

PROYECTO MULTI E INTERDISCIPLINARIO PIMI-15-03

"Investigación y evaluación de sistemas innovadores de propulsión distribuida con ingestión de capa límite para mejorar la eficiencia propulsiva y térmica de vehículos aéreos no tripulados aplicados en los sectores: agrícola, medicina y vigilancia"

En la ciudad de Quito D.M., a los nueve días del mes de noviembre del año dos mil veinte, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto Multi e Interdisciplinario **PIMI-15-03 "Investigación y evaluación de sistemas innovadores de propulsión distribuida con ingestión de capa límite para mejorar la eficiencia propulsiva y térmica de vehículos aéreos no tripulados aplicados en los sectores: agrícola, medicina y vigilancia"**, 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. Esteban Alejandro Valencia Torres** en calidad de **Director del Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-15-03**, 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 Multi e Interdisciplinario denominado: *"Investigación y evaluación de sistemas innovadores de propulsión distribuida con ingestión de capa límite para mejorar la eficiencia propulsiva y térmica de vehículos aéreos no tripulados aplicados en los sectores: agrícola, medicina y vigilancia"*, presentado por el Dr. Esteban Valencia.
- c) Mediante Memorando EPN-VIPS-2016-0593-M del 31 de mayo de 2016, se informa a los directores de los proyectos Multi e Interdisciplinario 2015 que se considerará como fecha de inicio de los proyectos el 1 de junio de 2016, y se indica a los directores que en caso de que su proyecto haya iniciado con anterioridad lo comuniquen. Mediante Memorando EPN-PIMI-15-03-2016-0013-M, el Dr. Valencia notificó como fecha de inicio del proyecto el 1 de abril de 2016.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

 Recibido 2024/10/03

Código de Proyecto	PIMI-15-03
Nombre del Proyecto	<i>Investigación y evaluación de sistemas innovadores de propulsión distribuida con ingestión de capa límite para mejorar la eficiencia propulsiva y térmica de vehículos aéreos no tripulados aplicados en los sectores: agrícola, medicina y vigilancia</i>
Director del Proyecto	VALENCIA TORRES ESTEBAN ALEJANDRO
Colaboradores del Proyecto	HIDALGO DIAZ VICTOR HUGO BENALCAZAR PALACIOS MARCO ENRIQUE DIAZ CAMPOVERDE CARLOS WIME
Departamento	Ingeniería Mecánica
Líneas de Investigación	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización y evaluación de materiales • Energía y diseño • Sistemas inteligentes

Objetivo	<i>Investigar y evaluar sistemas innovadores de propulsión distribuida con ingestión de capa límite para obtener una mayor eficiencia propulsiva y térmica, con el fin de maximizar la independencia de vuelo y optimizar la carga de pago para vehículos aéreos no tripulados (UAV's) o drones, utilizados en los sectores agrícolas, medicina y vigilancia, mediante simulación numérica y validación experimental</i>
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none">• Inicio: 1 de abril de 2016• Fin planificado: 31 de marzo de 2019• Prórroga Ordinaria: hasta el 31 de diciembre de 2019• Duración total: 45 meses
Entrega del Informe Final	5 de mayo del 2020
Presupuesto asignado	\$ 179.470,00 USD (ciento setenta y nueve mil cuatrocientos setenta dólares americanos, con 00/100).
Presupuesto ejecutado	\$ 171.961,79 USD (ciento setenta y un mil novecientos sesenta y un dólares americanos, con 79/100).

