



A. PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1. TIPO DE PROYECTO:

Interno		Grupal	X ✓
Semilla		Multidisciplinario	

2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

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

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

1. Departamento de Ciencias Nucleares ✓
2. Departamento de Ingeniería Química ✓
3. Departamento de Ingeniería Mecánica ✓

4. LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Aplicación de radioisótopos y aceleradores de electrones ✓ (DCN)
2. Tecnología del petróleo y gas natural / (DIQ)
3. Modelización, simulación y optimización de procesos de física térmica. / (DIT)

5. TÍTULO DEL PROYECTO *(mínimo 10 palabras):*

Desarrollo de un sistema de detección de una partícula radioactiva para el estudio del flujo de agua en conductos opacos

6. RESUMEN *(máximo 200 palabras)*

Se desarrollará un sistema de Reconstrucción de Trayectoria de una Partícula Radiactiva (RPT en inglés) en el interior del flujo de agua a través de un conducto opaco. Este sistema contará con detectores para el seguimiento de la partícula radioactiva y el sistema de adquisición y análisis de datos. Primero, se moverá una partícula radioactiva, sin fluido alguno, de actividad conocida frente a un detector de radiación. Un sistema de movimiento deberá ser diseñado para este fin. Este experimento permitirá conocer la respuesta del detector frente a diferentes posiciones de la partícula. Para procesar y utilizar esta información se desarrollará un algoritmo informático que traduzca la información del detector en datos de posición de la partícula versus tiempo. Luego, se efectuará un experimento con un fluido en movimiento en el interior de un conducto opaco. El sistema de detección y el algoritmo de procesamiento de datos de detección serán empleados en la reconstrucción de la trayectoria de una partícula radiactiva al



interior de este fluido. El sistema de adquisición y análisis de datos será empleado para determinar el campo de velocidades del fluido. Las mediciones serán comparadas con una simulación del flujo para determinar desviaciones en los datos recolectados.

7. PALABRAS CLAVE (4-6)

Reconstrucción de Trayectoria de Partícula Radioactiva (RTP), radiotrazadores, Flujo de agua, Medición en sistemas opacos

8. OBJETIVOS

8.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de detección de una partícula radioactiva para el estudio del flujo de agua en conductos opacos

8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un método de rastreo del movimiento de una partícula radiactiva a dos velocidades diferentes, mediante el uso de detectores de yoduro de sodio (NaI)
- Generar un algoritmo para la reconstrucción de las trayectorias y las velocidades de una partícula en movimiento, mediante el análisis de los datos de la posición de la partícula versus tiempo
- Determinar el campo de velocidades para un fluido que circula en un lazo de flujo de caída de presión conocida, mediante la aplicación de los algoritmos desarrollados
- Comparar los resultados obtenidos mediante el sistema de detección de una partícula con la simulación de un lazo de flujo de características similares al esquema experimental

9. HIPÓTESIS (opcional)

Es posible desarrollar un sistema de detección de una partícula radiactiva dentro de un conducto opaco por el que fluye agua, mediante el uso de detectores de yoduro de sodio para el rastreo del movimiento de dicha partícula

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

- Método de rastreo de movimiento de una partícula radiactiva a través del análisis de los datos proporcionados por un detector de radiación
- Algoritmo para la reconstrucción de las trayectorias y las velocidades de una partícula en movimiento, mediante el análisis de datos de la posición de la partícula versus tiempo.
- Lazo de flujo de fluido con caída de presión conocida donde pueda circular una partícula radiactiva
- Modelo digital del lazo de flujo de agua con caída de presión constante donde circula una partícula radiactiva.



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

Impacto Científico

El impacto científico se centra en la simplificación del sistema de rastreo de la partícula radiactiva. Los trabajos publicados sobre Rastreo de Partículas Radiactivas (RPT) se caracterizan por el uso de una gran cantidad de detectores de espectrometría gamma, los cuales son relativamente costosos. En este trabajo se contempla emplear cuatro detectores para el rastreo y detección de la partícula. Esta reducción será alcanzada con la inclusión del parámetro del tiempo de vuelo del fotón en el algoritmo de reconstrucción. El tiempo de vuelo del fotón es el lapso que le toma a este alcanzar el detector desde la fuente de emisión. La inclusión de este parámetro facilitará la identificación de la posición de la partícula en función del tiempo y abre una rama de investigación en cuanto a la implementación y generación de algoritmos dedicados a RPT.

