

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN SEMILLA PIS-19-10
“Control colaborativo para un grupo de manipuladores aéreos con retardos de tiempo”

En la ciudad de Quito D.M., a los seis días del mes de diciembre del año dos mil veintitrés, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Semilla **PIS-19-10 “Control colaborativo para un grupo de manipuladores aéreos con retardos de tiempo”**, 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 de Investigación Semilla PIS-19-10**, 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 RCIPS-124-2019, se aprueba el cronograma de la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación, Vinculación y Transferencia Tecnológica del 2019. El 15 de octubre de 2019, mediante Resolución 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 RCIIV-028-2020, se aprobó el *“Informe Final de los Proyectos de Investigación de la Convocatoria 2019”*, donde se muestran los resultados y los proyectos aprobados de la Convocatoria 2019. Entre los proyectos aprobados se encuentra el Proyecto de Investigación Semilla denominado *“Control colaborativo para un grupo de manipuladores aéreos con retardos de tiempo”*, presentado por el Dr. Paulo Leica.
- c) Mediante Memorando EPN-VIIV-2020-0293-M del 6 de marzo del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a la Jefatura del Departamento de Automatización y Control Industrial (DACI), la aprobación de los proyectos del departamento correspondientes a la Convocatoria 2019, entre ellos, el Proyecto de Investigación Semilla PIS-19-10 *“Control colaborativo para un grupo de manipuladores aéreos con retardos de tiempo”*, dirigido por el Dr. Paulo Leica.
- d) Mediante Memorando EPN-VIIV-2020-0356-M del 11 de marzo de 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Paulo Leica la aprobación de la propuesta de Proyecto de Investigación Semilla PIS-19-10 *“Control colaborativo para un grupo de manipuladores aéreos con retardos de tiempo”*.
- e) Mediante Memorando EPN-VIIV-2020-0552-M del 15 de abril del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a los directores de los Proyectos de Investigación Semilla de la Convocatoria 2019, que la fecha de inicio es el 4 de mayo de 2020, y la fecha de finalización el 3 de noviembre de 2021.
- f) Mediante Memorando EPN-CIIV-2021-0240-M del 19 de octubre de 2021, se notificó al Dr. Paulo Leica la Resolución RCIIV-195-2021 del 19 de octubre de 2021 de Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, con la que se aprobó la prórroga técnica del Proyecto de Investigación Semilla PIS-19-10, por lo que, la nueva fecha de finalización del proyecto es el 3 de febrero de 2022.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	PIS-19-10
Nombre del Proyecto	Control colaborativo para un grupo de manipuladores aéreos con retardos de tiempo
Director del Proyecto	- PAULO CESAR LEICA ARTEAGA (del 4 de mayo de 2020 al 3 de febrero de 2022)
Codirector del Proyecto	- OSCAR EDUARDO CAMACHO QUINTE (del 4 de mayo de 2020 al 9 de septiembre de 2021) - LUIS ALBERTO MORALES ESCOBAR (del 9 de septiembre de 2021 al 3 de febrero de 2022)
Colaboradores del Proyecto	- MARCO ANTONIO HERRERA GARZON (del 4 de mayo de 2020 al 7 de abril de 2021) - LUIS ALBERTO MORALES ESCOBAR (del 4 de mayo de 2020 al 9 de septiembre de 2021)
Unidad Ejecutora	Departamento de Automatización y Control Industrial (DACI)
Líneas de Investigación	<ul style="list-style-type: none"> • Robótica y automatización • Control y sistemas
Objetivo	Desarrollar algoritmos de control avanzado para un grupo de manipuladores aéreos con retardos de tiempo con la finalidad de ejecutar tareas de navegación y transporte de objetos de forma autónoma o teleoperado
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio: 4 de mayo del 2020 • Fin planificado: 3 de noviembre de 2021 • Prórroga técnica: hasta el 3 de febrero de 2022 • Duración total: 21 meses
Entrega del Informe Final	17 de noviembre de 2022
Presupuesto asignado	\$ 14.935,20 USD
Presupuesto ejecutado	\$ 3.496,10 USD

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando EPN-PIS-19-10-2022-0002-M del 17 de noviembre de 2022, el Dr. Paulo Leica, Director del Proyecto de Investigación Semilla PIS-19-10, presenta el Informe Final del Proyecto que dirige, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación que emite observaciones mediante Memorando EPN-DI-2023-1348-M del 6 de octubre de 2023.

