igual que en el caso de la espectroscopia de absorción se tiene un polarizador así como el PBS y los fotodiodos. Sin embargo, en este caso se añade el circuito de anclaje, pues con esta espectroscopia es posible estabilizar la frecuencia del diodo-láser. En la



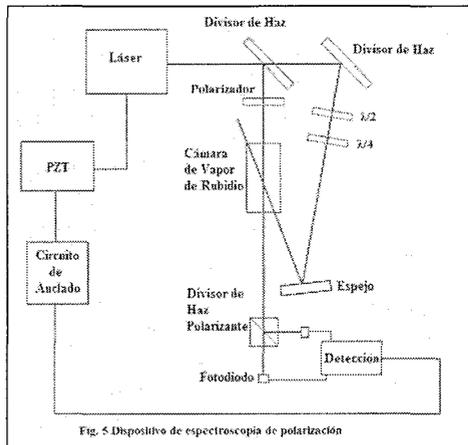


Fig. 5 Dispositivo de espectroscopia de polarización

figura 4 se muestra un espectro de absorción no saturada, como se puede observar, es casi idéntico al de absorción libre de Doppler, pero se pueden ver algunas transiciones que el ensanchamiento Doppler ocultaba. Cabe hacer notar que varias de ellas no son transiciones, sino lo que se conoce como "crossovers". Estos ocurren cuando dos transiciones comparten un estado base común y difieren en frecuencia por menos del ancho Doppler; en este caso hay dos grupos de átomos con los que el haz de saturación interactúa simultáneamente, por lo que hay una disminución de intensidad del haz de prueba justo en el promedio de estas dos frecuencias de transición. El último paso es realizar espectroscopia de polarización, pues ésta permite un anclado de frecuencia más efectivo. La espectroscopia de polarización consiste en polarizar linealmente el haz de prueba y circular el haz saturación de forma que se saturen selectivamente estados con proyección de momento angular total  $m_F$  (dependiendo de la polarización circular que se esté usando); básicamente lo que se hace es inducir una birrefringencia en el medio [2]. Para polarizar circularmente se usan láminas retardadoras de  $\lambda/2$  y  $\lambda/4$ . Al hacer pasar el haz de prueba por un cubo divisor polarizante a  $45^\circ$ , los dos haces resultantes se traducen a dos señales de voltaje que se restan entre sí. El resultado de la resta es un espectro de la estructura hiperfina del Rubidio. El dispositivo se muestra en la figura 5; como se puede observar es casi idéntico al de la absorción libre de Doppler pero alterando la

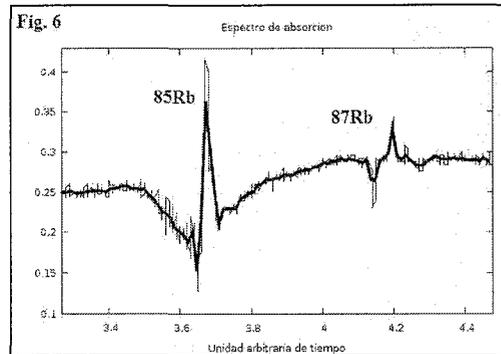


Fig. 6

polarización del haz de saturación. Un espectro de espectroscopia de polarización se muestra en la figura 6. Algo más que hay que hacer notar es el hecho de que a la salida del diodo láser en todos los casos, se coloca un aislante óptico. Este componente del dispositivo, tiene la función de evitar que parte de la luz sea reflejada de vuelta al diodo-láser por algún componente óptico; pues si esto sucediera, habría problemas con la retroalimentación del láser [3]. Es por eso que se debe alinear perfectamente el aislante óptico antes de montar el dispositivo, con el fin de evitar errores posteriores en la alineación de los componentes. Algo de suma importancia en todo tipo de experimento óptico es la alineación. El láser debe ser paralelo a la mesa en todo momento. Para lograr esto, se sugiere usar uno o dos postes con una cartulina en la cual se marque la altura del láser. Moviendo los postes a lo largo del camino del haz, es posible verificar si este es paralelo a la mesa o no.

