

# CONVOCATORIA PARA ASISTENCIAS GRADUADAS DE INVESTIGACIÓN INTERSEMESTRALES REPORTE FINAL

---

**Estudiante:** Daniel Fernando Urrego González

**Director de tesis:** Alejandra Valencia

**Fecha:** 14 de Agosto, 2016

**Periodo Inter-semestral:** 201619

---

## OBJETIVOS

### Objetivo general:

Elaborar y caracterizar una fuente de fotones individuales para, a futuro, estudiar de manera experimental las dinámicas de un sistema cuántico al considerar su interacción con un ambiente externo.

### Objetivos específicos:

- Desarrollar experimentalmente una fuente lumínica de fotones individuales anunciados (HSP).
- Caracterizar la fuente de fotones individuales midiendo la función de correlación temporal,  $G_2$ .
- Caracterización de modo espacial de la fuente de fotones individuales.
- Caracterización del estado de polarización de la fuente.

## Introducción

Como objetivo principal, del proyecto de asistencia graduada de investigación del período inter-semestral del año 2016, se propuso la implementación y caracterización de una fuente de fotones anunciados con el fin de ser usada en el proyecto de grado de maestría titulado "STUDYING THE DYNAMICS OF OPEN QUANTUM SYSTEM USING PHOTONS". La fuente de fotones anunciados, o HSPs por sus siglas en inglés, es una herramienta con la cual es posible garantizar el uso de una sola partícula de luz a la vez [1]. La fuente consiste en la creación de un par de fotones gemelos, fotones enredados, por medio de un proceso paramétrico. La medición de uno de los fotones del par anuncia la presencia de su hermano. De este modo, es posible estar seguro que al momento de tener una coincidencia entre las mediciones de los fotones se está

trabajando al nivel de una partícula. En este reporte final, se presentan los avances que se realizaron durante el período inter-semestral en la implementación y caracterización de la fuente de fotones anunciados. Adicionalmente, se reporta la implementación de un canal de desfase a través del cual se enviarán HSP para estudiar dinámica cuántica. Este último tema se adiciona en este reporte ya que como explicaremos hubo problemas técnicos al implementar un motor necesario para las mediciones.

## Reporte de actividades

En lo que sigue describimos el trabajo hecho respecto a cada uno de los objetivos específicos propuestos.

- Implementación experimental de la fuente de fotones anunciados

La implementación experimental de la fuente de fotones anunciados se realizó en el laboratorio de óptica cuántica de la universidad de los Andes. Para esto, se implementó el montaje óptico de la figura 1. Un láser de 405nm bombea un cristal no lineal (NLC) de BBO tipo II, donde ocurre un proceso paramétrico que a través de la de la aniquilación de un fotón genera dos fotones gemelos con la mitad de energía del primero. En particular, para este experimento los fotones generados son de 810nm y se acoplan a un divisor de polarización en fibra mono-modo para ser llevados a dos detectores y poder realizar la medición de coincidencias.

Durante la alineación de la fuente se ha ido perfeccionando el método de acople de la luz debido a que se quiere obtener la mayor cantidad de pares posibles en un modo espacial adecuado [2]. Este procedimiento se llevó a cabo durante los primeros días del mes de Junio, y el cual llevo más tiempo de lo esperado debido a la sensibilidad de los elementos al alinear.

