

# Desarrollo de un peine de frecuencias ópticas para aplicaciones metrológicas

F.G. Yapur<sup>(1)</sup>, D. Luna<sup>(1)</sup>, G. Mingolla<sup>(1)</sup>

fyapur@inti.gov.ar

<sup>(1)</sup>Departamento de Óptica y Dimensional, Metrología Física - INTI

**Palabras Clave:** Peine de frecuencias, trazabilidad, frecuencias ópticas, reloj de cesio.

## INTRODUCCIÓN

Los peines de frecuencias ópticas consisten en un conjunto de longitudes de ondas en el espectro visible, entre los 540 nm y 1080 nm cuyas frecuencias se encuentran en el orden de los (400 - 800) THz. Esto es generado gracias al acople a una fibra óptica microestructurada, de un haz de pulsos ultracortos obtenidos del bombeo, mediante un láser de alta potencia, a una cavidad titanio:zafiro. De este modo se pueden lograr tres funciones: una transición desde el espectro de las microondas hacia el espectro óptico (microondas-óptico), una transición del espectro óptico al de microondas (óptico-microondas) y por último una transición óptica-óptica [1]. Combinando la transición microondas-óptica del peine junto con la señal de referencia de un reloj atómico de cesio, es posible dar trazabilidad desde la unidad de tiempo a la del metro, las cuales se mantienen y realizan en INTI-Metrología Física. A su vez la transición óptica-óptica del peine permite dar trazabilidad entre frecuencias ópticas [2]. Para poder realizar con éxito este desarrollo es necesario medir y estabilizar dos frecuencias: la frecuencia de repetición (Frep) y la Frecuencia de offset, ambas en el orden de las microondas.

## OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es la obtención

y caracterización de pulsos de luz ultracortos para la calibración de frecuencias ópticas

## DESARROLLO

En la Figura 1 puede verse el montaje experimental. Se utilizó un láser Verdi V6, para el bombeo de una cavidad óptica Gigaget20 con la cual se obtuvo un haz pulsado, con una Frep de aproximadamente 1 GHz. Luego se montaron dos espejos compresores para compensar el ensanchamiento de los pulsos por dispersión.

Se montó un sistema de atenuación para alinear la entrada de los pulsos a la fibra microestructurada logrando una eficiencia de acople del 32%. La salida de la fibra fue colimada y se redirigió a un fotodetector. Los pulsos recogidos por el fotodetector se compararon contra una señal brindada por un generador de funciones referenciado al reloj de cesio. La señal error obtenida se usó para alimentar un lazo de control que ajusta mediante un piezoeléctrico el camino óptico de la cavidad Ti-Za y por lo tanto estabiliza la frecuencia de repetición. Esta frecuencia fue medida con un contador también referenciado al reloj de cesio.

## RESULTADOS

Inicialmente se analizaron los espectros de emisión obtenidos para diferentes potencias de bombeo. En la Figura 2 se muestran los

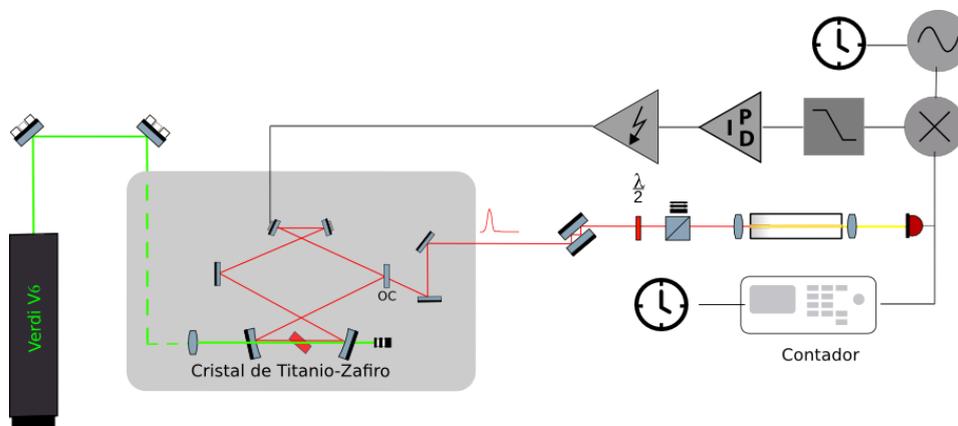


Figura 1: Láser de Titanio:Zafiro y electrónica de control

resultados de potencias de salida normalizadas para bombeos entre 5 W y 5.5 W. Puede verse que el ancho espectral aumenta con la potencia de bombeo. Si bien el valor del pico de emisión disminuye, la potencia total aumenta con la potencia de bombeo. A potencias altas el espectro comienza a deformarse, lo cual indica la presencia de una componente continua no deseada. Por este motivo, se decidió utilizar este valor de potencia de bombeo más alto, con un leve ajuste de la alineación de la cavidad para eliminar la filtración de la componente continua.