### 3. CIRCUITO DE DETECCIÓN

El circuito de detección se encarga de transformar las caídas de intensidad del láser debidas a las transiciones atómicas en señales de voltaje. El diagrama del circuito se observa en la figura 7. Este circuito se encuentra en una tarjeta de cobre montada en una caja. Un esquema de la caja se ilustra en la figura 8. El haz incide sobre un orificio hecho en la caja y es separado por un PBS montado también en la caja. Cada uno de los nuevos haces, inciden a su vez en un fotodiodo respectivo. Estos fotodiodos, son las señales de entrada del circuito de detección. A través del diseño del circuito, se transforman las señales de corriente generadas por los

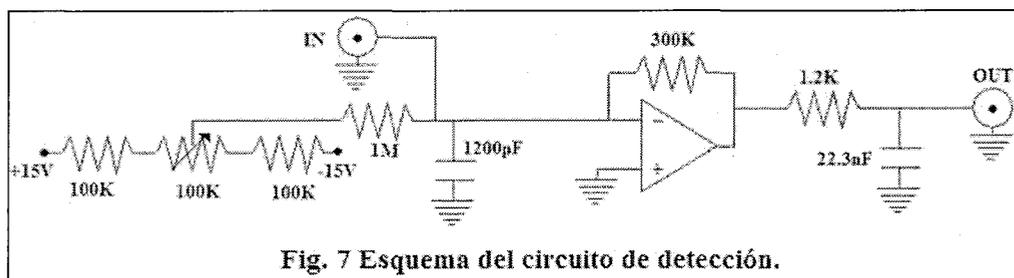


Fig. 7 Esquema del circuito de detección.

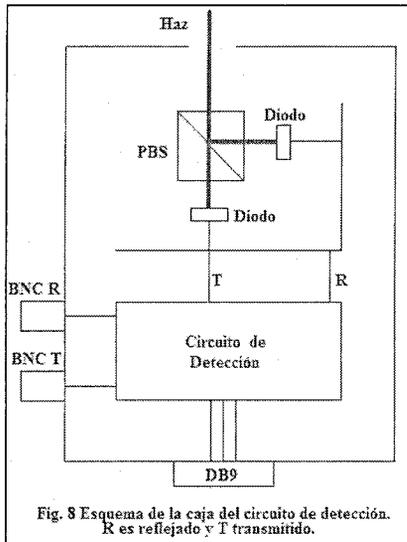


Fig. 8 Esquema de la caja del circuito de detección. R es reflejado y T transmitido.

fotodiodos en señales de voltaje amplificadas; básicamente se está usando un circuito en configuración inversora, con amplificador operacional TL074. Un diagrama de las entradas de este circuito integrado se ve en la figura 9 como referencia. La ganancia del circuito puede ser modificada por medio de las resistencias variables del circuito de 100KΩ. Se hace notar, que para cada haz se usa el mismo circuito, y que el circuito de detección completo consta de un par de circuitos de detección individuales para cada haz, ambos montados en la misma caja. Las señales de voltaje se pueden obtener del circuito a través de salidas BNC respectivas para cada señal. La alimentación del circuito es de 15V y se le administra al circuito con una entrada DB9 colocada en la parte trasera de la caja. Las señales del circuito de detección con el haz de prueba incidiendo sin atenuación son del orden 14V, por lo que se debe atenuar el haz de prueba para poder observar las caídas de intensidad.

