



Artículo de investigación

Control de servomotor con el microcontrolador empotrado MicroBlaze MCS

Federico Fernández 

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay.

Autor de correspondencia: Federico Fernández; fefernandez@pol.una.py

Recibido: 29/06/2023 **Aceptado:** 12/10/2023

Resumen

Los sistemas automáticos que utilizan servomotores deben contar con un mecanismo que garantice su funcionamiento en cuanto a precisión y fiabilidad. Uno de ellos es la modulación de ancho de pulso o Pulse Width Modulation (PWM), que modifica el ancho del pulso de una señal digital a fin de controlar la energía suministrada a un servomotor. Este mecanismo se ha realizado con diferentes tecnologías como controladores lógicos programables (PLC), microprocesadores, circuitos integrados, etc. Con la aparición de los Field Programmable Gate Array (FPGA) ha surgido la posibilidad que, a diferencia de las otras tecnologías, se pueda diseñar un microcontrolador empotrado a medida, con la posibilidad de reconfigurar el diseño original, a fin de adaptarse a eventuales modificaciones en el tamaño del proceso mediante la reprogramación del hardware de la FPGA. El propósito de este trabajo es presentar un microcontrolador empotrado PWM basado en MicroBlaze MCS para controlar un servomotor mediante la modificación del ciclo de trabajo, y por tanto del Duty Cycle, de una señal periódica a una frecuencia fija siendo los resultados satisfactorios, pudiendo el mismo ser ampliado a más servomotores.

Palabras clave: PWM, FPGA, MicroBlaze MCS.

Abstract

Automatic systems that use servomotors must have a mechanism that guarantees their operation in terms of precision and reliability. One of them is Pulse Width Modulation (PWM), which modifies the pulse width of a digital signal in order to control the power supplied to a servo motor. This mechanism is typically made using technologies such as programmable logic controllers (PLC), microprocessors, integrated circuits, etc. With the appearance of the Field Programmable Gate Array (FPGA), there is the possibility to integrate such systems into a custom FPGA-based embedded microcontroller that allows reconfiguring the original design to adapt to eventual changes in the size of the process. The purpose of this work is to present an embedded PWM microcontroller based on a MicroBlaze MCS microcontroller to control a

servomotor by modifying the Duty Cycle of a periodic signal at a fixed frequency. The results of this work are satisfactory, allowing the control of several servomotors.

Keywords: PWM, FPGA, MicroBlaze MCS.

1. Introducción

El control de motores ha sido objeto de la utilización de numerosas técnicas para su implementación, debido a su uso extensivo en todos los campos en donde se necesite el control de un proceso secuencial. Una de las más utilizadas para controlar la energía suministrada a una carga a fin de modificar su funcionamiento, ha sido la modulación de ancho de pulso o Pulse Width Modulation (PWM). Este sistema de control, utiliza la variación del ciclo de trabajo o Duty Cycle. El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho de su parte positiva, con respecto al periodo de la señal. El mismo está expresado en porcentaje por lo que un Duty Cycle de 10% indica 10 de 100 a nivel alto.

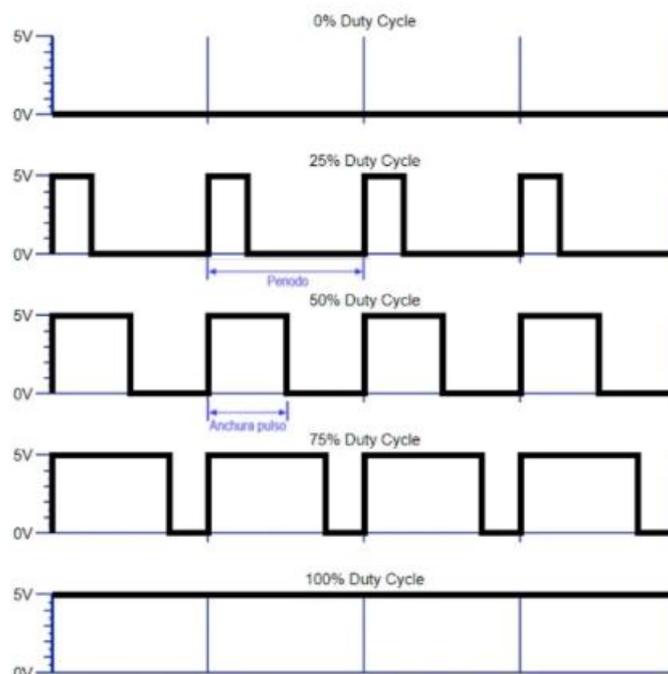


Figura 1. Diferentes valores de Duty Cycle (2). Duty Cycle = t/T en donde t es el tiempo que la señal está en su nivel alto y T es el periodo de la señal o sea el tiempo que tarda en repetirse a sí misma.

