



## 1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

**Título:** Estudio de un peine de frecuencias y su aplicación a experimentos de precisión en una trampa Paul.

### Descripción general (resumen y metodología):

Un peine de frecuencias (OFC) consiste en la emisión de un láser mode-locked de un conjunto de trenes de pulsos ópticos ultracortos (en el rango de picosegundos a femtosegundos) con una relación de fase fija entre todos sus modos longitudinales. En poco más de dos décadas, el OFC ha revolucionado numerosas investigaciones y desarrollos en distintos campos de la Física donde podemos destacar la espectroscopia de precisión, metrología en dominio temporal y de frecuencias, procesos ultra rápidos en física de semiconductores, calibración de espectrógrafos astronómicos, control de reacciones químicas mediante interferencia cuántica o el desarrollo de relojes atómicos y estándares de frecuencia (o relojes ópticos). Al ser el único dispositivo con capacidad de vincular directamente el dominio óptico con el de radiofrecuencia, el OFC se ha convertido en una herramienta insustituible. Por otro lado, y debido a la presencia de esta tecnología, se están desarrollando nuevos estándares de frecuencia óptica que pueden sustituir el actual estándar de microondas en Cs como base para la definición del segundo en el SI. Se ha demostrado en distintos trabajos que los mejores resultados obtenidos están basados en experimentos con trampas de iones y átomos neutros, mostrando una incertidumbre de frecuencia de 10<sup>-16</sup> o incluso mejor, superando así a los mejores relojes de fuente de Cs.

**Tipología:** Trabajos experimentales, de toma de datos de campo o de laboratorio.

### Objetivos planteados:

Los objetivos establecidos para este trabajo son:

1. Estudio de un peine de frecuencias. Para ello se realizará una revisión bibliográfica sobre la tecnología de un peine de frecuencias ([1], [2], [3]) en donde se identificará cada elemento, así como su función dentro del dispositivo.
2. Medida de radiación láser con anchura de línea estrecha y caracterización de ésta con el peine de frecuencias en el Laboratorio de Trampas de Iones y Láseres [4].
3. Aplicación del peine de frecuencias en la medida de transiciones “reloj” en isótopos de calcio ionizados en una trampa Paul lineal [5], [6].

### Bibliografía básica:

1. **Femtosecond Optical Frequency Comb: Principles, Operation and Applications.** J. Ye, S. T. Cundiff, “”, Springer, 2005
2. **Frequency combs applications and optical frequency standards in Metrology and Fundamental Constants**, T. Udem and F. Riehle, edited by T. W. Hänsch, S. Leschiutta, A. J. Wallard, and M. L. Rastello, Proceedings of the International School of Physics “Enrico Fermi”, Course CLXVI, pages 317–365, Amsterdam, 2007.
3. **Laser Spectroscopy and Frequency Combs**, T. W. Hänsch, N. Picqué, 21st International Conference on Laser Spectroscopy, Journal of Physics: Conference Series 467, 012001, 2013.
4. <http://trapsensor.ugr.es>

5. **Absolute Frequency Measurement of the  $40\text{Ca}^+ 4s2S1/2 - 3d2D5/2$  Clock Transition**, M. Chawalla, J. Benhelm, K. Kim, G. Kirchmair, T. Monz, M. Riebe, P. Schindler, A. S. Villar, W. Hänsel, C. F. Roos, R. Blatt, M. Abgrall, G. Santarelli, G. D. Rovera, and P. Laurent, Phys. Rev. Lett. 102(2), 023002, 2009.
6. **A frequency comb stabilized Ti:Sa laser as a self-reference for ion-trap experiments with a  $40\text{Ca}^+$  ion**, F. Domínguez, J. Bañuelos, J. Berrocal, J. J. del Pozo, M. Hernández, A. Carrasco-Sanz, J. Cerrillo, P. Escobedo-Araque, D. Rodríguez, Rev. Sci. Instrum. 93, 093304, 2022.

### **Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:**

#### **Metodología:**

1. Estudio bibliográfico asociado a los peines de frecuencias ([1], [2], [3]) de donde se obtendrá la información relevante a su origen, desarrollo y funcionamiento.
2. Conocimiento de un peine de frecuencias. Tecnología asociada y estudio de los elementos necesarios para su funcionamiento.
3. Conocimiento de trampas de iones tipo Paul y mecanismos de enfriamiento por láser de un ion atrapado.
4. Protocolos de naturaleza cuántica para medidas precisas de frecuencia de transiciones atómicas.
5. Desarrollo del protocolo con el peine de frecuencias.

**Plazas:** 1

### **2. DATOS DEL TUTOR/A:**

**Nombre y apellidos:** ANA CARRASCO SANZ

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** ÓPTICA

**Correo electrónico:** acarrasco@ugr.es

### **3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):**

**Nombre y apellidos:** DANIEL RODRÍGUEZ RUBIALES

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** FÍSICA ATÓMICA, MOLECULAR Y NUCLEAR

**Correo electrónico:** danielrodriguez@ugr.es

### **4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):**

**Nombre y apellidos:**

**Correo electrónico:**

**Nombre de la empresa o institución:**

**Dirección postal:**

**Puesto del tutor en la empresa o institución:**

**Centro de convenio Externo:**

**5. DATOS DEL ESTUDIANTE:**

**Nombre y apellidos:** JORGE LUIS JIMENEZ DA SILVA

**Correo electrónico:** jorgejimsil@correo.ugr.es