#### 4. CÓMO BUSCAR PICOS DE ABSORCIÓN

En esta sección se describirá el procedimiento para realizar espectroscopia de absorción, de absorción libre de Doppler y de polarización. Básicamente se deben

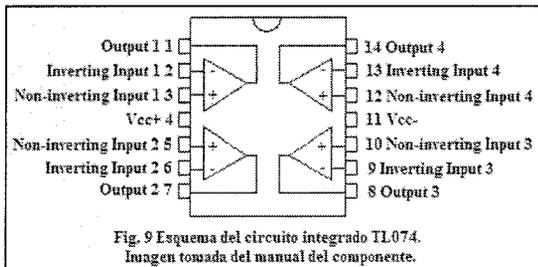


Fig. 9 Esquema del circuito integrado TL074. Imagen tomada del manual del componente.

ajustar ciertas cantidades que determinan la frecuencia emisión del diodo-láser.

#### 4.1. AJUSTES DEL CONTROLADOR DEL DIODO LÁSER.

A través del controlador del diodo láser, se podrán modificar los aspectos "gruesos" que determinan la longitud de la cavidad y en consecuencia la longitud de onda que emite el láser. Estas condiciones son básicamente la corriente que pasa por el diodo y la temperatura. En este trabajo, el interés es explicar en detalle las cuestiones operativas, por lo que no se describirá la estructura y funcionamiento del diodo láser, para ello se puede ver [3]. Por su parte, el diodo láser se conecta con el controlador a través de un cable DB9, el cual debe estar conectado, cuando no lo está y se intenta hacer pasar corriente sobre el diodo, aparece un error E507 en la pantalla del controlador; esto se hace notar pues es un error muy común. Los pasos para encender y apagar el controlador así como imponer las condiciones en corriente y temperatura sobre el diodo son las siguientes:

1. Se prende el controlador con el botón de encendido.
2. Se mueve la perilla para encontrar el canal del controlador al cual está conectado el diodo que se esté usando.
3. Se oprime el botón de LAS (láser) para poder cambiar las características por imponer al diodo, como temperatura, corriente máxima permitida.
4. Después de esto, se oprime el botón de CHAN (canal) para regresar al menú de los canales. Nuevamente se ubica el canal que se esté usando y se enciende el control de temperatura con el botón.
5. Se debe esperar de 15min a 30min a que la temperatura del diodo se estabilice. Esto se hace notar por que la resistencia del termistor conectado a la montura del diodo varía muy poco. Hasta que la temperatura esté estable se recomienda no encender el láser.
6. Cuando se quiera encender el diodo, se introduce la llave y se gira. Luego, se indica con el tablero de números la corriente que se le va a hacer pasar al diodo. También se puede hacer esto girando la perilla. Se recomienda modificar la corriente a lo más en pasos de 10mA hasta llegar a la corriente deseada, pues el diodo puede ser sensible a cambios bruscos de corriente y alterar su funcionamiento.
7. Cuando se vaya a apagar, se baja la corriente a cero y se gira la llave. Luego, se apaga el control de temperatura. Por último, se debe poner atención en que ningún otro canal esté encendido (ni corriente, ni temperatura) antes de apagar.
8. Para apagar se oprime el controlador de encendido.

Aunque se pueden modificar las condiciones, las que se usaron en este caso fueron 120mA de corriente máxima y 15.7°C de temperatura.

#### 4.2. AJUSTES EN LA RETROALIMENTACIÓN DEL LÁSER

El ancho de emisión del diodo-láser es bastante grande por lo que primero hay que encontrar la zona en la que el diodo láser emite en las transiciones del Rubidio. El primer paso para encontrar esta zona es darle estabilidad a la emisión del láser siguiendo un procedimiento para disminuir la cota inferior de corriente en la que se encuentra el umbral del láser. Este umbral es la corriente en la que el diodo-láser empieza a emitir y se reconoce por un cambio drástico en la intensidad del láser. Para verificar el umbral, se coloca a la salida del aislante óptico un medidor de potencia; por esta razón es importante tener el aislante bien alineado. Para poder alinear de manera correcta, se recomienda subir la corriente que pasa por el diodo hasta el orden de 40mA en la cual la intensidad del haz es aceptable. Cuando está bien alineado con respecto al medidor es cuando se detecta el máximo de intensidad. Una vez alineado, se baja la corriente (normalmente cerca de 20mA) y se va aumentando progresivamente hasta que se observa un cambio abrupto en la intensidad. Ese cambio ocurre en el umbral como se mencionó. Si el umbral ocurre con una corriente grande (en este caso el ejemplo es mayor a 30mA), entonces se debe bajar el umbral. Para hacer esto, se debe ver que la montura del diodo-láser tiene tres tornillos con los que se puede cambiar la alineación de la cavidad y con esto la retroalimentación. Un esquema de los tornillos