Mediante Memorando EPN-PIS-19-10-2023-0001-M del 11 de octubre de 2023, el Dr. Paulo Leica presenta el Informe Final corregido del Proyecto de Investigación Semilla PIS-19-10, mismo que es revisada por la Dirección de Investigación, se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Se obtuvo un modelo matemático que represente las características cinemáticas y dinámicas del robot manipulador aéreo, este modelo matemático representa la masa, inercia, fuerzas centrífugas y fricción del robot. Una vez obtenido el modelo se realizaron pruebas experimentales en lazo abierto y lazo cerrado para validar el modelo, los resultados demostraron una buena aproximación del modelo obtenido al manipulador real.
- Se desarrollaron varios controladores como el de postura, seguimiento de caminos, compensación dinámica, dinámica inversa, control de impedancia, PID, LAMDA, retardos de tiempo, robustos y SMC para un manipulador aéreo y sistemas robóticos, se verificó el buen comportamiento de los algoritmos de control.

- Se demostró matemáticamente la estabilidad y robustez de los esquemas de control propuestos, considerando perturbaciones externas por ejemplo oscilación de la carga a ser transportada, entre otras, el análisis demostró la convergencia de los errores a cero.
- Se desarrollaron dos simuladores que permiten implementar diferentes algoritmos de control avanzados autónomos para manipuladores aéreos, con el fin de analizar el comportamiento de navegación del sistema colaborativo, se demostró que los simuladores tienen un buen comportamiento similar a la de un robot real.

PRODUCTOS:

- **Artículo publicado:** *"Hybrid Controller based on Null Space and Consensus Algorithms for Mobile Robot Formation"*; Andaluz Gabriela M., Leica Paulo, Herrera Marco, Morales Luis, Camacho Óscar; Emerging Science Journal (Indexado SCOPUS, Q1); ISSN: 26109182; DOI: 10.28991/ESJ-2022-06-03-01; junio 2022.
- **Artículo publicado:** *"LAMDA Control Approaches Applied to Trajectory Tracking for Mobile Robots"*; Morales L., Herrera M., Camacho O., Leica P., Aguilar J.; IEEE Access (Indexado SCOPUS, Q1); ISSN: 21693536; DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3062202; 2021.
- **Artículo publicado:** *"Modeling and control of nonlinear systems using an Adaptive LAMDA approach"*; Morales Luis, Aguilar José, Rosales Andrés, Chávez Danilo, Leica Paulo; Applied Soft Computing Journal (Indexado SCOPUS, Q1); ISSN: 15684946; DOI: 10.1016/j.asoc.2020.106571; octubre 2020.
- **Artículo publicado:** *"LAMDA Controller Applied to the Trajectory Tracking of an Aerial Manipulator"*; Gabriela Andaluz, Luis Morales, Paulo Leica, Víctor H. Andaluz; Applied sciences (Indexado WoS); ISSN: 2076-3417; DOI: 10.3390/app11135885; junio 2021.
- **Conferencia indexada SCOPUS:** *"Fuzzy adaptive MPC for nonlinear time varying delayed systems"*; Aboukheir Hanna, Herrera Marco, Chávez Danilo, Leica Paulo, Camacho Óscar; Proceedings of 2020 IEEE ANDESCON; ISBN: 978-172819365-6; DOI: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272058; Quito, Ecuador; octubre 2020.
- **Trabajo de titulación de Ingeniera en Electrónica y Control:** *"Diseño y simulación de un control en cascada basado en algoritmos de impedancia, SMC y dinámica inversa para seguimiento de trayectoria de un manipulador aéreo"*; Castro Guerrero Alvita Melisa; mayo 2022.
- **Trabajo de titulación de Ingeniero en Electrónica y Control:** *"Diseño y simulación de controladores de postura y seguimiento de caminos aplicados a un manipulador aéreo"*; Sagñay Yépez Franklin Danilo; mayo 2022.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto de Investigación Semilla PIS-19-10 fue de \$ 14.935,20 USD (catorce mil novecientos treintaicinco dólares americanos, con 20/100), y se ejecutaron \$ 3.496,10 USD (tres mil cuatrocientos noventa y seis dólares americanos, con 10/100), 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-19-10 "Control colaborativo para un grupo de manipuladores aéreos con retardos de tiempo".

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 seis días del mes de diciembre del año dos mil veintitrés.

Dra. Alexandra Alvarado
Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación

Dr. Paulo Leica
Director del Proyecto
PIS-19-10

sp/cc