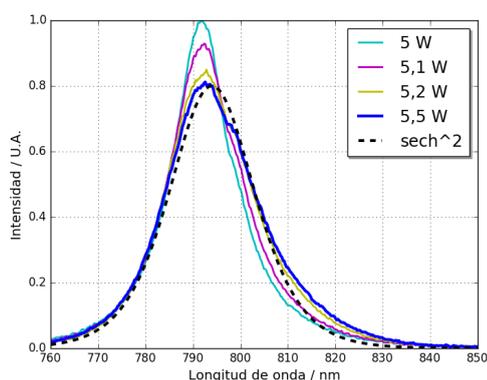


Figura 2. Espectros de emisión del láser Ti:Za para diferentes potencias de bombeo

El espectro de salida de un oscilador de femtosegundos como el utilizado puede aproximarse por un perfil de secante hiperbólica. En este régimen, la duración del pulso  $\tau$  limitado por transformada puede estimarse mediante la expresión (1)

$$\tau = 0.315 \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda \cdot c} \quad (1)$$

Con  $c$  la velocidad de la luz y  $\Delta\lambda$  el ancho del espectro a 3 dB. En la misma figura se muestra

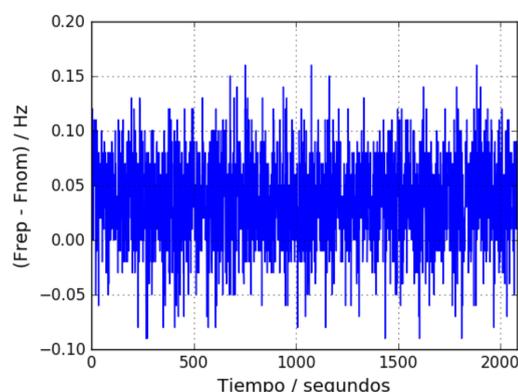


Figura 3. Mediciones de la frecuencia de repetición amarrada a un reloj de cesio.

un ajuste de este tipo para el caso de 5,5 W de bombeo. En el presente caso,  $\Delta\lambda = 12$  nm, lo cual se corresponde con un valor de  $\tau$  de 55 fs. Puede verse que el espectro del modelo se aparta levemente de las mediciones a la derecha del máximo. Una causa posible es la mayor responsividad del silicio del espectrómetro a longitudes de onda mayores. La frecuencia  $F_{rep}$  se amarró mediante un lazo PID a una frecuencia  $F_{nom} = 1\,000\,143\,000.0$  Hz, a su vez referida al reloj de cesio patrón de INTI. En la Figura 2 pueden verse los resultados obtenidos mediante el contador del esquema en la Figura 1. Se muestra la diferencia entre las frecuencias medidas  $F_{rep}$  y la nominal  $F_{nom}$ . La frecuencia permanece amarrada durante toda la medición. Sin embargo, existe un offset entre la frecuencia objetivo y las mediciones. Esto no presenta un problema en sí, pero es un aspecto a explorar.

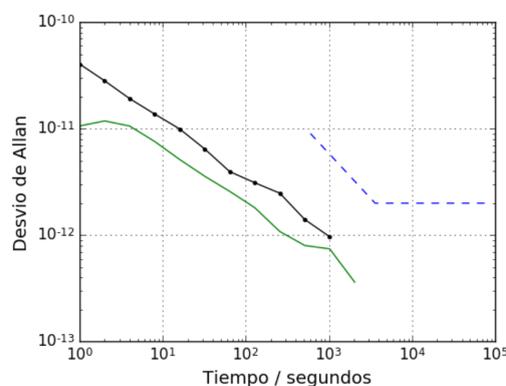


Figura 4. Desvío de Allan de reloj de cesio (verde), y  $F_{rep}$  (puntos negros). En azul, incertidumbres de las capacidades de medición de INTI

En la figura 4 puede verse el desvío Allan de la frecuencia de repetición en línea negra punteada. Debajo, el desvío de Allan del reloj de cesio de INTI. La curva azul corresponde a las incertidumbres de las capacidades de medición de INTI. El resultado indica que el nivel de ruido generado por el lazo PID es levemente superior al ruido propio del reloj de cesio.

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se generaron pulsos ultracortos y se estabilizó la frecuencia de repetición de un peine de frecuencias óptico. El próximo paso consiste en medir y estabilizar la frecuencia de offset.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Marsh, J. H., & Hou, L. (2017). Mode-locked laser diodes and their monolithic integration. IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics, 23(6), 1-11
- [2] M. G. Mingolla, J. A. Alvarez, K.B. Bastida. Calibración de frecuencias ópticas por batido de frecuencias. ANALES AFA, [S.l.], v. 20, n. 1, jun. 2008. ISSN 1850-1168.