



Revista científica

Vol. 20 Núm. 1 (2023)

PROSPECTIVA UNIVERSITARIA

en ingeniería y tecnología

e-ISSN: 1990-7044

PROSPECTIVA UNIVERSITARIA

Revista científica en ingeniería y tecnología

e-ISSN 1990-7044 / p-ISSN: 1990-2409

Volumen 20, Número 1, Año 2023

<https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2023.20>



Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP)

Dra. Salome Ochoa Sosa (✉ sochoa@uncp.edu.pe)   

Vicerrectora de Investigación (VRI)

Dr. Emilio Yabar Villanueva (✉ eyabar@uncp.edu.pe)   

Director del Instituto de Investigación (IINV)



Equipo Editorial

Editor-Jefe: Dr. Rubén Darío Alania Contreras (✉ ralania@uncp.edu.pe)   

Director editorial: M.Sc. Edgar Rojas Zacarias (✉ edrojas@uncp.edu.pe)   

Gestor de la revista: Edgar Julian-Laime (✉ ejulian@uncp.edu.pe)   

Coordinadora de traducción: Paola Parra Ocampo (✉ pparra@uncp.edu.pe)

Coordinadora de corrección de estilo: Jennifer Casas Muñoz (✉ jjcasas@uncp.edu.pe)

Diseño gráfico y maquetación: Oscar Sedano Vargas (✉ osedano@uncp.edu.pe)

Enfoque y propósito de la revista

La Revista Prospectiva Universitaria en Ingeniería y Tecnología (PU) es una publicación científica arbitrada por pares ciegos, producida por el Instituto de Investigación y patrocinada por la Universidad Nacional del Centro del Perú. La Revista PU es de acceso abierto especializada en el área OCDE de Ingeniería, Tecnología: Ingeniería arquitectónica, Ingeniería civil, Minería y Procesamiento de minerales, Ingeniería de sistemas y comunicaciones, Ingeniería eléctrica y electrónica, Ingeniería mecánica, Ingeniería de materiales, Ingeniería química y Nano-materiales. La Revista PU publica manuscritos inéditos en los idiomas español e inglés bajo modalidad continua en dos números por año. La Revista PU no aplica ningún cargo por publicación o descarga de artículos a texto completo y publica los siguientes tipos de documentos: Editorial, artículo original, artículo de revisión, carta al editor y comunicaciones breves.

Derechos reservados

© Universidad Nacional del Centro del Perú

Av. Mariscal Castilla N° 3909, Huancayo – Perú

E-mail: prospectivauniversitaria@uncp.edu.pe / Telf.: (+51) 064 481 082 - Anexo 7080

<https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva>



Prospectiva Universitaria se distribuye bajo una licencia:

[Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

PROSPECTIVA UNIVERSITARIA

Revista científica en ingeniería y tecnología

e-ISSN 1990-7044 / p-ISSN: 1990-2409

Volumen 20, Número 1, Año 2023

<https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2023.20>



Editorial: La investigación en el contexto de la postpandemia del COVID-19

En este número se presentan investigaciones en el campo de los sistemas de monitoreo con tecnología IoT para medición de calidad de agua de riego, evaluación de parámetros de funcionamiento para optimizar el rendimiento de turbinas hidráulicas, sistema móvil de suministro solar fotovoltaico. En desarrollo tecnológico, los investigadores presentaron el generador de vapor seco ecológico para contrarrestar la COVID-19; por su parte, en nanotecnología la evaluación del tamaño de porosidad de una membrana polimérica a partir de acetato de celulosa y la dosificación de nanopartículas de hierro zero valente para la eliminación de coliformes en aguas residuales municipales, caracterizan esta edición de la revista. Finalmente, el Comité Editorial de la revista expresa su agradecimiento a los investigadores por sus aportes, reconociendo su contribución a la generación de conocimiento científico que promueve la solución de los problemas de la sociedad mundial en el área de ingeniería y tecnología.