Impacto Económico

El impacto económico se encuentra en la reducción de los costos de investigación y en la facilidad de implementación del sistema de detección, esto debido a la reducción en el número de detectores y la simplificación en el algoritmo de reconstrucción. Cuando este sistema esté operativo, podrá ser implementado en instalaciones industriales, como, por ejemplo, reactores tubulares o intercambiadores de tubos concéntricos en refinerías de petróleo, intercambiadores de calor de tubos y corazas en plantas de producción de detergentes, etc. A través de esta innovación en el rastreo de la partícula se podría incursionar en el diseño comercial de este tipo de sistemas, lo que permitiría un uso más extendido de este método de medición.

Impacto Social

El impacto social de este trabajo se encuentra en la transferencia de tecnología hacia el país y en el desarrollo de tecnología propia. Este sería el primer trabajo de este tipo realizado enteramente en el Ecuador. Esto de acuerdo con la investigación bibliográfica realizada por los proponentes de este proyecto, quienes no encontraron investigaciones similares en universidades ecuatorianas. La realización de esta investigación en este contexto determinará la inclusión de ciertas necesidades propias de nuestro medio como: desarrollar sistemas de bajo coste y larga duración, facilidad de implementación del sistema en industrias artesanales y semiartesanales, divulgación de resultados en castellano, etc.

12. ESTADO DEL ARTE, E INVESTIGACIONES PREVIAS DEL EQUIPO

(*máximo tres carillas*)

- *Publicaciones previas relacionadas con el proyecto*

La velocidad y aceleración del flujo de un fluido pueden ser representadas como campos vectoriales en función de tiempo y espacio $F(x,y,z,t)$. Se han desarrollado diferentes modelos que permiten obtener estas funciones de campo. Por ejemplo, la ecuación de Navier-Stokes permite representar de forma sencilla flujos de fluidos a velocidades moderadas (Deen, 2012). La solución de las ecuaciones que modelan un campo de flujos, incluso en casos sencillos, no es trivial y se recurre a técnicas de solución numérica para obtener resultados. Sin embargo, los resultados de estas soluciones tienen que ser contrastados con mediciones reales para corroborar la veracidad del modelo o para introducir cambios en el mismo.

La ejecución de estas mediciones reales es un reto importante. La cantidad de información que se debe obtener del sistema de flujo debe ser más profunda que aquella que se pueda lograr con



equipos de medición conocidos. Las mediciones deben permitir obtener el campo de velocidades para contrastarlo con el modelo simulado. Con el fin de lograr mediciones en todo el campo de flujo se puede, por ejemplo, recurrir a la técnica de velocimetría por imagen de partículas (PIV por sus siglas en inglés). Esta técnica se basa en seguir una o varias partículas en su recorrido en el interior de una sección del fluido. Este rastreo se hace con ayuda de un láser que es reflejado sobre la partícula y una cámara que sigue el recorrido de este reflejo. Esta metodología es extensamente usada en el estudio de flujo de fluidos, pero está limitada a ser aplicada en secciones de conductos transparentes y en fluidos que permitan el paso de la luz (Atkins, 2016).

Como respuesta a la limitación propia de las técnicas de rastreo óptico, surgen las metodologías nucleares de medición de propiedades de fluidos. Estas metodologías se basan en la detección continua de la radiación emitida por una partícula que se mueve al interior de un flujo. Las técnicas nucleares se pueden dividir en dos grupos: 1) rastreo de partículas emisoras de positrones (PEPT por sus siglas en inglés) y 2) de rastreo de partículas radioactivas (RPT por sus siglas en inglés). La ventaja común de estas técnicas es que permiten la investigación del fluido incluso en conductos opacos.

El método PEPT, que fue propuesto por primera vez por Parker et al (1993), rastrea una partícula que emite positrones al interior de un flujo mediante el uso de detectores PET. Los positrones de carga positiva se aniquilan con electrones de carga negativa y se emiten dos fotones gamma en direcciones opuestas. Los detectores PET identifican los extremos de la línea que se forma como resultado de esta emisión y localizan la partícula a través de la intersección de varias de estas líneas. Esta técnica, que en un principio estaba limitada a una sola partícula, en años recientes ha sido perfeccionada para el rastreo de varias partículas a la vez. Langford et al. (2016) validaron la técnica de rastreo múltiple de partículas radiactivas (MPEPT por sus siglas en inglés) mediante la comparación de los resultados de MPEPT con la técnica PIV y con la técnica PTV (rastreo de partículas con video de alta velocidad). También es interesante el trabajo de Patel et al. (2017), quienes emplearon la técnica MPEPT para la medición de parámetros de flujo en un sistema pulsátil. Sus resultados muestran la capacidad de esta técnica para reconstruir el campo de velocidades del fluido, incluso cuando este presenta cambios en la dirección del flujo.

