

# SISTEMA DE EMISIÓN Y DETECCIÓN DE PULSOS ÓPTICOS EN EL ORDEN DE LOS NANOSEGUNDOS

## SYSTEM FOR THE GENERATION AND DETECTION OF NANOSECOND OPTICAL PULSES

S. RAYMOND<sup>a,b</sup>, J. DEL VILLAR<sup>b,c</sup>, S. STOLIK<sup>a†</sup>, D. JIMÉNEZ<sup>a</sup>, A. VALOR<sup>a</sup>, J. M. DE LA ROSA<sup>a</sup>

a) Programa de doctorado, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, ESIME Culhuacán, Instituto Politécnico Nacional, México

b) Laboratorio de Biofotónica, ESIME Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, México; surenstolik@gmail.com<sup>†</sup>

c) Escuela de Electromecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana.

† autor para la correspondencia

Recibido 9/03/2020; Aceptado 20/10/2020

PACS: Fluorescence of molecules (fluorescencia de moléculas), 33.50.Dq; lifetimes molecular spectra (tiempo de vida de los espectros moleculares), 33.70.Ca; digital circuit (circuito digital), 84.30.Sk

Entre las principales tecnologías que son pilares de los avances científicos y tecnológicos del S.XXI se encuentra la fotónica, la cual tiene como herramienta fundamental la luz y su interacción con la materia [1]. Se conocen varios fenómenos y técnicas derivados de esta interacción, los cuales permiten obtener una caracterización óptica de muestras y tejidos; ejemplos de estas técnicas pueden ser: la espectroscopia de reflectancia difusa, mediciones de tiempo de vuelo de fotones y mediciones de fluorescencia.

Particularmente la fluorescencia, tiene una duración típica de alrededor de  $10^{-9}$  s y la luz emitida proviene de las transiciones del primer nivel electrónico excitado singlete al estado base. Las mediciones de fluorescencia en tejidos proveen información acerca de la presencia y distribución de moléculas específicas, fluoróforos, lo que constituye una herramienta fundamental en aplicaciones clínicas, en biología celular, entre otras [2]. Las mediciones de fluorescencia pueden ser clasificadas en dos tipos: estacionarias y resueltas en el tiempo. Las técnicas de medición en estado estacionario brindan información acerca de la intensidad de la luz fluorescente y su distribución espectral. Cuando se realiza esta técnica no es raro obtener espectros muy similares que corresponden a diferentes compuestos orgánicos, esto complica la diferenciación de los componentes que fluorescen. Por otra parte, las mediciones de fluorescencia resuelta en el tiempo permiten la observación de la evolución temporal de la radiación capturada, proporcionando información adicional sobre la estructura y composición molecular de una muestra. En esta técnica, la muestra es excitada con pulsos cortos de luz (normalmente del orden de los nanosegundos o menor) y la intensidad de la emisión fluorescente es medida con un fotodetector de respuesta rápida y un sistema de muestreo en el orden de los gigahertz (GHz) [3]. Este tipo de sistema puede ser sustituido utilizando la técnica de muestreo en tiempo equivalente: secuencial o aleatorio, para posteriormente reconstruir el perfil temporal de la señal detectada [4].

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema que emite y detecta pulsos ópticos del orden de los nanosegundos,

para aplicaciones resueltas en el tiempo, como puede ser las mediciones de fluorescencia.

El prototipo desarrollado consta de dos módulos, uno de excitación y otro de detección. El subsistema de excitación es el encargado de crear un pulso óptico del orden de los nanosegundos para la excitación de una muestra. Este, a su vez, está compuesto de un circuito generador de pulsos eléctricos en el orden de los nanosegundos, como muestra la Fig. 1.

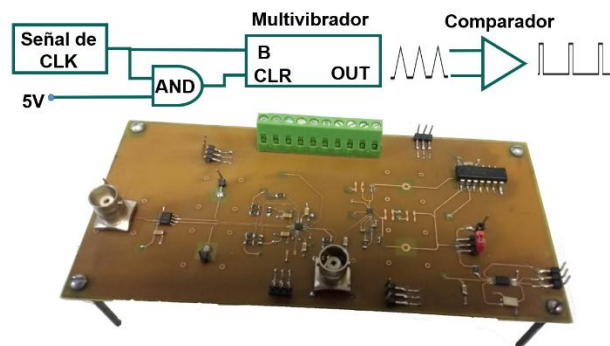


Figura 1. Circuito generador de pulsos eléctricos en el orden de los nanosegundos.

El circuito consta de un generador de señal de reloj de 20 MHz, un multivibrador (74LVC1G123-Q100), una compuerta AND y un comparador (ADCMP572). Cuando la señal de reloj llega al multivibrador, pone a este en un estado inestable, determinado por una constante de tiempo RC. Este multivibrador puede ser llevado a su estado estable mediante una señal en su PIN CLR (clear); por lo que se hace pasar la señal de reloj por una compuerta AND, que tiene tiempos de propagación bajos, generándose así pulsos en el orden de los nanosegundos. Luego, la señal pasa por un comparador para hacerla aún más angosta.