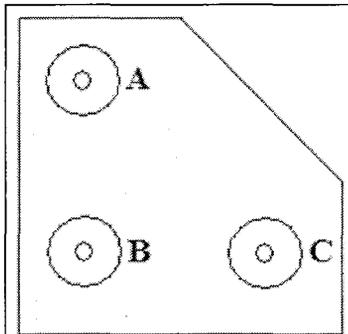


Fig. 10 Vista lateral de la montura del diodo láser en donde se encuentran los tornillos. A y B sirven para modificar la alineación de la cavidad de manera tosca, mientras que C permite hacerlo de manera más fina para buscar la frecuencia.

se muestra en la figura 10. Para bajar el umbral, se hace pasar una corriente de al menos 3mA mayor que lo que se quiere bajar. Por ejemplo, para bajar a menos de 28mA, se coloca en 30.5mA. Con esa corriente, y el medidor de potencia alineado con el haz, se procede a mover la cavidad con el tornillo A, hasta que se llegue a un máximo de intensidad. Luego, se busca otro

máximo con el tornillo B, y así sucesivamente hasta que el umbral haya bajado lo deseado, siempre buscando máximos de intensidad. Luego, se regresa a alguna zona de corriente en la que se haya identificado alguna transición y ahí se usa el tornillo C hasta que se vea fluorescencia en la cavidad con un visor infrarrojo. Se hace notar que, si el proceso de bajar el umbral se lleva a cabo después del aislante óptico, primero se debe alinear correctamente este, sino es así, se encontrarán máximos de intensidad relativos a la alineación del aislante, no a una mejora en la retroalimentación. Bajar el umbral del diodo-láser, permite usar un intervalo de corrientes más grande sobre el diodo, esto es una ventaja ya que evita tener que llegar a corrientes muy altas que pueden dañarlo. Una vez hecho esto, se procede a hacer los ajustes finos en las cantidades que determinan la retroalimentación, es decir, a buscar los picos de absorción. Para ver con más detalle la estructura y funcionamiento de la montura del diodo-láser ver [3].

#### 4.3. AJUSTES FINOS PARA BUSCAR PICOS DE ABSORCIÓN.

Una vez que la retroalimentación del láser es aceptable y que la temperatura es estable, se procede a buscar señales de absorción. Primero, se busca desde el controlador del diodo-láser la corriente en la cual se observó fluorescencia. En el caso de este trabajo, las condiciones estaban siempre alrededor de 88.8mA. También, confiando que la alineación sea aceptable, se procede a balancear las dos señales del haz de prueba en el circuito de detección. Para esto se hace lo siguiente:

Primero, se revisa que el haz de prueba al pasar por el PBS del circuito de detección incida correctamente sobre los dos fotodiodos. Errores en la incidencia puede provocar problemas con la resta de las señales en el anclado. Segundo, viendo en un osciloscopio la diferencia entre las dos señales del haz de prueba (en este caso sin un haz de saturación) debe ser cero; esto se debe lograr usando el polarizador del haz de prueba y modificando las ganancias del circuito de detección. Una vez que las señales están balanceadas (la resta entre ellas es cero), se conecta al diodo láser un voltaje dado por un piezoeléctrico. A través de este voltaje, se puede cambiar el tamaño de la cavidad de manera fina; al menos con mayor precisión que usando los tornillos, es por eso que hay que alinearlos y bajar el umbral. El piezoeléctrico trabaja multiplicando por un factor de diez cualquier señal que se le introduzca. Para poder ver los espectros de absorción que se mostraron en las figuras 2 y 4, lo que se hace es introducir en el piezoeléctrico una señal proveniente de un generador de funciones A esta señal se le denomina "rampa". Lo que hará la rampa será cambiar el voltaje de forma que la frecuencia emitida por el diodo-láser también varíe, con esto se pueden barrer zonas alrededor de las

