

PROYECTO JUNIOR PIJ-15-17

"Desarrollo y construcción de un prototipo PID-Robusto basado en técnicas de control avanzado para mejorar la robustez de procesos industriales"

En la ciudad de Quito D.M., a los nueve días del mes de junio del año dos mil veinte, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto Junior **PIJ-15-17 "Desarrollo y construcción de un prototipo PID-Robusto basado en técnicas de control avanzado para mejorar la robustez de procesos industriales"**, 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. Paulo César Leica Arteaga** en calidad de **Director del Proyecto Junior PIJ-15-17**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 4 de mayo de 2015, el Consejo de Investigación y Proyección Social mediante Resolución 22, aprueba el Cronograma de la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación Internos, Semilla, Junior y Multi e Interdisciplinarios 2015.
- b) El 21 de septiembre de 2015, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución 53, se aprobaron los proyectos de la Convocatoria 2015, entre ellos el proyecto Junior "Desarrollo y construcción de un prototipo PID-Robusto basado en técnicas de control avanzado para mejorar la robustez de procesos industriales", presentado por el Dr. Paulo Leica.
- c) Mediante Memorando EPN-VIPS-2016-0593-M del 31 de mayo de 2016, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social da a conocer a los directores de los proyectos de la convocatoria 2015, que se considerará como fecha oficial de inicio de los proyectos el 1 de junio de 2016.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	PIJ-15-17
Nombre del Proyecto	Desarrollo y construcción de un prototipo PID-Robusto basado en técnicas de control avanzado para mejorar la robustez de procesos industriales
Director del Proyecto	LEICA ARTEAGA PAULO CÉSAR
Colaboradores del Proyecto	CHÁVEZ GARCÍA GEOVANNY DANILO ABAD TORRES JACKELINE BRAVO NARVÁEZ YADIRA LUCÍA (Desvinculada el: 22/3/2017) CAMACHO QUINTERO ÓSCAR EDUARDO HERRERA GARZÓN MARCO ANTONIO
Departamento	Automatización y Control Industrial (DACI)
Líneas de Investigación	<ul style="list-style-type: none">• Control de procesos industriales• Control inteligente• Técnicas de control avanzado
Objetivo	Desarrollar y construir un prototipo PID-Robusto basado en técnicas avanzadas de control avanzado que permitan realizar aportes originales en el área de control, para mejorar la robustez de

Recibido

28-06-2021

	<i>procesos industriales multivariables no lineales en sistemas de distinta naturaleza</i>
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio: 1 de junio del 2016 • Fin planificado: 31 de mayo del 2018 • Prórroga: hasta el 31 de diciembre de 2018 • Periodo de suspensión: del 1 de octubre de 2018 al 31 de marzo de 2019 • Fin del proyecto: 30 de junio de 2019 • Duración total: 31 meses de ejecución
Entrega del Informe Final	21 de mayo del 2020
Presupuesto asignado	\$ 79.817,30 USD (setenta y nueve mil ochocientos diecisiete dólares americanos, con 30/100)
Presupuesto ejecutado	\$ 76.609,04 USD (setenta y seis mil seiscientos nueve dólares americanos, con 04/100)

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando Nro. EPN-PIJ-15-17-2020-0002-M del 21 de mayo de 2020 el Dr. Paulo Leica, Director del Proyecto PIJ-15-17, presenta el Informe Final del proyecto, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, y que se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Se estudió el estado del arte en control robusto para procesos industriales lo que permitió determinar las líneas base de investigación a seguir en el presente proyecto.
- Se estudió las normativas internacionales para construcción de sistemas electrónicos, lo que permitió determinar que el prototipo desarrollado sirve para procesos de producción con ambientes no húmedos y no abrasivos como ambientes con polvo.
- Se analizó los procesos industriales más representativos a nivel nacional, específicamente en el área de procesos batch y procesos de reactores CSTR, esto permitió establecer las posibles aplicaciones a nivel nacional en que se puede emplear el control robusto.
- Se desarrollaron estrategias de estimación de estados no medibles utilizando redes neuronales y observador de estados para estimar la concentración de un reactor de agitación continua aplicado a un sistema reactor-separador-reciclador. Verificándose el buen desempeño del estimador de estados desarrollado.
- Se desarrolló estrategias de control no-lineal mediante técnicas basadas en álgebra lineal y control en modo deslizante, que permitió la operación segura de procesos industriales tipo CSTR en lazo cerrado, observándose que la implementación de estos controladores permitió obtener sistemas más robustos ante perturbaciones.
- Se implementó indicadores como el ISE que permitieron determinar el buen desempeño del control PID-ROBUSTO desarrollado para los distintos procesos industriales, observándose un buen desempeño de los controladores propuestos. Sin embargo, no se pudo proponer nuevos indicadores, esto debido a que una vez estudiado los indicadores se determinó que no es necesario generar nuevos indicadores.



