



## CARACTERIZACIÓN DE MODULADORES ACUSTICO-ÓPTICOS

Gisela Noemí Ortiz León (gisela\_ortiz@ciencias.unam.mx), José Ignacio Jiménez Mier y Terán (jimenez@nucleares.unam.mx)

En el campo de la óptica y de la electrónica a veces es necesario desplazar frecuentemente un haz de luz. Un modulador acustico-óptico (AOM), también conocido como célula de Bragg, utiliza el efecto acústico-óptico para difractar y mover la frecuencia de la luz por medio de la propagación de ondas de sonido, usualmente en radio frecuencia, en un material cristalino.

En el presente trabajo se describe como utilizar dos tipos de moduladores para desplazar un haz de 780nm, 10MHz y se muestran los resultados que se obtuvieron en el laboratorio.

### 1. Características del Modulador *Acousto-Optic Modulator with Focusing Optics* NEOS Model 71002

Las características dimensionales así como las principales partes mecánicas y ópticas del modulador se muestran en la Fig. 1, la cual fue tomada y adaptada del Manual de Operación [1].

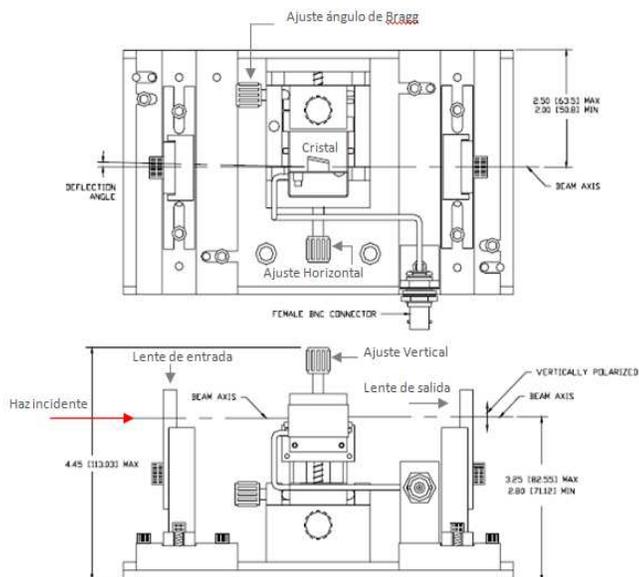


Figura 1.

En la Fig. 1 se muestra una vista “área” y vista frontal del modulador. Las partes que se utilizarán para la modulación de un haz son: el cristal, los tornillos de ajuste vertical, horizontal y ángulo de Bragg, las lentes de entrada y salida, el conector BNC y el generador de radio frecuencia, denominado *driver* (ANALOG DRIVER SYSTEM). Los tornillos de ajuste permiten mover y girar el cristal para la obtención del haz difractado, la lente de entrada enfoca el haz incidente mientras que la lente de salida colima el haz difractado. El generador de radio frecuencia (modelo 21210-1AS) es el que se muestra en la Fig. 2. El generador de radio frecuencia en modo CW genera una señal sinusoidal cuya frecuencia es 211.4 MHz. Ésta señal se puede ver en un osciloscopio. Para ello, se conectará un cable BNC más una carga de 50 Ohms desde el conector de salida del *driver* (RF OUT1) al canal del osciloscopio y se encenderá el generador (POWER ON) en modo CW. La señal observada se muestra en la Fig. 3.

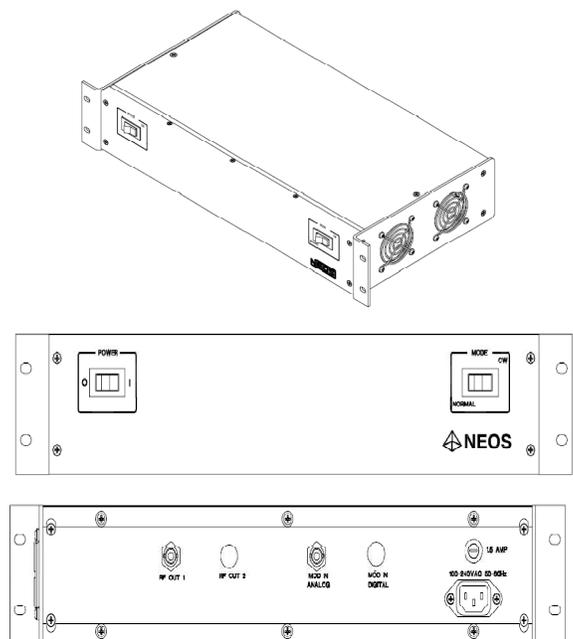


Figura 2.