Nº	Título de la publicación	Pág.
01	Diseño de un sistema móvil de suministro solar fotovoltaico para el abastecimiento de energía Boris Ernesto D'Angles Woolcott, Percy Humberto Cueva Ríos, Wilar Tito Orellana Mendoza, Zully Mayra Quispe Paredes	9-16
02	Impacto de las interrupciones de servicio eléctrico en el desenvolvimiento académico de estudiantes de una universidad pública de Huancayo Efraín Mauro De la Cruz Montes, Máximo Ricardo De la Cruz Montes, Joe Heasen De la Cruz Carhuamaca, Mauro Efraín De la Cruz Carhuamaca	17-22
03	Evaluación de parámetros de funcionamiento para optimizar el rendimiento de turbinas hidráulicas de tornillo en zonas altoandinas del Perú Brecio Daniel Lazo Baltazar, Danea Jesse Lazo Castro, David Elvis Condezo Hurtado	23-30
04	Sistema de monitoreo basado en IoT para la medición de calidad de agua de riego Arturo Huber Gamarra Moreno, José Antonio Taipe Castro, Mario Alfonso Arellano Vilchez, Yovany Damisela Lozano Paulino, Ángel Cristhian Suazo Maldonado	31-39
05	Generador de vapor seco ecológico para contrarrestar la COVID-19 en la ciudad de Huancayo Armando Felipe Calcina Sotelo, Juan Alejandro Quilca Heredia, Ercilio Justo Garay Quintana	40-47
06	Evaluación del tamaño de porosidad de una membrana polimérica a partir de acetato de celulosa con nanopartículas de óxido de silicio Caty Ceras Cuadros, Ever Florencio Ingaruca Alvarez, Orlando Alfredo Vilca Moreno, Edgar Luciano Rojas Zacarías, Esaú Tiberio Meza Meza	48-53
07	Dosificación de nanopartículas de hierro zero valente y tiempo de contacto para la eliminación de coliformes en aguas residuales municipales Henry Raúl Ochoa León, Cesar Augusto Loayza Morales, Caty Ceras Cuadros, Hans Gianni Ochoa León, Fiorella Stefany Mendoza Ciriaco Fiorella Stefany Mendoza Ciriaco	54-60



Impacto de las interrupciones de servicio eléctrico en el desenvolvimiento académico de estudiantes de una universidad pública de Huancayo

Impact of electricity service interruptions on the academic performance of students at a public university in Huancayo

De la Cruz, Efraín M.¹; De la Cruz, Máximo R.¹; De la Cruz, Joe H.¹ y De la Cruz, Mauro E.¹

¹Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

Cómo referenciar:

De la Cruz, E. M., De la Cruz, M. R., De la Cruz, J. H. y De la Cruz, M. E. (2023). Impacto de las interrupciones de servicio eléctrico en el desenvolvimiento académico de estudiantes de una universidad pública de Huancayo. *Prospectiva Universitaria*, 20(01), 17-22. <https://doi.org/10.26490/uncp>

Resumen

Se diseñó las especificaciones técnicas mínimas que debería contar un sistema fotovoltaico móvil para el abastecimiento de energía a suministros que requieran energía entre 10-15 kWh por día. Para ello se ha planteado el diseño de un sistema fotovoltaico montado sobre un coche tipo remolque, el cual puede ser fácilmente transportado por un vehículo. El diseño ha consistido en un sistema de 8 paneles monocristalinos de 455 Wp, con un inversor de 5000W con opción de carga de baterías, un banco de baterías formado por 4 baterías de 300 Ah y un sistema de protección contra corto circuito y sobretensiones instalado en un tablero con conexión a tierra a través de un sistema de tierra temporal. En el estudio se realizaron simulaciones de operación del sistema en 3 ciudades de la Región Junín, una ubicada en la Selva Central y 2 en el Valle del Mantaro. Los resultados mostraron que es posible abastecer de energía en forma continua con el uso del sistema incluso en los meses con mayor nubosidad y precipitaciones.

