

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN SEMILLA PIS-15-13

"Estudio e implementación de plataformas de desarrollo digitales modernas para ser utilizados en aplicaciones con convertidores estáticos de energía"

En la ciudad de Quito D.M., a los veintidós días del mes de septiembre del año dos mil veintidós, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Semilla **PIS-15-13 "Estudio e implementación de plataformas de desarrollo digitales modernas para ser utilizados en aplicaciones con convertidores estáticos de energía"**, por una parte, la **Dra. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el **Dr. Paúl Marcelo Pozo Palma** en calidad de **Director del Proyecto de Investigación Semilla PIS-15-13**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 4 de mayo de 2015, al amparo de lo dispuesto por el Consejo de Investigación y Proyección Social (CIPS), mediante Resolución Nro. 22, se aprueba el cronograma para la convocatoria de proyectos de investigación 2015.
- b) Una vez realizado el proceso de evaluación de los proyectos de investigación de la convocatoria 2015, en sesión ordinaria del 21 de septiembre de 2015 y al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución Nro. 53, se resuelve aprobar el informe final de los proyectos de investigación propuestos de la convocatoria 2015, entre ellos el denominado "Estudio e implementación de plataformas de desarrollo digitales modernas para ser utilizados en aplicaciones con convertidores estáticos de energía" presentado por el Dr. Marcelo Pozo.
- c) Mediante Memorando Nro. EPN-DIPS-2015-0298-M del 17 de septiembre del 2015, la Dirección de Investigación y Proyección Social, notifica a la Jefatura del Departamento de Automatización y Control Industrial (DACI), la aprobación de los proyectos del departamento correspondientes a la Convocatoria 2015, entre ellos, el Proyecto de Investigación Semilla PIS-15-13 "Estudio e implementación de plataformas de desarrollo digitales modernas para ser utilizados en aplicaciones con convertidores estáticos de energía", dirigido por el Dr. Marcelo Pozo.
- d) Mediante Memorando Nro. EPN-VIPS-2016-0593-M del 31 de mayo de 2016, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social, notifica a los directores de los proyectos de investigación aprobados en la Convocatoria 2015, que la fecha de inicio es el 1 de junio de 2016.
- e) Mediante Memorando Nro. EPN-VIPS-2017-0738-M del 10 de abril de 2017, se notificó a los directores de los Proyectos de Investigación Semilla de la Convocatoria 2015 la Resolución R036/17 del 20 de marzo de 2017 de Consejo de Investigación y Proyección Social, con la que se aprobó la prórroga de los proyectos; por lo que la nueva fecha de finalización es el 31 de enero de 2018.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	PIS-15-13
Nombre del Proyecto	Estudio e implementación de plataformas de desarrollo digitales modernas para ser utilizados en aplicaciones con convertidores estáticos de energía
Director del Proyecto	PAUL MARCELO POZO PALMA
Colaboradores del Proyecto	LEONARDO DAVID ORTEGA CAMINO DIEGO IVAN PILAQUINGA ABADIANO (desde el 22 de septiembre de 2016)
Departamento	Automatización y Control Industrial (DACI)



Línea de Investigación	<ul style="list-style-type: none"> Calidad y uso eficiente de la energía eléctrica
Objetivo	Estudiar e implementar plataformas de desarrollo digitales modernas para ser utilizadas en aplicaciones con convertidores estáticos de energía
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> Inicio: 1 de junio de 2016 Fin planificado: 31 de mayo de 2017 Prórroga: hasta el 31 de enero de 2018 Duración total: 20 meses
Entrega del Informe Final	11 de febrero de 2019
Presupuesto asignado	\$ 14.995,14 USD
Presupuesto ejecutado	\$ 13.848,70 USD

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando Nro. EPN-PIS-15-13-2019-0001-M del 11 de febrero de 2019, el Dr. Marcelo Pozo, Director del Proyecto de Investigación Semilla PIS-15-13, presenta el Informe Final del Proyecto que dirige. Este informe es revisado por la Dirección de Investigación, que emite observaciones mediante Memorando Nro. EPN-DIPS-2019-0416-M del 3 de julio de 2019.