## 2. Montaje del Modulador (NEOS Model 71002) y Modulación del Haz.

El modulador se montará en 4 postes como se muestra en la Fig. 4. Para iniciar la alineación se retirarán las dos lentes y el ángulo de Bragg deberá ser igual a cero (ver Fig. 5).

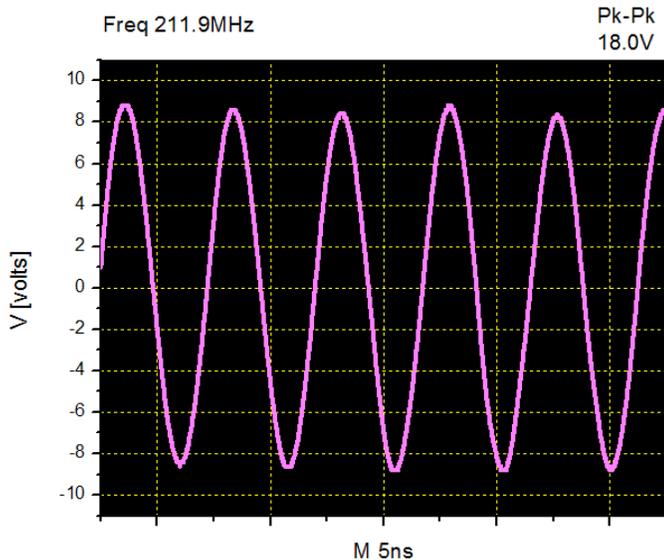


Figura 3.

Se colocará el modulador en la trayectoria del haz de tal manera que éste quede centrado (vertical y horizontalmente) respecto a las aberturas que están a la entrada y salida de la caja que contiene al cristal (ver Fig. 1). Es importante incidir el haz en la cara de entrada del modulador (la cual queda claramente definida en la Fig. 5) y no en la cara de salida así como evitar dirigir el haz a los alambres de oro que están junto al cristal, ya que estos podrían vaporizarse en tal caso.



Figura 4.

Se conectará la salida RF OUT 1 del generador de radio frecuencia al conector BNC del modulador. Se encenderá el generador en el modo CW y se colocará una pantalla a la salida del modulador para proyectar él o los haces de salida. Se ajustará el ángulo de Bragg (girando el tornillo correspondiente en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj) y el tornillo de ajuste horizontal (elegir un sentido) muy despacio procurando girar ambos tornillos alternativamente hasta obtener el haz difractado. El haz difractado (primer orden) es menos intenso que el haz de orden cero cuando el haz no está polarizado verticalmente. Una vez que se haya logrado observar el haz difractado se mueven los tres tornillos alternativamente y muy despacio, girándolos ligeramente en ambos sentidos respecto a sus posiciones en las que se observó por primera vez el haz difractado, para así obtener el máximo de intensidad de éste haz. Si el ángulo de Bragg es muy grande se observará el haz de segundo orden al mismo tiempo que el de primer orden perderá intensidad, por lo que éste ángulo deberá ser reducido.

A continuación se colocará la lente de entrada procurando que el haz incida en su centro. Al hacer esto, el haz difractado desaparecerá y los tornillos deberán ser ajustados ligeramente (mover primero el tornillo de ajuste vertical) para volver a observar el haz difractado de primer orden con el máximo de intensidad. Por último se coloca la lente de salida para recluir los haces difractado y de orden cero.

