



## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica  Investigación Aplicada  Investigación Pedagógica  Innovación

### DEPARTAMENTO(S):

1. Departamento de Ingeniería Mecánica.
2. Departamento de Informática y Ciencias de la computación
3. Departamento de Materiales

### LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Energía y Diseño
2. Sistemas inteligentes
3. Caracterización y evaluación de materiales

### 1 Proyecto de Investigación

#### Título:

**“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.”**

#### Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

La disminución de costos de operación, impacto ambiental, versatilidad y precisión que los sistemas aéreos no tripulados ofrece, han motivado la presente propuesta de investigación. Un problema común en sistemas aéreos móviles es el tiempo de independencia de vuelo, consumo energético y la carga de pago. En este trabajo se investiga dos tecnologías innovadoras para sistemas de propulsión como son la propulsión distribuida y la ingestión de capa límite [1,2], las mismas que han mostrado grandes ventajas en eficiencia propulsiva y térmica, permitiendo una optimización de las variables anteriormente mencionadas. Para ello este trabajo persigue refinar métodos actuales para el sistema de propulsión, y además implementar análisis de alta fidelidad usando simulación numérica basada en dinámica computacional de fluidos (CFD) con software libre (*OpenFOAM*) y/o licencia (*ANSYS*). La simulación se centrará en el diseño y optimización de alabes para los ventiladores distribuidos así como en los aspectos de integración aerodinámica del propulsor distribuido con ingestión de capa límite. Adicionalmente se investigará el uso de inteligencia artificial para el sistema de control del dron. Para validar las simulaciones numéricas además se plantea en este proyecto la repotenciación del túnel de viento del Laboratorio de Mecánica de Fluidos y turbo-maquinaria.



|   |  |
|---|--|
| 5 | <p><b>Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación</b></p> <p><b>5.1 Objetivos</b></p> <p><b>5.1.1 Objetivo General</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 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 (<i>UAV's</i>) o drones; utilizados en los sectores agrícolas, medicina y vigilancia, mediante simulación numérica y validación experimental.</li></ul> <p><b>5.1.2 Objetivos Específicos</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>a) Desarrollar un marco de trabajo para la investigación de conceptos innovadores de propulsión utilizando propulsión distribuida y la ingestión de capa límite.</li><li>b) Determinar una metodología y espacio del diseño de las tecnologías en el área de sistemas de propulsión y fuselaje.</li><li>c) Definir la interrelación entre los diferentes sistemas de los <i>UAV's</i>. Los sistemas a analizarse son: control automático, propulsión y fuselaje.</li><li>d) Definir, estudiar y analizar la sensibilidad de las variables aerodinámicas, termodinámicas y de diseño mediante modelos paramétricos desarrollados en lenguaje C++ y/o <i>Python/MATLAB</i>.</li><li>e) Desarrollar modelos de optimización para perfiles aerodinámicos utilizados en el sistema de propulsión usando como figuras de mérito el consumo de energía.</li><li>f) Desarrollar modelos y algoritmos de cálculo en lenguaje C++ y/o <i>Python/MATLAB</i> para la simulación numérica mediante <i>CFD</i> en plataformas libres y con licencia como <i>OpenFOAM</i> y/o <i>ANSYS</i>, para la evaluación de los procesos de distorsión y desarrollo de la capa límite en el fuselaje y en los ductos de ingestión.</li><li>g) Desarrollar configuraciones conceptuales para los sistemas aéreos no tripulados en base a las aplicaciones en los campos de agricultura, medicina y vigilancia.</li><li>h) Validar los modelos de diseño, optimización de alabes y materiales usados en los propulsores distribuidos usando el túnel de viento del laboratorio de mecánica de fluidos y turbomaquinaria de la Facultad de Ingeniería Mecánica.</li><li>i) Generar un marco de trabajo para la futura investigación en el campo del diseño, optimización de los conceptos utilizados así como del tipo de material usado en los alabes.</li><li>j) Establecer guías y requerimientos para el diseño, materiales y futura manufactura de prototipos</li><li>k) Establecer y fortalecer líneas de investigación y programas académicos multi e interdisciplinarios.</li><li>l) Difundir la investigación en congresos nacionales e internacionales, generando al menos dos publicaciones en congresos o revistas indexadas. Además proponer al menos una tesis de maestría/doctorado.</li></ol> <p><b>5.2 Relevancia de esta propuesta de investigación y su relación con la(s) Línea(s) de investigación asociadas.</b></p> <p>Las tendencias tecnológicas en el campo de la aviación, tanto civil como militar, siempre se han enfocado a disminuir el riesgo que existe para el ser humano, sea pasajero o sea parte de la tripulación. Estos esfuerzos se han visto plasmados en el desarrollo de drones, o vehículos aéreos no tripulados (<i>UAV's</i>), que se puedan controlar a largas distancias sin poner en riesgo la vida humana. Los campos de aplicación que esta tecnología abarca son vastos y presentan nuevas oportunidades para que el Ecuador, se inserte en la investigación de nuevas tecnologías para sistemas de propulsión y de control automático en <i>UAV's</i> para la industria agrícola, el campo de la seguridad y vigilancia y la medicina. Estas tecnologías, como se ha mencionado, permiten la tecnificación de la industria, contribuyen a la generación tanto de empleo como de réditos económicos para el sector industrial ya sea directamente por la reducción de los costos operativos o indirectamente por la fabricación y desarrollo de estos sistemas [4-6]. Adicionalmente el presente proyecto se enmarca dentro de los objetivos del plan Nacional del Buen Vivir como son: i) Impulsar la transformación de la matriz productiva y asegurar la soberanía, ii) Impulsar los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica. Estas grandes ventajas han motivado el estudio y diseño de estos sistemas autónomos en el país y en mundo. Sin embargo, un problema que aqueja a los sistemas móviles y en especial a los vehículos aéreos es su tiempo de independencia de vuelo, lo cual va relacionado directamente con su consumo energético y la carga de pago que de éstos se requiera.</p> |
|---|--|