frecuencias de transición y ver los espectros. La rampa debe tener frecuencia y amplitud tales que se alcancen a ver la mayor cantidad de picos de absorción. Con bastante definición como en las figuras, se usaron rampas triangulares de frecuencia de alrededor de 350mHz y de 4V a 5V de amplitud pico a pico. Por su parte el piezoeléctrico tiene un voltaje offset al que se le añade la señal triangular. De esta forma, modificando tanto la amplitud de la señal como el offset propio del piezoeléctrico, se puede modificar el tamaño de la cavidad de manera fina para encontrar las transiciones del Rubidio. Se debe tener en cuenta que nunca se debe pasar en el piezoeléctrico de más de 100V ni menos de 0V, pues se puede dañar algunas partes importantes del sistemas completo del diodo láser. De esta forma, modificando corriente, offset del piezoeléctrico y amplitud de la rampa, se puede encontrar la región de frecuencia de las transiciones. Sin embargo, por condiciones térmicas y de relajamiento mecánico, la frecuencia de emisión del sistema del diodo láser no es estable. Es por esto que se construyó un circuito analógico para mantener estable la frecuencia de emisión en las transiciones del Rubidio. A este circuito se le conoce como circuito de anclado y de él se hablará en la siguiente sección.

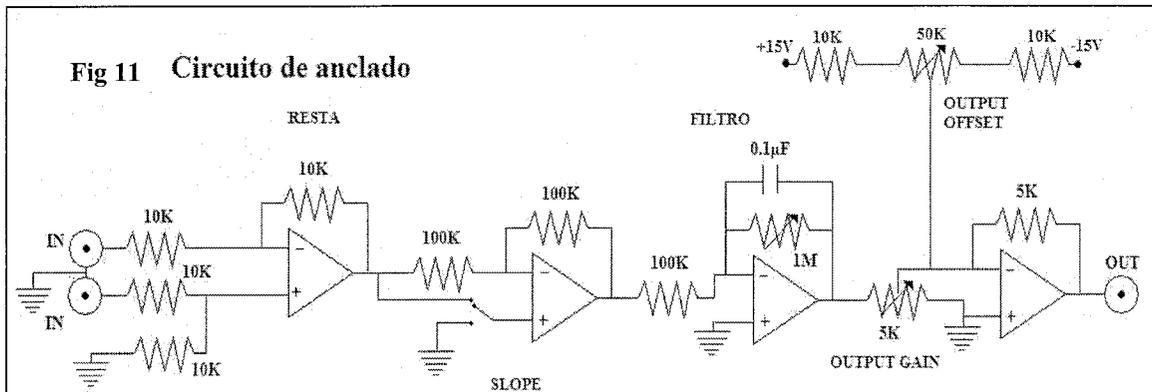
### 5. CIRCUITO DE ANCLADO.