### NOTAS IMPORTANTES:

- Cuando la lente de entrada sea colocada tener mucho cuidado de no dirigir el haz enfocado a los alambres de oro que están junto al cristal, de ser posible se puede usar papel o cartulina para cubrir parte de la apertura de la entrada, con lo cual, si el haz llega a apuntar en dirección de los alambres, éste quedará obstaculizado.
- No encender el *driver* si éste no está conectado al modulador o a un osciloscopio.
- La polarización del haz incidente debe ser vertical para una mayor eficiencia del modulador.
- El haz difractado estará modulado a +211.4 MHz. Para obtener el haz modulado a -211.4 MHz el cristal se debe girar en un inicio en

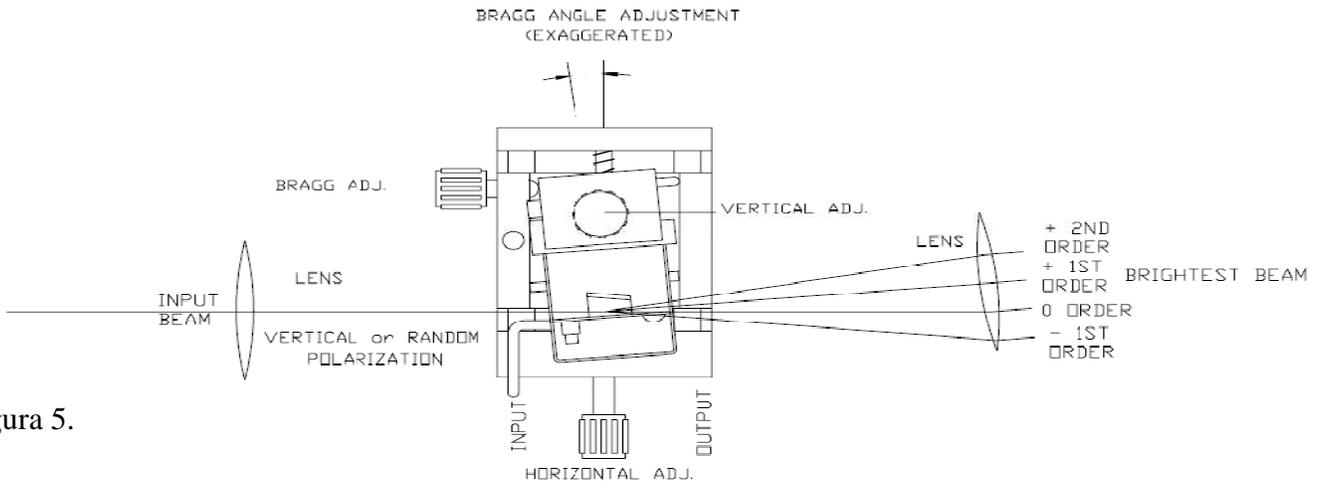


Figura 5.

sentido del giro de las manecillas del reloj, y seguir con el mismo procedimiento descrito anteriormente.

### 3. Características del Modulador *Acousto-Optic Modulator ISOMET Model 1250C*

Los diagramas correspondientes al modulador y *driver* del modulador están en la Fig. 6. tomados de la referencia [2]. El *driver* debe ser alimentado con un voltaje de corriente directa de +24.0 volts en la entrada +Vdc. También se debe proporcionar un voltaje de +1.0 volts en la entrada MOD y un voltaje entre 0.0 y 10.0 volts en la entrada Vt. El resultado de variar el voltaje en Vt es que la señal de radio frecuencia de salida varía en frecuencia de 149.0 a 252.5 MHz. En la gráfica 1 se muestra la dependencia lineal entre voltaje en Vt y frecuencia de salida.

