

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN MULTI E INTERDISCIPLINARIO PIMI-18-01**  
***“Evaluación experimental de sistemas de propulsión para aeronaves no tripuladas de ala fija empleadas en actividades de monitoreo ambiental y gestión de riesgos, implementando sistemas híbridos de propulsión distribuida (DP), control vectorial de empuje (TV) e ingestión de capa límite (BLI)”***

En la ciudad de Quito D.M., a los veintiocho del mes de marzo del año dos mil veintitrés, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Multi e Interdisciplinario **PIMI-18-01 “Evaluación experimental de sistemas de propulsión para aeronaves no tripuladas de ala fija empleadas en actividades de monitoreo ambiental y gestión de riesgos, implementando sistemas híbridos de propulsión distribuida (DP), control vectorial de empuje (TV) e ingestión de capa límite (BLI)”**, 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. Edgar Hernán Cando Narváez** en calidad de **Director del Proyecto de Investigación Multi e Interdisciplinario PIMI-18-01**, al tenor de lo siguiente:

**1. ANTECEDENTES:**

- a) El 19 de junio de 2018, el Consejo de Investigación y Proyección Social mediante Resolución R088/18, aprueba el Cronograma para la presentación de Propuestas de Proyectos de Investigación – Convocatoria 2018, y mediante Resoluciones R090/18, R096/18, R160/18 se aprobaron modificaciones al cronograma de la Convocatoria 2018.
- b) El 5 de febrero de 2019, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución RCIPS-028-2019, se aprobó el “Informe Final de la Convocatoria 2018”, entre los proyectos aprobados se encuentra el Proyecto Multi e Interdisciplinario denominado **“Evaluación experimental de sistemas de propulsión para aeronaves no tripuladas de ala fija empleadas en actividades de monitoreo ambiental y gestión de riesgos, implementando sistemas híbridos de propulsión distribuida (DP), control vectorial de empuje (TV) e ingestión de capa límite (BLI)”**, presentado por el Dr. Edgar Cando.
- c) Mediante Memorando EPN-VIPS-2019-0237-M del 8 de febrero de 2019, se notifica al Dr. Edgar Cando la aprobación del proyecto **“Evaluación experimental de sistemas de propulsión para aeronaves no tripuladas de ala fija empleadas en actividades de monitoreo ambiental y gestión de riesgos, implementando sistemas híbridos de propulsión distribuida (DP), control vectorial de empuje (TV) e ingestión de capa límite (BLI)”**, con código PIMI-18-01.
- d) Mediante Memorando EPN-VIPS-2019-0439-M del 19 de marzo de 2019, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social informa a los directores de los proyectos multi e interdisciplinarios 2018 que el inicio de los proyectos es el 1 de abril de 2019.
- e) Mediante Memorando EPN-CIIV-2022-0043-M del 10 de marzo de 2022, Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, notificó al Dr. Edgar Cando la Resolución RCIV-029-2022 del 8 de marzo de 2022, donde se aprueba la prórroga técnica del Proyecto de Investigación Multi e Interdisciplinario PIMI-18-01; por lo que la fecha de fin de ejecución del proyecto es el 30 de junio de 2022.

## 2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

<b>Código de Proyecto</b>	PIMI-18-01
<b>Nombre del Proyecto</b>	Evaluación experimental de sistemas de propulsión para aeronaves no tripuladas de ala fija empleadas en actividades de monitoreo ambiental y gestión de riesgos, implementando sistemas híbridos de propulsión distribuida (DP), control vectorial de empuje (TV) e ingestión de capa límite (BLI)
<b>Director del Proyecto</b>	EDGAR HERNAN CANDO NARVAEZ
<b>Codirector del Proyecto</b>	ESTEBAN ALEJANDRO VALENCIA TORRES
<b>Colaboradores del Proyecto</b>	PAUL MARCELO POZO PALMA CARLOS WIME DIAZ CAMPOVERDE JACKELINE ABAD TORRES
<b>Departamento</b>	Ingeniería Mecánica (DIM)
<b>Líneas de Investigación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instrumentación y metrología</li> <li>• Desarrollo, caracterización y procesamiento de materiales sólidos</li> <li>• Diseño y análisis de sistemas energéticos</li> <li>• Calidad y uso eficiente de energía eléctrica</li> </ul>
<b>Objetivo</b>	Evaluar experimentalmente diferentes configuraciones de sistemas de propulsión para UAVs de ala fija empleados en actividades de monitoreo ambiental y gestión de riesgos, mediante la implementación de sistemas híbridos de propulsión distribuida (DP), control vectorial de empuje (TV) e ingestión de capa límite (BLI)
<b>Duración del Proyecto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inicio: 1 de abril del 2019</li> <li>• Fin planificado: 31 de marzo de 2022</li> <li>• Prórroga técnica: hasta el 30 de junio de 2022</li> <li>• Duración total: 39 meses</li> </ul>
<b>Entrega del Informe Final</b>	30 de septiembre de 2022
<b>Presupuesto asignado</b>	\$ 198.753,76 USD
<b>Presupuesto ejecutado</b>	\$ 194.512,22 USD