En la figura 1 se pueden observar diferentes valores de Duty Cycle, 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. Cuanto mayor sea el porcentaje, mayor energía será suministrada a la carga para su aplicación en el control de motores, señales luminosas, señales de audio etc., siendo su uso muy común en aplicaciones industriales, automovilísticas, espaciales, aeronáuticas, etc. (1,4).

Se han utilizado diferentes tecnologías para implementar un controlador PWM que van desde transistores, circuitos integrados, temporizadores, microcontroladores, controladores lógicos programables, etc. (5,8). Todas funcionan aceptablemente, pero en este caso se utiliza un controlador PWM basado en FPGA (Field Programmable Gate Array) aprovechando la facilidad que brinda esta tecnología para utilizar un microcontrolador empotrado MicroBlaze MCS (MicroBlaze Micro Controller System), reduciendo el tiempo de diseño del mismo ya que es una librería IP disponible dentro de las herramientas suministradas por el fabricante AMD. Se han realizado controladores con diferentes diseños, como el uso de lenguajes como Verilog o VHDL que presentan bastante complejidad o utilizando las librerías IP que reducen el tiempo de desarrollo y disminuyen la complejidad del diseño, contando en ambos casos con las ventajas que tienen las FPGAs de funcionar como un instrumento de control con sus características de paralelismo y reconfiguración. (9,10).

Dentro de las familias de las FPGA de AMD, se destaca una herramienta llamada MicroBlaze que es un microprocesador de propósito general que se forma a partir de la utilización de los recursos ubicados dentro de la FPGA. MicroBlaze es un procesador descrito en VHDL y mediante este lenguaje se describe la arquitectura que compone el procesador dentro de la FPGA. Su arquitectura interna es de tipo Harvard de 32 o 64 bits. Con el MicroBlaze se suministran muchos periféricos, con lo cual se puede formar un microprocesador completo a medida como: controlador de memoria (SRAM, Flash), Controlador de memoria SDRAM, UART lite, Temporizador/ contador, Interfaz SPI, controlador de interrupción, GPIO (entradas-salidas genéricas), Convertidores Delta-Sigma A/D y D/A y DMA. Los datos y el programa se almacenan en una memoria local, la depuración la facilita el módulo de depuración MicroBlaze (MDM).

Ahora bien, como la aplicación es de uso industrial por lo general se utilizan microcontroladores ya que su diseño interno es más simple y ejecuta las órdenes con más velocidad. Por ello AMD tiene una versión más simplificada del MicroBlaze que puede ser utilizado como un microcontrolador siendo este el MicroBlaze MCS (11,20). Incluye un conjunto estándar de periféricos, que proporcionan funcionalidad básica como un controlador de interrupción, UART, temporizadores y entradas y salidas de uso general. MicroBlaze MCS se presenta como un sistema preconfigurado que incluye el procesador de software RISC de 32 bits en modo de canalización de 3 etapas, acceso a la memoria local, un módulo I/O acoplado y un conjunto estándar de periféricos de microcontrolador. A través de una interfaz gráfica se puede configurar MicroBlaze MCS para un rendimiento óptimo, en el menor espacio y tiempo de diseño posible. Como es un procesador empotrado, el mismo es creado a partir de los componentes de la FPGA pudiendo crearse varios microcontroladores que pueden trabajar de manera independiente o conjuntamente, dependiendo del número de

