

# Sistema de generación de ondas arbitrarias basado en un patrón de tensión Josephson

R. J. Iuzzolino y M. E. Bierzychudek  
INTI Física y Metrología, Unidad técnica Electricidad, Laboratorio de Patrones Cuánticos  
ricardo.iuzzolino@inti.gob.ar

## Resumen

Se presenta en este documento el desarrollo de un sistema basado en el efecto Josephson para generar formas de ondas arbitrarias con exactitud cuántica y 14 bit de resolución.

## Introducción

El efecto Josephson es un pilar fundamental en la instrumentación eléctrica [1]. Se utiliza para reproducir la unidad del volt con gran exactitud y así dar trazabilidad, junto con el efecto Hall cuántico, a gran parte de las mediciones. Además, es el único método disponible para caracterizar y verificar el instrumental eléctrico de gran exactitud.

El INTI fue el primer país de Latinoamérica en contar con un sistema Josephson convencional de 1 V, lo que nos permitió ser referencias regionales. En el año 2015 se empezó un proyecto para actualizar el sistema convencional a un sistema programable (PJVS), también de 1 V. La diferencia principal es que el PJVS permite generar formas de ondas arbitrarias con 14 bits de resolución.

A continuación, se describen los pasos y avances logrados en este proceso de mejora.

## Sonda criogénica

Se construyó una sonda criogénica con 16 cables de control y 2 para la tensión de referencia. La sonda cuenta con una caja de conexión y un blindaje de Cryoperm para aislar al chip PJVS de interferencia RF. Se utilizó un conector LEMO de dos vías para la tensión generada y un conector DB25 para las señales de control. Dentro de la sonda, una guía de onda circular conecta un diodo Gunn con el chip Josephson. La figura 1 muestra la sonda desarmada, se puede observar la guía de ondas, los tubos de teflón que contienen los cables de control y las arandelas de MiCarta que sostienen a la guía dentro del tubo exterior.

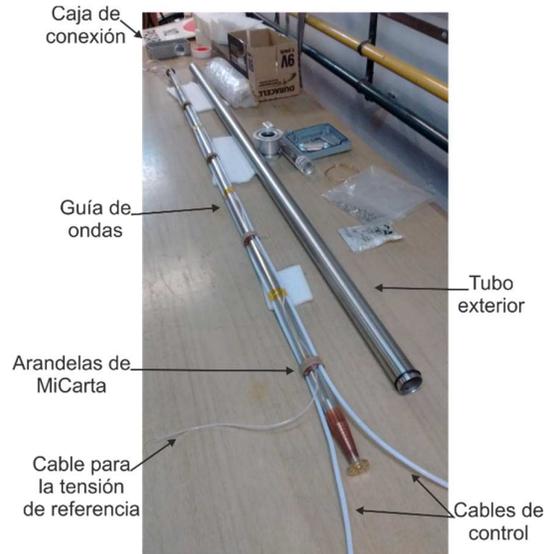


Figura 1. Sonda criogénica para el sistema Josephson programable.

## Configuración del chip de juntas Josephson

El array Josephson fue construido en PTB [2] y posee 8192 SNS juntas Josephson (JJ) organizadas en 14 segmentos binarios en la secuencia que se muestra a continuación. A estos segmentos se conectaron 4 fuentes de polarización. Una de ellas fue fabricada en Alemania y las otras tres en INTI, de las cuales dos formarán parte del nuevo prototipo.

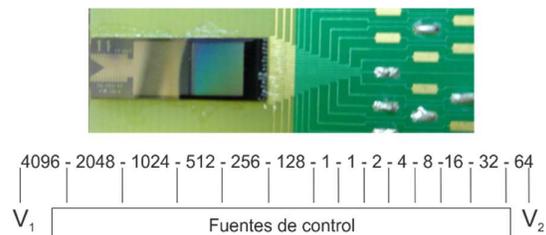
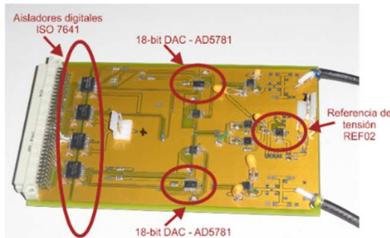


Figura 2. Foto de un chip Josephson y organización de las juntas.  $V_1$  y  $V_2$  indican los cables de la tensión de referencia.