Por otro lado, la implementación de estos sistemas en la zona andina también se dificulta por sus condiciones de operación y su reducción en eficiencia térmica y propulsiva. Finalmente, tanto la amplia variación de las condiciones de operación como la diversidad de variables que se deben monitorear y controlar dificultan el uso de sistemas de control clásico. Por esta razón, para el caso de los *UAV's* se estudiara el desarrollo de nuevos sistemas de control que superen estas dificultades.

Tomando en cuenta las oportunidades y desafíos anteriormente mencionados que trae la implementación de estos sistemas, la Escuela Politécnica Nacional y la Facultad de Ingeniería Mecánica se encuentra investigando sobre diseños conceptuales que permitan mejorar la eficiencia térmica y propulsiva de sistemas autónomos. Los *UAV's* o drones son plataformas autónomas móviles que se enmarcan dentro de estos estudios y que están como parte de las temáticas analizadas en la línea de investigación de energía. En la misma que se estudia su optimización usando como figuras de mérito el consumo energético y la polución ambiental. En este sentido las nuevas tecnologías a estudiarse en este proyecto como lo son la propulsión distribuida e ingestión de capa limite, se encuentran enmarcadas dentro de los objetivos de esta línea de investigación del Departamento de Ingeniería Mecánica. Por otro lado, la autonomía y condiciones de operación de estos equipos requieren el uso de sistemas de control automático eficientes que permitan el control de los diferentes sistemas en el *UAV*. Este último aspecto se enmarca dentro de las líneas de investigación de la Facultad de Sistemas Informáticos, en la cual el estudio de inteligencia artificial para aplicaciones móviles ha sido parte de proyectos que se están desarrollando en la misma. En este contexto, la propuesta presentada requiere generar una un marco de trabajo multi e interdisciplinaria encabezada por la Facultad de Ingeniería Mecánica, en colaboración con la Facultad de Ingeniería en Sistemas Informáticos.

Para concluir, este proyecto busca generar en el Ecuador una tecnificación de la industria agrícola, del sector de la medicina, de la seguridad y vigilancia, con modelos propios, permitiendo así obtener un grado de independencia tecnológica que permita a futuro desarrollar marcos de trabajo para desagregación tecnológica e innovación en la Escuela Politécnica Nacional.