PRODUCTOS:

- Artículo: "*Trajectory tracking based on containment algorithm applied to a formation of mobile manipulators*" (Scopus); Renato Vizúete, Jackeline Abad Torres, Paulo Leica; Proceedings of the 14th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics; ISBN: 978-989758263-9; DOI: 10.5220/0006435501220131; julio 2017.
- Artículo: "*A Sliding-Mode Controller from a Reduced System Model: Ball and Plate System Experimental Application*" (Scopus); Luis Morales, Oscar Camacho, Paulo Leica, Danilo Chávez; Proceedings of the 14th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics; ISBN: 978-989758263-9; DOI: 10.5220/0006425905900597; julio 2017.
- Artículo: "*A Blended Sliding Mode Control with Linear Quadratic Integral Control based on Reduced Order Model for a VTOL System*" (Scopus); Marco Herrera, Paulo Leica, Danilo Chávez, Oscar Camacho; Proceedings of the 14th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics; ISBN: 978-989758263-9; DOI: 10.5220/0006429606060612; julio 2017.
- Artículo: "*Control of bidirectional physical human-robot interaction based on the human intention*"; Paulo Leica, Flavio Roberti, Matías Monllor, Juan M. Toibero, Ricardo Carelli; Intelligent Service Robotics (Scopus Q1); ISSN: 1861-2776; DOI: 10.1007/s11370-016-0207-4; enero 2017.
- Artículo: "*Comparison of control schemes for path tracking of mobile manipulators*"; Paulo Leica; Oscar Camacho; Sebastián Lozada; Robert Guamán; Danilo Chávez; Víctor H. Andaluz; International Journal of Modelling, Identification and Control (IJMIC) (Scopus Q3); ISSN: 1746-6172; DOI: 10.1504/IJMIC.2017.085300; julio 2017.
- Artículo: "*Sliding mode formation control of mobile robots with input delays*" (Scopus); Bryan Arévalo, Patricio Cruz, Paulo Leica; 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM); ISBN: 978-153863894-1; DOI: 10.1109/ETCM.2017.8247448; octubre 2017.
- Artículo: "*Optimal-robust controller for furuta pendulum based on linear model*" (Scopus); Israel Paredes, Mayra Sarzosa, Marco Herrera, Paulo Leica, Oscar Camacho; 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM); ISBN: 978-153863894-1; DOI: 10.1109/ETCM.2017.8247510; octubre 2017.
- Artículo: "*Dynamic obstacle avoidance based on null-space for quadcopter's formation*" (Scopus); Pilar Samaniego, Esteban Vaca, Paulo Leica, Danilo Chávez, Oscar Camacho; 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM); ISBN: 978-153863894-1; DOI: 10.1109/ETCM.2017.8247532; octubre 2017.
- Artículo: "*Dynamic obstacle avoidance based on time-variation of a potential field for robots formation*" (Scopus); Paulo Leica, Marco Herrera, Claudio Rosales, Flavio Roberti, Juan Toibero, Ricardo Carelli; 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM); ISBN: 978-153863894-1; DOI: 10.1109/ETCM.2017.8247493; octubre 2017.
- Artículo publicado: "*Aplication of a sliding mode controller to a cooling tower*"; Báez Xavier, Defaz Fernando, Leica Paulo, Camacho Oscar (Scopus Q4); Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia; ISSN: 0254-0770; abril 2018.
- Artículo: "*Dynamical sliding mode control for nonlinear systems with variable delay*" (Scopus); Edgar Báez, Yadira Bravo, Paulo Leica, Danilo Chávez, Oscar Camacho; 2017 IEEE 3rd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC); ISBN: 978-153860398-7; DOI: 10.1109/CCAC.2017.8276426; octubre 2017.