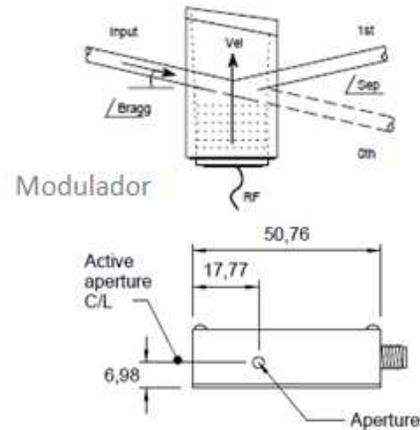
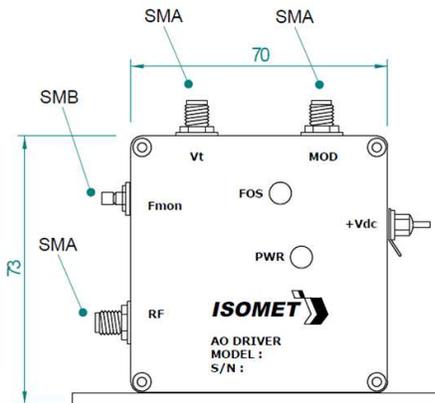
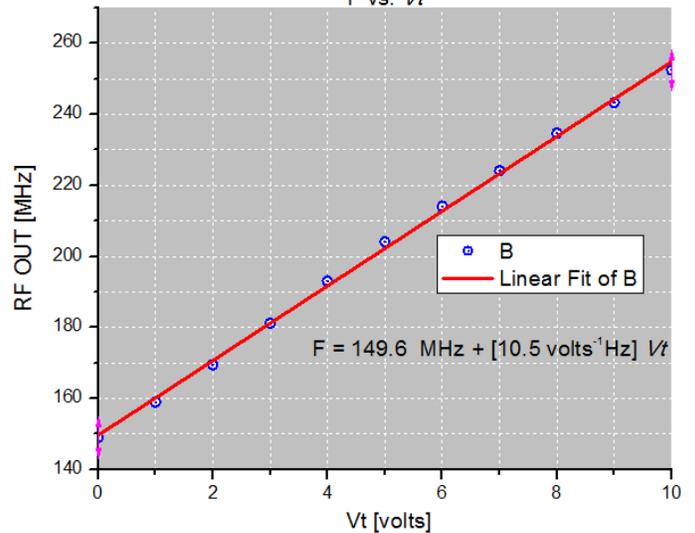


Figura 6.

El esquema que se utilizará para la alimentación del *driver* es el que se muestra en la Fig. 7. El *driver* se deberá montar en la mesa óptica o bien sobre una placa que disipe el calor. No se deben proporcionar los +24.0 volts si la salida RF OUT no está conectada al modulador o bien a un osciloscopio.



Gráfica 1  
F vs. Vt



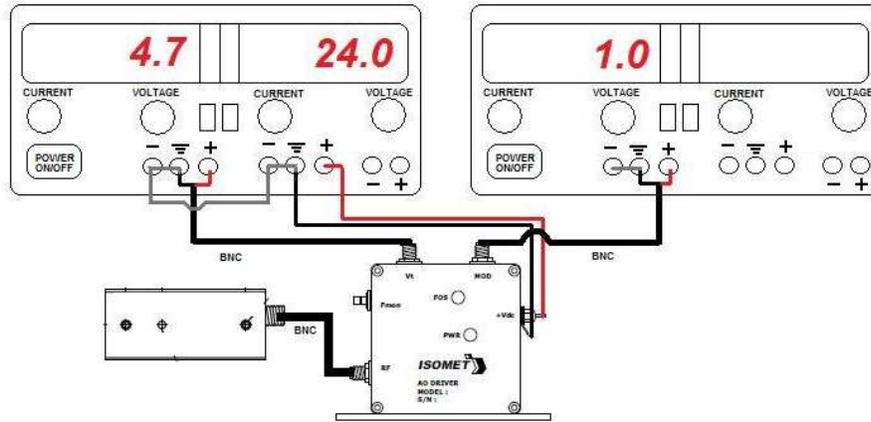


Figura 7.

#### 4. Montaje del Modulador (*ISOMET Model 1250C*) y Modulación del Haz.

En el laboratorio se cuenta con varias mesitas giratorias que pueden rotar  $360^\circ$  alrededor de un eje vertical. Se puede utilizar una de éstas para montar el modulador, ya que éste no cuenta con un sistema mecánico preciso como el modulador *NEOS 71002*. Un posible montaje es el que se muestra en la Fig. 8.

