

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNO PII-19-03

### *"Control Inteligente de procesos químicos utilizando simulaciones hardware-in-the-loop"*

En la ciudad de Quito D.M., a los diez días del mes de agosto del año dos mil veintiuno, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto Interno **PII-19-03 "Control Inteligente de procesos químicos utilizando simulaciones hardware-in-the-loop"**, 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. Oscar Eduardo Camacho Quintero** en calidad de **Director del Proyecto de Investigación Interno PII-19-03**, al tenor de lo siguiente:

#### 1. ANTECEDENTES:

- a) El 17 de septiembre de 2019, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación - CIIV, mediante Resolución Nro. RCIPS-124-2019, se aprueba el cronograma para la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación, Vinculación y Transferencia Tecnológica del 2019. El 15 de octubre de 2019, mediante Resolución Nro. RCIPS-153-2019, se aprueba la modificación al cronograma.
- b) El 3 de marzo de 2020, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, mediante Resolución Nro. RCIV-028-2020, se aprobó el *"Informe Final de los Proyectos de Investigación de la Convocatoria 2019"*, donde se mostraron los resultados y los proyectos aprobados de la Convocatoria 2019. Entre los proyectos aprobados se encuentra el Proyecto de Investigación Interno denominado *"Control Inteligente de procesos químicos utilizando simulaciones hardware-in-the-loop"*, presentado por el Dr. Oscar Camacho.
- c) Mediante Memorando Nro. EPN-VIIV-2020-293-M del 6 de marzo del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Jefe del Departamento de Automatización y Control Industrial (DACI), la aprobación de los proyectos del DACI correspondientes a la Convocatoria 2019, entre los cuales se encuentra el Proyecto de Investigación Interno PII-19-03 *"Control Inteligente de procesos químicos utilizando simulaciones hardware-in-the-loop"*, dirigido por el Dr. Oscar Camacho.
- d) Mediante Memorando Nro. EPN-VIIV-2020-0344-M del 11 de marzo de 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Oscar Camacho que se ha aprobado la propuesta de Proyecto de Investigación Interno *"Control Inteligente de procesos químicos utilizando simulaciones hardware-in-the-loop"*, y que se ha asignado el código PII-19-03 al proyecto.
- e) Mediante Memorando Nro. EPN-VIIV-2020-0554-M del 15 de abril del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a los directores de los Proyectos de Investigación Internos de la Convocatoria 2019, que la fecha de inicio es el 4 de mayo de 2020, y la de finalización el 3 de mayo de 2021.

#### 2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

<b>Código de Proyecto</b>	PII-19-03
<b>Nombre del Proyecto</b>	<i>Control Inteligente de procesos químicos utilizando simulaciones hardware-in-the-loop</i>
<b>Director del Proyecto</b>	OSCAR EDUARDO CAMACHO QUINTERO
<b>Colaborador del Proyecto</b>	MARCO ANTONIO HERRERA GARZON

<b>Unidad Ejecutora</b>	Departamento de Automatización y Control Industrial (DACI)
<b>Línea de Investigación</b>	• Control y sistemas
<b>Objetivo</b>	Estudiar, desarrollar e implementar técnicas de Control basado en inteligencia artificial aplicado a procesos químicos utilizando simulaciones hardware-in-the-loop
<b>Duración del Proyecto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inicio: 4 de mayo del 2020</li> <li>• Fin planificado: 3 de mayo de 2021</li> <li>• Duración total: 12 meses</li> </ul>
<b>Entrega del Informe Final</b>	2 de agosto de 2021
<b>Presupuesto asignado</b>	\$ 5.989,88 USD
<b>Presupuesto ejecutado</b>	\$ 896,00 USD

### 3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando Nro. EPN-PII-19-03-2021-0003-M del 2 de agosto de 2021, el Dr. Oscar Camacho, Director del Proyecto de Investigación Interno PII-19-03, presenta el Informe Final del Proyecto Interno que dirige, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

#### CONCLUSIONES:

- Los procesos químicos en la industria son de naturaleza no-lineal y multivariables, además se encuentran sujetos a perturbaciones externas y presentan retardos de tiempo, debido a fuentes muy comunes como: el transporte de materiales o fluidos a través de distancias considerables, sensores o instrumentos de medida que requieran un tiempo para procesar la información.
- Las técnicas de inteligencia artificial basadas en lógica difusa son capaces de modelar de mejor manera no linealidades presentes en procesos químicos. Además, técnicas basadas en algoritmos genéticos y optimización son muy útiles y prácticos para sintonizar parámetros en leyes de control.
- Los sistemas de control basados en Hardware in the loop permiten probar controladores digitales diseñados sin la necesidad de incurrir en procesos químicos reales que resultan ser excesivamente costosos.
- Los sistemas de control basados en técnicas de control inteligente permiten mejorar a los esquemas de control convencionales, permitiendo que estos sean capaces de modelar no linealidades presentes en los procesos químicos y facilitando la sintonización de estos. Además, permiten desarrollar técnicas de control híbridas, mejorando falencias presentes en las técnicas convencionales de control.
- El análisis gráfico basado en curvas radiales es una buena alternativa cuando el objetivo es determinar un rendimiento global de los sistemas de control desarrollados, este análisis puede basarse en la comparación de índices como el ISE, IAE, esfuerzo de control, etc.
- La implementación de esquemas de control inteligentes basados en Hardware in the loop sobre procesos químicos presentan ciertas ventajas, entre ellas, que las técnicas de control basadas en inteligencia artificial son de naturaleza digital, por lo que resulta muy práctica su implementación. Además, los procesos químicos por lo general son procesos lentos, por lo cual los sistemas embebidos son capaces de cerrar el lazo de control en tiempo real.