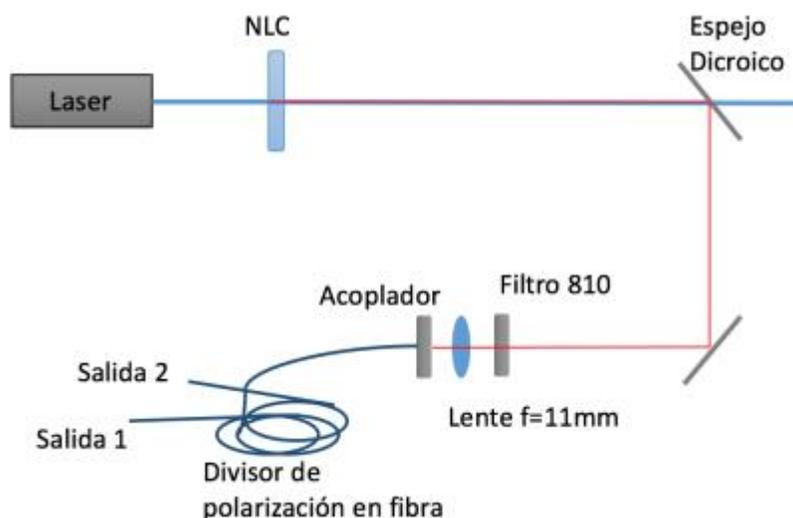
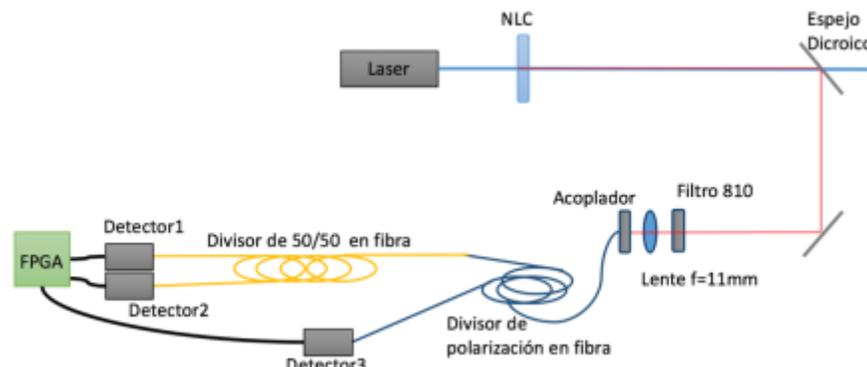


Figura 1

- Caracterizar la fuente de fotones individuales midiendo la función de correlación temporal,  $G_2(t_1 - t_2)$ .

La medición de la correlación temporal de segundo orden se hace utilizando un interferómetro de Hanbury-Brown and Twiss; midiendo la diferencia de tiempo entre los caminos del interferómetro es posible encontrar la función característica del par de fotones generados por la fuente [3]. Experimentalmente esta medida para el caso de HSP se puede implementar en un montaje como el de la figura 2.



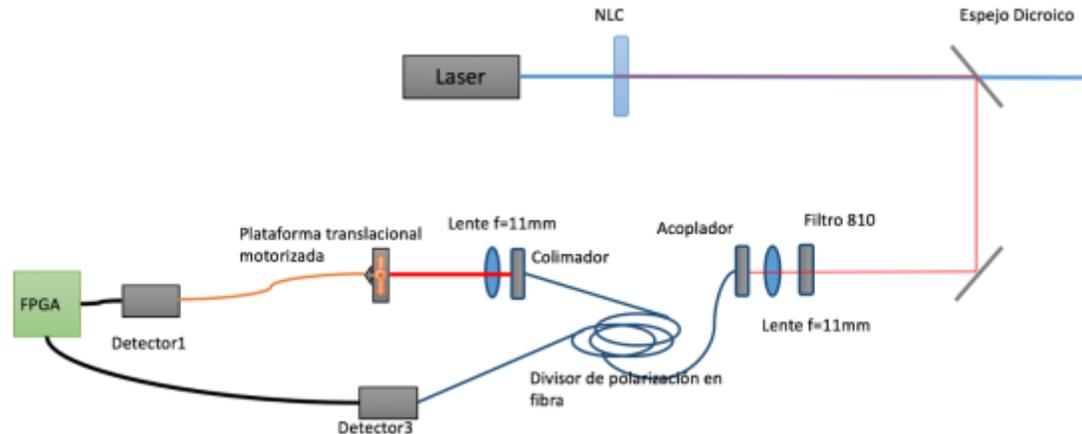
**Figura 2**

La función de correlación temporal de segundo orden se estudió teóricamente y fue discutida en el seminario de óptica cuántica. Se planteó el uso de una FPGA (Field programable gate array) o un TDC (Time to digital converter) para realizar dichas medidas. El primero es un sistema electrónico que procesa señales con un reloj interno de 3.6ns. Programando la FPGA se logra conseguir un aparato de medición de coincidencias de ventana 9ns; Adicionalmente, por medio de retrasos electrónicos de las señales de entradas se logra medir el número de coincidencias en función de  $\Delta\tau$ . El TDC es una herramienta electrónica que permite medir  $\Delta\tau$  entre dos eventos. Para el caso de la medición de correlación se realiza el estudio de la distribución de los  $\Delta\tau$ 's. La resolución de TDC puede variar desde 25ps hasta 200ps. La medición de la función de correlación se verá ensanchada por el tiempo de la ventana de coincidencia.