## 3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando EPN-PIMI-18-01-2022-0027-M del 30 de septiembre de 2022, el Dr. Edgar Cando, Director del Proyecto PIMI-18-01, presenta el Informe Final del Proyecto Multi e Interdisciplinario que dirige, esta documentación es revisada por la Dirección de Investigación, se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

### CONCLUSIONES:

- El banco de pruebas instalado en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Turbomáquinas opera en un rango de potencias de entre 2 y 7 kW de carga final, donde el punto de hibridación del sistema está entre 0 % y 100 %, mediante adaptaciones en la potencia consumida por el sistema de combustión y el sistema eléctrico. Esto permite estudiar con precisión parámetros como consumo de combustible, consumo energético, y emisiones de gases, para distintas configuraciones del sistema híbrido.
- Las propelas de UAV configuradas bajo métodos de diseño paramétricos convencionales tienden a presentar limitaciones o fallas estructurales, mismas que pueden ser corregidas a través de la optimización del perfil de la raíz, sin perjudicar significativamente la eficiencia del mecanismo de propulsión.

- El uso de sistemas híbridos para una misión de monitoreo ambiental con las condiciones de operación requeridas permite disminuir hasta en un 21.5 % las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> frente a las emisiones de un sistema de propulsión convencional. Los niveles de ruido al variar las condiciones de operación del motor variaron en un 6.5 %.
- El error relativo de los modelos paramétricos desarrollados por el GI-ATA para predicción de consumo energético y consumo de combustible de sistemas de propulsión híbrida se redujo de 28 % a 12.8 % en la estimación de consumo de masa de combustible, y a un 6.07 % el error relativo de la estimación del consumo específico de combustible.
- La eficiencia de los sistemas de propulsión híbrida en serie puede ser maximizada fijando el punto de operación del motor de combustión cerca del punto de máxima eficiencia. Esto permite optimizar el consumo de combustible durante los tramos de carga del sistema eléctrico, minimizando el consumo de combustible y maximizando la potencia entregada al sistema, lo que a su vez reduce las emisiones de gases al ambiente.

#### PRODUCTOS:

- **Artículo publicado:** *"Evaluation of Series and Parallel Hybrid Propulsion Systems for UAVs Implementing Distributed Propulsion Architectures"*; Jiménez Darwin, Valencia Esteban, Herrera Ariel, Cando Edgar, Pozo Marcelo; Aerospace (Indexada Scopus, Q2); ISSN: 22264310; DOI: 10.3390/aerospace9020063; febrero 2022.
- **Artículo publicado:** *"A two-layer transformation for zeros analysis of networked dynamical systems"*; Abad Torres Jackeline, Roy Sandip; Automatica (Indexada Scopus, Q1); ISSN: 00051098; DOI: 10.1016/j.automatica.2022.110587; diciembre 2022.
- **Artículo publicado:** *"Novel fan configuration for distributed propulsion systems with boundary layer ingestion on an hybrid wing body airframe"*; Valencia Esteban, Alulema Víctor, Rodríguez Darío, Laskaridis Panagiotis, Roumeliotis Ioannis; Thermal Science and Engineering Progress (Indexada Scopus, Q1); ISSN: 24519049; DOI: 10.1016/j.tsep.2020.100515; agosto 2020.
- **Artículo en congreso:** *"Power management strategies for small electric fixed wing uavs employed in natural resources mapping"* (Indexado SCOPUS); Valencia Esteban, Changoluisa Iván, Alulema Víctor, Rodríguez Darío, Valencia Deyanira, Nandar Johanna, Hernández Juan, Pozo Marcelo, Cruz Patricio J., Cando Edgar; *"AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum, 2020, AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum"*; Virtual, Online; ISBN: 978-162410602-6; DOI: 10.2514/6.2020-3963; agosto 2020.
- **Artículo en congreso:** *"Modeling of a series hybrid propulsion uav used for monitoring in the galapagos islands"* (Indexado SCOPUS); Valencia Esteban, Jiménez Darwin, Alulema Víctor, Montalván Jimmy, Pozo Marcelo, Romeliotis Ioannisc, Cando Edgar; *"AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum, 2020, AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum"*; Virtual, Online; ISBN: 978-162410602-6; DOI: 10.2514/6.2020-3960; agosto 2020.
- **Artículo en congreso:** *"Test-bench Development for the Efficiency Analysis of UAV Motor-Propeller Sets"* (Indexado SCOPUS); Hernández Juan D., Nandar Johanna E., Changoluisa Iván D., Cruz Patricio J., Valencia Esteban; *"ETCM 2021 - 5th Ecuador Technical Chapters Meeting, 5th IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2021"*; Cuenca, Ecuador; ISBN: 978-166544141-4; DOI: 10.1109/ETCM53643.2021.9590717; octubre 2021.