Mediante Memorando Nro. EPN-PIS-15-13-2022-0001-M del 6 de septiembre de 2022, el Dr. Marcelo Pozo remite el Informe Final corregido del proyecto PIS-15-13, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, que se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Se diseñó e implementó una plataforma digital la cual tiene acceso a los periféricos necesarios para el sensado, comunicación y visualización de las variables eléctricas de un convertidor estático de energía.
- Se realizó un estudio detallado de las plataformas digitales actuales que permiten el procesamiento, medición y comunicación de variables eléctricas usadas en convertidores estáticos de energía como también en el control electrónico de máquinas eléctricas. Como resultado de este estudio se concluyó que los microcontroladores de la compañía Texas Instruments priorizan aplicaciones de control digital de alto rendimiento y de última generación, lo cual hace que esta plataforma sea adecuada para un control a lazo cerrado y la respectiva medición de variables eléctricas.
- La serie C2000 de los microcontroladores de la compañía Texas Instruments permiten un control a tiempo real, entre ellos la plataforma LAUNCHXL-F28377S con el microcontrolador de última generación Delfino TMS28377s, se orienta al control de Máquinas Eléctricas y al procesamiento digital de señales. Conjuntamente con el coprocesador CLA (Control Law Accelerator), el microcontrolador TMS28377s realiza procesos aritmético-lógicos, de comunicación y sensado de variables analógicas para una mayor capacidad y eficiencia en el control electrónico de máquinas eléctricas y en la medición de sus variables eléctricas.
- Se adquirió el conocimiento práctico y experimental referente a la programación de la tarjeta de desarrollo LAUNCHXL-F28377S y para el FPGA Altera DE115. Con este conocimiento adquirido se generó la base para la programación en tarjetas de Texas Instruments utilizadas actualmente en el laboratorio de Control de Máquinas y Trabajos de Titulación.
- Se diseñó e implementó una placa electrónica para la medición de corriente mediante sensores de efecto Hall LTS 25-NP, los cuales proveen un aislamiento galvánico con una respuesta lineal para valores de corriente AC y DC.

- Se diseñó e implementó la medición del voltaje del bus DC mediante el circuito integrado HCPL-7520, el cual provee un aislamiento galvánico y alta linealidad en su respuesta. El HCPL-7520 utiliza la tecnología de un convertidor análogo digital sigma delta $\Delta\Sigma$ para entregar requerimientos de exactitud y estabilidad en el componente.
- Se diseñó e implementó la medición de la posición angular mediante un encoder incremental H25, el cual provee una resolución de 1024 bits por revolución. Con las salidas A y B en cuadratura y la señal Z de referencia del encoder es posible conocer la posición y velocidad angular del motor eléctrico.
- Se diseñó e implementó la conversión análoga digital para la plataforma digital mediante la tarjeta de evaluación ADS 1204 de la compañía Texas Instrument. Esta tarjeta de evaluación permite la conversión análoga digital mediante un modulador sigma delta $\Delta\Sigma$, el cual por las características de su funcionamiento necesita de un filtro digital pasabajos implementado en la plataforma digital de desarrollo. De igual forma se diseñó e implementó la conversión análoga digital mediante aproximaciones sucesivas (SAR) con una resolución seleccionable de 16 bits o 12 bits, este tipo de conversión no necesita de una tarjeta externa ya que viene incorporado en el microcontrolador.
- Se realizó la comparación de los convertidores análogo digital mediante aproximaciones sucesivas (SAR) y con el conversor análogo digital sigma delta. El convertidor sigma delta $\Delta\Sigma$ posee un ancho de banda limitado y mucho menor al del conversor análogo digital SAR, a pesar de ello presenta un mejor desempeño debido a su alta resolución e inmunidad al ruido debido a la realimentación que éste posee en su sistema.
- Se implementó el procesamiento digital de las señales sensadas en la plataforma de desarrollo, con el objetivo de ser utilizadas posteriormente en el control y monitoreo de convertidores estáticos de energía y sus aplicaciones. Para tal efecto se programó módulos en la plataforma digital de desarrollo que permitan un correcto tratamiento de la información, tales como: codificación de cuadratura eQEP, generación de PWM y SPWM ePWM, filtro sigma delta, procesamiento análogo digital, procesamiento digital análogo y comunicación paralela con el FPGA.
- Se diseñó e implementó la conversión digital análoga (DAC) en la plataforma de desarrollo digital, con el fin de monitorizar y comprobar que el procesamiento digital de las señales sensadas sea efectuado correctamente.
- Se diseñó e implementó la técnica de modulación PWM en la plataforma de desarrollo digital para un rango de frecuencia de operación entre 1 kHz a 10kHz y con un tiempo muerto configurable entre un rango de 1 a 15 μ s. De igual forma se diseñó e implementó la técnica de modulación SPWM para un rango de frecuencias entre 6Hz a 100Hz en pasos de 1Hz. La generación de señales PWM y SPWM permitirá controlar los disparos de los elementos semiconductores en los convertidores estáticos de energía.
- Se diseñó e implementó una Interfaz Humano Máquina (HMI) para proporcionar una interacción dinámica y práctica con la plataforma digital de desarrollo. La interfaz desarrollada permite al usuario tener una descripción rápida de la plataforma, su configuración y visualización de los parámetros eléctricos. El HMI fue implementado en el software GUI COMPOSER de la compañía Texas Instruments, su programación es simplificada ya que permite al usuario asociar fácilmente las variables del microcontrolador y las variables del HMI de la plataforma.
- Se desarrolló e implementó una interfaz física que permite al usuario utilizar la plataforma de desarrollo digital para el control y medición de convertidores estáticos de energía en sus diferentes aplicaciones. La plataforma de desarrollo digital posee entradas y salidas que permiten el uso de convertidores Análogo Digital Sigma Delta $\Delta\Sigma$ o por Aproximaciones Sucesivas (SAR),