Cabe recalcar que se cuenta con especialistas en este tema provenientes de Universidades de prestigio tales como *Cranfield University*, en el Reino Unido, *Tsinghua University*, de China, y Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Los mismos que son centros de investigación líderes en el tema y con los cuales se está llevando proyectos de investigación y de docencia en conjunto.

### 5.3 Productos esperados

- a. Publicaciones científicas (obligatorio);
- b. Disertación a la Comunidad Politécnica;
- c. Proyecto de Titulación;
- d. Tesis de Grado (maestría o doctorado);
- e. Aplicación tecnológica construida o implementada;
- f. Patente presentada;
- g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.

### 5.4 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a) La presente investigación tiene carácter fundamental y aplicativo. En su parte fundamental, el proyecto propone el desarrollo de una metodología que permita: i) definir un marco de trabajo en el cual se definan los sistemas, variables y figuras de mérito para el análisis de sistemas aéreos no tripulados con propulsión distribuida e ingestión de capa limite; ii) desarrollar y refinar modelos paramétricos para evaluar fuselaje, sistemas de propulsión y control automático de drones, los cuales permitan definir el espacio del diseño y evaluar las variables aerodinámicas, termodinámicas y condiciones de operación basados en su implementación en Ecuador en los sectores de agricultura, vigilancia y medicina; iii) Desarrollar modelos de alta fidelidad usando simulación numérica y basados en *CFD* para capturar los efectos de integración aerodinámica entre propulsores y fuselaje y además diseñar y evaluar el comportamiento de los alabes en los propulsores de las configuraciones



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

### VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

óptimas. Mediante esta metodología se propone tener modelos para la evaluación preliminar de arquitecturas conceptuales de drones los cuales puedan ser optimizados dependiendo de la aplicación requerida. Esta optimización de conceptos permitirá reducir el consumo energético, aumentar la independencia de vuelo y generar conceptos más amigables con el medio ambiente.

En el lado aplicativo la presente investigación propone la validación experimental de los modelos numéricos desarrollados para el diseño y optimización de perfiles aerodinámicos utilizados en el sistema de propulsión, mediante el uso de un túnel de viento. Este análisis permitirá evaluar el estado del túnel de viento que se tiene al momento en la Facultad de Ingeniería Mecánica y evaluar su repotenciación para el análisis de este tipo de elementos.

El desarrollo de esta metodología y modelos numéricos así como bancos de prueba para la validación permitirá que se tenga independencia tecnológica en el análisis preliminar de estos sistemas, de forma que se pueda diseñar conceptos eficientes en relación a cada una de las aplicaciones propuestas. Además esta metodología busca ser amplia y versátil de forma que pueda ser refinada en trabajos futuros para realizar diseños de detalle en cada uno de los sistemas que componen los *UAV's*.

- b) Definir y analizar los modelos de inteligencia artificial que mejor se ajusten para el diseño de los sistemas de control automático de los *UAV's*.
- c) El resultado del estudio también potenciará las líneas de investigación relacionadas con: i) Modelación numérica de sistemas energéticos para drones (Energía), ii) Desarrollo de métodos de diseño para alabes aerodinámicos y evaluación de su comportamiento (Diseño) y iii) Evaluación de sistemas de inteligencia artificial en drones (Control automático). Estas líneas además tienen carácter multidisciplinario por lo que permitirán la propuesta de tesis doctorales y maestría con colaboración de diversas facultades en la Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica (Modelos numéricos, simulación y diseño), Facultad de Sistemas e Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones (Control automático de drones) en la Escuela Politécnica Nacional.
- d) Difusión en congresos internacionales de la investigación producida y al menos dos artículos enviados a revistas Q1 de acuerdo al índice SCIMAGO-SCOPUS.



