



A. PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1. TIPO DE PROYECTO:

Interno		Grupal	
Semilla	X	Multidisciplinario	

2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Básica		Aplicada	X
--------	--	----------	---

3. UNIDAD EJECUTORA (Departamento, Instituto o Estructura de Investigación)

1. Departamento de Ingeniería Mecánica (DIM)
2. Departamento de Materiales (DM)

4. LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Modelización, Simulación y Optimización de Procesos de Física Térmica (DIM) ✓

5. TÍTULO DEL PROYECTO (mínimo 10 palabras):

PREDICCIÓN DE EROSIÓN POR SEDIMENTOS EN TURBINAS FRANCIS A BASE UN FLUJO BIFÁSICO LÍQUIDO-SÓLIDO EN EL RÍO PASTAZA

6. RESUMEN (máximo 200 palabras)

Las turbinas Francis son turbinas hidráulicas diseñadas para aprovechar el rango de alturas y caudal de agua lo que les permite tener una alta eficiencia, esto hace que estas turbinas sean las más usadas en la producción de energía eléctrica en centrales hidroeléctricas, sin embargo estas turbinas están afectadas por la erosión generada por los caudales hídricos procedentes de las cuencas hidrográficas que arrastran sedimentos, partículas de arena de diferente tamaño entre otros partículas que impactan de manera directa la superficie en contacto con la turbina.

Ecuador es un país que tiene un gran potencial hídrico para producir energía eléctrica, posee al momento un total de 9 centrales hidroeléctricas. La Central de Agoyán genera una producción media de 1 8080 GWH que aprovecha el caudal del Río Pastaza que tiene una extensión de 8270 km² para alimentar las dos compuestas de ingreso de la hidroeléctrica cuyo caudal arrastra consigo sedimentos difíciles de cuantificar que afectan el tiempo de vida útil de las turbinas de la central.



El presente proyecto pretende desarrollar un método mejorado basado en el análisis predictivo de flujo bifásico líquido-sólido para la predicción de la erosión por sedimentos en turbinas tipo Francis tomando como caso de estudio el Río Pastaza.

7. PALABRAS CLAVE (4-6)

Flujo bifásico, erosión, turbina Francis, sedimentos, hidroeléctrica.

8. OBJETIVOS

8.1. OBJETIVO GENERAL

Investigar y establecer un método mejorado para la predicción de la erosión por sedimentos en turbinas tipo Francis basado en la predicción de flujo CFD.

8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Recopilación bibliográfica sobre métodos de predicción de la erosión por sedimentos en turbinas.
- b. Seleccionar el método adecuado para simular el flujo bifásico líquido-sólido basado en los análisis del enfoque para modelar cada fase.
- c. Seleccionar el modelo de turbulencia adecuado, RANS o PANS presentes en el software comercial ANSYS, para la fase continua del flujo bifásico.
- d. Encontrar un modelo de erosión adecuado que permita predecir la erosión en turbinas Francis por flujo bifásico, mediante el uso del software comercial ANSYS.
- e. Realizar la simulación de la predicción de erosión por sedimentos en turbinas tipo Francis para el caso de estudio.
- f. Divulgar los resultados obtenidos mediante publicaciones de alto impacto.

9. HIPÓTESIS (opcional)

10. DETALLE DE LOS RESULTADOS ESPERADOS (con relación a los objetivos)

- a. Estado del arte sobre métodos de predicción de erosión en turbinas por flujo particulado, modelos de turbulencia y parámetros de simulación.
- b. Método para simular flujo particulado que mejor se adapte al caso de estudio
- c. Modelo de turbulencia que mejor se adapte al caso de estudio.
- d. Método mejorado de erosión por sedimentación en turbinas Francis.
- e. Simulación computarizada CFD de turbinas tipo Francis con flujo particulado para el caso de estudio.
- f. Publicación en revista o conferencia indexada de turbo maquinaria o simulación de fluidos.

11. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN (científico, social, económico u otros)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



estudios a futuras investigaciones, que permitan determinar el comportamiento de los sedimentos dentro de la turbina.

Los resultados del trabajo de investigación se divulgarán mediante artículos científicos dirigidos a la comunidad académica afin al tema.