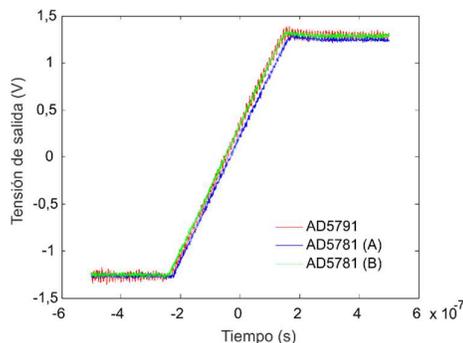
## Fuentes de corriente programables

Las fuentes de control se construyen conectando resistores de 50 ohm en serie con fuentes arbitrarias de tensión. Estas fuentes utilizan un convertor digital a analógico comercial de 18 bits, +/- 5 V de rango dinámico y 50 V/ $\mu$ s de slew rate. Para esta aplicación en particular, se utiliza una frecuencia de muestreo de 100 kHz y una amplitud máxima de +/-1,2 V. Los convertidores son controlados por una CPLD con oscilador maestro de 66 MHz a través de una comunicación serial aislada y con 121 ns por bit.

Las siguientes figuras presentan una foto de la placa de generación de dos canales. Luego se presenta el tiempo de crecimiento para tres canales, que es aproximadamente 300 ns con 30 ns de diferencia máxima entre canales.



**Figura 3.** Primer prototipo de las fuentes de control de dos canales y 18 bits.



**Figura 4.** Medición del tiempo de crecimiento de la tensión de salida de tres canales.

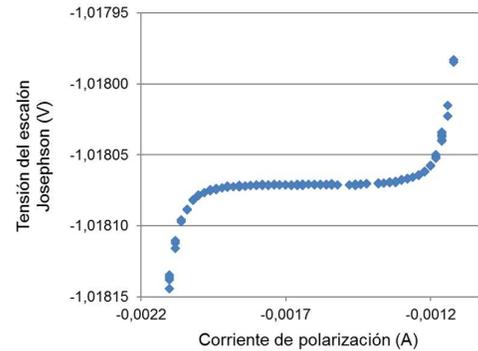
## Resultados

Se presenta a continuación algunos resultados preliminares que se realizaron para verificar las partes del nuevo sistema.

### A. Comparación indirecta

El nuevo sistema fue comparado con el patrón de tensión convencional midiendo con ambos sistemas un patrón de tensión eléctrica basado en un diodo zener. Las mediciones incluyen una inversión de polaridad y fueron realizadas con una semana de separación. La diferencia obtenida fue igual a 0,09  $\mu$ V/V, con 0,1  $\mu$ V/V de incertidumbre en la calibración con el sistema

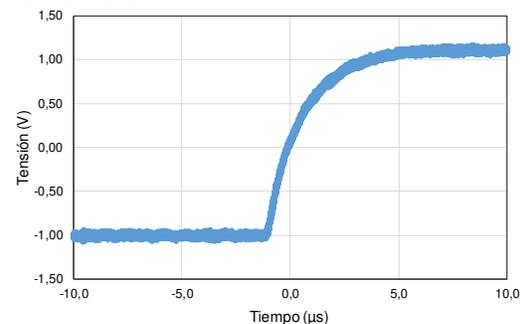
convencional ( $k=2$ ). La siguiente figura presenta la tensión del PJVS según la corriente de polarización al medir el patrón de tensión.



**Figura 5.** Escalón de tensión Josephson usado para la calibración del zener.

### B. Nuevas fuentes de corriente

Se midió el tiempo de crecimiento de una señal cuadrada generada con el nuevo sistema y se obtuvo 3  $\mu$ s. Este es un parámetro importante dado que limita el ancho de banda del sistema, resultando en 100 kHz.



**Figura 6.** Tiempo de crecimiento de una onda cuadrada generada por el sistema.

## Conclusiones

La modernización de la referencia de tensión eléctrica se encuentra avanzando y con resultados aceptables. El próximo paso es la construcción del prototipo final de las fuentes de tensión, una para cada segmento. Cada canal será controlado por una FPGA y se podrá configurar en tiempo real la forma de onda, la amplitud y la frecuencia.

## Bibliografía

- [1] J. Kohlmann and R. Behr, Development of Josephson voltage standards, Dr. Adir Luiz (Ed.), Ed. InTech, 2011. [Online]. Available: <http://www.intechopen.com/books/superconductivity-theory-and-applications/development-of-josephson-voltage-standards>.
- [2] F. Müller, T. Scheller, J. Lee, R. Behr, L. Palafox, and J. Kohlmann, "Microwave design

and performance of PTB 10 v circuits for programmable Josephson voltage standard,” World Jour. Cond. Matt. Phys., vol. 4, no. 2, pp. 107–122, August 2014.