La técnica PEPT tiene la desventaja de requerir escáneres PET para la detección. Estos equipos son costosos y están limitados al uso en laboratorio. La alternativa es la metodología RPT. Este sistema de medición se basa en la detección de una partícula que emite rayos gamma en todas las direcciones. Aquí, la partícula es rastreada gracias a un arreglo de varios detectores de centelleo sólido. Este sistema fue empleado por primera vez por Lin et al. (1985), quienes utilizaron un arreglo de 12 detectores de yoduro de sodio (NaI) alrededor de un lecho fluidizado por gas. El método de rastreo propuesto por estos autores se sigue utilizando hasta la actualidad. Este se basa en la estimación de la ubicación de la partícula con base en el número de interacciones detectadas por el cristal de NaI. Para esto se contruye una curva de calibración que relaciona el número de cuentas (interacciones) con la posición de la partícula dentro de lecho fluidizado. Esta calibración se hace para cada detector. En el trabajo de Lin se logró reconstruir en 2D el patrón de circulación del flujo a velocidades bajas, medias y altas del gas.

Larachi et al. (1994) utilizaron la misma técnica RPT para rastrear una partícula de un reactor de lecho fluidizado de 3 fases. En este experimento se emplearon 8 detectores de NaI ubicados en 90 grados uno del otro y a dos alturas diferentes. En este experimento, los autores fueron capaces de reconstruir la trayectoria de una partícula en movimiento circular en el plano horizontal y el campo de velocidades del lecho fluidizado por aire. Por su parte Rammohan et al. (2001) emplearon la metodología RPT para mapear los patrones de flujo generados en un tanque agitado monofásico. Su arreglo experimental consistió en 16 detectores de NaI ubicados de forma octogonal alrededor de un tanque de 200 mm de diámetro y lleno de agua. Con este esquema,



reconstruyeron el campo de velocidades en 2D y adicionalmente estimaron el tiempo de residencia del fluido en las zonas muertas del reactor. Sus resultados fueron contrastados con resultados de estudios de visualización de fluidos a través de reflexión laser y mostraron una adecuada concordancia.

Mosorov y Abdullah (2011) propusieron el uso de un código Monte Carlo para realizar la calibración del número de cuentas del detector en función de la posición de la partícula. De esta forma, ellos estimaron el número de cuentas registradas por un arreglo de 15 detectores de NaI ubicados alrededor de una columna de PVC de 9.85 cm de radio interno. En su trabajo simulaban la ubicación de la partícula en 2205 puntos, sin la necesidad de realizar las mediciones reales.

Upadhyay et al. (2013) reconstruyeron el patrón de flujo en una columna de burbujeo plana (2D) operada a diferentes condiciones de velocidad de ingreso de aire. Su esquema experimental consistió en ocho detectores de NaI ubicados a diferentes alturas de la columna. Los autores de este trabajo emplearon la calibración típica que consiste en ubicar una fuente radiactiva en diferentes posiciones y relacionar esta posición con el número de cuentas registradas por cada detector. Finalmente, Sharma et al. (2017) realizaron una combinación de estrategias para el rastreo de una partícula arrastrada por una mezcla bifásica al interior de un tubo en espiral. Por un lado, emplearon la técnica RPT tradicional basada en la calibración del número de cuentas registradas en el detector en función de la posición y la complementaron con el “tiempo de vuelo” de la partícula al interior de la espiral. De esta manera obtuvieron dos conjuntos de medidas: la primera relacionada con el campo de velocidad de cada fase y la segunda relacionada con la distribución de cada fase al interior del conducto.

Todos los esquemas experimentales, encontrados en bibliografía, por los proponentes de este proyecto requieren al menos ocho detectores de NaI. A mayor número de detectores, la calibración del sistema se complica y su aplicación en campo se dificulta. El objetivo de este trabajo de investigación es obtener un sistema de rastreo de una partícula radiactiva para una tubería circular con máximo cuatro detectores de NaI. De esta manera se abrirá el camino para posibles aplicaciones de esta técnica en instalaciones industriales reales. Se estima que la reducción en el número de detectores también determinará una calibración más sencilla del sistema y por lo tanto una mayor facilidad del uso del sistema de detección.