Se harán las conexiones del driver, modulador y fuentes de voltaje como lo muestra la Fig. 7. Se ubicarán las aperturas de entrada y salida del modulador (ver Fig. 6) y se montará el modulador en la trayectoria del haz de manera que el haz incida perpendicular a la cara de incidencia. El haz de salida se proyectará en una pantalla. Al girar el modulador en el sentido de giro de las manecillas del reloj se obtendrá el haz difractado con una frecuencia igual a la frecuencia del haz menos la frecuencia RF OUT del driver. Si el modulador se gira en sentido opuesto las frecuencias se sumarán.



Figura 8.

Para la obtención del haz difractado se sigue un procedimiento similar al descrito en el apartado número 2. Se puede utilizar una lente para enfocar el haz incidente y así obtener mayor intensidad en el haz difractado, aunque si la alineación no es muy buena, éste último no se observará.

Se recomienda no sobrepasar el voltaje indicado en cada una de las entradas y no alimentar los +24.0 volts en +Vdc si la salida de radiofrecuencia no está conectada.

Será muy útil observar la señal de radio frecuencia y determinar su frecuencia y amplitud en un osciloscopio antes de ser aplicada al modulador. Con el tornillo disponible en la entrada PWR del *driver* se puede modificar la amplitud de la señal de salida.

#### 5. Medición de las componentes en frecuencia del haz modulado.

Para obtener un haz desplazado 10MHz en frecuencia se colocarán los dos moduladores descritos anteriormente en serie. De esta manera, el primer modulador desplazará el haz incidente 211.4 MHz, y éste haz difractado se convertirá en el haz incidente para el segundo modulador, que lo desplazará -201.4MHz. Como consecuencia el haz difractado a la salida del segundo modulador habrá sido desplazado una frecuencia neta de 10MHz.

Si este haz final se superpone con un haz que no ha sido modulado, proveniente de la misma fuente y de la misma intensidad que el haz final, se producirá un batimiento como resultado de que los haces (más precisamente, las ondas de luz) tienen frecuencias ligeramente diferentes. La frecuencia del batimiento

será igual a la diferencia absoluta en frecuencia de las dos ondas que interfieren, en este caso, igual a 10MHz.

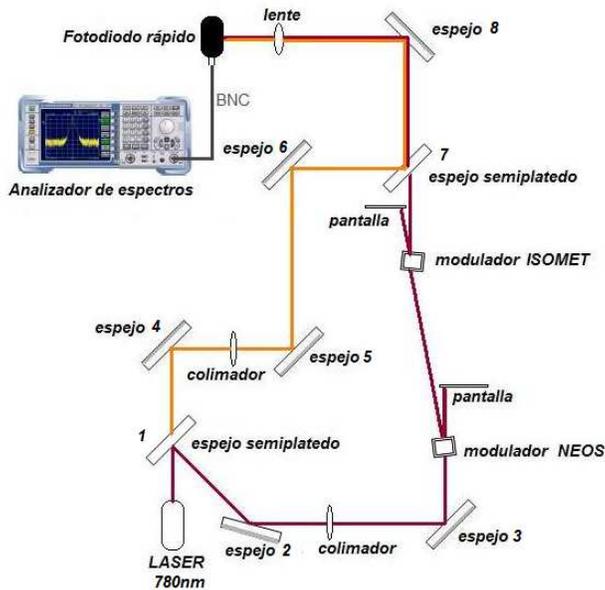


Figura 9.

El arreglo experimental para la detección de batimientos está esquematizado en la Fig. 9. en donde el ángulo de Bragg en ambos moduladores está exagerado para una mayor claridad del dibujo. El arreglo puede ser mucho más sencillo si el espacio disponible en la mesa óptica lo permite.

La luz proveniente del láser diodo (780nm) se divide en dos haces marcados en rojo y naranja en el dibujo correspondiente. El haz rojo incidirá en el modulador NEOS para obtener el haz difractado de primer orden.