El circuito de anclado va a permitir estabilizar la frecuencia de emisión del diodo-láser en una de las transiciones del Rubidio. Por efectos térmicos y de relajamiento de los materiales, la frecuencia de emisión del diodo se desvía conforme transcurre el tiempo. Aunque la desviación puede no ser muy grande, es importante tener la frecuencia estable para realizar experimentos como atrapamiento de átomos fríos o espectroscopia de dos fotones. De las tres espectroscopias descritas con anterioridad, la que permite más resolución es la de polarización. Es por eso que usando las dos señales provenientes del circuito de detección y resultantes de la espectroscopia de polarización se puede lograr el anclado de

frecuencia. Básicamente el circuito tomará estas dos señales, las restará y dará como salida una señal de voltaje proporcional a la desviación en frecuencia, es decir, a la resta; la señal retroalimentará el voltaje del piezoeléctrico de forma que mantenga estable la emisión. El circuito se conforma por cuatro partes cada una con su propio amplificador operacional. Sin embargo, dado que el circuito integrado TL074 tiene cuatro amplificadores es posible sólo usar uno de estos circuitos para ahorrar espacio. En la figura 11 se muestra un esquema del circuito. A continuación se describirá cada una de sus partes.

#### 5.1. PARTES DEL CIRCUITO DE ANCLADO

1. Restador. La primera parte consiste simplemente en un restador. En esta parte del circuito se toman las dos señales provenientes del circuito de detección y se restan sin ninguna ganancia de salida.
2. Inversor. A la salida del restador se coloca un amplificador en configuración inversora. Este circuito lo que hace es cambiar el signo de la resta de forma que también cambia el signo de la pendiente de la señal final de retroalimentación de voltaje. Esta parte es de suma importancia pues permite tener un control sobre la dirección en la que uno se quiere mover dentro del barrido de frecuencias. La señal de salida de voltaje será un símil de la resta mostrada en el espectro de polarización, de forma que si no se tiene el signo correcto en el voltaje de retroalimentación, el circuito no anclaría sino que alejaría a la emisión de la frecuencia de transición. Esta parte tampoco aporta ninguna ganancia al sistema.
3. Filtro. A la salida del inversor se coloca un filtro para limpiar la señal de frecuencias parásitas. Este filtro es variable y permite modificar la ganancia de la señal (sólo su amplitud) por un factor cercano a diez.
4. Amplificación de salida. La última parte del circuito consta de un amplificador que da una ganancia a la señal de salida que permite



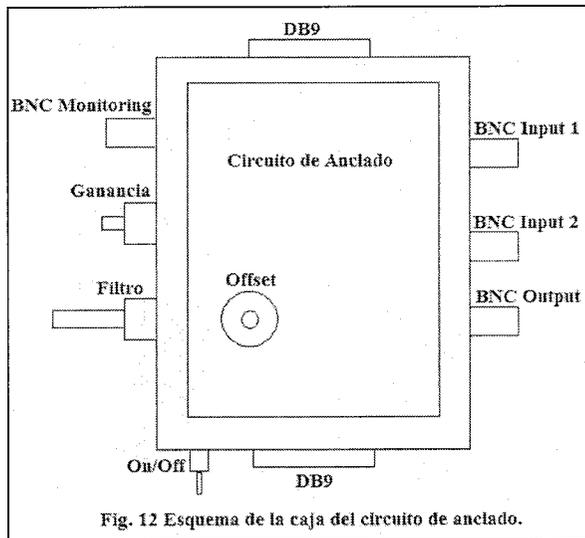


Fig. 12 Esquema de la caja del circuito de anclado.

modificar su amplitud. A su vez también tiene una ganancia para el offset de la señal. De forma que con esta parte del circuito es posible modificar de manera fina la amplitud de la señal así como su origen. Esto es de suma importancia pues se tiene que tener control sobre la ganancia de la señal para poder buscar las condiciones de voltaje de salida óptimas en cada caso para lograr el anclado.