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

El proyecto generará un sistema de detección de una partícula radiactiva en el interior de un flujo. La innovación en relación con otros trabajos similares consiste en la disminución del número de detectores y en la inclusión del tiempo de vuelo de los fotones en los algoritmos de detección. El tiempo de vuelo es el lapso transcurrido entre la emisión del fotón y su detección en el cristal de yoduro de sodio (NaI). La incorporación de esta variable en el algoritmo de detección facilitará la calibración de los detectores. El montaje experimental se realizará en el área de dosimetría del Centro de Irradiación de la Escuela Politécnica Nacional.

El proyecto será dividido en dos secciones con el fin de identificar claramente al personal operativo. Cada sección contendrá parte de los cuatro objetivos específicos antes planteados. La primera sección corresponderá a la ejecución experimental y al análisis de datos de posición y velocidad. En esta sección se llevará a cabo la calibración del detector para una fuente en movimiento. Se diseñará, se construirá y se pondrá a prueba un lazo de flujo de agua y finalmente se realizará el análisis de datos para la obtención de las velocidades y las aceleraciones en una porción del lazo antes mencionado. En la segunda sección se desarrollarán las simulaciones y los algoritmos requeridos para la implementación del sistema de detección. Se harán simulaciones de un solo detector y de un arreglo de detectores frente a fuentes en movimiento. También se



desarrollará algoritmo de detección y rastreo de la partícula a partir de los datos registrados por el detector. Cada sección estará a cargo de una persona contratada como personal técnico de apoyo. A continuación, se detalla la metodología a seguir para alcanzar cada objetivo específico planteado.

- a. **Desarrollar un método de rastreo del movimiento de una partícula radiactiva a dos velocidades diferentes, mediante el uso de detectores de yoduro de sodio (NaI)**

Actividad 1. Diseño y construcción del sistema de movimiento de fuente puntual frente al detector de yoduro de sodio

Para esta primera actividad se empleará un detector de yoduro de sodio marca Camberra, modelo 802, ubicado en el área de dosimetría del Centro de Irradiación del Departamento de Ciencias Nucleares. Se construirá un sistema de movimiento para una fuente puntual de Cs-137 de menos de 10 μ Ci de actividad. La fuente se moverá en línea recta a una distancia definida del detector. La velocidad de la fuente será medida a través de un encoder acoplado al sistema de movimiento. Se recolectarán los datos del detector de NaI a través de un analizador multicanal marca camberra modelo Lynx y a través de un módulo de entrada analógica universal NI-9219 de la marca National Instruments. Este mismo módulo de entrada también será empleado para registrar la velocidad de la fuente medida con el encoder. Los datos recolectados serán registrados en un computador personal de al menos 1TB de almacenamiento y 16 GHz de procesamiento.

Actividad 2. Implementación del sistema de registro de datos

Conforme se mueve la fuente frente al detector, los datos del número de cuentas en función de la posición serán recolectados por el sistema de adquisición de datos. Este sistema de adquisición de datos estará compuesto por el detector de sodio, un módulo de entrada universal NI9219 de National Instruments y un computador portátil de 32 GB en RAM y 2.9 GHz de procesador. Los registros generados serán empleados para una calibración del detector mediante un procedimiento similar al descrito por (Lin et al., 1985) y (Mosorov y Abdullah, 2011). Sin embargo, en este trabajo de investigación se realizará la calibración mientras la fuente esté en movimiento. Adicionalmente se registrarán los datos de tiempo de vuelo del fotón desde la fuente hasta el detector. Los valores de este parámetro serán incluidos en el algoritmo de detección.

Actividad 3. Simulación en Geant4 del detector y definición de la mejor configuración de detectores.

Un sistema similar al experimental construido en la actividad 1 y monitoreado según la actividad 2 será modelado y simulado en GEANT4. Con este modelo, se determinará la mejor configuración de 4 detectores de NaI ubicados en diferentes puntos alrededor de una tubería de PVC con el fin de diseñar el lazo de flujo que será construido posteriormente. El mismo sistema de movimiento y registro de datos será empleado, a una velocidad diferente, para comprobar la efectividad del algoritmo de detección.

- b. **Generar un algoritmo para la reconstrucción de las trayectorias y las velocidades de una partícula en movimiento, mediante el análisis de los datos de la posición de la partícula versus tiempo**

Actividad 1. Implementación del código de rastreo de la partícula

Los datos de calibración del detector servirán para la determinación de la posición de la partícula en función del tiempo. Se implementará una versión propia del algoritmo descrito por Larachi et al. (1995) y por Larachi et al. (1994). La posición de la partícula se determinará mediante mínimos cuadrados, según la ecuación 1.