Concluimos de este primer objetivo, que el uso de la FPGA como herramienta para la medición de la función de correlación es idóneo. La FPGA reúne las condiciones necesarias para distinguir la forma característica de la función de correlación temporal de segundo orden de los fotones anunciados, a pesar que la resolución temporal de la FPGA sea superior a la del TDC y el tiempo de correlación de los fotones sea 150fs.

- Caracterizar la fuente de fotones individuales midiendo la función de correlación espacial,  $G_2(x_1-x_2)$ .

La medición de la correlación espacial de segundo orden se hace utilizando un interferómetro de Hanbury-Brown and Twiss; midiendo la posición de llegada escaneando uno de los brazos del interferómetro y el otro brazo dejándolo fijo es posible encontrar la función de correlación de segundo orden espacial del par de fotones generados por la fuente [4]. Experimentalmente esta medida para el caso de HSP se puede implementar en un montaje como el de la figura 3.

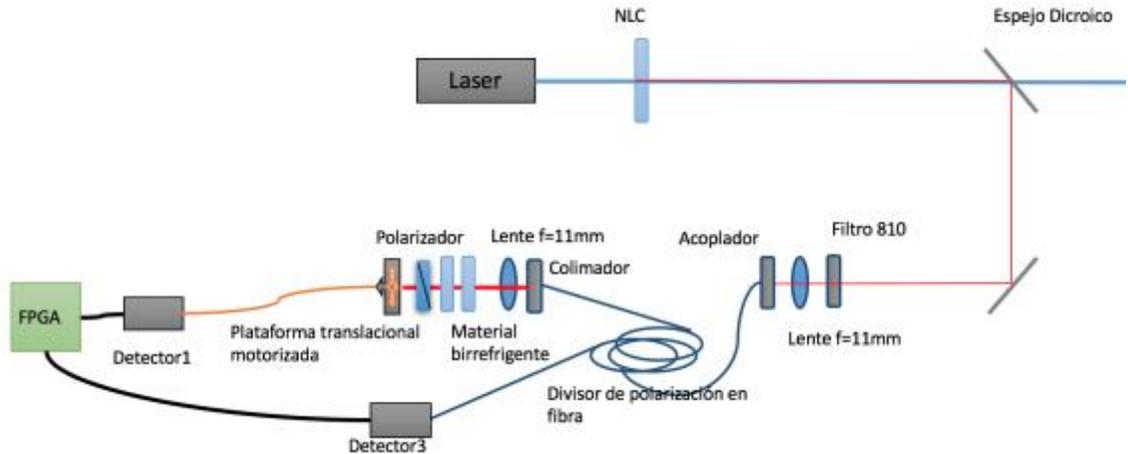


**Figura 3.**

Para la última caracterización, espacial, se propuso escanear el plano transversal del haz. Para esto es necesario la implementación de un sistema de detectores puntuales sujetos a plataformas motorizadas que se desplacen en dirección  $x$ ,  $y$  y  $z$ . El sistema de detención barre el plano transversal con una resolución de  $5\mu m$ . Para alcanzar este objetivo se tuvieron problemas técnicos; El sistema de plataformas fue construido en el taller mecánico y electrónico del departamento de física y no fueron entregados a tiempo. Actualmente se está realizando el acoplamiento de los motores con el sistema de medición de los detectores de fotones.

- Caracterización del estado de polarización de la fuente

La caracterización de polarización se realiza a través de un proceso de tomografía de polarización. Para esto se usa el montaje experimental de la fig 4. La caracterización de polarización se realiza a través de la proyección del estado en los elementos de 3 diferentes bases, reconstruyendo parámetros de Stoke con los cuales es posible reconstruir la matriz densidad asociada a estado cuántico de la polarización [5]. Para esto se usa un sistema de materiales birrefringentes que rotándolo a una determinada configuración se consigue realizar la proyección en el laboratorio.