microcontroladores que se quiere utilizar y del modelo de FPGA utilizado en su diseño. Para el diseño hardware del proyecto que incluye el MicroBlaze MCS, los periféricos y restricciones se utiliza el Vivado IDE, mientras que para la programación en lenguaje C, para darle funcionalidad al diseño hardware, se utiliza en entorno SDK. El Software Development Kit (SDK) es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para el uso en aplicaciones de software dirigidas a procesadores integrados AMD. SDK funciona con diseños de hardware creados con Vivado Design Suite. Como cualquier sistema de control que afecta a un motor, siempre está presente una interface entre la etapa de control y la etapa de potencia, en este caso se utiliza un driver Pmod Con3 de Digilent (12), que puede manejar hasta cuatro servos simultáneamente. Finalmente, la carga es un servo motor GWS servo (13) que se puede utilizar en varias aplicaciones. En este punto se debe plantear porque se ha optado por utilizar como controlador una FPGA y no un microcontrolador de propósito general o MCU. Algunas ventajas importantes de las FPGAs son su programación hardware, alto poder de procesamiento, es ideal para aplicaciones complejas y algo muy importante tiene capacidad de procesamiento paralelo, mientras que las ventajas de los microcontroladores son su compatibilidad con muchos lenguajes de programación, disponibilidad de herramientas de código abierto, fáciles de usar y asequibles. Otra ventaja de utilizar las FPGAs es que su aplicación en lugares de riesgo potencial, para el hardware del sistema como centrales nucleares o dispositivos espaciales, en donde existe la posibilidad de que un componente del diseño pueda ser afectado por el impacto de una partícula de alta energía que puede provocar errores transitorios o irreversibles (16,17,18). Mediante la utilización de la reconfiguración parcial dinámica es posible volver a reconfigurar el área afectada y volver a integrarlo dentro del proceso en ejecución sin la necesidad de detener el funcionamiento de todo el sistema y la posibilidad de hacerlo a distancia (17, 18, 19). En este punto se debe puntualizar que la posibilidad de realizar la reconfiguración parcial dinámica es una ventaja que solo brindan las FPGAs a diferencia de otras tecnologías, por lo que la propuesta se presenta con esa ventaja sobre otras tecnologías de control utilizando PWM.

2. Materiales y Métodos

El sistema diseñado consta de una placa Nexys 4 de Digilent que utiliza un FPGA Artix 7 de AMD. El controlador del motor es un Pmod CON3 que entrega 50 a 300 pulgadas de torque, utilizados en drones, automóviles a escala controlados por radio y proyectos de mecatrónica. El diseño hardware fue realizado con Vivado 2019.1 y la funcionalidad del mismo fue realizada en lenguaje C mediante el entorno de desarrollo Software Development Kit (SDK) 2019.1 ambos también de AMD. Las señales generadas son monitorizadas mediante Analog Discovery 2 que es un procesador de señales con múltiples funcionalidades.

La programación Hardware se realiza utilizando herramientas IP (intellectual property) suministrados con el entorno de Vivado 2019.1 para la etapa de diseño y configuración del microcontrolador MicroBlaze MCS, siendo Verilog el lenguaje elegido para el diseño de las interfaces del microcontrolador. La señal de control sale de la placa de desarrollo a través de cualquiera de las interfaces de salida Jx, de la placa de desarrollo y va directamente a la interface de la carga a controlar en este caso un servomotor GWS Servo.

A fin de verificar el funcionamiento del diseño se monitoriza la señal PWM externamente mediante el analizador lógico Analog Discovery 2 de Digilent. En la Figura 2 se observan todos los componentes del proyecto.



Figura 2. Componentes del proyecto

En la figura 3 se observa el diseño modular del proyecto.

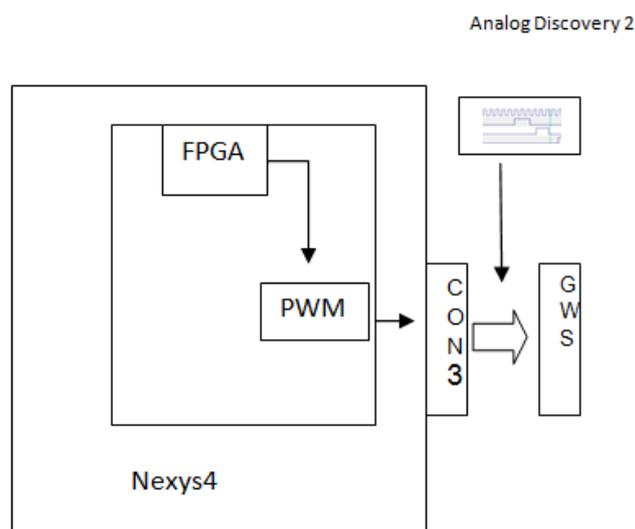


Figura 3. Diseño modular

La funcionalidad del hardware diseñado se da mediante el uso del editor de lenguaje C incluido en el SDK.