Impacto Social

El encontrar soluciones que permitan alargar la vida útil de las turbinas Francis en las centrales hidroeléctricas del Ecuador, asegurará un ahorro económico considerable para el estado y a su vez un desarrollo sustentable de energía eléctrica para la población.

Impacto Económico

Las turbinas al ser equipos de fabricación única acorde a los parámetros geográficos tienen un alto valor económico en su producción por tal razón mantenimiento es una actividad de suma importancia por tal razón se tiene gastos por Overhaul de HidroAgoyan que representa 8'720.104,03 dólares, de los cuales el 85% se distribuye en gastos de mantenimiento, reparación o a su vez remplazo de elementos como: del costo Rodete, cono, tapa superior, tapa inferior y alabes directrices. Una de las mejores estrategias es aplicar el tipo de mantenimiento predictivo el cual permite aumentar utilidades y a la vez evitar paros de maquina inesperado gracias a la aplicación de una estrategia eficiente en las actividades de mantenimiento a ejecutar. La eficacia y la efectividad de las actividades de mantenimiento se incrementan mediante la predicción de la erosión en la turbina a través de la cual se puede mantener la eficiencia operativa inicial, disminuir vibraciones y deterioro prematuro lo cual conlleva a un ahorro económico. (Bone, 2017; Hari Prasad Neopane, 2010; Sagñay & Pilamunga, 2011)

Impacto Político

La generación de energía eléctrica cumple un aporte económico importante el cual depende de la eficiencia y eficacia de las actividades que se desarrollen en la generación de electricidad por tal razón se puede implementar tecnologías de predicción que permitirá aumentar el tiempo de vida útil del equipo, incrementar utilidades en función de los recursos naturales aprovechables.

Impacto Ambiental

La generación de energía hidroeléctrica, de la cual el 60% es generada por turbinas tipo Francis, presentan numerosos avances en todo el mundo y especialmente en países como Ecuador. Esto ha permitido mejorar la calidad de vida de la población y ayudar al desarrollo industrial. Sin embargo, los recursos hídricos teóricos mundiales siguen siendo de 39097 TWh/año, de los cuales 8728 TWh/año están disponibles económicamente para la generación hidroeléctrica que se localizan principalmente en América del Sur y Asia. En Ecuador, a pesar de que la potencia efectiva de generación eléctrica instalada en el país ha evolucionado progresivamente, pasando de 4.070 MW en 2006 a 7.606,8 MW en 2016. Es sólo el 34,5 % del potencial económico hidroeléctrico teórico. Para este propósito, el Comité Ecuatoriano se ha decidido al desarrollo de nuevos proyectos, que se construyen en colaboración con empresas chinas. Cabe señalar que existe una gran oportunidad para construir centrales hidroeléctricas en América del Sur y Asia. Sin embargo, los ríos de estas regiones con caudales elevados muestran una presencia considerable de sedimentos en su caudal. En este contexto, la simulación CFD es un enfoque de importancia para estudiar el flujo bifásico líquido-sólido y la erosión de sedimentos en la turbina Francis, con el fin de obtener información en la primera etapa del proceso de diseño de los componentes de la turbina, para identificar las regiones más afectadas y tomar medidas para aumentar la vida útil de los componentes. Estos aspectos motivan el desarrollo de un método adecuado para la predicción de la erosión de sedimentos.



12. ESTADO DEL ARTE, E INVESTIGACIONES PREVIAS DEL EQUIPO

Se han realizado numerosos estudios para poder obtener un modelo de erosión adecuado para una turbina tipo Francis. Diferentes metodologías han sido empleadas y de esta manera se han encontrado diferentes casos que sirven de guía para la presente investigación.