Palabras clave: interrupciones eléctricas, rendimiento académico, estudiantes universitarios.

Abstract

The minimum technical specifications that a mobile photovoltaic system should have in order to supply energy to supplies that require energy between 10-15 kWh per day were designed. For this purpose, the design of a photovoltaic system mounted on a trailer type car, which can be easily transported by a vehicle, has been proposed. The design consisted of a system of 8 monocrystalline panels of 455 Wp, with a 5000W inverter with battery charging option, a battery bank consisting of 4 batteries of 300 Ah and a short circuit and overvoltage protection system installed on a board with grounding through a temporary grounding system. In the study, system operation simulations were carried out in 3 cities of the Junin Region, one located in the Central Jungle and 2 in the Mantaro Valley. The results showed that it is possible to supply energy continuously with the use of the system even in the months with higher cloud cover and rainfall.

Keywords: power outages, academic performance, university students.

1 Introducción

La suspensión del servicio de energía eléctrica consiste en la interrupción temporal del servicio en sí a fin de realizar mantenimiento o reparaciones en el sistema eléctrico afectado. Ello hace que las viviendas o usuarios del mismo no cuenten con el servicio. En la provincia de Huancayo las interrupciones para el mantenimiento, si bien son planificadas, ocurren con frecuencia, ocasionando malestar entre los usuarios.

Es de conocimiento general que la energía eléctrica es necesaria para el funcionamiento de aparatos domésticos y de oficina, y entre la población que los usa son, pues, todos los ciudadanos. Centrándonos en la población estudiantil, esas personas hacen uso de la electricidad para alumbrarse y utilizar sus computadoras, así como accesorios. También en muchos casos hacen uso de la electricidad para realizar trabajos prácticos que les dejan sus docentes, por lo que la suspensión del servicio eléctrico perjudica a sus estudios. Considerando ello, el estudio buscó conocer cómo influye la interrupción del servicio de energía eléctrica en el desenvolvimiento académico de los estudiantes de la Universidad Nacional del Centro del Perú de Huancayo.

Mejdalani y otros, (2019) publicaron un estudio titulado "A Brighter Future: The Impact of Rural School Electrification Programs on the Dropout Rate in Primary Education in Brazil" en el cual a evaluar el impacto del programa Luz para Todos en la Escuela sobre la tasa de abandono durante los primeros años de escolaridad. Utilizaron como método el análisis bibliográfico, valiéndose de los resultados de censos escolares y registros de matrículas. Los resultados evidenciaron que los programas de electrificación tienen un impacto significativo en la tasa de abandono.

Las escuelas que fueron electrificadas a través del programa antes de 2013 experimentaron una reducción del 16 % en la tasa de abandono durante un período de tres años, mientras que las escuelas que fueron beneficiadas entre 2013 y 2016 registraron una disminución del 27 % en la tasa de abandono durante el mismo lapso de tiempo gracias al acceso a la electricidad. En contraste, las escuelas que no recibieron electrificación apenas mostraron un efecto en la tasa de abandono debido a la ausencia de electricidad.

Zapata et al. (2016) Publicaron un artículo denominado "Factores institucionales incidentes en el Rendimiento Académico", El estudio tuvo como ob-

jetivo investigar los factores institucionales que pueden influir en el rendimiento académico de un grupo de estudiantes del programa de Psicología en la Universidad de Antioquia, en su campus de Medellín. Para llevar a cabo esta investigación, se empleó un enfoque metodológico de tipo exploratorio y descriptivo, en el cual se utilizó una encuesta de percepción diseñada por los investigadores como instrumento de recolección de datos. La selección de la muestra se llevó a cabo de manera no aleatoria, utilizando un enfoque discrecional. En los resultados, entre los diferentes factores institucionales analizados, el 84% de los encuestados señala que la iluminación de sus aulas favorece en el rendimiento académico (2016).