3. Resultados y Discusión

En todos los casos se presenta como resultado las capturas de pantalla del Analog Discovery 2 configurado en modo osciloscopio ya que este instrumento tiene diferentes funcionalidades. Vemos en la Figura 4 que la duración del periodo que es de 2,57 microsegundos que será una constante ya que se irá modificando el ciclo de trabajo para determinar la energía que entrega el controlador. El ciclo de trabajo es de 544,9 nanosegundos equivalentes a 0.544 microsegundos, siendo su Duty Cycle de 21 %, es decir, la transferencia de energía es baja.

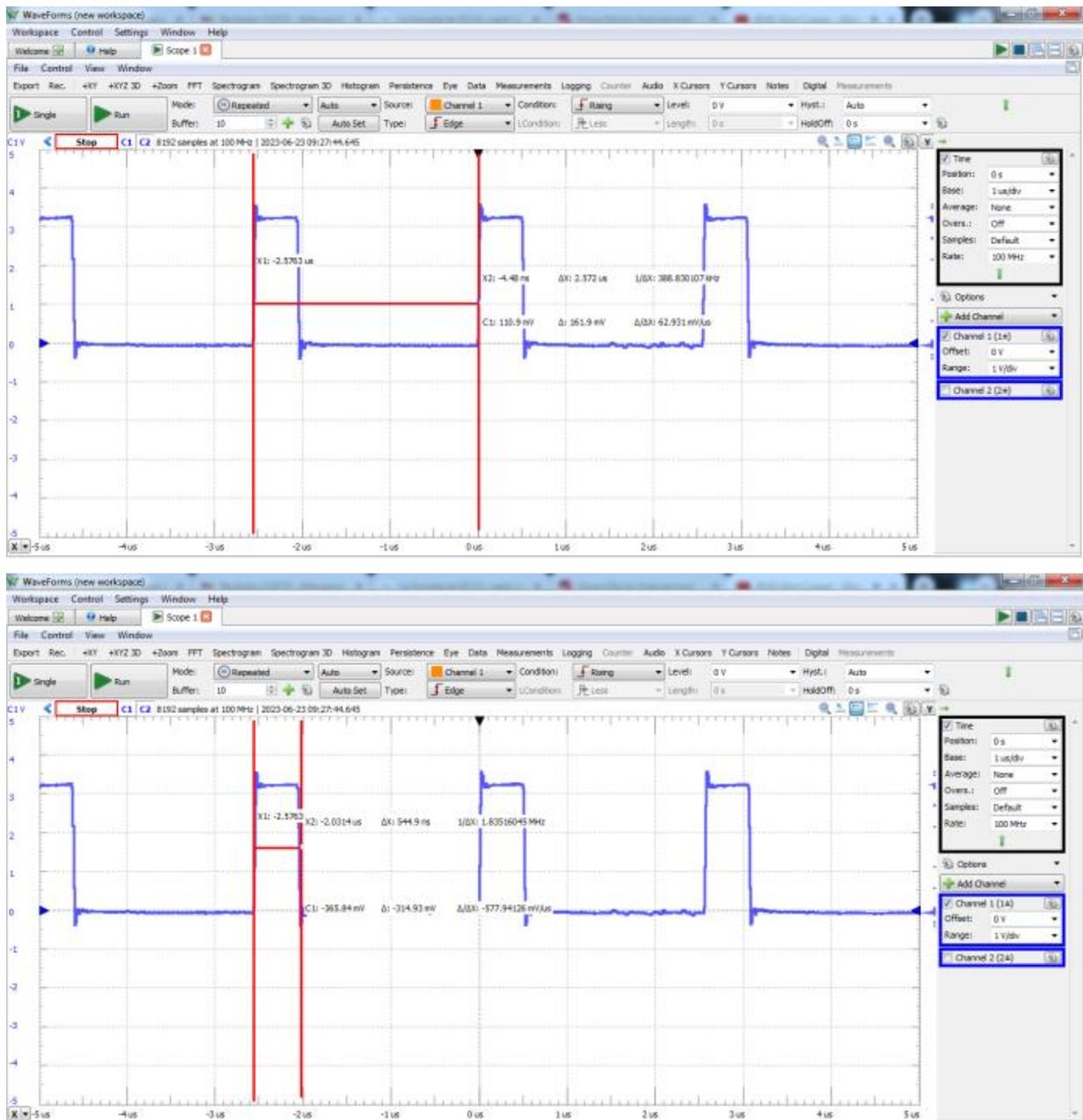


Figura 4. Duty Cycle de 18%

En la Figura 5 se observa una entrega de energía mayor con un ciclo de trabajo de 1,003 microsegundos con un Duty Cycle del 38,9 %.