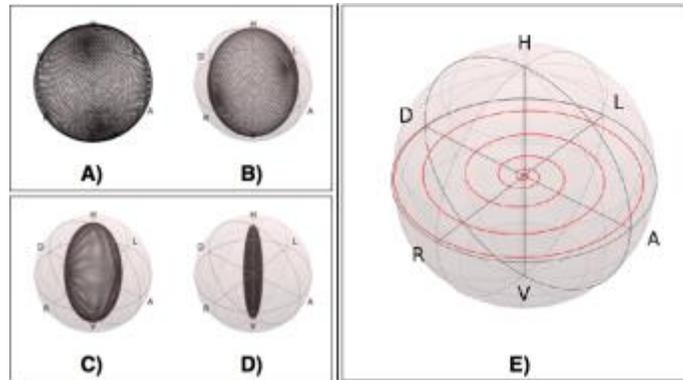


**Figura 4.**

Como se puede ver en la fig. 4, la plataforma translacional motorizadas juegan el papel de acople de la luz a la fibra importante y por el problema técnico ya comentado no se pudo realizar este objetivo. Por lo tanto se decidió empezamos a trabajar y aprende de la tomografía con un láser. Durante el aprendizaje nos interesamos en el estudio de canales cuánticos de desfase ya que este tema es la esencia de mi tesis de maestría. A continuación reporto lo aprendido respecto a este tema y los productos obtenidos que se espera sean sometidos a publicación en una revista indexada, presentados en una conferencia internacional y en la escuela Light and Matter en la Universidad de los Andes.

## Canal de desfase

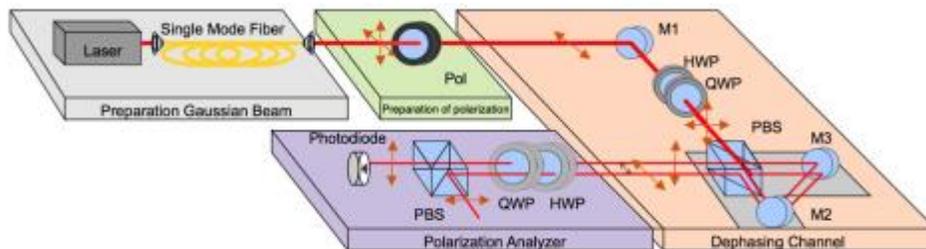
El canal controlable es una herramienta que acopla dos grados de libertad de un sistema [6]. Manipulando el acople se puede generar decoherencia en el sistema. Un canal de desfase se caracteriza por tener los vectores de polarización  $\vec{H}$  y  $\vec{V}$  como sistemas no decoherente, es decir que estos dos estados sin importar la manipulación del acople no cambia su estado. En la fig. 5 se muestra el comportamiento típico de un canal de desfase. En la figura 2.a a 2.d se muestra el comportamiento, para diferentes valores del parámetro  $d$ , para cualquier polarización que atraviesa nuestro canal de desfase. En la figura 2.E muestra la evolución al variar el parámetro  $d$  para un estado de polarización diagonal.



**Figura 5.**

La figura A a la D muestra la evolución de cualquier polarización que a trevesa nuestro canal de desfaseamiento.  $d=0\text{mm}$ ,  $d=0.3\text{mm}$ ,  $d=0.5\text{mm}$  y  $d=0.8\text{mm}$ , respectivamente.

Usando un láser de 808nm, el cual es acoplado a una fibra mono-modo, cuya función es la de filtro espacial, obtenemos un modo espacial gaussiano. Por medio de un polarizador se prepara el estado inicial, en partícula para este caso es la polarización vertical. El canal de desfaseamiento, está compuesto por una parte de polarización y una parte de coherencia, la primera se logra a partir del uso de láminas de onda y la segunda es obtenida con P-TBD [7]. El estado resultante del canal es analizado a través de analizador de polarización. El montaje experimental se puede ver en la figura 6.