|   |  |
|---|--|
| 6 | <b>Descripción, metodología y cronograma de trabajo</b>  |
|   | <p><b>6.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto</b> (Máximo dos carillas)</p> <p>Actualmente para mitigar problemas como control de tráfico en fronteras, cultivos y pesca ilegales se utilizan satélites o personal operativo, lo cual en el primer caso resulta muy costoso y en el segundo representa un alto riesgo para quienes deben laborar allí. Además en situaciones de emergencia, como el acceso a zonas de desastre, con las técnicas convencionales resulta en algunos casos sumamente complejo e ineficiente.</p> <p>Es por ello que el uso de <i>UAV's</i> en estos campos representa ventajas sumamente competitivas, proporcionando mayor flexibilidad, un control más oportuno, mayor precisión, acceso rápido, y reducción de costos en personal y tecnologías caras como la satelital [5-6].</p> <p>Los drones o <i>UAV's</i> son equipos desarrollados alrededor del mundo con amplias aplicaciones en distintos sectores tanto civiles como militares. Actualmente, la Escuela Politécnica Nacional (EPN) está en proceso de adquisición de tres drones, como parte de un proyecto de la Facultad de Ingeniería Mecánica, el mismo que se enfoca a la implementación de sistemas autónomos móviles en diversas industrias. Dos de estos equipos son tipo <i>fixed wing</i> marca UAS modelo <i>SpyOwl 200-Agricultural version</i>. Ambos tienen una longitud de 1.53 metros y una envergadura de 2.01 metros, con capacidades de carga hasta 3.7 kilogramos y una autonomía de vuelo de una hora. El otro tipo de aeronave que se va a adquirir es un cuadracóptero <i>Steadidrone QU4D2014</i>, con 4 motores. Este dron tiene una capacidad de carga de hasta 8 kilogramos con autonomía de vuelo de poco más de 60 minutos. Estos equipos están propuestos para analizar su funcionamiento y operación en aplicaciones agrícolas y de vigilancia y monitoreo. La información recopilada de estos estudios puede servir como base de datos para la evaluación de los modelos numéricos y de control que se persiguen desarrollar en la presente investigación.</p> <p>En el presente trabajo se propone dar continuación al estudio de sistemas autónomos móviles y empezar la investigación, evaluación y optimización de estos sistemas de forma que se contribuya a la desagregación e innovación tecnológica de estos dispositivos. En este sentido, se persigue evaluar sistemas de propulsión avanzados que utilizan dos tecnologías innovadoras como son: la propulsión distribuida y la ingestión de capa límite. Estas han dado resultados óptimos en consumo de energía y polución ambiental en aviación civil [2-7]. Este trabajo se enfoca en la implementación de estos sistemas en drones utilizados a nivel del mar y en la zona andina. Para ello se busca desarrollar un marco de trabajo que permita definir el espacio del diseño de estos sistemas, el cual utilizará modelos paramétricos y los adaptará para el análisis del desempeño y optimización de estos sistemas. Para refinar los modelos se usará software de programación como <i>Python</i>, <i>C++</i> y/o <i>MATLAB</i>. Basados en los estudios desarrollados en ref. [9] se definirán diseños conceptuales para sistemas de propulsión que consuman menos energía y produzcan niveles de polución menores. Esta optimización se enfocará en lograr una mayor independencia de vuelo, menor peso de los dispositivos y consecuentemente mayores cargas de pago.</p> <p>Después de refinar estas herramientas paramétricas se dará paso al estudio aerodinámico y optimización de perfiles utilizados en los sistemas de propulsión óptimos. Éstos se investigaran utilizando diferentes teorías para el diseño y su optimización. Para lograr su evaluación primero se llevaran a cabo simulaciones numéricas usando <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> en dos plataformas, libre (<i>OpenFoam</i>) y con licencia (<i>ANSYS</i>), las cuales a su vez serán evaluadas para este tipo de análisis. Entre los parámetros aerodinámicos a analizarse estarán: coeficientes de presión, arrastre, momento, sustentación y fenómenos de distorsión. Por otra parte, se estudiarán los efectos de ingestión de capa límite sobre los propulsores y la integración aerodinámica de fuselaje y propulsores. Para finalizar el estudio numérico se buscarán técnicas de optimización que permitan el diseño de perfiles aerodinámicos.</p> <p>Como parte experimental del proyecto, se encuentra la repotenciación del túnel de viento del Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Turbo-máquinas en la Facultad de Ingeniería Mecánica., el mismo que facilitará realizar los ensayos necesarios para validar las simulaciones numéricas.</p> <p>En lo que refiere al control automático de los <i>UAV's</i> usando inteligencia artificial, se realizará un estudio de los modelos de inteligencia artificial que mejor se ajusten para este propósito. Para este estudio se tomarán en cuenta, entre otros aspectos, el número, tipo y rango de las variables que se van a monitorear y controlar. También se tendrá en cuenta es la cantidad de datos disponibles para el entrenamiento y ajuste de los modelos que integrarán el sistema de control. Finalmente, se definirán y estudiarán los algoritmos de entrenamiento y testeo de la performance de dichos modelos.</p> |