convertidores Digitales Análogos (DAC), medición de corriente en tres fases, medición de posición angular y cálculo de su velocidad, generación de señales PWM y SPMW con frecuencia variable, comunicación paralela con el FPGA para la programación de algoritmos de control avanzado.

PRODUCTOS:

- Artículo enviado para revisión: "Análisis del uso de técnicas de Gate Driver y Red Snubber y su impacto en la eficiencia del convertidor Buck Síncrono"; Enríquez E., Medina J., Pozo M.; Revista Iberoamericana de Automáticas e Informática Industrial (Indexado Scopus; Q2); ISSN: 16977912, 16977920; septiembre 2022.
- Artículo publicado: "Efficiency analysis of a buck synchronous converter under snubber and gate drive techniques" (indexado en Scopus); Enriquez Edwin, Medina Jorge, Pozo Nataly, Tasiguano Cristian, Pozo Marcelo; Proceedings - 3rd International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2018; ISBN: 978-153867612-7; DOI: 10.1109/INCISCOS.2018.00027; diciembre 2018.
- Conferencia: "Efficiency Analysis of a Buck Synchronous Converter under Snubber and Gate Drive Techniques"; Marcelo Pozo; INCISCOS 2018 – Capítulo Mecatrónica; International Conference on Mechatronics and Robotics; Quito, Ecuador; noviembre 2018.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Control: "Estudio e implementación de plataformas de desarrollo digitales modernas para ser utilizados en aplicaciones con convertidores Estáticos de Energía"; Vega Vásquez Andrés Marcelo; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19016?locale=de>; diciembre 2017.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Control: "Análisis y estudio de la eficiencia del convertidor Buck Síncrono bajo diferentes técnicas de gate driver y red snubber"; Enríquez Gutiérrez Edwin Fabricio; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19390>; mayo 2018.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Control: "Diseño e implementación de un osciloscopio digital con una interfaz gráfica realizada en sistema operativo android"; Sandoval Cueva Bryan Daniel; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17313>; mayo 2017.
- Conferencia de difusión a la comunidad politécnica: "Efficiency analysis of a buck synchronous converter under snubber and gate drive techniques"; Marcelo Pozo; clases en el Laboratorio de Electrónica de potencia, Conductores eléctricos, y Redes inteligentes; octubre 2019.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

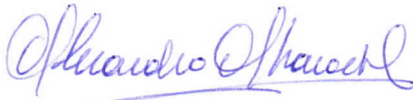
El monto asignado al Proyecto de Investigación Semilla PIS-15-13 fue de \$ 14.995,14 USD (catorce mil novecientos noventaicinco dólares americanos, con 14/100), y se ejecutaron \$ 13.848,70 USD (trece mil ochocientos cuarentaiocho dólares americanos, con 70/100), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto de Investigación Semilla PIS-15-13 "Estudio e implementación de plataformas de desarrollo digitales modernas para ser utilizados en aplicaciones con convertidores estáticos de energía".

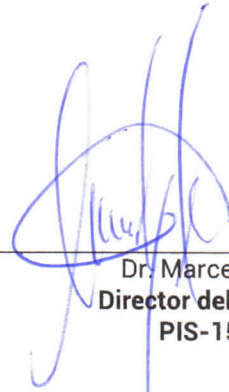
Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los veintidós días del mes de septiembre del año dos mil veintidós.



Dra. Alexandra Alvarado
Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación

sp/cr



Dr. Marcelo Pozo
Director del Proyecto
PIS-15-13

Recibido 02.02.2023
Dr. Ing. Marcelo Pozo P.