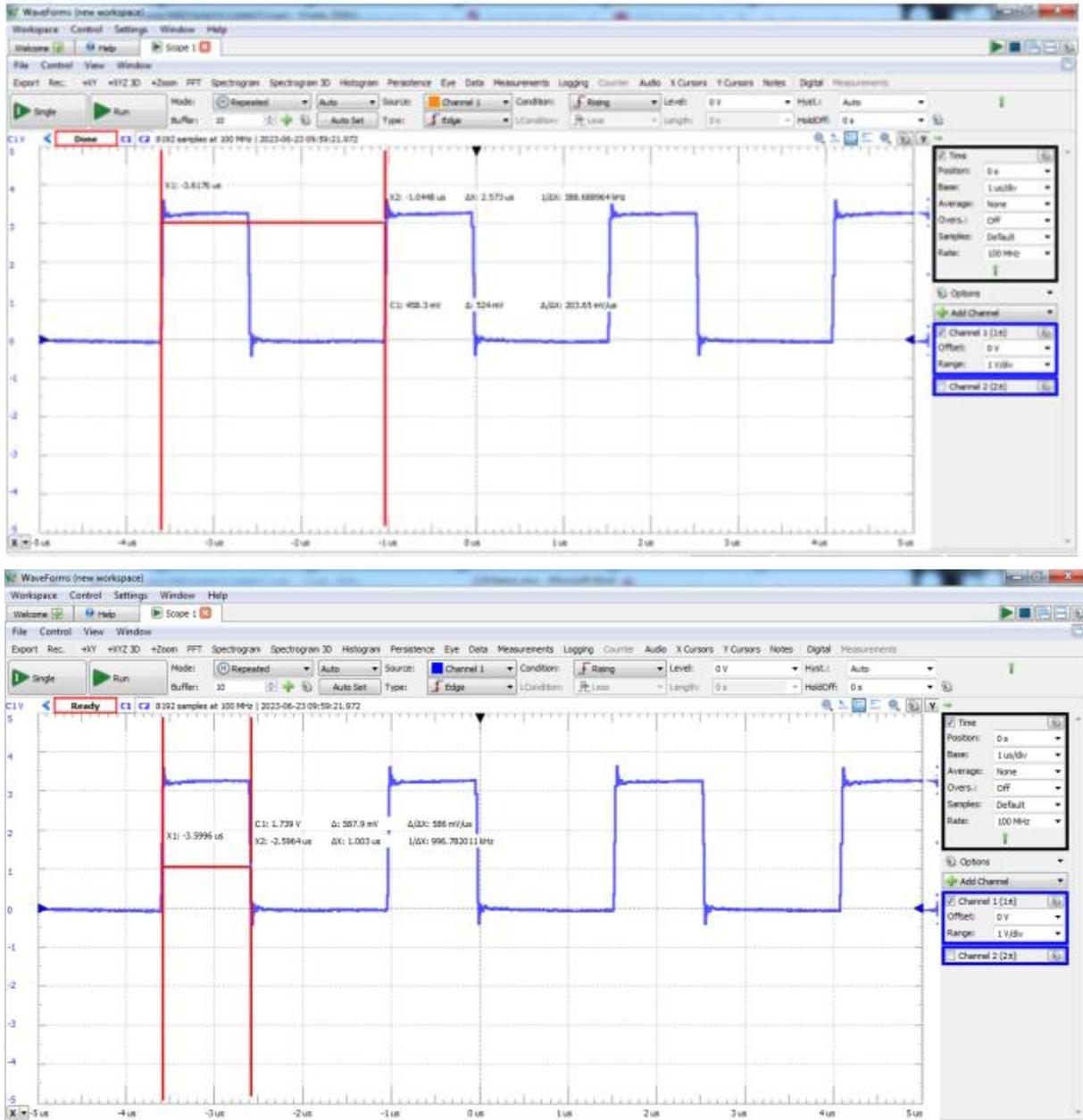


Figura 5. Duty Cycle de 38,9%

En la Figura 6 se observa una entrega mayor con un ciclo de trabajo de 1,524 microsegundos y un Duty Cycle del 59%.