Peng Guangjie et al, en el año 2013 en la Universidad Tsinghua en China, realizaron una simulación sobre el flujo bifásico líquido-sólido para poder estimar la abrasión presente en turbinas Francis. Para poder realizar dicha investigación, se tomó en cuenta el método de Euler-Lagrange para poder analizar el flujo bifásico. Para la simulación se tomó en cuenta ciertos parámetros de funcionamiento como son: diámetro, velocidad, número de alabes, etc. Además, tomaron en cuenta diferentes concentraciones de sedimentos. De esta manera lograron predecir el desgaste en los alabes guías y los alabes de la turbina.(Guangjie, Zhengwei, Yexiang, & Yongyao, 2013)

Chen J. et al de la Universidad de Jiaotong en China en el año de 2015 usaron el método de acoplamiento CFD-DEM para la predicción de erosión de flujo bifásico líquido-sólido en los codos de tuberías. La metodología usada consistió en 3 pasos: modelado el flujo de fluido, modelado discreto del movimiento de partículas y el modelado de la erosión. De esta manera implementaron dichos modelamientos en el Software Comercial Ansys Fluent y poder realizar la simulación y así estimar la erosión presente en los codos de tuberías.(Chen et al., 2015)

Weiguo Zhao y Guoshou Zhao en el año 2017 en la Universidad de Lanzhou de China usaron el modelo de turbulencia SST $k-\omega$ combinado con el modelo de equilibrio homogéneo (HEM) y definieron parámetros para poder calcular el modelo, estos parámetros fueron: caudal, altura, velocidad. De esta manera lograron definir las características transitorias de flujo bifásico cargado de sedimentos en una bomba centrífuga. (Zhao & Zhao, 2018)

En el año de 2015 en la Universidad de Xihua en China, Hua Hong et al investigaron el flujo en aguas basados en las condiciones hidrológicas específicas de una central hidroeléctrica, de esta manera estudiaron numéricamente el flujo bifásico sólido-líquido en una turbina Francis con palas divisoras en agua arenosa. Los flujos turbulentos se analizaron mediante diferentes condiciones de cargas: Condición 1: unidad individual con 1/4 de carga, Condición 2: unidad individual con 1/2 de carga y Condición 3: unidad individual con carga completa. De esta manera lograron determinar cómo los daños causados por el flujo de la arena pueden afectar a varios componentes de la turbina. (Hua et al., 2015)

Cando E. et al de la Universidad de Tsinghua en Beijing en el año 2016. Desarrollaron un análisis numérico variable utilizando el método Euler-Lagrange y el método RANS. Para poder realizar este análisis, usaron el método PIV para poder realizar medidas desde 20 mm hasta 115 mm aguas abajo, mediante la utilización de 2 cámaras Phantom M140. Posteriormente definieron las características de la simulación de la siguiente manera usando el filtro basado en el modelo RANS ($k - \epsilon$) para el enfoque euleriano, junto con fase dispersa con el enfoque de Lagrange. De esta manera lograron encontrar la distribución de la velocidad, fluctuación de la presión y un análisis del flujo.(Cando et al., 2017)

Quifei Li et al en el año de 2011 en la Universidad de Lanzhou en China desarrollaron una simulación numérica de un flujo bifásico líquido-sólido alrededor de alabes guía en una turbina de flujo mixto, de esta manera lograron definir parámetros que deben corregirse en el alabe guía como: mejorar el tamaño, forma y ángulo del difusor fijo. Para poder llegar a esa conclusión usaron una metodología que consiste en un mallado mixto tetraédrico y un flujo de agua que contiene partículas de arena de determinado tamaño. (Li, Li, Quan, & Han, 2012)



H. P. Neopane et al en el año 2012 caracterizaron sedimentos para poder predecir la erosión en la turbina Francis, utilizaron el software comercial Ansys CFX para simulaciones numéricas de un prototipo de turbina Francis, así investigaron la influencia de las características de los sedimentos en la predicción de la erosión. Los resultados que obtuvieron arrojaron que la erosión depende principalmente del tamaño, forma y concentración de las partículas. (H. P. Neopane, Dahlhaug, & Cervantes, 2012)

Min-Woo Kang et al de la Universidad Soongsil en Corea del Sur durante el año 2016 realizaron un estudio numérico que permitió conocer los efectos de diferentes sedimentos en la erosión de la turbina Francis bajo distintas condiciones de operación y tasas de entrada de sedimentos. Usando el software comercial Ansys mallaron los diferentes elementos de la turbina (distribuidor, rodete y tubo de descarga), estos datos fueron exportados al módulo CFX donde usaron un tamaño mínimo de partícula de 0.015 mm y un máximo de 2 mm. De esta manera simularon y validaron estos datos variando los caudales, ángulos de apertura del alabe guía que fueron obtenidos experimentalmente. (Kang, Park, & Suh, 2016)