Una vez generados los pulsos eléctricos, estos son enviados a un controlador, el cual está conectado a un diodo láser, para generar pulsos ópticos en el orden de los nanosegundos.

El segundo módulo desarrollado en este trabajo (módulo de detección) está compuesto de varias partes, como puede observarse en la Fig. 2. El primer elemento que constituye el diagrama de bloques es el fotodetector, encargado de transformar la señal de fluorescencia proveniente de la muestra en una señal eléctrica.

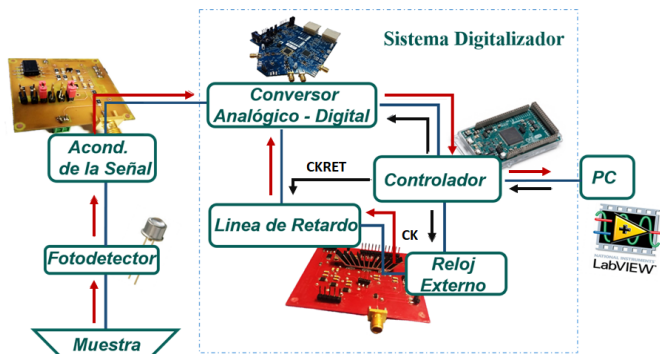


Figura 2. Sistema de detección.

El fotodetector elegido es un fotodiodo PIN de Silicio de alta velocidad, Hamamatsu S5973 modelo 02. Es de señalar que este fotodiodo posee un ancho de banda de un 1 GHz, para un voltaje inverso de 3.3 V; lo que permite obtener un tiempo de subida de 0.35 ns [5].

Como segundo elemento, ver Fig. 3, se encuentra el circuito de acondicionamiento de la señal, el cual tiene dos etapas: la primera es un circuito de transimpedancia y la otra es un circuito amplificador restador (amplificador diferencial).

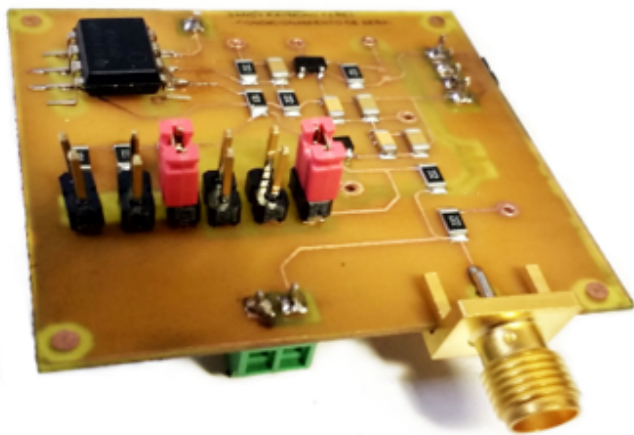


Figura 3. Circuito de acondicionamiento de la señal.

Seguidamente, se tienen el sistema digitalizador, el cual está compuesto de un convertor analógico-digital de 700 MHz (AD9269), tres líneas de retardo programables en cascada (DS1124-25), que presentan un paso de retardo (delay step) de 250 ps, un generador de reloj de 200 MHz y un controlador constituido por una Tarjeta de Evaluación Arduino Due. Todos estos elementos son los encargados de implementar el muestreo en tiempo equivalente secuencial, para la captura de los datos.

En el muestreo en tiempo equivalente secuencial, el sistema adquiere una muestra por disparo, como se indica en la Fig. 4. Cuando se detecta un disparo, se realiza la adquisición después de un retardo muy corto, pero muy bien definido; cuando se produce el próximo disparo, se añade un pequeño incremento de tiempo  $\Delta t$  a este retardo, y el digitalizador adquiere otra muestra. Los puntos de observación aparecen de izquierda a derecha de forma secuencial a lo largo de la forma de la señal. Este retardo tan precisamente medido es lo que proporciona a los sistemas de muestreo secuencial su inigualable resolución de tiempos [5].

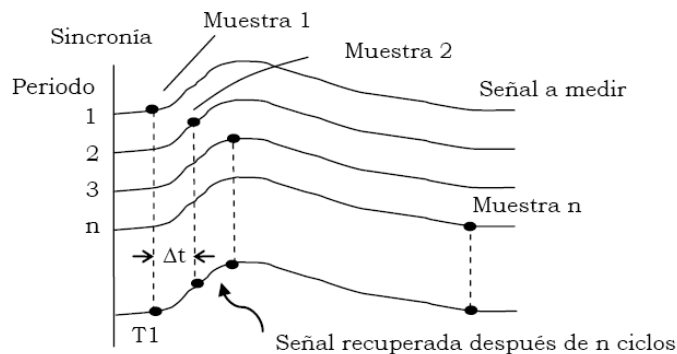


Figura 4. Muestreo en tiempo equivalente secuencial.