## - Metodología y diseño del proyecto

### **Actividad 1: Revisión bibliográfica y generación de base de datos**

La presente actividad permitirá identificar el estado del arte en el campo industrial del país como son las tecnologías y la experticia desarrolladas con respecto a la implementación de drones. Esto se realizará revisando el estado del arte en el diseño de UAV's, sistemas avanzados de propulsión, diseño y optimización de perfiles aerodinámicos. Como resultado se generará una base de datos sobre variables que determinan las condiciones de operación de estos sistemas autónomos móviles.

### **Actividad 2: Desarrollo de una metodología para el análisis e identificación de variables esenciales**

Se desarrollara, refinará y adaptará la metodología mostrada en ref. [9] usando modelos paramétricos para evaluar UAV's o drones. Éstos permitirán definir los sistemas, variables y figuras de mérito en el análisis. En este sentido los sistemas de propulsión, fuselaje y de control en dispositivos que incorporen propulsión distribuida e ingestión de capa limite serán investigados.

### **Actividad 3: Desarrollo de una metodología de control automático basada en inteligencia artificial**

Se estudiarán los modelos de inteligencia artificial que mejor se ajusten para el diseño de un sistema de control automático para UAV's. En base a este estudio se propondrá una metodología para el monitoreo y control de un UAV.

### **Actividad 4: Definir el espacio del diseño mediante el análisis de sensibilidad**

Se estudiará, identificará y analizará la sensibilidad de las variables aerodinámicas, termodinámicas y de diseño que intervienen en los sistemas de propulsión distribuida con ingestión de capa limite en UAV's. Para esto se usaran los modelos paramétricos con los cuales se definirá el espacio de diseño y posteriormente basado en las figuras de mérito se implementarán algoritmos y técnicas numéricas de optimización.

### **Actividad 5: Simulación numérica y optimización**

Los diseños conceptuales determinados en el análisis paramétrico y optimización serán utilizados para definir los perfiles aerodinámicos que se evaluarán mediante simulación numérica. Para esto se utilizará plataformas como *OpenFoam* y *ANSYS* en las cuales se analizarán las características aerodinámicas de los perfiles. A su vez, se definirán técnicas de optimización que permitan generar el diseño y optimización de estos perfiles. Por último, se evaluarán los efectos de la ingestión de capa límite en el desempeño de los propulsores. Para el uso de *OpenFoam*, el procesamiento de datos se realizará mediante lenguaje *Python* y lenguaje R. El uso de *OpenFOAM*, lenguajes *Python* y R, se enmarca dentro de las políticas de estado y el buen vivir sobre uso de software libre para el desarrollo de conocimiento.

### **Actividad 6: Repotenciación del túnel de viento**

Para la validación de las simulaciones numéricas se repotenciara el túnel de viento del Laboratorio de Mecánica de Fluidos y Turbomáquinas de la Facultad de Ingeniería Mecánica. En este sentido se realizará un estudio para ensamblar el banco de pruebas de acuerdo a las incertidumbres que permitan una validación acorde a los modelos de simulación.

### **Actividad 7: Validación de los modelos matemáticos y experimentación**

Los modelos matemáticos y simulación numérica se validarán y verificarán mediante la comparación de los resultados numéricos obtenidos con resultados experimentales de laboratorios de investigación de la Escuela Politécnica Nacional y de colaboración internacional.

### **Actividad 8: Reporte de resultados**

Los resultados obtenidos a partir de los diferentes modelos serán reportados en por lo menos en 3 tesis de pregrado y/o 1 tesis de postgrado. Cabe mencionar que existe dos estudiantes del curso pre-doctoral en Ciencias de la Mecánica que están colaborarán en este proyecto.