- Artículo: "A proposal for teaching Advanced Control Techniques using a Virtual Processes Laboratory" (Scopus); Francisco Ulloa, Oscar Camacho, Paulo Leica; 2018 IEEE 3rd Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2018; ISBN: 978-153866657-9; DOI: 10.1109/ETCM.2018.8580335; octubre 2018.
- Artículo: "Nonlinear Chemical Processes with Variable Dead Time: Comparative Robustness and Performance Analysis for Model Based Predictive Schemes" (Scopus); María Campoverde, Raisa Guayasamin, Oscar Camacho, Paulo Leica; 2018 IEEE 3rd Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2018; ISBN: 978-153866657-9; DOI: 10.1109/ETCM.2018.8580271; diciembre 2018.
- Artículo: "Robust Controller Based on an Optimal-Integral Surface for Quadruple-Tank Process" (Scopus); Marco Herrera, Oscar Gonzales, Oscar Camacho, Paulo Leica; 2018 IEEE 3rd Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2018; ISBN: 978-153866657-9; DOI: 10.1109/ETCM.2018.8580343; diciembre 2018.
- Artículo: "Null-Space Based Control Applied to a Formation of Aerial Manipulators in Congested Environment" (Scopus); Oscar Camacho, Paulo Leica, Jefferson Antamba, Johana Quiñónez; Proceedings - 2019 International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2019; ISBN: 978-172815581-4; DOI: 10.1109/INCISCOS49368.2019.00046; noviembre 2019.
- Artículo: "Null-Space- Based Controller for Heterogeneous Robot Formation in Congested Environments" (Scopus); Paulo Leica, Bryan Sagnay, Fabián Poveda, Oscar Camacho; Proceedings - 2019 International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2019; ISBN: 978-172815581-4; DOI: 10.1109/INCISCOS49368.2019.00045; noviembre 2019.
- Artículo: "Consensus Algorithms for Bidirectional Teleoperation of Aerial Manipulator Robots in an Environment with Obstacles" (Scopus); Paulo Leica, Karen Rivera, Stalin Muela, Danilo Chávez, Gabriela Andaluz, Víctor H. Andaluz; 2019 IEEE 4th Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2019; ISBN: 978-172813764-3; DOI: 10.1109/ETCM48019.2019.9014872; noviembre 2019.
- Artículo: "Controller Based on Null Space and Sliding Mode (NSB-SMC) for Bidirectional Teleoperation of Mobile Robots Formation in an Environment with Obstacles" (Scopus); Paulo Leica, Juan Balseca, Dario Cabascango, Danilo Chávez, Gabriela Andaluz, Víctor H. Andaluz; 2019 IEEE 4th Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2019; ISBN: 978-172813764-3; DOI: 10.1109/ETCM48019.2019.9014899; noviembre 2019.
- Conferencia: "Controller Based on Null Space and Sliding Mode (NSB-SMC) for Bidirectional Teleoperation of Mobile Robots Formation in an Environment with Obstacles"; Stalin Muela; 2019 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM); Guayaquil, Ecuador; noviembre 2019.
- Conferencia: "Consensus Algorithms for Bidirectional Teleoperation of Aerial Manipulator Robots in an Environment with Obstacles"; Stalin Muela; 2019 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM); Guayaquil, Ecuador; noviembre 2019.
- Conferencia: "Null-Space- Based Controller for Heterogeneous Robot Formation in Congested Environments"; Fabián Poveda, Jefferson Antambe; 2019 International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2019; Quito, Ecuador; noviembre 2019.
- Conferencia: "Null-Space Based Control Applied to a Formation of Aerial Manipulators in Congested Environment"; Fabián Poveda, Jefferson Antambe; 2019 International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2019; Quito, Ecuador; noviembre 2019.