Tang X. et al en China en el año 2012 realizaron una investigación de flujo turbulento bifásico líquido-sólido producidos en la turbina Francis. Usaron el modelo $k - \epsilon$ para poder simular la conversión de energía entre la presión y velocidad, y las características de la distribución de la sedimentación alrededor de todas las partes hidráulicas de la turbina mediante el software comercial Ansys Fluent y con condiciones de borde establecidas. (Tang, Yang, Wang, & Wu, 2012)

El presente estudio está motivado por el flujo de mezcla agua-arena involucrado en la generación de energía hidroeléctrica con ríos cargados de arena. Las partículas sólidas son principalmente sedimentos finos producidos por explosiones volcánicas y formaciones geológicas débiles.

Investigaciones previas del equipo

- E. Cando, A. Yu, L. Zhu, J. Liu, L. Lu, V. Hidalgo, and X. Luo. (2017). Unsteady numerical analysis of the liquid-solid two phase flow around a step using Eulerian Lagrangian and the filter-based RANS method.
- E. Cando, R. Huang, E. Valencia, X. Luo. (2018). Sediment Erosion Prediction for a Francis Turbine Based on Liquid-Solid Flow Simulation Using Modified PANS.
- E.H. Cando, X.W. Luo, V. H Hidalgo, L Zhu and A.G Aguinaga. (2016). Experimental study of liquid-solid two flow over step using PIV.
- V.H Hidalgo, X. Escaler, R. Soto, E. Valencia and E.H. Cando. (2015) Large Eddy Simulation of Partial Cavitation Around a 2D Plane-Convex Hydrofoil.
- E.H. Cando, P.R. de Souza Mendes, P.R. Varges. (2012) Flow of Thixotropic Fluid Through Axisymmetric Expansions-Contractions
- V.H. Hidalgo, X. Luo, R. Huang, E.H. Cando. (2014). Numerical Simulation of Cavitation Flow Over 2D Hydrofoil Using Openfoam Adapted for Debian Operating System with LXDE Based in Kernel GNU/LINUX
- E. Valencia, V. Granja, J. Palacios, R. Poveda, E. Cando, V. Hidalgo. (2015). "Uncertainty analysis of a test-rig for centrifugal compressors"



13. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO, INCLUIDO METODOLOGÍA (máximo tres carillas)

Con el fin de alcanzar el objetivo principal de esta investigación, la metodología global adoptada para esta investigación incluirá una simulación numérica para comprender claramente el fenómeno y proponer un nuevo método para predecir adecuadamente la erosión de los sedimentos en la turbina Francis. En este contexto, la presente investigación se ha realizado en dos focos:

- Análisis de los métodos numéricos para simulación bifásica líquido-sólido para establecer un nuevo método para estimar la erosión de sedimentos en turbinas Francis. Para ello, el modelo de turbulencia se selecciona en base a una mejor predicción de los perfiles de velocidad y de la estructura del vórtice, donde se considerarán dos modelos de turbulencia no convencionales utilizados para mejorar la precisión capturada. Luego, se evaluarán los enfoques Euler-Euler y Euler-Lagrange. Para finalmente seleccionar un modelo de erosión que predecirá bastante bien este fenómeno en aplicaciones CFD.
- Realización de simulaciones numéricas de la erosión de sedimentos en un modelo turbina tipo Francis en las condiciones de operación de diseño y con tamaño de partícula que será establecida a partir de un estudio de las características del sedimento en el río Pastaza - Ecuador. El análisis pretende establecer la erosión que se producirá debido a la deformación y al corte cuando el agua contiene una concentración de sedimentos alta y produce un desgaste acelerado.

Se llevará a cabo las siguientes actividades:

a. Recopilación bibliográfica sobre métodos de predicción de la erosión por sedimentos en turbinas.

Actividad 1: Revisión del estado del arte de métodos de predicción de erosión en turbinas por flujo particulado.

Se recopilará información sobre métodos de predicción de erosión en turbinas por flujo bifásico líquido-sólido, sus limitaciones en su uso y condiciones de borde necesarias para el uso de cada método.