### 5.2 CAJA DEL CIRCUITO DE ANCLADO.

El circuito completo está colocado sobre una caja como se muestra en la figura 12. Las señales de los fotodiodos entran por unas entradas BNC respectivas a las que se les llama en la figura "Input" 1 y 2, estos conectores BNC están en un lado de la caja. La señal de salida se puede obtener a través de un conector BNC situado del mismo lado de las entradas; en la figura se le reconoce por "Output". El circuito se alimenta con 15V a través de un conector DB9 ubicado en una de las caras frontales de la caja este. Del lado opuesto de la caja se le colocó otro conector DB9, el cual tiene como función servir a la alternativa de alimentar al circuito y darle las señales del circuito de detección a través de una entrada de este tipo. Las ganancias del filtro así como de la amplitud de salida se regulan por medio de un par de potenciómetros respectivos situados en un lado de la caja, el lado opuesto a la entrada de las señales. De ese mismo lado de la caja se colocó un conector BNC con el nombre de "Monitoring" el cual permite

obtener la señal de salida del restador, con el fin de poder monitorear la resta. En la parte superior de la caja se encuentra otro potenciómetro que regula el offset de la señal de salida. Por último, como medida de seguridad, se colocó al lado del conector DB9 de alimentación, un interruptor que permite la salida de la señal de voltaje de retroalimentación del circuito o la interrumpe. Este elemento fue colocado para prevenir el daño en el sistema del diodo si es necesario.

### 5.3 OPERACIÓN DEL CIRCUITO DE ANCLADO.

En esta última sección se describirá el procedimiento para utilizar el circuito de anclado y poder estabilizar la frecuencia. En primer lugar, se debe tener el dispositivo de espectroscopia de polarización ya colocado así como haber identificado las regiones de la transición y tenerla bien caracterizada. Una vez hecho esto, se toman las dos señales del circuito de detección y se colocan en el circuito de anclado. Substituyendo la señal de la "rampa" que iba al piezoeléctrico, se coloca la salida del circuito de anclado a éste. Ahora, en vez de que la rampa sea amplificada por el piezoeléctrico, lo será la señal de retroalimentación del circuito de anclado. Una vez conectada la señal es conveniente poner el interruptor en "OFF" para buscar la transición manualmente. Se procede entonces a buscar manualmente con el offset del piezoeléctrico el voltaje en el que se ubica un cambio en la transición. Esto se puede hacer viendo la señal del "monitoring" en un osciloscopio. Una vez ubicada se prende el interruptor para dejar pasar la señal de retroalimentación del circuito de anclado. Se debe en ese momento modificar el signo de la pendiente y las ganancias del filtro y de la amplitud así como del offset para encontrar las condiciones óptimas para que la frecuencia del láser quede estable. La muestra más clara de que la señal es estable, es que la resta y en consecuencia la señal de retroalimentación, vistas en un osciloscopio es una banda en que la amplitud se ensancha y oscila rápidamente resultado de que el circuito está compensando la desviación. De esta forma el diodo-láser se mantendrá estable en emisión por largo tiempo si las condiciones impuestas sobre la señal de retroalimentación fueron adecuadas. Incluso el láser emite establemente si ocurren perturbaciones ligeras sobre la mesa donde esté montado el diodo. En el apéndice se muestran imágenes de cómo debe verse el anclado.

### CONCLUSIONES

Se describen los dispositivos de espectroscopias de absorción, de absorción saturada y de polarización con el fin de poder anclar la frecuencia de emisión de un diodo-láser en una de las transiciones atómicas hiperfinas del Rubidio. Además se describen el circuito de detección, los pasos a seguir para encontrar las transiciones así como el circuito de anclado y el procedimiento para anclar con éste.

## REFERENCIAS

- [1] D.W. Preston. Am. J. Phys. **64**(11), 1432-1436 (1996).
- [2] C.P. Pearman, C.S. Adams, S.G. Cox, P.F. Griffin, D.A. Smith and I.G. Huges. J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **35**, 5141-5151 (2002)
- [3] K.B. MacAdam, A. Steinbach and C. Wieman. Am. J. Phys. **60**(12), 1098-1111 (1992).
- [4] R.E. Ryan, L.A. Westling and H.J. Metcalf. J. Opt. Soc. Am. B **10**(9), 1643-1648 (1993)
- [5] C. Wieman, G. Flowers and S. Gilbert. Am. J. Phys. **63**(4), 317-330 (1995).
- [6] K.L. Corwin, Z. Lu, C. F. Hand, R. J. Epstein and C. E. Wieman. App. Opt. **37**(15), 3295-3298 (1998).