$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(C_i - M_i)^2}{\sigma^2} \quad (1)$$

Donde χ^2 es la función para minimizar, C_i es el número de cuentas detectado por el cristal de NaI cuando la partícula está en movimiento. M_i es el valor de cuentas registrado en por el detector y σ^2 es la incertidumbre en el número de cuentas, dado por la raíz cuadrada de C_i . La posición de la partícula corresponderá a aquella que su número de cuentas comparada con la calibración genere el menor valor de χ^2 . En este algoritmo de detección, el tiempo de vuelo del fotón se empleará para preasignar un detector a la partícula y facilitar el método de rastreo del trazador.

Actividad 2. Implementación del algoritmo para procesamiento de datos de trayectoria de la partícula y obtención de velocidades y aceleraciones

Los datos de la partícula en función del tiempo obtenidos con el algoritmo anterior serán procesados en un código computacional, implementado en Python, para obtener los datos de velocidad y aceleración del campo de flujos (Langford et al., 2016). La velocidad de la partícula será obtenida a través de la derivación numérica de la posición. Para esto, las trayectorias identificadas serán suavizadas con el método de kernel gaussiano y derivadas con la diferencial del kernel gaussiano (Mordant et al., 2004). Este código será puesto a prueba en una sección de una tubería circular por la que fluirá agua a temperatura ambiente. El número de Reynolds al que deberá encontrarse el flujo deberá ser mayor a 40 000 (Wiggins et al., 2019) y el código deberá reconstruir el campo de flujo.

- c. **Determinar el campo de velocidad para un fluido que circula en un lazo de flujo de caída presión conocida, mediante la aplicación de los algoritmos desarrollados**

Actividad 1. Diseño y construcción de lazo de flujo para circulación de agua a temperatura ambiente

Se construirá un lazo de flujo por el que circulará agua a temperatura ambiente. La configuración del lazo será similar a la propuesta por Langford et al. (2016) de manera que consistirá en una bomba para impulsar el fluido, un reservorio de agua y tuberías dispuestas en O para la recirculación del flujo. El número de Reynolds esperado para la operación de este flujo será mayor a 40 000. Se escogerá uno de los ramales largos de la O para medir las propiedades del fluido. La ubicación de los detectores de NaI con relación a este ramal será determinada por la simulación de la configuración de detectores realizada en el Objetivo a, Actividad 3. Se contará con un sensor de temperatura RTD compatible con el módulo de entrada NI 9219 y con un medidor de caudal basado en placa orificio. Para este último se dispondrá de un sensor de presión diferencial cuya salida sea compatible con el modulo de entrada NI 9219.

Actividad 2. Determinación de las propiedades del flujo en el interior del lazo y obtención de perfiles de velocidad.

El método de detección desarrollado hasta aquí será empleado para determinar las propiedades de este lazo de flujo. Se empleará una fuente puntual de ^{137}Cs encapsulada en una esfera de 0.5 cm de diámetro. La trayectoria de esta partícula será reconstruida con el algoritmo implementado anteriormente y la velocidad y aceleración del fluido será determinada con la aplicación del algoritmo implementado en el Objetivo b, Actividad 2. El experimento se repetirá con una fuente de ^{46}Sc para verificar resultados.



- d. Comparar los resultados obtenidos mediante el sistema de detección de una partícula con la simulación de un lazo de flujo de características similares al esquema experimental

Actividad 1. Generación del modelo del lazo de flujo en OpenFoam

El lazo de flujo antes mencionado será modelado y simulado en OpenFoam. Se incluirán los datos de caída de presión, velocidad y temperatura medidos con los sensores en el lazo real, se determinará el mejor mallado para la simulación y se obtendrán los datos de velocidad y aceleración.

Actividad 2. Comparación de los datos obtenidos en la simulación con los datos experimentales

Al ser OpenFoam un programa validado y verificado en diferentes ocasiones, se tomarán los resultados de la simulación como el patrón de comparación. De esta manera, se determinará la cercanía entre los resultados obtenidos por el sistema de detección y los resultados simulados. Para complementar esta simulación se utilizarán los datos del sensor de caudal descrito en el apartado anterior. Comprobaciones más elaboradas serán propuestas en proyectos sucesores al presente.