Los datos capturados por el sistema digitalizador son enviados hacia una computadora, donde se implementó una interfaz utilizando LabVIEW, que permite interactuar con el sistema de generación y detección de pulsos. En la Fig. 5, se puede observar la medición de los pulsos ópticos generados, aplicando la técnica de muestreo en tiempo equivalente secuencial. Cabe señalar que el sistema emplea un método de reducción de errores, el cual consiste en realizar varias capturas de un mismo dato y luego efectuar un promedio de estos.

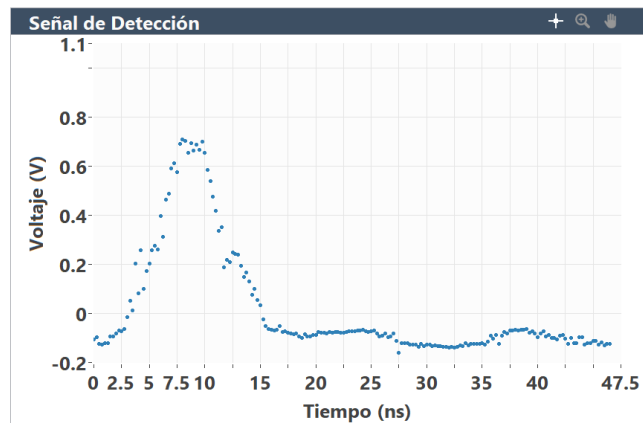


Figura 5. Pulso óptico medido con el sistema desarrollado.

Otra medición realizada con el sistema desarrollado fue medir pulsos generados con el láser NPL41B, de la compañía Thorlabs. Este láser puede generar pulsos ópticos con anchos (FWHM) desde  $(6 \pm 1)$  ns hasta  $(38 \pm 3)$  ns. En la Fig. 6 se muestran estos pulsos medidos con nuestro sistema de detección, los cuales tienen un ancho de 6.5 ns. Cabe señalar que en este caso se han utilizado las tres líneas de retardo en

cascada, con el objetivo de poder abarcar una mayor ventana temporal.

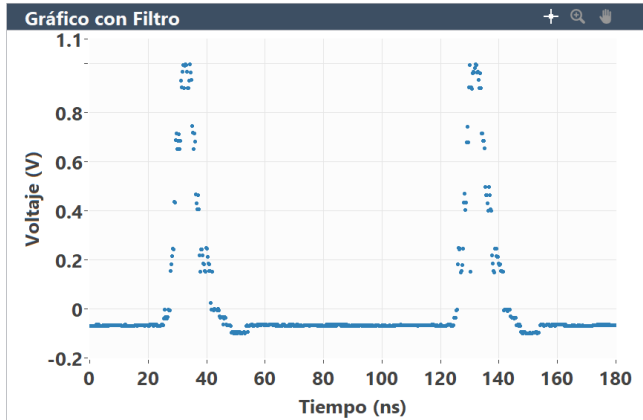


Figura 6. Pulso óptico (láser NPL41B) medido con el sistema de detección desarrollado.

En general, se puede decir que en este trabajo se desarrolló un prototipo para la generación y medición de pulsos ópticos rápidos, con duraciones del orden de los nanosegundos. Para ello se implementó un digitalizador de alta velocidad y un circuito de acondicionamiento de señal, con anchos de banda de 70MHz y 1GHz, respectivamente.

El sistema creado permite medir señales analógicas de hasta  $2 V_{p-p}$ , generando un barrido máximo de 192 ns con una resolución temporal de 250 ps. Por otra parte, la técnica de muestreo en tiempo equivalente secuencial es funcional, y su algoritmo permite agregar un método simple de supresión de ruidos. La resolución y el ancho de banda del digitalizador y del circuito de acondicionamiento desarrollado, cumplen con los requerimientos necesarios para que el sistema pueda ser aplicado en mediciones resueltas en tiempo, como pueden ser mediciones de fluorescencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M.L. Calvo Padilla, *Revista de la Facultad de Ciencias* **8**, 69 (2015).
- [2] L. Marcu, P.M.W. French y D.S. Elson, *Fluorescence Lifetime Spectrosc. and Imaging*. (Taylor & Francis Group, 2015), pp. 1-10, pp. 87-89.
- [3] E.E.L. Vallejo, "Métodos de análisis de fluorescencia resuelta en el tiempo", Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, 2010.
- [4] Y. Chao, J. Liu, *Rev. Sci. Instrum.* **87**, 125106 (2016).
- [5] E. Moreno, R. Galicia, D. Jiménez, J. M. de la Rosa, S. Stolik, *J. Appl. Res. and Technol.* **10**, 2 (2012).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.