3. INFORME FINAL:

Mediante Oficio EPN-PIMI-15-03-2020-0005-O del 5 de mayo de 2020 el Dr. Esteban Valencia, Director del Proyecto PIMI-15-03, presenta el Informe Final del Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-15-03, y mediante memorando EPN-PIMI-15-03-2020-0005-M del 5 de octubre de 2020 presenta documentación adicional y correcciones solicitadas por la Dirección de Investigación. El informe es revisado por la Dirección de Investigación, se anexa y forma parte integrante de la presente Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Para el grupo de investigación ATA de la EPN, el proyecto PIMI 15-03 constituye el primer proyecto de investigación en el área de ingeniería aeroespacial con enfoque en aeronaves no tripuladas de tipo fuselaje integrado y sistemas de propulsión distribuida e ingestión de capa límite. En cuanto a los resultados del proyecto, se ha determinado numerosos beneficios de las tecnologías de propulsión distribuida e ingestión de capa límite en términos de eficiencia y consumo energético, las cuales permitirán mejorar el desempeño de aeronaves no tripuladas empleadas en aplicaciones como agricultura de precisión, vigilancia y medicina. En el contexto del proyecto PIMI 15-03, se desarrollaron numerosas herramientas para la evaluación computacional y paramétrica de aeronaves no tripuladas y de arquitecturas de propulsión innovadoras.
- El marco de trabajo desarrollado con herramientas de bajo y alto nivel de fidelidad permite evaluar un amplio espectro de conceptos de propulsión distribuida e ingestión de capa límite, tomando en consideración los fenómenos de integración aerodinámica y propulsivos, los cuales influyen considerablemente en el desempeño, eficiencia y más potenciales beneficios de las tecnologías de propulsión distribuida e ingestión de capa límite.
- La creación de una metodología integrada por módulos para el diseño de los sistemas de propulsión ha permitido evaluar la fidelidad de los sistemas en las diferentes etapas de diseño y a diversas condiciones de operación. La metodología desarrollada permite reducir el espacio de diseño considerablemente ya que se pueden evaluar el efecto de una gran cantidad de parámetros mediante un enfoque multidisciplinario.
- Se definió la relación entre los sistemas de control, propulsión y fuselaje de los UAVs mediante la relación entre peso y potencia consumida. En términos de potencia, la incorporación de

tecnologías como propulsión distribuida e ingestión de capa límite permiten reducir la potencia requerida; sin embargo, la integración de estas en el fuselaje de la aeronave presenta numerosos retos como el diseño de ductos tipo "S" que permitan reducir la distorsión en la entrada del propulsor. Además, la incorporación de estas tecnologías requiere de sistemas de control más robustos. Finalmente, se determinó las ubicaciones estratégicas de cada sistema en el fuselaje de la aeronave, considerando restricciones de estabilidad y maniobrabilidad.

- El ancho del ala y el perfil aerodinámico son las variables aerodinámicas que influyen más en el diseño de una aeronave no tripulada de tipo ala fija. Mientras que la eficiencia del sistema de propulsión distribuido y de ingestión de capa límite es sensible a la velocidad del flujo y la presión de entrada, las cuales son un indicador de la cantidad de distorsión del flujo a la entrada del propulsor.
- La eficiencia aerodinámica y el coeficiente de consumo de potencia son figuras de mérito que permiten determinar los parámetros óptimos de diseño mediante modelos de optimización multiobjetivo. Estos dos parámetros están directamente relacionados con la eficiencia del sistema de propulsión y el consumo total de energía del UAV.
- Los algoritmos desarrollados en C++ y Python permitieron evaluar los procesos de distorsión y desarrollo de la capa límite en el fuselaje y en los ductos de ingestión. Logrando determinar geometrías de ductos que permiten mitigar la distorsión circular.
- Las arquitecturas de propulsión distribuida e ingestión de capa límite ofrecen numerosos beneficios, entre los cuales se destacan principalmente la reducción de consumo de energía, ya sea eléctrica o mediante combustible. Además, estas tecnologías permitirían incrementar la autonomía de vuelo. Por estas razones, se han desarrollado modelos conceptuales de aeronaves para diversas aplicaciones en la agricultura, medicina o vigilancia, teniendo en cuenta los exigentes requerimientos operacionales para cada una de estas.
- Los varios artículos expuestos y trabajos realizados por el presente proyecto han logrado generar mayores áreas de investigación y exploración que buscan la tecnificación de varios campos como en la agricultura, monitoreo de volcanes, vigilancia. Así como el desarrollo de materiales óptimos para estas nuevas áreas de desarrollo.
- Mediante los resultados de los modelos y algoritmos realizados se hace posible guiar nuevas rutas para futuras proyectos de investigación sobre diseño de UAVs, selección de materiales y manufactura que permitan bajo ciertos criterios de costo, peso, resistencia mecánica encontrar diseños específicos para cada aplicación requerida.