**Figura 6**

El experimento se realiza rotando la plataforma donde están ubicados los espejos M2 y M3 en pasos de  $0.001875^\circ$  en un rango de  $[0, 0.46875]$ . La rotación de cada paso equivale a la separación espacial entre los dos haces de salida de la P-TBD en  $7.262 \times 10^{-3} \text{mm}$ . Durante cada paso se realiza una tomografía, comentada anteriormente, para medir los parámetros de Stoke que permiten obtener la pureza del estado. En la fig 7. se muestra el comportamiento del canal de desfaseamiento para 5 configuraciones de las laminas de ondas. En particular para los estados horizontal y vertical no se registra cambio en su estado. Para los otros 3 estados se muestra como el estado comienza volverse un estado mezclado. Este comportamiento coincide con el nombrado en la figura 5. Adicionalmente, en la figura 7 se muestra la pureza de los estados medidos. A través de la pureza, corroboramos el comportamiento del canal de desfaseamiento; Los estados en los polos de la esfera no sufren decoherencia haciendo que la pureza sea constante. Los otros estados sufren decoherencia, en particular el estado diagonal pierde todo su grado de pureza convirtiéndose en un estado máximamente mezclado.

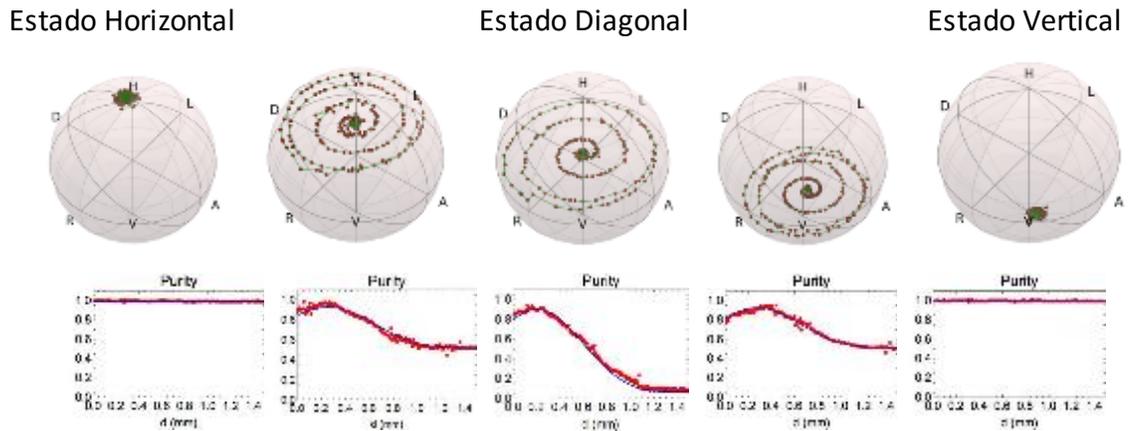


Figura 7.

## Coclusiones

En resumen, a través del uso del canal de desfaseamiento y con un estado de polarización conocido es posible generar cualquier estado de polarización en la superficie o en el interior de la esfera de Bloch como se muestra en la figura 5. El comportamiento de la pureza para los estados de polarización de los polos y del plano ecuatorial que confirman el comportamiento de un canal de desfaseamiento. Finalmente, usando nuestro canal de desfaseamiento hay la posibilidad de tener un estado de polarización dentro de la esfera de Bloch controlando el grado de pureza. Adicionalmente, los datos obtenidos con este experimento serán presentados a una revista indexada de cuartil 1.

## Bibliografía

- [1] Y. Shih, "Entangled biphoton source- property and preparation" *Rep. Prog. Phys.* **66**, 1009-1044 (2003)
- [2] O. Kwon, *et al.*, "Single-mode coupling efficiencies of type-II spontaneous parametric down-conversion: Collinear, noncollinear, and beamlike phase matching", *Phys. Rev. A* **78**, 053825 (2008).
- [3] E. Bocquillon, *et al.* "Coherence measures for heralded single-photon sources". *Phys. Rev. A* **79**, 035801 (2009).
- [4] M. Scully, *et al.* "Quantum optics". (Cambridge University Press, Cambridge, 1997).
- [5] D. F. James, *et al.* "Measurement of qubits". *Phys. Rev. A* **64**, 052312 (2001)
- [6] M. A. Nielsen and I. L. Chuang, "Quantum Computation and Quantum Information" (Cambridge University Press, Cambridge, 2000).
- [7] L. J. Salazar Serrano, *et al.*, "Tunable beam displacer", *Rev. Sci. Instrum.* **86**, 033109 (2015).