Bibliografía (Normas APA)

- Atkins, M. D. (2016). Velocity Field Measurement Using Particle Image Velocimetry (PIV). In *Application of Thermo-Fluidic Measurement Techniques: An Introduction* (pp. 125–166). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809731-1.00005-8>
- Deen, W. M. (William M. (2012). *Analysis of transport phenomena* (Second). Oxford University Press.
- Langford, S., Wiggins, C., Patel, N., & Ruggles, A. (2016). *POSITRON EMISSION PARTICLE TRACKING (PEPT) VALIDATION FOR JET FLOW*. Retrieved from <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/pdfaccess.ashx?url=/data/conferences/asmep/90067/>
- Larachi, F., Kennedy, G., & Chaouki, J. (1994). A y-ray detection system for 3-D particle tracking in multiphase reactors. In *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* (Vol. 338).
- Larachi, F., Chaouki, J., & Kennedy, G. (1995). 3-D mapping of solids flow fields in multiphase reactors with RPT. *AIChE Journal*, 41(2), 439–443. <https://doi.org/10.1002/aic.690410226>
- Lin, J. S., Chen, M. M., & Chao, B. T. (1985). A novel Radiative Particle Tracking Facility for Measurement of Solid Motion in Gas Fluidized Beds. *AIChE Journal*, 31(3), 465–473. <https://doi.org/10.1021/ac50051a044>
- Mordant, N., Crawford, A. M., & Bodenschatz, E. (2004). Experimental Lagrangian acceleration probability density function measurement. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 193(1–4), 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.physd.2004.01.041>
- Mosorov, V., y Abdullah, J. (2011). MCNP5 code in radioactive particle tracking. *Applied Radiation and Isotopes*, 69(9), 1287–1293. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2011.04.028>
- Parker, D. J., Broadbent, C. J., Fowles, P., Hawkesworth, M. R., & McNeil, P. (1993). Positron emission particle tracking - a technique for studying flow within engineering equipment. *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A*, 326(3), 592–607. [https://doi.org/10.1016/0168-9002\(93\)90864-E](https://doi.org/10.1016/0168-9002(93)90864-E)



Patel, N., Wiggins, C., & Ruggles, A. (2017). Positron emission particle tracking in pulsatile flow. *Experiments in Fluids*, 58(5). <https://doi.org/10.1007/s00348-017-2330-1>

Rammohan, A. R., Kemoun, A., Al-Dahhan, M. H., & Dudukovic, M. P. (2001). A lagrangian description of flows in stirred tanks via computer-automated radioactive particle tracking (CARPT). *Chemical Engineering Science*, 56(8), 2629–2639. [https://doi.org/10.1016/S0009-2509\(00\)00537-6](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(00)00537-6)

Sharma, L., Nigam, K. D. P., & Roy, S. (2017). Investigation of two-phase (oil-water) flow in coiled geometries using “Radioactive Particle Tracking-Time of Flight (RPT-TOF)” and “Radioactive Particle Tracking-Volume Fraction (RPT-VOF)” measurements. *Chemical Engineering Science*, 170, 422–436. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.03.021>

Upadhyay, R. K., Pant, H. J., & Roy, S. (2013). Liquid flow patterns in rectangular air-water bubble column investigated with Radioactive Particle Tracking. *Chemical Engineering Science*, 96, 152–164. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2013.03.045>

Wiggins, C., Patel, N., Bingham, Z., & Ruggles, A. (2019). Qualification of multiple-particle positron emission particle tracking (M-PEPT) technique for measurements in turbulent wall-bounded flow. *Chemical Engineering Science*, 246–256. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.04.030>

14. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Infraestructura	Equipos	
Área de dosimetría	Detector de yoduro de sodio	Casamata – Centro de Irradiación Departamento de Ciencias Nucleares
Área de dosimetría	Analizador multicanal Lynx	Casamata – Centro de Irradiación Departamento de Ciencias Nucleares
Área de dosimetría	Fuente de Cs137 de menos de 10 uCi de actividad	Casamata – Centro de Irradiación Departamento de Ciencias Nucleares
Laboratorio de simulación M212	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

El monto del equipo requerido es 15.369.75 USD. Los equipos que se adquirirán son 4 detectores de yoduro de sodio requeridos para el rastreo de la partícula. Un módulo de entrada NI9219 requerido para el sistema de adquisición de datos. Una laptop de 32 GB de memoria RAM y 1TB de almacenamiento requerido para el almacenamiento de datos, el control de equipos y la simulación de los detectores. Adicionalmente se requieren 4.905,60 USD para la compra de fuentes radiactivas que serán usadas como trazador en los experimentos.