### **Actividad 9: Difusión de la Investigación**

Se difundirá la investigación en congresos nacionales e internacionales, generando al menos dos publicaciones en congresos y/o revistas indexadas.



**- Referencias Básicas**

1. Esteban A. Valencia, Devaiah Nalianda, Panagiotis Laskaridis, Riti Singh (2014); *Methodology to assess the performance of an aircraft concept with distributed propulsion and boundary layer ingestion using a parametric approach*, UK.
2. E. Valencia, C. Liu, P. Laskaridis, R. Singh (2013); *An alternative configuration for distributed propulsion with boundary layer ingestion on a hybrid wing body airframe*.
3. Esteban A. Valencia, Victor H. Hidalgo, Álvaro Aguinaga, Edgar Cando, Maricela Caldera (2014); *Estudio de tecnologías innovadoras para sistemas de propulsión en aeronaves*, 2014.
4. E. Valencia, P. Laskaridis, et al. (2015), *Review of the Investigation of Innovative Propulsion System Architectures for Aircraft*, Revista Politecnica, Vol. 35.
5. AUVSI. (2013). *The Economic Impact of Unmanned Aircraft Systems Integration in the United States*. pp.2.
6. Blanks, M. (2014). *Unmanned Aircraft Systems, UAS in agriculture*, (pp. 25-30,36,50). Kansas State University
7. Nalianda Karumbaiah, D., (2014), *Impact of environmental taxation policies on civil aviation - a techno-economic environmental risk assessment*, Cranfield University PhD dissertation
8. Liebeck. *Design of the blended wing body subsonic transport*. Journal of Aircraft, 41(1):10–25, 2004. URL <http://doi.aiaa.org/10.2514/1.9084>.
9. Valencia Esteban (2015), *Investigation of Propulsion Architectures for Advanced Distributed Propulsion Systems*, Cranfield University, PhD thesis.
10. Gobierno Ecuatoriano, <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivos-nacionales-para-el-buen-vivir> , Accessed: 31/05/2015
11. Stuart Russell and Peter Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Pearson, 2014.
12. Robin R. Murphy, *An Introduction to AI Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*, MIT Press, 2000.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

**6.2 Cronograma de trabajo anual: (Descripción)**

- Para la elaboración del cronograma de ejecución del proyecto se sugiere considerar el tiempo para la adquisición de equipos, reactivos y materiales de laboratorio.

**Primer Año**

| Actividad    | Porcentaje de avance por mes |     |     |     |      |       | TOTAL      |
|--------------|------------------------------|-----|-----|-----|------|-------|------------|
|              | 1-2                          | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 |            |
| #1           | 4                            | 4   | 4   | 6   | 6    | 5     | 29         |
| #2           |                              |     | 10  | 10  | 10   | 5     | 35         |
| #3           |                              |     |     | 9   | 9    | 4     | 22         |
| #9           |                              |     |     | 1   | 1    | 1     | 2          |
| #6           |                              |     |     |     |      | 10    | 10         |
| <b>TOTAL</b> |                              |     |     |     |      |       | <b>100</b> |

**Segundo Año 2**

| Actividad    | Porcentaje de avance por mes |     |     |     |      |       | TOTAL      |
|--------------|------------------------------|-----|-----|-----|------|-------|------------|
|              | 1-2                          | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 |            |
| #3           | 8                            | 3   | 3   | 2   | 2    | 2     | 20         |
| #4           | 3                            | 3   | 3   | 3   |      |       | 12         |
| #5           |                              | 2   | 2   | 3   | 3    | 3     | 18         |
| #6           | 8                            | 8   | 8   | 8   | 7    | 7     | 46         |
| #9           |                              |     | 1   | 1   | 1    | 1     | 4          |
| <b>TOTAL</b> |                              |     |     |     |      |       | <b>100</b> |