A una distancia aproximadamente de 2 cm de la salida de éste modulador los haces difractado y de orden cero se pueden distinguir uno de otro con mucha facilidad, por lo que se colocará una pantalla para obstaculizar el haz de orden cero. El haz difractado incidirá en el segundo modulador para obtener un nuevo haz difractado. De igual manera se colocará una pantalla para obstaculizar el haz de orden cero. Se superpondrá el haz difractado obtenido al pasar por los dos moduladores con el haz sin modular para que finalmente ambos incidan en el fotodiodo. El espejo marcado por 8 en el dibujo será útil para mover con mucha precisión estos haces. Por su parte el fotodiodo deberá estar posicionado en el foco de la lente.

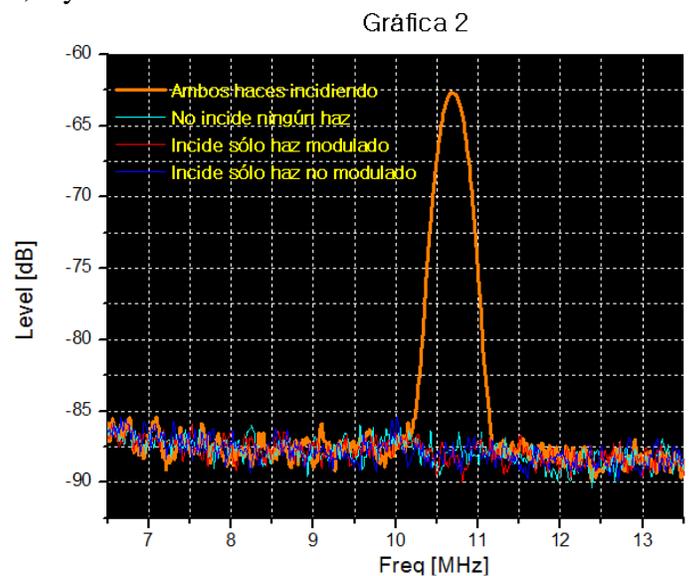
Se conectará el fotodiodo al analizador de espectros (revisar el manual correspondiente) mediante un cable BNC a la entrada RF INPUT. Se prenderá el fotodiodo y el analizador centrado la señal en 10MHz y se moverán alternativamente los dos tornillos con los que cuenta la montura del espejo 8 hasta observar en el analizador que el nivel de la señal suba hasta un máximo, lo que significará que los haces estarán incidiendo en el centro del detector.

Si se ha hecho una buena alineación de los espejos, moduladores y fotodiodo se deberá ver en el analizador de espectros un pico centrado en 10MHz. Si éste no se observa muy probablemente se deba a que los haces no estén superpuestos en la trayectoria del espejo 7 al fotodiodo (ver Fig. 9).

Se hará un barrido en frecuencia en el analizador de espectros para buscar más picos correspondientes a otras componente en frecuencia.

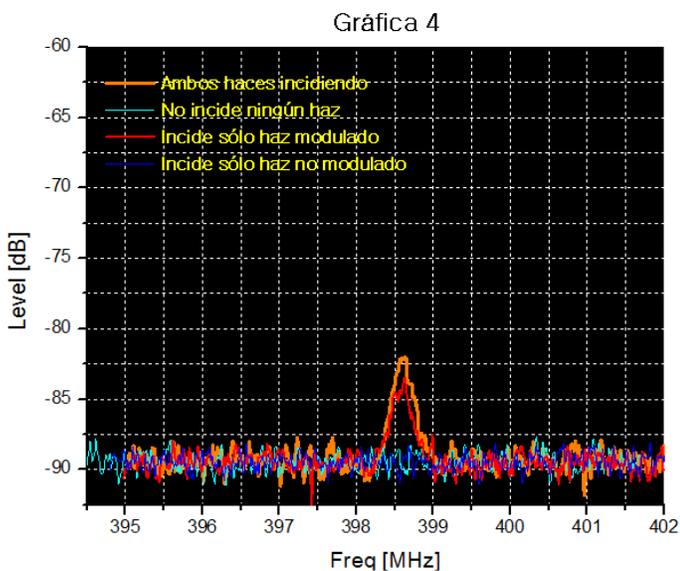
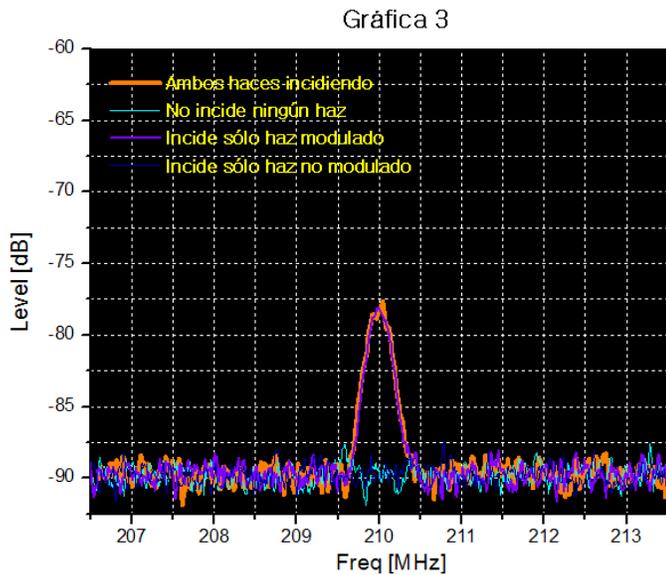
## 6. Resultados Obtenidos