## PRODUCTOS:

- Artículo: *"Nonsquare Multivariable Chemical Processes: A Hybrid Centralized Control Proposal"*; Revelo J., Herrera M., Camacho O., Alvarez H.; Industrial & Engineering Chemistry Research (Indexado Scopus Q1); ISSN: 08885885; DOI: 10.1021/acs.iecr.0c01790; agosto 2020.
- Artículo: *"An Application of MVMO Based Adaptive PID Controller for Process with Variable Delay"*; Salazar E., Herrera M., Camacho O.; Advances in Intelligent Systems and Computing (Indexado Scopus); ISSN: 21945357; DOI: 10.1007/978-3-030-59194-6\_29; octubre 2020.
- Artículo: *"PID and Sliding Mode Control for a Reactor Separator-Recycler System: A Regulatory Controllers' Comparison"*; Arroba R., Rocha K., Herrera M., Leica P., Camacho O.; Advances in Intelligent Systems and Computing (Indexado Scopus); ISSN: 21945357; DOI: 10.1007/978-3-030-59194-6\_30; octubre 2020.
- Artículo: *"Fuzzy adaptive MPC for nonlinear time varying delayed systems"* (Indexado Scopus); Aboukheir H., Herrera M., Chavez D., Leica P., Camacho O.; Proceeding on the 2020 IEEE Andean Conference; ISBN: 978-172819365-6; DOI: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272058; diciembre 2020.
- Artículo: *"Anti-windup algorithms for sliding mode control in processes with variable dead-time"* (Indexado Scopus); Torres J., Chavez D., Aboukheir H., Herrera M., Prado J., Camacho O.; Proceeding on the 2020 IEEE Andean Conference; ISBN: 978-172819365-6; DOI: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272092; diciembre 2020.
- Artículo: *"Processes with Variable Parameters and Dominant Time Delay: A Fuzzy Adaptive Control Approaches Comparison"*; Anchitipan E., Camacho O.; Lecture Notes in Electrical Engineering (Indexado Scopus Q4); ISSN: 18761100; DOI: 10.1007/978-3-030-72208-1\_14; marzo 2021.
- Artículo: *"In Silico Comparison for Smith Predictors Applied to Processes with Elevated Delay and Noise Effects"*; Mejia C., Camacho O.; Lecture Notes in Electrical Engineering (Indexado Scopus Q4); ISSN: 18761100; DOI: 10.1007/978-3-030-72208-1\_15; marzo 2021.
- Artículo aceptado para publicación: *"Regulation of Nonlinear Chemical Processes with Variable Dead Time: A Generalized Proportional Integral Controller Proposal"*; Herrera Marco, Camacho Oscar; International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (Indexado Scopus Q3); ISSN: 20885334, 24606952; octubre 2020.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Control: *"Diseño e implementación de un control por modos deslizantes dinámico para un sistema de dos entradas dos salidas, aplicación: Módulo de temperatura TCLAB"*; Contreras Guerra Mónica Andrea; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21446>; febrero 2021.
- Conferencia virtual a la comunidad politécnica: *"Presentación de resultados Proyecto Interno PII-19-03"*; Marco Herrera; a través de la herramienta Microsoft Teams; julio 2021.

## 4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

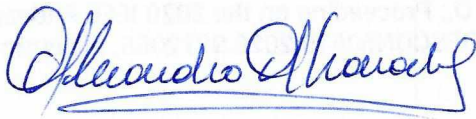
El monto asignado al Proyecto de Investigación Interno PII-19-03 fue de \$ 5.989,88 USD (*cinco mil novecientos ochentainueve dólares americanos, con 00/100*), y se ejecutaron \$ 896,00 USD (*ochocientos noventa y seis dólares americanos, con 00/100*), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión 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 Interno PII-19-03 "Control Inteligente de procesos químicos utilizando simulaciones hardware-in-the-loop".

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 diez días del mes de agosto del año dos mil veintiuno.



Dra. Alexandra Alvarado  
Vicerrectora de Investigación,  
Innovación y Vinculación

sp/cr



Dr. Oscar Camacho  
Director del Proyecto  
PII-19-03

recibido  
16-11-2021