**Tercer Año 3**

| Actividad    | Porcentaje de avance por mes |     |     |     |      |       | TOTAL      |
|--------------|------------------------------|-----|-----|-----|------|-------|------------|
|              | 1-2                          | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 |            |
| #5           | 12                           | 12  | 12  |     |      |       | 36         |
| #6           | 5                            |     |     |     |      |       | 5          |
| #7           |                              | 11  | 11  | 11  |      |       | 33         |
| #8           |                              |     | 7   | 7   | 7    |       | 21         |
| #9           |                              | 1   | 1   | 1   | 1    | 1     | 5          |
| <b>TOTAL</b> |                              |     |     |     |      |       | <b>100</b> |

**7 Fechas de inicio y fin**

*(Indique cuando iniciaría y finalizará este proyecto de investigación)*

**Inicio: 2 de Febrero de 2016**

**Fin: 30 de Enero de 2019**



## 8 Tiempo de dedicación de docentes, infraestructura, equipos y fondos adicionales.

### 8.1 Tiempo máximo de dedicación semestral del Director del proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores.

*El tiempo de dedicación máximo será de acuerdo al tipo de proyecto:*

| Proyecto   | Director | Colaboradores |
|------------|----------|---------------|
| PII y PIS  | 16 HSS   | 8 HSS         |
| PIJ y PIMI | 20 HSS   | 10 HSS        |

- Dr. ESTEBAN VALENCIA (DIRECTOR): 320 Horas por Semestre.
- Dr. MARCO BENALCAZAR: 160 Horas por Semestre.
- PhD candidate. VICTOR HUGO HIDALGO: 160 Horas por Semestre.
- MSc. CARLOS WIME DIAZ CAMPOVERDE: 160 Horas por Semestre

### 8.2 Infraestructura y equipos

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto
- Se utilizarán los Laboratorios de: Mecánica Computacional, Mecánica de Fluidos, Termodinámica, Energías Alternativas, Automatización Industrial de Procesos Mecánicos del Departamento De Ingeniería Mecánica y el Laboratorio de Metalografía, Desgaste y Falla del Departamento de Materiales.
- Oficinas de trabajo y computadoras de escritorio para los participantes del proyecto (que son parte de la infraestructura de la EPN).
- El túnel de viento que se dispone en el Laboratorio está compuesto principalmente en un extremo por una entrada convergente, una zona central donde se hacen las mediciones y se coloca el elemento a analizar y en el otro extremo una salida divergente. En la sección de prueba se instala el modelo y los diferentes elementos que permiten la medición de las fuerzas que experimenta dicho modelo y las condiciones del aire que atraviesa esa sección. Los diferentes dispositivos instalados permiten obtener la información necesaria para calcular los coeficientes de sustentación y resistencia, así como registrar la diferencia de presiones en la superficie del modelo en cuestión.
- Suministros básicos de oficina (EPN).
- Biblioteca física y virtual de la EPN con acceso a algunas revistas y bases de datos especializadas (ver <http://biblioteca.epn.edu.ec>).

### 8.3 Breve justificación del equipo requerido

- Justificar la infraestructura y equipos **solicitados** para la ejecución del proyecto

Los equipos solicitados son:

3 computadoras de altas prestaciones de acuerdo a las características en el Anexo A. Una de ellas tendrá sistema operativo Linux y servirá para la simulación del sistema de control usando Python o MATLAB. La otra computadora trabajara con sistema operativo Linux y servirá para la simulación numérica en OpenFoam y servirá para manejar la programación en Gmsh, Paraview, Python, entre otros. La última computadora tendrá sistema operativo Windows/Linux dependiendo si se puede utilizar procesamiento paralelo y estará destinada a la simulación numérica usando ANSYS y los modelos paramétricos en MATLAB.

1 computadora básica según el Anexo A. Esta será destinada al manejo de datos provenientes del sistema de procesamiento de señales del túnel de viento

Sistemas de procesamiento, equipos/accesorios, sensores y set de equipos de medición para el túnel de viento. En el Anexo A se presenta los equipo/accesorios requeridos para la sujeción y la obtención de mediciones de presión, momentos y velocidades del flujo. Estos sin embargo son referentes a un túnel de viento de similares características pero de menor potencia. En el caso de sensores y equipos de procesamiento los costos son referenciales ya que sus características finales serán definidas durante la investigación, ya que sus incertidumbres deben estar acordes con la precisión de la simulación numérica.