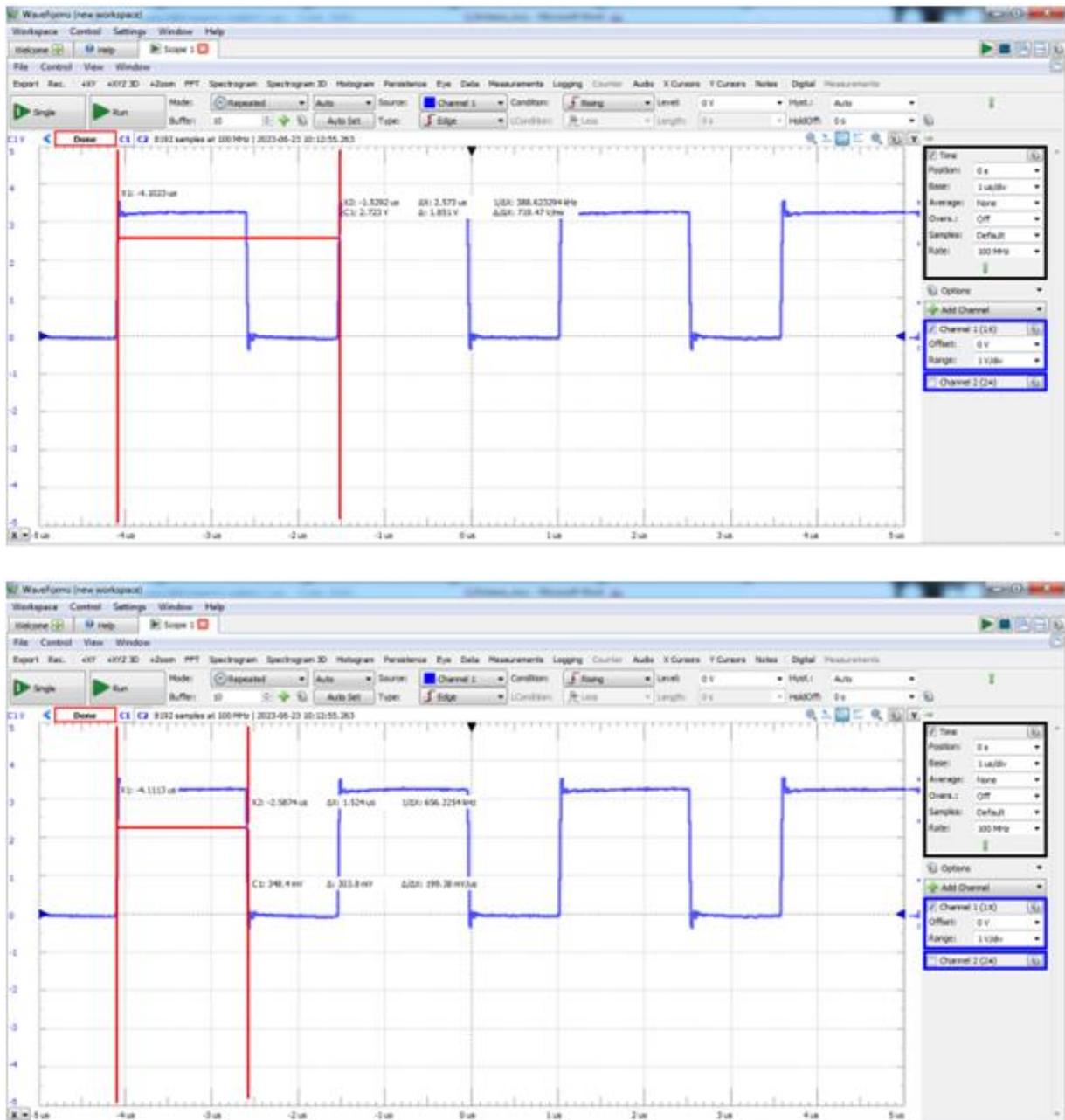


Figura 6. DutyCycle de 62%

Finalmente, en la Figura 7 se observa un ciclo de trabajo de entrega mayor con un ciclo de trabajo de 2,018 microsegundos y un Duty Cycle del 79,2%.

