


## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN JUNIOR PIJ-17-09

### *"Caracterización y optimización del uso de vectores energéticos, en colectores solares para viviendas de interés social"*

En la ciudad de Quito D.M., a los catorce días del mes de mayo del año dos mil veintiuno, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto Junior **PIJ-17-09 "Caracterización y optimización del uso de vectores energéticos, en colectores solares para viviendas de interés social"**, por una parte, la **Dra. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el **Dr. Álvaro Gonzalo Xavier Aguinaga Barragán** en calidad de **Director del Proyecto Junior PIJ-17-09**, al tenor de lo siguiente:

#### 1. ANTECEDENTES:

- a) El 4 de julio de 2017, al amparo de lo dispuesto por el Consejo de Investigación y Proyección Social - CIPS, mediante Resolución R079/17, se aprueba el cronograma para la convocatoria de proyectos de investigación 2017. El 1 de agosto de 2017, mediante Resolución R092/17, se aprueba la reforma al cronograma.
- b) El 12 de diciembre de 2017, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución R167/17, se aprobó el *"Informe Final 1- Convocatoria 2017"*, donde se mostraron los resultados y los proyectos aprobados de la Convocatoria 2017. Entre los proyectos aprobados se encuentra el proyecto Junior denominado *"Caracterización y optimización del uso de vectores energéticos, en colectores solares para viviendas de interés social"*, presentado por el Dr. Álvaro Aguinaga.
- c) Mediante Memorando EPN-VIPS-2018-0051-M del 8 de enero del 2018, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social, notifica al Jefe Encargado de Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (DICA), la aprobación del proyecto *"Caracterización y optimización del uso de vectores energéticos, en colectores solares para viviendas de interés social"*, presentado por el Dr. Álvaro Aguinaga.
- d) Mediante Memorando EPN-VIPS-2018-0559-M del 13 de marzo del 2018, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social, notifica a los directores de los Proyectos de Investigación Junior de la Convocatoria 2017, entre ellos el Dr. Álvaro Aguinaga, con el código del proyecto PIJ-17-09, la fecha de inicio 9 de abril del 2018, y la de finalización con fecha 9 de abril del 2020.
- e) Mediante Memorando EPN-CIIV-2020-0055-M del 11 de marzo de 2020, el Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a la Dr. Álvaro Aguinaga la Resolución RCIIV-049-2020 donde se aprueba la prórroga técnica del Proyecto Junior PIJ-17-09, por tres meses, por lo que la fecha de fin de ejecución del proyecto es el 8 de julio del 2020.
- f) Mediante Memorando EPN-CIIV-2020-0113-M del 15 de mayo de 2020, el Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Álvaro Aguinaga la Resolución RCIIV-099-2020 donde se aprueba la suspensión del Proyecto Junior PIJ-17-09 desde el 13 de mayo de 2020 hasta el 12 de noviembre de 2020, y la reanudación de las actividades del proyecto hasta el 8 de enero de 2021.

*Recibido*  
  
5/07/2021

Página 1 de 5

## 2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

<b>Código de Proyecto</b>	PIJ-17-09
<b>Nombre del Proyecto</b>	Caracterización y optimización del uso de vectores energéticos, en colectores solares para viviendas de interés social
<b>Director del Proyecto</b>	ALVARO GONZALO XAVIER AGUINAGA BARRAGAN
<b>Codirector del Proyecto</b>	CARLOS FABIAN AVILA VEGA
<b>Departamento</b>	Ingeniería Civil y Ambiental (DICA)
<b>Líneas de Investigación</b>	Energía (DIM) Materiales (DICA)
<b>Objetivo</b>	Caracterizar y optimizar el uso de reflectores solares fotónicos integrados y materiales de cambio de fase (PCMS), como vectores energéticos, en colectores solares de alta eficiencia, utilizados en el calentamiento de agua sanitaria para viviendas de interés social
<b>Duración del Proyecto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inicio: 9 de abril del 2018</li> <li>• Fin planificado: 9 de abril de 2020</li> <li>• Prórroga técnica: hasta el 8 de julio de 2020</li> <li>• Suspensión: desde el 13 de mayo de 2020 hasta el 12 de noviembre de 2020</li> <li>• Fecha fin real: 8 de enero de 2021</li> <li>• Duración total: 27 meses</li> </ul>
<b>Entrega del Informe Final</b>	7 de abril de 2021
<b>Presupuesto asignado</b>	\$ 78.993,65 USD
<b>Presupuesto ejecutado</b>	\$ 34.446,64 USD

## 3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando EPN-PIJ-17-09-2021-0003-M del 7 de abril de 2021 el Dr. Álvaro Aguinaga, Director del Proyecto PIJ-17-09, presenta el Informe Final del Proyecto Junior que dirige. Con Memorando EPN-DI-2020-0253-M del 22 de abril de 2021, la Dirección de Investigación solicitó correcciones al Informe Final presentado.