PRODUCTOS:

- Artículo: "*Discretized Miller approach to assess effects on boundary layer ingestion induced distortion*"; Esteban Valencia, Víctor Hidalgo, Devaiah Nalianda, Laskaridis Panagiotis, Riti Singh; *Chinese Journal of Aeronautics* (SCOPUS Q1); ISSN: 10009361; DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cja.2016.12.005>; diciembre 2016.
- Artículo enviado para revisión: "*A novel methodology for volume and mass properties computation of 3-D Lifting Surfaces and wing-box structures*"; Esteban Valencia, Víctor Alulema, Víctor Hidalgo, Darío Rodríguez; *Aerospace Science and Technology* (SCOPUS Q1); ISSN: 12709638.
- Artículo aceptado para revisión: "*Propulsion Sizing Correlations for Electrical and Fuel Powered Unmanned Aerial Vehicles*"; Víctor Alulema, Esteban Valencia, Edgar Cando, Víctor Hidalgo y Darío Rodríguez; *Aerospace* (SCOPUS Q3); ISSN: 2226431.

- Artículo publicado: "Aeropropulsive Evaluation of Boundary Layer Ingestion for Medium Electric-Powered UAVs"; Esteban Valencia; memorias del evento AIAA Propulsion and Energy Forum 2020 (Indexado en SCOPUS); evento virtual; DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2020-3522>; Agosto 2020.
- Artículo publicado: "Preliminary sizing correlations for UAVs' propulsion system"; Víctor Hidalgo, Víctor Alulema, Esteban Valencia, Edgar Cando y Darío Rodríguez; memorias del evento "AIAA Propulsion and Energy 2019 Forum" (Indexado en SCOPUS); Indianápolis - Estados Unidos; DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2019-4304>; agosto 2019.
- Artículo publicado: "Weight assessment for a blended wing Body-Unmanned aerial vehicle implementing boundary layer ingestion"; Esteban Valencia, Víctor Alulema y Víctor Hidalgo; memorias del evento IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Indexado en SCOPUS); ISSN: 17578981; memorias del evento "2018 International Joint Conference on Materials Science and Mechanical Engineering"; Bangkok, Thailandia; DOI: 10.1088/1757-899X/383/1/012068; febrero 2018.
- Artículo publicado: "Design point analysis of a distributed propulsion system with boundary layer ingestion implemented in UAV's for agriculture in the Andean region"; Esteban Valencia, Víctor Hidalgo y Jorge Cisneros; memorias del evento "52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 2016" (Indexadas en SCOPUS); desarrollado en Salt Lake City, Estados Unidos; DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2016-4799>; julio 2016.
- Artículo publicado: "Parametric study of aerodynamic integration issues in highly coupled Blended Wing Body configurations implemented in UAVs"; Esteban Valencia, Juan Saa, Víctor Alulema y Víctor Hidalgo; memorias del evento "2018 AIAA Information Systems-AIAA Infotech @ Aerospace" (Indexadas en SCOPUS); desarrollado en Kissimmee, Florida, Estados Unidos; DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2018-0746>; enero 2018.
- Artículo publicado: "Parametric modelling for aerodynamic assessment of a fixed wing UAV implemented for Site Specific Management"; Esteban Valencia, Víctor Hidalgo y Darío Rodríguez; memorias del evento "2018 AIAA Information Systems-AIAA Infotech @ Aerospace" (Indexadas en SCOPUS); desarrollado en Kissimmee, Florida, Estados Unidos; DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2018-0988>; enero 2018.
- Proyecto de mayor alcance 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)", que tiene como objetivo 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).
- Proyecto de mayor alcance PIE-DIM-VLIR-2020: "Real time volcano monitoring for early eruption prediction using unmanned aerial vehicles and image processing methods", que tiene como objetivo implementar un sistema de monitoreo basado en un UAV de ala fija equipado con carga útil capaz de rastrear cambios geomorfológicos utilizando algoritmos de procesamiento de imágenes.
- Proyecto de mayor alcance PIE-CEPRA-XII-2018-12: "Desarrollo de una metodología y plataforma de información para la implementación de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) de alas fijas como herramienta de monitoreo de zonas de protección hídrica", que tiene como objetivo desarrollar una metodología y plataforma de información para la implementación de



vehículos aéreos no tripulados (UAVs) de alas fijas con herramientas de monitoreo de zonas de protección hídrica.