15.2 Monto y justificación del personal requerido



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN



El monto del personal requerido para los dos años del proyecto es de 24.739,94 USD. Como se detalló en el punto 13 de esta propuesta, el proyecto está dividido en dos secciones: La sección experimental y la sección de implementación de algoritmos. Cada sección tendrá una persona contratada. El primer año se contratarán un ayudante de investigación y un prestador de servicios profesionales. El segundo año se contratará un ayudante de investigación y un prestador de servicios profesionales.

15.3 Monto y justificación de los investigadores invitados

No se requieren investigadores invitados.

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

El monto para viajes al exterior es de 7.920,0 USD. Este rubro es necesario para cumplir con los productos entregables del proyecto que son 1 artículo y 2 presentaciones en congresos. Las ponencias se presentarán de preferencia en el “Encuentro anual de la Sociedad Nuclear Americana”. Este evento cuenta con revisión por pares para la presentación de ponencias orales o para la exposición de posters. Se planean la consecución de 1 ponencias por año de ejecución y que cada congreso tendrá una duración de seis días. No se requieren salidas de campo.

16. FONDOS ADICIONALES

- *Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)*



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.
Santos Torres Roque Antonio	1716629959	8	Departamento de Ciencias Nucleares	Director	PhD en Ingeniería Nuclear
Hidalgo Díaz Víctor Hugo	1715476758	4	Departamento de Mecánica	Codirector	Doctor De Ciencias En Ingeniería De Potencia Y Física Térmica De La Ingeniería
Salvador Quiñones Marcelo Fernando	1708564727	4	Departamento de Ingeniería Química	Colaborador	MSc. En transporte de Crudo y Derivados

* 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 podría 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: Roque Antonio Santos Torres
C.I.: 1716629959



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



AÑO 1

Título del proyecto

Desarrollo de un sistema de detección de una partícula radioactiva para estudio de flujo de fluidos en conductos opacos

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	\$ 1 324.08	\$ 220.68	\$ 1 324.08
1.2	Ayudante de investigación 2		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.3	Prestación de servicios profesionales 1 (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)	8	mes	\$ 986.60	\$ 7 892.80	\$ 1 104.99	\$ 8 839.94
1.4	Prestación de servicios profesionales 2 (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 1				\$ 1 207.28	\$ 9 216.88	\$ 1 325.67	\$ 10 164.02
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	Detector de Centelleo NaI modelo 802-2x2	4	Unidad	\$ 2 560.00	\$ 10 240.00	\$ 2 867.20	\$ 11 468.80
2.2	Modulo de entrada Universal NI9219	1	Unidad	\$ 2 483.00	\$ 2 483.00	\$ 2 780.96	\$ 2 780.96
2.3	Bomba centrifuga de 1.5HP para transporte de 10m3	1	Unidad	\$ 302.15	\$ 302.15	\$ 338.41	\$ 338.41
2.4	Sensores para monitoreo de velocidad y presión	1	Unidad	\$ 100.00	\$ 100.00	\$ 112.00	\$ 112.00
2.5		1	Paquete	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 2				\$ 5 445.15	\$ 13 125.15	\$ 6 098.57	\$ 14 700.17
3 Equipo informático							
3.1	Laptop con 4 procesadores, 32 GB en RAM 1TB de almacenamiento y 2.9 GHz de procesador	1	Unidad	\$ 1 470.00	\$ 1 470.00	\$ 1 646.40	\$ 1 646.40
3.2	Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.3	Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.4	Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.5	Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 3				\$ 1 470.00	\$ 1 470.00	\$ 1 646.40	\$ 1 646.40
4 Insumos y reactivos							
4.1	Fuente de Cs137 de 10 uCi	1	Unidad	\$ 2 190.00	\$ 2 190.00	\$ 2 452.80	\$ 2 452.80
4.2	Fuente de Sc137 de 10 uCi	1	Unidad	\$ 2 190.00	\$ 2 190.00	\$ 2 452.80	\$ 2 452.80
4.3	Vigas metálicas y mano de obra para construcción de sistema de movimiento	1	unidad	\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 224.00	\$ 224.00
4.4	Item 4 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.5	Item 5 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 4				\$ 4 580.00	\$ 4 580.00	\$ 5 129.60	\$ 5 129.60
5 Literatura especializada							
5.1	3 Libros de técnicas de medición y simulación de flujo de fluidos	3	Unidad	\$ 180.00	\$ 540.00	\$ 180.00	\$ 540.00
5.2	Adquisición de artículos científicos	10	unidad	80.00	\$ 800.00	\$ 109.60	\$ 1 096.00
Subtotal 5				\$ 260.00	\$ 1 340.00	\$ 289.60	\$ 1 636.00
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	2	tickets	\$ 1 500.00	\$ 3 000.00	\$ 1 680.00	\$ 3 360.00
8.2	Viaticos al exterior	6	días	\$ 100.00	\$ 600.00	\$ 100.00	\$ 600.00
Subtotal 8				\$ 1 600.00	\$ 3 600.00	\$ 1 780.00	\$ 3 960.00
9 Pago de inscripciones							
9.1	Pago de inscripciones al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
9.2	Pago de inscripciones al exterior	1	scripcion	900.00	\$ 900.00	\$ 1 233.00	\$ 1 233.00
Subtotal 9				\$ 900.00	\$ 900.00	\$ 1 233.00	\$ 1 233.00
10 Pago de publicaciones, suscripciones y patentes							
10.1	Pago de publicaciones	0		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.2	Pago de publicaciones al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.3	Pago de suscripciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.3	Pago de patentes			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 10				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL					\$ 34 232.03		\$ 38 469.18