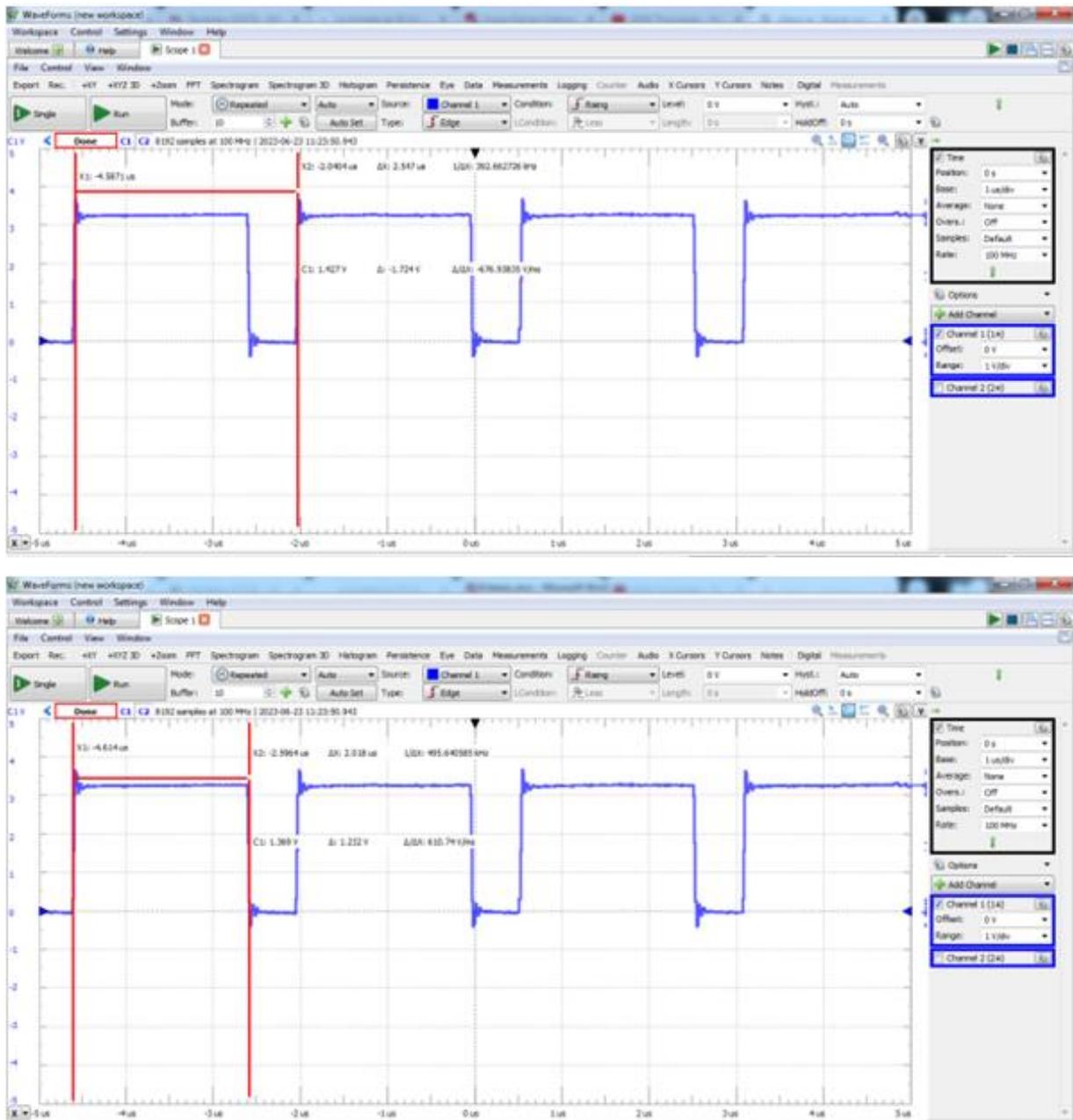


Figura 7. DutyCycle de 79,2%

En este trabajo por simplicidad se ha desarrollado una sola salida para controlar un servomotor, pero el número de los mismos se puede aumentar según necesidad hasta 24 servomotores lo que da una idea de las amplias posibilidades que presenta este proyecto. Este número de salidas se debe a la posibilidad que brinda la placa Nexys 4 de poder conectar hasta 24 pines de E/S gracias a sus terminales Pmods. Con ello es posible realizar el control de numerosos servomotores, ya sea con el mismo o diferentes Duty Cycles según las

necesidades de control que tienen los diferentes motores, siendo una herramienta útil para su utilización en sistemas complejos de control secuencial.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos son satisfactorios. La novedad u originalidad de la propuesta es de utilizar el microcontrolador empotrado MicroBlaze MCS, que a diferencia del microprocesador de propósito general MicroBlaze, consume menos recursos de la FPGA y por tanto consume menos energía, factor no menos importante en procesos industriales. Además, al utilizar menos recursos disponibles, se puede implementar un mayor número de microcontroladores dentro de la misma placa con lo que se gana en paralelismo y multiprocesamiento aumentando el potencial del sistema desarrollado.