Actividad 2: Revisión del estado del arte de modelos de cavitación utilizados con Flujo particulado en el Software comercial ANSYS.

Se recopilará información de modelos de cavitación utilizados por el software comercial ANSYS y descripción de modelos de cavitación mas utilizados con flujo bifásico líquido-sólido.

Actividad 3: Revisión del estado del arte de parámetros de simulación para el caso de estudio planteado.

Se recopilará información referente la caracterización del flujo bifásico del caso de estudio y parámetros de simulación en turbinas Francis

b. Seleccionar el método adecuado para simular el flujo bifásico líquido-sólido basado en los análisis del enfoque para modelar cada fase.

Actividad 1: Análisis de los métodos para simular el flujo bifásico líquido-sólido.

Se realizará un análisis comparativo entre los métodos disponibles para simular el flujo bifásico líquido-sólido, esto permitirá evidenciar los métodos que mejor se adaptan al caso de estudio.

Actividad 2: Simulación del flujo particulado con los diferentes métodos.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



Se utilizará el software comercial ANSYS para simular el flujo particulado con los diferentes métodos, lo cual permitirá seleccionar el mejor método para simular el flujo del caso de estudio.

- c. Seleccionar el modelo de turbulencia adecuado, RANS o PANS presentes en el software comercial ANSYS, para la fase continua del flujo bifásico.**

Actividad 1: Análisis de los modelos de turbulencia utilizables en flujo bifásico líquido-sólido.

Se realizará un análisis cuantitativo y cualitativo que compare los diferentes modelos de turbulencia, lo cual ayudará en la selección del o los modelos de turbulencia que mejor se adapten al caso de estudio.

Actividad 2: Simulación del flujo aplicando los modelos de turbulencia utilizables en flujo bifásico líquido-sólido.

Con ayuda del software comercial ANSYS se realizará la simulación del flujo aplicando los diferentes modelos de turbulencia, lo cual permitirá realizar la selección del mejor modelo de turbulencia que se adapte a las necesidades del caso de estudio.

- d. Encontrar un modelo de erosión adecuado que permita predecir la erosión en turbinas Francis por flujo bifásico en el caso de estudio, mediante el uso del software comercial ANSYS.**

Actividad 1: Elaborar un modelo CAD del rodete, distribuidor, tubo de descarga y cámara espiral de la turbina Francis.

Se elaborará los modelos tridimensionales utilizando un software de diseño asistido por computadora, los mismos reflejarán las dimensiones de la geometría y ángulos de los alabes directores, y del rodete.

Actividad 2: Pre proceso de la simulación computacional.

Se definirá el volumen de control, el modelo matemático, condiciones de contorno, propiedades de los materiales y mallado de las geometrías en estudio.

Actividad 3: Simulaciones computacionales del proceso de erosión por flujo particulado en turbinas tipo Francis.

Se realizará simulaciones mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) variando los ángulos de impacto y tamaño de partículas presentes en el flujo bifásico.

Actividad 4: Resultados de las simulaciones computacionales

Se realizará el post proceso de las simulaciones, mediante el cual se obtendrá datos, gráficas y videos de líneas de flujo y zonas de impacto de partículas.

Actividad 5: Análisis y generación de método de para predecir la erosión por sedimentos en turbinas tipo Francis.

El análisis de los datos obtenidos en la simulación permitirá generar un método que ayude a predecir la erosión por sedimentos en turbinas tipo Francis.

- e. Realizar la simulación de la predicción de erosión por sedimentos en turbinas tipo Francis para el caso de estudio.**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



Actividad 1: Caracterizar el flujo bifásico en el caso de estudio.

Se caracterizará el flujo del caso de estudio, lo cual permitirá obtener condiciones de borde respecto al flujo bifásico necesarias para la simulación posterior.

Actividad 2: Pre proceso de la simulación computacional del caso de estudio.

Se definirá el volumen de control, el modelo matemático, condiciones de contorno, propiedades de los materiales y mallado de las geometrías del caso de estudio de acuerdo con el método planteado.

Actividad 3: Simulación computacional del caso de estudio.