Las correcciones del Informe Final fueron entregadas mediante Memorando EPN-PIJ-17-09-2021-0004-M del 25 de abril de 2021, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, que se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

### CONCLUSIONES:

- Se ha seleccionado una tipología de colector solar para viviendas de interés social, generando un grupo de variables funcionales que, en la continuación de la investigación, permitieron caracterizar su comportamiento y rendimiento térmico. La tipología del colector solar de agua de calentamiento para viviendas de interés social y las variables caracterizadas fueron adaptadas para una nueva aplicación de secador solar con reflectores solares fotónicos y PCM en productos agrícolas en la Región Andina, evidenciado en un artículo científico "Assess the use of solar dryer with Phase Change Materials (PCMs) in some farming products in the Andean Region" aceptado y publicado en los Proceedings of the 6 th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'20) (Scopus) y son la base del proyecto de investigación semilla PIS 19-03.
- Se ha conseguido satisfactoriamente caracterizar, modelar y optimizar el proceso de calentamiento de agua, con reflectores solares fotónicos integrados para el colector solar seleccionado. Se ha diseñado y simulado un sistema inteligente aplicado a un colector solar parabólico, mediante un controlador basado en la lógica difusa, y se validó dicho sistema para

garantizar que rastreará el movimiento del sol de forma correcta. Se demostró la viabilidad de la implementación del sistema de seguimiento inteligente mediante la obtención de un incremento del 33,76% de la radiación efectiva que recibe un colector solar parabólico para sus aplicaciones como el calentamiento de agua entre otros.

- Se ha logrado caracterizar, modelar y optimizar los procesos termodinámicos y térmicos de almacenamiento energético, con materiales de cambio de fase PCMS, en depósitos aislados de agua caliente. Se realizó un análisis comparativo entre los avances en investigación realizados a nivel global y en América Latina sobre sistemas de almacenamiento térmico en aplicaciones solares, se pudo evidenciar que para América Latina se hace uso de ceras de parafina, sales inorgánicas y ácidos como PCMs, siendo aplicados en procesos de calentamiento de agua, secado de alimentos, generación de energía y aplicaciones de construcción.
- Se estudió las diferentes tipologías de materiales de cambio de fase (PCMs) aplicados a sistemas de almacenamiento térmico en aplicaciones solares, conociendo las diferentes categorías de aplicación, ventajas y desventajas, para finalmente lograr la selección del material más apropiado para procesos de calentamiento de agua con almacenamiento térmico, seleccionando la parafina Pt 58 como el material de trabajo, se consideró el más apropiado al poseer buena relación en características y propiedades como: punto de fusión, capacidad de almacenamiento, disponibilidad, costo.
- Mediante el modelamiento matemático y simulación se caracterizaron los procesos termodinámicos y térmicos de almacenamiento energético llevados a cabo en los diferentes ensayos, logrando de esta manera obtener valores de resistencia térmica, la cual se incrementa conforme la temperatura va disminuyendo, provocando mayores aumentos en las configuraciones con mayor contenido de PCM. A través de la evaluación de los resultados se logró constatar la variación de parámetros fundamentales como la resistencia térmica y el coeficiente global de transferencia de calor verificando su comportamiento a lo largo del tiempo, generando constancia de las propiedades y resultados obtenidos mediante una base de datos.
- Por las dificultades de la emergencia sanitaria no fue factible la adquisición de equipos e instrumentación como estaba presupuestado para la validación experimental, sin embargo, utilizando instrumentos propios de los investigadores, se pudo cumplir con la validación experimental de manera aproximada. Se estructuró un protocolo de pruebas donde se realizó 5 ensayos de enfriamiento del sistema compuesto por agua y PCM el cual se calienta hasta 80 °C, punto en el cual empieza la medición de temperatura del agua durante un tiempo de 100 minutos, con base en la experimentación llevada a cabo se encontró que conforme mayor es el contenido de parafina la temperatura del agua se conserva por más tiempo.
- El enfriamiento del sistema para las diferentes configuraciones presenta el mismo comportamiento térmico hasta la temperatura de 62, en este punto se empieza a generar la solidificación superficial del PCM lo cual hace que se genere una barrera que ralentiza el proceso de enfriamiento para los sistemas que presentan mayor cantidad de PCM, produciéndose una solidificación controlada del PCM desde la superficie que está en contacto con el ambiente hasta la frontera con el agua. Se determinó mediante un análisis de datos que la velocidad de enfriamiento es mayor cuando el sistema presenta altas temperaturas y el PCM se encuentra en estado líquido presentando velocidades de enfriamiento de hasta 0.8 °C/min, cuando el sistema se encuentra a bajas temperaturas y la parafina está en estado sólido las velocidades de enfriamiento varían entre 0.1 °C/min y 0.2 °C/min.