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



AÑO 2

Título del proyecto

Desarrollo de un sistema de detección de una partícula radioactiva para estudio de flujo de fluidos en conductos opacos

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	\$ 1 324.08	\$ 220.68	\$ 1 324.08
1.2 Ayudante de investigación 2		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.3 Prestación de servicios profesionales 1 (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)	12	mes	\$ 986.00	\$ 11 832.00	\$ 1 104.32	\$ 13 251.84
1.4 Prestación de servicios profesionales 2 (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 1			\$ 1 206.68	\$ 13 156.08	\$ 1 325.00	\$ 14 575.92
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)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.2 Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.3 Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.4 Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.5 Item 5 (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)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.2 Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.3 Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.4 Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.5 Item 5 (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)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.2 Item 2 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.3 Item 3 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.4 Item 4 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.5 Item 5 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
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	2	tickets	\$ 1 500.00	\$ 3 000.00	\$ 1 680.00	\$ 3 360.00
8.2 Viaticos al exterior	6	días	\$ 100.00	\$ 600.00	\$ 100.00	\$ 600.00
Subtotal 8			\$ 1 600.00	\$ 3 600.00	\$ 1 780.00	\$ 3 960.00
9 Pago de inscripciones						
9.1 Pago de inscripciones al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
9.2 Pago de inscripciones al exterior	1	inscripcio	\$ 900.00	\$ 900.00	\$ 1 233.00	\$ 1 233.00
Subtotal 9			\$ 900.00	\$ 900.00	\$ 1 233.00	\$ 1 233.00
10 Pago de publicaciones, suscripciones y patentes						
10.1 Pago de publicaciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.2 Pago de publicaciones al exterior	1	publicació	\$ 1 200.00	\$ 1 200.00	\$ 1 644.00	\$ 1 644.00
10.3 Pago de suscripciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.3 Pago de patentes			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 10			\$ 1 200.00	\$ 1 200.00	\$ 1 644.00	\$ 1 644.00
TOTAL				\$ 18 856.08		\$ 21 412.92



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



Título del proyecto

Desarrollo de un sistema de detección de una partícula radioactiva para estudio de flujo de fluidos en conductos opacos

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 visitas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total sin IVA
1	\$ 9 216.88	\$ 13 125.15	\$ 1 470.00	\$ 4 580.00	\$ 1 340.00	\$ -	\$ -	\$ 3 600.00	\$ 900.00	\$ -	\$ 34 232.03
2	\$ 13 156.08	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3 600.00	\$ 900.00	\$ 1 200.00	\$ 18 856.08
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL	\$ 22 372.96	\$ 13 125.15	\$ 1 470.00	\$ 4 580.00	\$ 1 340.00	\$ -	\$ -	\$ 7 200.00	\$ 1 800.00	\$ 1 200.00	\$ 53 088.11

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 visitas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total con IVA
1	\$ 10 164.02	\$ 14 700.17	\$ 1 646.40	\$ 5 129.60	\$ 1 636.00	\$ -	\$ -	\$ 3 960.00	\$ 1 233.00	\$ -	\$ 38 469.18
2	\$ 14 575.92	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 3 960.00	\$ 1 233.00	\$ 1 644.00	\$ 21 412.92
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL	\$ 24 739.94	\$ 14 700.17	\$ 1 646.40	\$ 5 129.60	\$ 1 636.00	\$ -	\$ -	\$ 7 920.00	\$ 2 466.00	\$ 1 644.00	\$ 59 882.10

59882.11