Se realizará simulaciones mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) del caso de estudio

Actividad 4: Resultados de la simulación computacional del caso de estudio

Se analizará los resultados obtenidos en la simulación del caso de estudio y se los validará con datos históricos de turbinas ubicadas en sector de estudio.

f. Divulgar los resultados obtenidos mediante publicaciones de alto impacto.

Actividad 1: Difusión de los resultados.

Se difundirá los resultados obtenidos y el nuevo método propuesto mediante la publicación de un artículo científico de alto impacto en una revista o conferencia indexada en las áreas de turbo maquinaria o simulación computacional de fluidos.

Bibliografía

- Bone, E. (2017). Estudio de factibilidad para el diseño de una planta industrial de mecanizado para la reconstrucción de turbinas francis y pelton de generación eléctrica para la empresa celec E.P. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Cando, E., Yu, A., Zhu, L., Liu, J., Lu, L., Hidalgo, V., & Luo, X. W. (2017). Unsteady numerical analysis of the liquid-solid two-phase flow around a step using Eulerian-Lagrangian and the filter-based RANS method. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(6), 2781–2790. <https://doi.org/10.1007/s12206-017-0521-6>
- Chen, J., Wang, Y., Li, X., He, R., Han, S., & Chen, Y. (2015). Reprint of “Erosion prediction of liquid-particle two-phase flow in pipeline elbows via CFD-DEM coupling method.” *Powder Technology*, 282, 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.05.037>
- Guangjie, P., Zhengwei, W., Yexiang, X., & Yongyao, L. (2013). Abrasion predictions for Francis turbines based on liquid-solid two-phase fluid simulations. *Engineering Failure Analysis*, 33, 327–335. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.06.002>
- Hua, H., Zeng, Y. Z., Wang, H. Y., Ou, S. B., Zhang, Z. Z., & Liu, X. B. (2015). Numerical analysis of solid-liquid two-phase turbulent flow in Francis turbine runner with splitter blades in sandy water. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(3), 1–10. <https://doi.org/10.1177/1687814015573821>
- Kang, M. W., Park, N., & Suh, S. H. (2016). Numerical Study on Sediment Erosion of Francis Turbine with Different Operating Conditions and Sediment Inflow Rates. *Procedia Engineering*, 157, 457–464. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.389>



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



Li, Q., Li, R., Quan, H., & Han, W. (2012). Solid-liquid two-phase flow numerical simulation around guide vanes of mixed-flow water turbine. *Procedia Engineering*, 31, 87–91. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.995>

Neopane, H. P., Dahlhaug, O. G., & Cervantes, M. J. (2012). The effect of sediment characteristics for predicting erosion on Francis turbines blades. *International Journal on Hydropower and Dams*, 19(1), 79–83.

Neopane, Hari Prasad. (2010). Sediment erosion in hydro turbines. *Ph.D. Thesis*, (March), 201. Retrieved from <http://ntnu.diva-portal.org/smash/get/diva2:326677/FULLTEXT01>

Sañay, B., & Pilamunga, L. (2011). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE MECANIZADO PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE TURBINAS FRANCIS Y PELTON DE GENERACIÓN ELÉCTRICA PARA LA EMPRESA CELEC E.P. *Biomédica*, 31(sup3.2). <https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i0.530>

Tang, X., Yang, S., Wang, F., & Wu, Y. (2012). Numerical investigations of solid-liquid two-phase turbulent flows through Francis turbine. *Advanced Materials Research*, 548, 853–859. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.548.853>

Zhao, W., & Zhao, G. (2018). Numerical investigation on the transient characteristics of sediment-laden two-phase flow in a centrifugal pump. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32(1), 167–176. <https://doi.org/10.1007/s12206-017-1218-6>

14. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS

Infraestructura	Equipos	
	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Laboratorio de Simulación de procesos M213	Workstation 1-15-02-213-01	Laboratorio de Simulación de procesos M213 Departamento de Ingeniería Mecánica

15. MONTO REQUERIDO

15.1 Monto y justificación del equipo requerido

N/A

15.2 Monto y justificación del personal requerido

Personal requerido	Monto	Justificación
Dos Ayudantes de Investigación	\$ 8 421.10	Con este monto se contratará a 2 ayudante de investigación, quienes servirán de apoyo en las actividades relacionadas con el desarrollo del método de predicción de erosión por sedimentos en turbinas tipo Francis , simulación .