- Se ha evaluado la eficiencia térmica, para diferentes configuraciones, de los parámetros caracterizados y se ha generado una base de datos en la que se almacena la información de las propiedades y resultados obtenidos. La eficiencia térmica, para diferentes configuraciones, de los parámetros caracterizados, así como la generación de una base de datos que almacena la información de las propiedades y resultados obtenidos fueron presentados en los informes de investigación adjuntados en anexos y presentados oportunamente como parte de la contratación del personal de apoyo, tanto al director del Proyecto como al VIIV. Considerando la información recolectada, se elaboraron dos artículos científicos, "PCMs based isolated tanks with solar water heaters for social housing: A review for Energy savings and ecosystem services in life cycle" y "The mechatronic approach in the modeling and simulation of the dynamic behavior for the water hammer in hydro-agricultural facilities" presentados y aceptados en el Congreso Mechanical Engineering Trends-MET2021. Estos artículos científicos han sido aceptados para revisión en la revista International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (Q2).
- Se han conseguido satisfactoriamente establecer y fortalecer líneas de investigación y programas académicos interdisciplinarios, mediante una disertación a la comunidad politécnica y la generación de dos trabajos de titulación sobre el tema de investigación. El establecimiento y fortalecimiento de líneas de investigación y programas académicos interdisciplinarios han sido evidenciados por el despliegue de alianzas estratégicas con actores privados y de la academia como son OLADE y la Universidad de Cuenca. De igual manera se debe destacar el interés por continuar con un nuevo proyecto de transferencia de tecnología, así como un Multidisciplinario "Integración de sistemas de alta eficiencia para el secado de alimentos, estudio de Servicios Ecosistémicos empleando análisis de ciclo de vida, aplicación en Agricultura Urbana" que cuenta con el apoyo de ConQuito-AGRUPAR.

#### PRODUCTOS:

- Artículo en congreso con revisión por pares: "*Characterization of energy vectors, in solar water heaters with PCMs for social interest housing*" (Indexado Scopus); Aguinaga A., Orquera E., Avila C., Hidalgo V.; Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering 2020; ISSN: 23698136; DOI: 10.11159/icmie20.101; agosto 2020.
- Artículo en congreso con revisión por pares: "*Assess the use of solar dryer with photonic solar reflectors and pcms in farming products in the Andean Region*" (Indexado Scopus); Orquera E., Aguinaga A., Avila C., Hidalgo V.; Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering 2020; ISSN: 23698136; DOI: 10.11159/icmie20.102; agosto 2020.
- Artículo aceptado para publicación: "*PCMs based isolated tanks with solar water for social housing: Energy analysis and ecosystem services in life cycle assessment. A case study of Quito, Ecuador*"; A. Aguinaga, E. Orquera, J. Rojas, C. Cevallos; International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (Indexado Scopus, Q2); ISSN: 20885334, 24606952; marzo 2021.
- Artículo aceptado para publicación: "*Mechatronic approach in the modeling and simulation of the dynamic behavior for the water hammer in hydromechanical systems*"; A. Aguinaga, E. Orquera, E. Cando; International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (Indexado Scopus, Q2); ISSN: 20885334, 24606952; marzo 2021.
- Presentación de Ponencia en modalidad virtual: "*Characterization of Energy Vectors, in Solar Water Heaters with PCMs for Social Interest Housing*"; Álvaro Aguinaga; 9th International Conference on Mechanics and Industrial Engineering (ICMIE'20); República Checa - Praga; agosto 2020.

- Presentación de Ponencia en modalidad virtual: "Assess the use of solar dryer with Phase Change Materials (PCMs) in some farming products in the Andean Region"; Estefanía Orquera; 9th International Conference on Mechanics and Industrial Engineering (ICMIE'20); República Checa - Praga; agosto 2020.
- Proyecto de titulación de Ingeniería Mecánica: *"Estudio experimental de materiales de cambio de fase (PCMs) usados para el incremento de eficiencia térmica en el calentamiento de agua en colectores solares"*; Rojas Mejía Jhohan Mauricio; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21483>; febrero 2021.
- Proyecto de titulación de Ingeniería Mecánica: *"Diseño y simulación de un sistema seguidor inteligente para un colector solar parabólico en el calentamiento de agua en viviendas de interés social"*; Guallichico Paucar Angel Giovanni; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21316>; agosto 2020.
- Presentación de difusión a la comunidad politécnica: *"Proyecto de investigación PIJ 17-09"*; expositores: Dr. Álvaro Aguinaga, MSc. Estefanía Orquera, Jhohan Rojas, Giovanni Guallichico; publicado en la página de Facebook oficial de la EPN; diciembre 2020.

#### 4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto Junior PIJ-17-09 fue de \$ 78.993,65 USD (*setentaiocho mil novecientos noventaitrés dólares americanos, con 65/100*), y se ejecutaron \$ 34.446,64 USD (*treintaicuatro mil cuatrocientos cuarentaiséis dólares americanos, con 64/100*), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

#### 5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto de Investigación Junior PIJ-17-09 *"Caracterización y optimización del uso de vectores energéticos, en colectores solares para viviendas de interés social"*.

Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los catorce días del mes de mayo del año dos mil veintiuno.



Dra. Alexandra Alvarado  
Vicerrectora de Investigación,  
Innovación y Vinculación



Dr. Álvaro Aguinaga  
Director del Proyecto  
PIJ-17-09

sp/cc