Conflicto de interés: El autor declara que no existe ningún conflicto de interés con respecto a la publicación de este artículo.

Bibliografía

1. REY, Marcia Simone. *La escasez de Agua en el mundo y la importancia del Acuífero Guaraní para Sudamérica: Relación abundancia- escasez* Online. 2007. [Accessed 29 September 2022]. Available from: www.caei.com.ar
2. TZANAKAKIS, Vasileios A., PARANYCHIANAKIS, Nikolaos V. and ANGELAKIS, Andreas N. Water supply and water scarcity. *Water*. 2020. Vol. 12, no. 9. DOI 10.3390/w12092347.
3. GONZÁLEZ, María Carmenza, SANDARRIAGA, Gabriel de Jesús and JARAMILLO, Omar. Estimación de la demanda de agua. In: *Estudio nacional del agua 2010*. 2010. p. 421. ISBN 9789588067322.
4. MOLLE, François and MOLLINGA, Peter. Water poverty indicators: Conceptual problems and policy issues. *Water Policy*. 2003. Vol. 5, no. 5–6, p. 529–544. DOI 10.2166/wp.2003.0034.
5. MINISTERIO DE AMBIENTE, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 865: *Metodología para el cálculo del Índice de escasez para aguas superficiales* Online. Bogotá, Colombia, 2004. Available from: https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion865_20040722.htm
6. ECOSISTEMA URBANO. Plan Encarnación Más - Plan de Desarrollo Sustentable y Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Encarnación, Paraguay. *Diagnóstico y Objetivos - Parte 3 - Morfología Urbana*. 2016.

7. ECOSISTEMA URBANO. Plan Encarnación Más - Plan de Desarrollo Sustentable y Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Encarnación, Paraguay. *Diagnóstico y Objetivos - Parte 2 - Medioambiente y Territorio*. 2016.
8. OEA. *METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA SUPERFICIAL*. Lima, 2004.
9. COSTA, Carlos, DOMÍNGUEZ, Efraín, RIVERA, Hebert and VANEGAS, Raquel. El índice de escasez de agua ¿un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico? *Revista de ingeniería*. 2005. Vol. 22.
10. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. *Usos y gobernabilidad del agua en el Paraguay*. 2006.
11. MUSÁLEM, Karim. *Assessing integrated watershed management and spatial groundwater vulnerability to pollution in priority watersheds of the Yacyreta dam in Paraguay*. Online. Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. Turrialba: University of Wales (Bangor University) and Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE), 2010. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/263444873>
12. DGEEC. Censo nacional de población y viviendas. *Resultados preliminares*. 2012.
13. ECOSISTEMA URBANO. Plan Encarnación Más - Plan de Desarrollo Sustentable y Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Encarnación, Paraguay. *Diagnóstico y Objetivos - Parte 6 - Sociedad*. 2016.
14. SERVÍN, María Rosa and ORTIZ, Amado. Vulnerabilidad a la contaminación de aguas subterráneas en sistemas de abastecimiento comunitario de Encarnación - Paraguay. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. December 2021. Vol. 5, no. 6, p. 13486–13507. DOI 10.37811/cl_rcm.v5i6.1338.
15. MUÑOZ, Cristina Solana. *Nota N° 648/2022 del 25 de agosto de 2022*. Asunción, 2022.
16. INE. Instituto Nacional de Estadística. *Itapúa Proyecciones de población por sexo y edad, 2023*. Online. [Accessed 19 June 2023]. Available from: https://www.ine.gov.py/Publicaciones/Proyecciones%20por%20Departamento%202023/07_Itapua_2023.pdf
17. MUNICIPALIDAD DE ENCARNACIÓN. *Patentes municipales*. Encarnación, 2015.
18. GLOBAL CONSULTORES. *Gestión integrada de las cuencas de los arroyos Mbói Cae y Quiteria*. 2008.
19. FAO. BOLETÍN 56. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Online. Roma: FAO, 2006. [Accessed 30 November 2022]. Available from: <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
20. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. *Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals*. 1981. ISBN 0309533740.

21. GUTIERREZ, Claudia, MENA, Cielo and CIFUENTES, Jessica. *Cálculo del índice de escasez de la cuenca del río Opia - departamento del Tolima*. Trabajo de especialización. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2015.