### 8.4 Fondos Adicionales

- Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

9

**Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto (anual)**

- Los costos para la elaboración del presupuesto estimado no deben incluir IVA.
- Las maquinarias y equipos deberán tener una proforma local con un representante autorizado en el país.
- En el caso de PIMI, se deberá aclarar en cual departamento permanecerán las maquinarias y equipos

**Primer Año**

| Lista de ítems   | Cantidad solicitada<br>(US \$) | Porcentaje (%) | (%) |
|--|--------------------------------|----------------|-----|
| 1. Contratación Servicios Personales por Contrato<br><i>Ayudantes de Investigación</i> |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 20400                          | 47.7           |     |
| 2. Maquinaria y Equipos  |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 11720                          | 25.7           |     |
| 3. Reactivos y materiales de laboratorio   |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 880                            | 1.9            |     |
| 4. Literatura especializada  |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 3000                           | 5.6            |     |
| 5. Viajes técnicos y de muestreo   |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 880                            | 1.9            |     |
| 6. Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones              |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 8800                           | 18,8           |     |
| <b>TOTAL PRESUPUESTO</b>   | <b>45680+IVA</b>               | <b>100,0</b>   |     |

**Segundo Año**

| Lista de ítems   | Cantidad solicitada<br>(US \$) | Porcentaje (%) | (%) |
|--|--------------------------------|----------------|-----|
| 7. Contratación Servicios Personales por Contrato<br><i>Ayudantes de Investigación</i> |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 20400                          | 17.9           |     |
| 8. Maquinaria y Equipos  |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 69770                          | 61.9           |     |
| 9. Reactivos y materiales de laboratorio   |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 3080                           | 2,7            |     |
| 10. Literatura especializada   |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 1500                           | 1,2            |     |
| 11. Viajes técnicos y de muestreo  |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 5280                           | 4,6            |     |
| 12. Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones             |                                |                |     |
| <b>Subtotal</b>  | 13200                          | 11,6           |     |
| <b>TOTAL PRESUPUESTO</b>   | <b>113230+IVA</b>              | <b>100,0</b>   |     |



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**

| <u>Tercer Año</u>   |                                |                   |
|---|--------------------------------|-------------------|
| Lista de ítems  | Cantidad solicitada<br>(US \$) | Porcentaje<br>(%) |
| 13. Contratación Servicios Personales por Contrato<br><i>Ayudantes de Investigación</i> |                                |                   |
| <b>Subtotal</b>   | 0                              | 0,0               |
| 14. Maquinaria y Equipos  |                                |                   |
| <b>Subtotal</b>   | 0                              | 0,0               |
| 15. Reactivos y materiales de laboratorio   |                                |                   |
| <b>Subtotal</b>   | 1760                           | 8,6               |
| 16. Literatura especializada  |                                |                   |
| <b>Subtotal</b>   | 1200                           | 5,2               |
| 17. Viajes técnicos y de muestreo   |                                |                   |
| <b>Subtotal</b>   | 5280                           | 25,9              |
| 18. Presentación de ponencias en congresos internacionales y publicaciones              |                                |                   |
| <b>Subtotal</b>   | 12320                          | 60,3              |
| <b>TOTAL PRESUPUESTO</b>  | <b>20560+IVA</b>               | <b>100,0</b>      |

|           |   |  |
|-----------|---|--|
| <b>10</b> | <b>Lugar y Fecha / Firma del Director del Proyecto</b>                        |  |
|           | Quito, 10 de Julio del 2015<br><br>Nombre: Esteban Valencia<br>CC: 1716298276 | <br><b>Firma del Director</b> |

| <b>DECLARACION DEL JEFE DE DEPARTAMENTO</b>  |                        |
|--|------------------------|
| <p>Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo del Departamento/Instituto ..... <b>al que pertenece el Director del Proyecto</b>, en Sesión del ..... mediante Resolución No. .... y las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del aplicante de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta aplicación.</p> |                        |
| _____<br>JEFE DEL DEPARTAMENTO/INSTITUTO<br>Nombre:<br>CC:   | _____<br>Lugar y fecha |



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

### VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

---

con investigadores con diferentes criterios y puntos de vista, esto ha permitido desarrollar habilidades en cuanto a la parte docente e investigativa.