- Proyecto de titulación de Ingeniería Mecánica: "*Estudio paramétrico y simulación dinámica de fluidos computacionales (CFD) de los efectos de integración aerodinámicos entre el sistema de propulsión y fuselaje para un vehículo aéreo no tripulado (UAV) utilizado en agricultura*"; Cristian Paúl Yalama Castro; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19348>; abril 2018.
- Proyecto de titulación de Ingeniería Mecánica: "*Estudio de un sistema de propulsión distribuida de un vehículo aéreo no tripulado con ingestión de la capa límite, aplicado en la región andina*"; Juan Manuel Saá Madrigal; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19229>; febrero 2018.
- Proyecto de titulación de Ingeniería Mecánica: "*Diseño de sistemas de propulsión distribuida con ingestión de capa límite para una aeronave no tripulada de fuselaje integrado*"; Víctor Hugo Alulema Pullupaxi; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19339>; abril 2018.
- Proyecto de titulación de Ingeniería Mecánica: "*Estudio en estado estático de aeroelasticidad para la estructura de una aeronave no tripulada (UAV) de tipo "fuselaje integrado" (BWB) mediante métodos numéricos*"; Franklin Alexander Ramos Almeida; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19727>; septiembre 2018.
- Proyecto de titulación de Ingeniería Mecánica: "*Evaluación aerodinámica del efecto de integración de un sistema de propulsión embebido simple y del tipo "S" en el fuselaje de un vehículo aéreo no tripulado mediante dinámica de fluidos computacional*"; Miguel Ángel Ayala Espinoza; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20265>; junio 2019.
- Proyecto de titulación de Ingeniería Mecánica: "*Caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de yute precargada mediante moldeo por compresión*"; Edwin Fabricio Cunalata Sánchez y Celso Alejandro Jiménez Abarca; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20421>; mayo 2019.
- Proyecto de titulación de Ingeniería Civil y Ambiental: "*Desarrollo de una metodología para la evaluación de saturación del humedal Puglllohuma mediante el uso de UAVs*"; Gabriela Alejandra Espinel Enríquez; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20633>; enero 2020.
- Tesis de Maestría en Eficiencia Energética: "*Análisis de instrumentación y simulación de un túnel de viento subsónico de ciclo abierto*"; Cristian Paúl Topa Chuquitarco; URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19133>; enero 2018.
- Tesis de Maestría en Mecatrónica y Robótica: "*Diseño e implementación de un sistema de telemetría y video para vehículos aéreos no tripulados (UAVS)*"; Vanessa Katherine Guevara Balarezo; URL: <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=73298>; 2019.
- Tesis de Maestría en Mecatrónica y Robótica: "*Diseño e implementación de una balanza aerodinámica para el túnel de viento subsónico de ciclo abierto LMFT de la Escuela Politécnica Nacional para medición de las fuerzas de arrastre y sustentación*"; Dennys Rafael Daquilema Guambo; URL: <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=73892>; febrero 2020.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

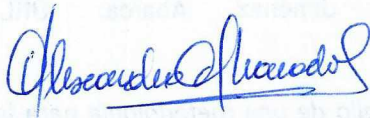
El monto asignado al Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-15-03 fue de \$ 179.470,00 USD (ciento setenta y nueve mil cuatrocientos setenta dólares americanos, con 00/100), y se ejecutaron \$171.961,79 USD (ciento setenta y un mil novecientos sesenta y un dólares americanos, con 79/100), conforme 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:

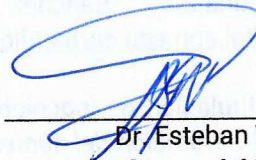
Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-15-03 "*Investigación y evaluación de sistemas innovadores de propulsión distribuida con ingestión de capa límite para mejorar la eficiencia propulsiva y térmica de vehículos aéreos no tripulados aplicados en los sectores: agrícola, medicina y vigilancia*".

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 noviembre del año dos mil veinte.



Dra. Alexandra Alvarado
Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación



Dr. Esteban Valencia
Director del Proyecto
PIMI-15-03

cr/sp