15.4 Monto y justificación de los investigadores invitados

No aplica

15.5 Monto y justificación de los viajes y salidas del campo requeridos



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



Salidas de campo/ viajes	Monto	Justificación
Inscripciones de artículo científico	\$ 1 164.50	Pago de inscripción de artículo científico en revista o conferencia indexada
Pago de publicación de artículo científico	\$ 2 055.00	Pago para publicar artículo científico en revista o conferencia indexada
Pago de Pasajes y viáticos en el exterior	\$ 3 344.00	Pasajes y viáticos de 1 persona para presentar artículo científico a ser publicado

16. FONDOS ADICIONALES

N/A



B. DATOS INFORMATIVOS

1. INFORMACIÓN DEL DIRECTOR, CODIRECTOR, COLABORADORES Y COLABORADORES TÉCNICOS

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS*	Departamento	Rol	Título de mayor nivel y mención.
CANDO NARVAÉZ EDGAR HERNÁN	1715476758	8	DIM	DIRECTOR	DOCTOR DE CIENCIAS EN INGENIERÍA ENERGÉTICA E INGENIERÍA TERMOFÍSICA
HIDALGO DÍAZ VÍTOR HUGO	1715476758	6	DIM	CODIRECTOR	DOCTOR DE CIENCIAS EN INGENIERÍA DE POTENCIA Y FÍSICA TÉRMICA DE LA INGENIERÍA
VALENCIA TORRES ESTEBAN ALEJANDRO	1716298276	6	DIM	COLABORADOR	DOCTOR DE CIENCIAS EN INGENIERÍA DE POTENCIA Y FÍSICA TÉRMICA DE LA INGENIERÍA

* HSS =Horas Semana Semestre: Es el número de horas que se dedica por semana a la investigación. Este número de horas se mantiene para todo el semestre



DECLARACIÓN FINAL
DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que, si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta pudiera ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.
- Que aceptamos conocer y cumplir con la normativa vigente para la gestión de proyectos.

Firma del director del Proyecto
Nombre: Edgar Hernán Cando Narváez
C.I.: 1715476758



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN
PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN



AÑO 1

Título del proyecto

Estudio numérico de la erosión por sedimentos en turbinas Francis basado en la predicción del flujo bifásico líquido-sólido

Lista de Items		Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial	Precio Total Referencial	Precio Unitario Referencial con IVA/Aporte del IESS	Precio Total Referencial con IVA/Aporte del IESS
1 Contratación de servicios personales por contrato							
1.1	Ayudante de investigación 1	12	mes	\$ 220,68	\$ 2.648,13	\$ 220,68	\$ 2.648,13
1.3	Ayudante de investigación 2	12	mes	\$ 220,68	\$ 2.648,16	\$ 247,16	\$ 2.965,94
Subtotal 1				\$ 441,36	\$ 5.296,29	\$ 467,84	\$ 5.614,07
Lista de Items		Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial sin IVA	Precio Total Referencial sin IVA	Precio Unitario Referencial con IVA	Precio Total Referencial con IVA
2 Maquinaria y equipo especializado							
2.1	Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 2				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3 Equipo informático							
3.1	Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 3				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4 Insumos y reactivos							
4.1	Item 1 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 4				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5 Literatura especializada							
5.1	Cantidad de libros (especificar el area)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 5				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6 Salidas de campo y de muestreo							
6.1	Pasajes al interior				\$ -	\$ -	\$ -
6.2	Viaticos y subsistencias al interior				\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 6				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7 Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas							
7.1	Pasajes al interior				\$ -	\$ -	\$ -
7.2	Viaticos y subsistencias al interior				\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 7				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
8 Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas							
8.1	Pasajes al exterior				\$ -	\$ -	\$ -
8.2	Viaticos al exterior				\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 8				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
9 Pago de inscripciones							
9.1	Pago de inscripciones al interior				\$ -	\$ -	\$ -
9.2	Pago de inscripciones al exterior				\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 9				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10 Pago de publicaciones, suscripciones y patentes							
10.1	Pago de publicaciones				\$ -	\$ -	\$ -
10.2	Pago de publicaciones al exterior				\$ -	\$ -	\$ -
10.3	Pago de suscripciones				\$ -	\$ -	\$ -
10.3	Pago de patentes				\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 10				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL					\$ 5.296,29		\$ 5.614,07