El láser que se utilizó para la obtención del batimiento es el láser diodo de 780nm con una corriente de 67.5mA y temperatura 15.7°C. Las componentes en frecuencia observadas en el analizador de espectros se muestran en las gráficas 2, 3 y 4.



En la gráfica 2 se observa el batimiento con una frecuencia de 10.6MHz, ésta componente solo se detectó cuando ambos haces incidieron en el fotodiodo, es decir, cuando las ondas modulada y no modulada interfirieron.

Se detectaron dos componentes más, centradas en 210MHz y 398.6MHz, que se observaron cuando en el fotodiodo incidió el haz modulado.

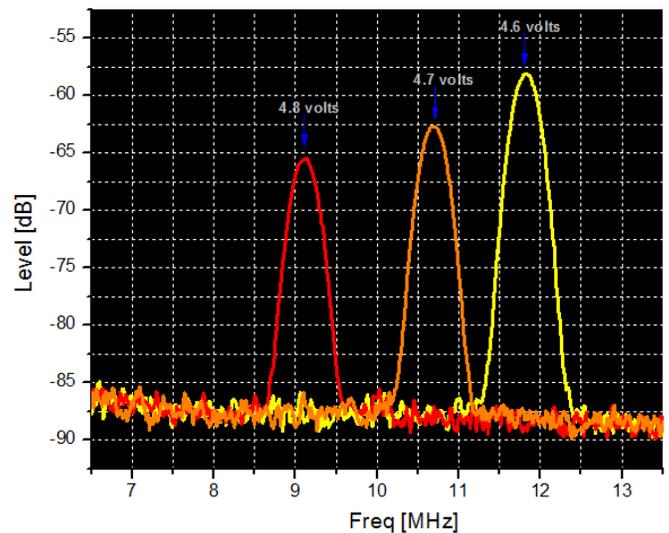


En la gráfica 5 se muestran los batimientos obtenidos para tres diferentes valores de  $V_t$  (a saber 4.6, 4.7 y 4.8 volts) en el driver ISOMET. Lo que se observa es que el pico se desplaza hacia la derecha como consecuencia de que la frecuencia proporcionada por el driver crece a medida que  $V_t$  aumenta.

A ambos generadores de radio frecuencia se les puede alimentar una señal TTL con la finalidad de que se pueda prender y apagar la modulación del haz a una frecuencia controlada.

La señal TTL es una señal periódica cuadrada que proporciona voltaje positivo o cero.