- Conferencia: "Robust Controller Based on an Optimal-Integral Surface for Quadruple-Tank Process"; Óscar Camacho; 2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM); Cuenca, Ecuador; octubre 2018.
- Conferencia: "Nonlinear Chemical Processes with Variable Dead Time: Comparative Robustness and Performance Analysis for Model Based Predictive Schemes"; Óscar Camacho; 2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM); Cuenca, Ecuador; octubre 2018.
- Conferencia: "A proposal for teaching Advanced Control Techniques using a Virtual Processes Laboratory"; Óscar Camacho; 2018 IEEE Third Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM); Cuenca, Ecuador; octubre 2018.
- Tesis de Maestría en Automatización y Control Electrónico Industrial: "Diseño e implementación de cuatro controladores, dos de ellos basados en el modelo linealizado del sistema, y uno óptimo y otro robusto, basados en el modelo borroso Takagi-Sugeno (T-S); aplicados sobre el péndulo invertido rotacional Quanser de la plataforma NI ELVIS (ROTPEN)"; Paredes Regalado Alfredo Israel, Sarzosa Villarroel Mayra Alejandra; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19176>; febrero 2018.
- Tesis de Maestría en Automatización y Control Electrónico Industrial: "Desarrollo e implementación de un control de orientación y elevación mediante control en modo deslizante y control MPC lineal, aplicado a un sistema aerodinámico TRMS (Twin Rotor MIMO System)"; Zapata Chancusig Byron Ricardo; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20055?locale=en>; noviembre 2018.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Control: "Rehabilitación e implementación de controladores PID y SMC para el sistema de dosificación de líquidos del Laboratorio de Control de Procesos Industriales de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional"; Campaña Solís Orlando Javier, Mejía Miranda Christian Andrés; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18766>; septiembre 2017.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Control: "Rehabilitación y automatización de un prototipo de lavadora de botellas del laboratorio de Control de Procesos Industriales"; Frías Flores Karen Belén, Suntaxi Llumiquinga Jorge Marcelo; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19062>; enero 2018.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Control: "Diseño, simulación y comparación de tres controladores predictivos: control predictivo generalizado, control por matriz dinámica y predictor de Smith robusto, aplicados a un reactor de agitación continua y un tanque de mezclado con retardo"; Campoverde Robles María Gabriela, Guayasamín Pico Raisa Marilyn; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19791>; octubre 2018.
- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Control: "Diseño y simulación de un control regulatorio descentralizado y estimadores de concentración usando un observador de estados y redes neuronales aplicados a un sistema reactor-separador-reciclador"; Arroba Buenaño Jorge Roberto, Rocha Ulcuango Karina Beatriz; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20321?locale=en>; julio 2019.

- Proyecto de titulación de Ingeniería en Electrónica y Control: "*Diseño e implementación de un sistema virtual para un sistema multivariable no lineal de cuatro tanques*"; Ulloa Herrera Francisco Ramiro; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19859>; noviembre 2018.
- Patente de invención: "*Aparato de Control Robusto basado en modos deslizantes*"; Óscar Eduardo Camacho Quintero, Paulo César Leica Arteaga, Fernando Miguel Defaz Gallardo, Javier Alejandro Báez Borja; estado: en espera de la realización de los exámenes de patentabilidad para determinar el cumplimiento de los requisitos respectivos; presentación en junio 2016.
- Planteamiento de nuevas investigaciones: "*Control Colaborativo para un grupo de manipuladores aéreos con retardos de tiempo*"; perfil de proyecto; tiene como alcance desarrollar algoritmos de control colaborativo para un grupo de manipuladores aéreos con retardos de tiempo en la comunicación y/o entrada del sistema.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

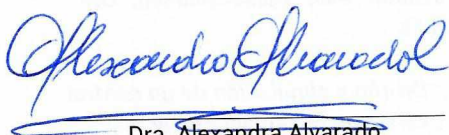
El monto asignado al Proyecto Junior PIJ-15-17 fue de \$ 79.817,30 USD (setentainueve mil ochocientos diecisiete dólares americanos, con 30/100), y se ejecutaron \$ 76.609,04 USD (setenta y seis mil seiscientos nueve dólares americanos, con 04/100), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión 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 Junior PIJ-15-17 "*Desarrollo y construcción de un prototipo PID-Robusto basado en técnicas de control avanzado para mejorar la robustez de procesos industriales*".

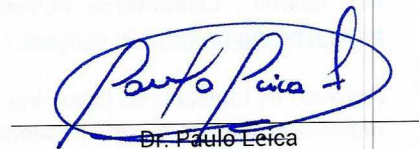
Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los nueve días del mes de junio del año dos mil veinte.



Dra. Alexandra Alvarado
Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación

cr/sp



Dr. Paulo Leica
Director del Proyecto
PIJ-15-17