- **Artículo en congreso:** "Design methodology of a UAV propeller implemented in monitoring activities" (Indexado SCOPUS); Cruzatty C., Sarmiento E., Valencia E., Cando E.; "Materials Today: Proceedings, 2022 1st International Virtual Conference on Mechanical Engineering Trends, MET 2021"; Virtual, Online; ISSN: 22147853; DOI: 10.1016/j.matpr.2021.07.481; marzo 2021.
- **Artículo en congreso:** "Aero-structural numerical analysis of a blended wing body unmanned aerial vehicle using a jute-based composite material" (Indexado SCOPUS); Sarmiento Edgar, Díaz Campoverde Carlos, Rivera José, Cruzatty Cristian, Cando Edgar, Valencia Esteban; "Materials Today: Proceedings, 2022 1st International Virtual Conference on Mechanical Engineering Trends, MET 2021"; Virtual, Online; ISSN: 22147853; DOI: 10.1016/j.matpr.2021.07.470; marzo 2021.
- **Proyecto de titulación de Ingeniero en Electrónica y Control:** "Diseño e implementación del control en lazo cerrado para un sistema de propulsión eléctrico de un UAV de ala fija a través de un computador industrial-IPC"; Sarasti Dután Alexis David, Vinueza Cuestas Yaritza Salomé; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22303>; marzo 2022.
- **Webinar de difusión a la comunidad politécnica:** "Modelación de un Sistema de Propulsión Híbrido en Serie"; Darwin Raúl Jiménez Córdova; dirigido a los estudiantes de la facultad de Ingeniería Mecánica, Plataforma Zoom, noviembre 2020.
- **Webinar de difusión a la comunidad politécnica:** "Sistemas Energéticos en Aeronaves no Tripuladas"; Iván David Changoluisa Caiza; dirigido a los estudiantes de la facultad de Ingeniería Mecánica, Plataforma Zoom, diciembre 2020.
- **Perfil de proyecto de investigación:** Proyecto externo: "Micro-Hydro Turbines for Electrification in Rural Areas of Ecuador"; la propuesta fue presentada en la convocatoria VLIR-USO Short Initiatives 2022. El proyecto se enfoca en analizar la factibilidad técnica y económica de implementar una alternativa de generación eléctrica en la Amazonía ecuatoriana para comunidades rurales remotas. Para ello, el proyecto investiga soluciones de bajo costo para el diseño, manufactura y operación de turbinas con la ayuda de herramientas computacionales de software libre.
- **Perfil de proyecto de investigación:** Proyecto externo: "Plataforma para Microgeneración Hidroeléctrica en Áreas Rurales del Ecuador"; la propuesta fue presentada en la convocatoria CEDIA I+D+I, 2021. El proyecto busca brindar una herramienta tecnológica de fácil acceso y uso que permita al usuario obtener la información técnica específica requerida para el desarrollo de un proyecto de microgeneración en una localidad previamente determinada utilizando turbinas hidráulicas. La metodología se basa en el desarrollo de una plataforma para la visualización de los recursos y potencial hídrico disponible en áreas rurales y la selección de locaciones adecuadas para microelectrificación basada en el potencial hídrico técnico requerido

#### 4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto de Investigación Multi e Interdisciplinario PIMI-18-01 fue de \$198.753,76 USD (ciento noventaiocho mil setecientos cincuentatres dólares americanos, con 76/100), y se ejecutaron \$ 194.512,22 USD (ciento noventaicuatro mil quinientos doce dólares americanos, con 22/100), 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 Multi e Interdisciplinario PIMI-18-01 "*Evaluación experimental de sistemas de propulsión para aeronaves no tripuladas de ala fija empleadas en actividades de monitoreo ambiental y gestión de riesgos, implementando sistemas híbridos de propulsión distribuida (DP), control vectorial de empuje (TV) e ingestión de capa límite (BLI)*".

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 veintiocho días del mes de marzo del año dos mil veintitrés.

---

Ph.D. Alexandra Alvarado  
**Vicerrectora de Investigación,  
Innovación y Vinculación**

---

Dr. Edgar Cando  
**Director del Proyecto  
PIMI-18-01**

sp/cc