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN
PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN



AÑO 2

Título del proyecto

Estudio numérico de la erosión por sedimentos en turbinas Francis basado en la predicción del flujo bifásico líquido-sólido

Lista de Items	Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial	Precio Total Referencial	Precio Unitario Referencial con IVA/Aporte del IESS	Precio Total Referencial con IVA / Aporte del IESS
1 Contratación de servicios personales por contrato						
1.1 Ayudante de investigación 1	6	mes	\$ 220,68	\$ 1.324,06	\$ 220,68	\$ 1.324,06
1.3 Ayudante de investigación 2	6	mes	\$ 220,68	\$ 1.324,08	\$ 247,16	\$ 1.482,97
Subtotal 1			\$ 441,36	\$ 2.648,14	\$ 467,84	\$ 2.807,03
Lista de Items	Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial sin IVA	Precio Total Referencial sin IVA	Precio Unitario Referencial con IVA	Precio Total Referencial con IVA
2 Maquinaria y equipo especializado						
2.1				\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 2			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3 Equipo informático						
3.1 Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 3			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4 Insumos y reactivos						
4.2				\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 4			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5 Literatura especializada						
5.1 Cantidad de libros (especificar el area)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5.2 Adquisición de artículos científicos			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 5			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6 Salidas de campo y de muestreo						
6.1 Pasajes al interior				\$ -	\$ -	\$ -
6.2 Viaticos y subsistencias al interior				\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 6			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7 Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas						
7.1 Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7.2 Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 7			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
8 Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas						
8.1 Pasajes al exterior	1	Pasaje	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00	\$ 1.344,00	\$ 1.344,00
8.2 Viaticos al exterior	1	Vaitico	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Subtotal 8			\$ 3.200,00	\$ 3.200,00	\$ 3.344,00	\$ 3.344,00
9 Pago de inscripciones						
9.1 Pago de inscripciones al interior				\$ -	\$ -	\$ -
9.2 Pago de inscripciones al exterior	1	Pago	850,00	\$ 850,00	\$ 1.164,50	\$ 1.164,50
Subtotal 9			\$ 850,00	\$ 850,00	\$ 1.164,50	\$ 1.164,50
10 Pago de publicaciones, suscripciones y patentes						
10.1 Pago de publicaciones				\$ -	\$ -	\$ -
10.2 Pago de publicaciones al exterior	1	Pago	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00	\$ 2.055,00	\$ 2.055,00
10.3 Pago de suscripciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.3 Pago de patentes			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 10			\$ 1.500,00	\$ 1.500,00	\$ 2.055,00	\$ 2.055,00
TOTAL				\$ 8.198,14		\$ 9.370,53



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN
PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN



Título del proyecto
Estudio numérico de la erosión por sedimentos en turbinas Francis basado en la predicción del flujo bifásico líquido-sólido

Presupuesto consolidado sin IVA

AÑO	Contratación de servicios personales por contrato	Maquinaria y equipo especializado	Equipo informático	Insumos y reactivos	Literatura especializada	Salidas de campo y de muestreo	Ponencias nacionales, capacitaciones y/o vistas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o vistas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total sin IVA
1	\$ 5.296,29	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.296,29
2	\$ 2.648,14	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3.200,00	\$ 850,00	\$ 1.500,00	\$ -	\$ 8.198,14
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL	\$ 7.944,43	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3.200,00	\$ 850,00	\$ 1.500,00	\$ -	\$ 13.494,43

Presupuesto consolidado con IVA

AÑO	Contratación de servicios personales por contrato	Maquinaria y equipo especializado	Equipo informático	Insumos y reactivos	Literatura especializada	Salidas de campo y de muestreo	Ponencias nacionales, capacitaciones y/o vistas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o vistas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total con IVA
1	\$ 5.614,07	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.614,07
2	\$ 2.807,03	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3.344,00	\$ 1.164,50	\$ 2.055,00	\$ -	\$ 9.370,53
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL	\$ 8.421,10	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3.344,00	\$ 1.164,50	\$ 2.055,00	\$ -	\$ 14.984,60