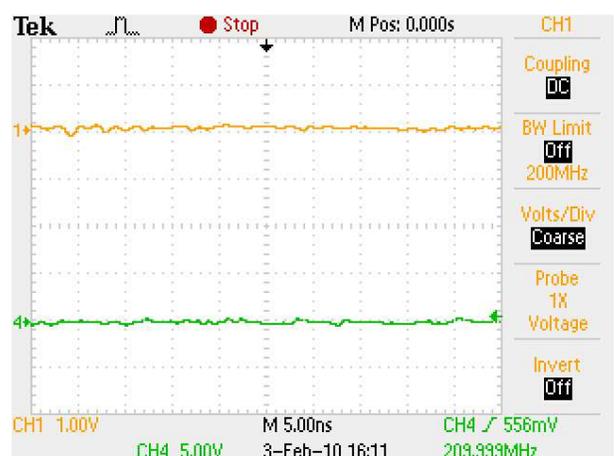
Gráfica 5



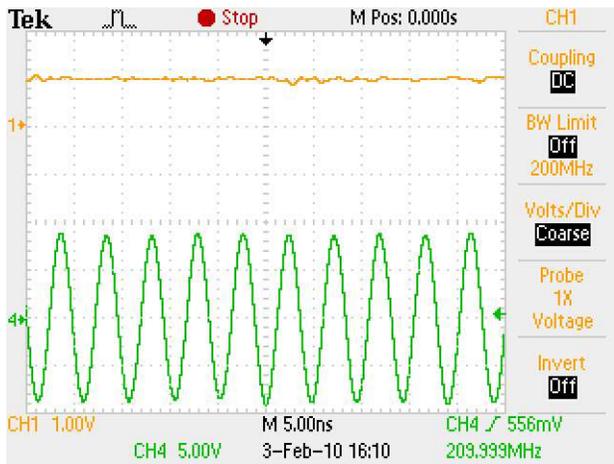
El driver NEOS cuenta con una entrada (MOD IN ANALOG) a la cual se le conecta la señal TTL de 1 volt de amplitud. Para trabajar en este modo deberá cambiarse a modo NORMAL en el driver. Cuando la señal da +1 volt, el haz se modulará y cuando la señal da cero, el haz no se modulará. En el caso del driver ISOMET la señal TTL de 1 volt de amplitud se conectará en la entrada  $V_t$ . Basta con proporcionar la señal TTL a un solo driver puesto que con ello el haz no será modulado en una dirección cuando la señal TTL sea cero.

Las pruebas respectivas realizadas en el laboratorio consistieron en conectar la señal TTL al generador NEOS y observar tanto la señal de salida del generador como la señal registrada en el analizador de espectros.

En las gráficas 6 y 7 se registró la señal TTL de 95.1mHz (línea naranja), y la señal de radio frecuencia de salida del generador (línea verde).



Gráfica 6.



Gráfica 7.

En dichas gráficas se observa que cuando la señal TTL está en 0 volts la señal del generador también es nula. Cuando la señal TTL es 1 volt, la señal de salida del generador es una señal sinusoidal de 210MHz y 18 volts de amplitud.

Por su parte, en el analizador de espectros se observó que el pico centrado en 10MHz aparece y desaparece si la señal TTL es +1 volt y cero, respectivamente.

## 7. Conclusiones

En las pruebas realizadas en el laboratorio se obtuvo un batimiento de 10.6MHz correspondiente a una modulación de esa frecuencia en un haz laser de 780nm. Ésta modulación se pudo encender y apagar por medio de una señal TTL conectada al generador de radio frecuencia del modulador NEOS.

Para un trabajo futuro con estos moduladores, es importante mencionar que se puede desplazar la modulación alrededor de 10MHz al variar el voltaje  $V_t$  del driver ISOMET, por lo cual se recomienda tener un mejor control de este voltaje para obtener una modulación más exacta.

## 8. Referencias

[1] Operating Manual, Ten Nanosecond acousto-optic modulator with focusing optics, Model Number: 15210-FOA with 71002.

[2] Acousto-Optic Deflector Driver. Instruction Manual 630c Series – Analog Modulation.

[3] García Vizcaino, David. *Sistema láser de medida de velocidad por efecto doppler de bajo coste para aplicaciones industriales e hidrodinámicas.*

[4] Enrique Pacheco, Javier Mendieta, Horacio Soto. *Caracterización de propiedades espectrales y medición de ancho de línea en láseres de semiconductor.*

## 9. Agradecimientos

Se agradece la beca otorgada a través del proyecto UNAM PAPIIT IN-116309.