### APÉNDICE: IMÁGENES DE LAS SEÑALES TOMADAS DESDE EL OSCILOSCOPIO

Es posible tomar las señales y capturar lo visto desde el osciloscopio en una computadora.

A continuación se muestran una serie de imágenes de distintas señales vistas desde el osciloscopio.

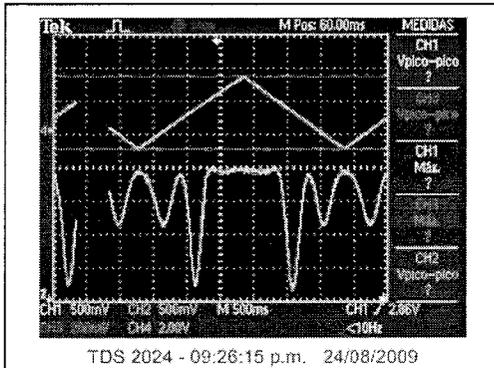


Fig. A1 Espectro de Absorción. La señal azul es el espectro, mientras que la verde es la rampa.

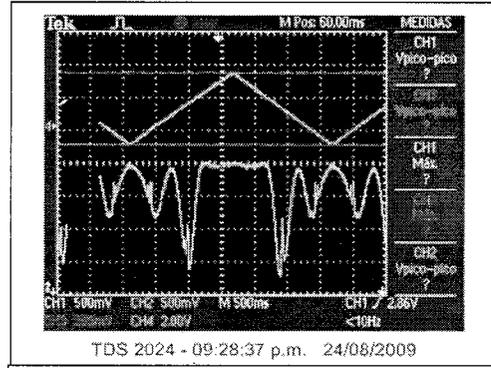


Fig. A2 Espectro de Absorción Saturada. La señal azul es el espectro, mientras que la verde es la rampa.

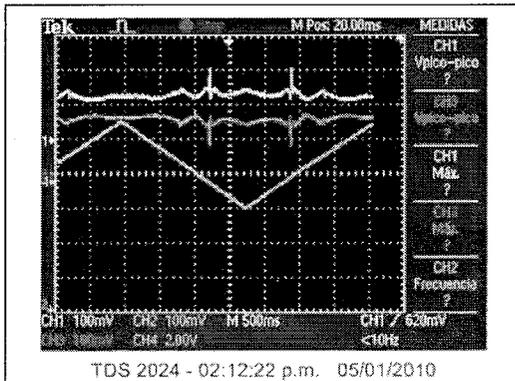


Fig. A3 Espectro de Polarización. La señal magenta es el espectro, la verde es la rampa y la amarilla es la señal de salida del circuito de anclado

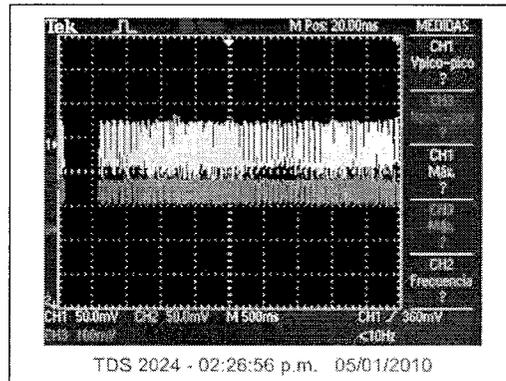


Fig. A4 Diodo estable en frecuencia. La señal magenta es la resta de las señales, mientras que la amarilla es la salida del circuito de anclado. Se puede observar como las oscilaciones son rápidas, muestra de que el sistema está anclado en frecuencia.