Contreras (2016) publicó un estudio denominado "Identificación de impactos sociales de la electrificación en el barrio Petrillo Libre del cantón Nobol" El propósito del estudio consistió en identificar las consecuencias sociales de la implementación del proyecto de electrificación en el Barrio Petrillo Libre del Cantón Nobol, ubicado en Guayaquil, Ecuador, durante el año 2013. Estos efectos fueron evaluados en áreas como la salud, la educación, la seguridad y la cohesión social dentro de la comunidad. La investigación se basó en un enfoque cuantitativo y cualitativo de carácter fundamental, y se aplicó el método empírico-analítico, que involucró la recopilación de datos a través de encuestas dirigidas a los beneficiarios directos. Además, se llevaron a cabo entrevistas con figuras clave y se realizaron observaciones en el terreno, generando información de tipo no experimental. Los resultados obtenidos en el ámbito educativo indican que los estudiantes desempeñan sus responsabilidades de manera más eficaz, han experimentado mejoras en su desempeño académico y atribuyen estos avances a la disponibilidad del servicio eléctrico y el acceso a internet.

Murillo y Martínez (2012) publicaron un estudio llamado "Las condiciones ambientales en las aulas de Primaria en Iberoamérica y su relación con el desempeño académico" En esta investigación, se examina la conexión entre diversos aspectos del entorno de las aulas, como la iluminación, ventilación, aislamiento, tamaño, orden y limpieza, y su impacto en el rendimiento escolar. Para llevar a cabo este estudio, se realizaron observaciones en 248 aulas ubicadas en nueve países de Iberoamérica. Los resultados obtenidos se compararon con el rendimiento académico de los estudiantes en Lengua y Matemáticas a lo largo de un año escolar utilizando un enfoque de Mode-

los multinivel que incluye cuatro niveles de análisis. Para recopilar la información necesaria, se emplearon varios instrumentos, incluyendo una guía de observación del aula para los investigadores, pruebas de rendimiento en Matemáticas y Lengua, así como cuestionarios dirigidos a los profesores, estudiantes y familias. Los hallazgos de la investigación indican que los factores relacionados con el ambiente de aprendizaje, como el orden y la limpieza del aula, tienen un impacto en el rendimiento de los estudiantes. Sin embargo, no se encontraron relaciones estadísticamente significativas con factores más estables, como la iluminación, la ventilación, el ruido o el tamaño del aula. Esto posiblemente se deba a que, como se evidencia en el estudio, la mayoría de las aulas se encuentran en condiciones aceptables en estas variables.

1.1 Interrupciones eléctricas

Para desarrollar el concepto de lo que son las interrupciones del servicio eléctrico es necesario conocer primero algunos conceptos relacionados, en específico el sistema de suministro eléctrico. Sistema de suministro eléctrico El sistema de suministro eléctrico comprende el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 1997).

De acuerdo con la Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico "Se considera como interrupción a toda falta de suministro eléctrico en un punto de entrega" (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 1997). La empresa proveedora de servicio de energía eléctrica Electrocentro S.A., denomina a las suspensiones del servicio eléctrico como Interrupciones del servicio y de acuerdo con la mencionada empresa existen dos formas: Las Programadas y las No Programadas.

Son las interrupciones imprevistas y/o fortuitas, que son causados por efectos adversos a las acciones de la empresa, ya sea por accidentes o situaciones distintas (Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Centro S.A..

Por otro lado, las interrupciones programadas se dan de manera temporal y de forma planificada para realizar mantenimientos y cambios en el sistema eléctrico. Por lo general, se anuncian con anticipación las fechas y horas en que se realizarán (Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del

Centro S.A..

1.2 Desenvolvimiento académico

De acuerdo con el diccionario de la real Academia de la Lengua española, la palabra desenvolvimiento es la acción de desenvolverse o desenvolver algo, puede tener como sinónimos el desenrollar, estirar, alargar, etc. (Real Academia de la Lengua Española, 2022) No obstante, en la terminología educativa, el término Desenvolvimiento Académico hace referencia al desarrollo y realización de las actividades académicas y el rendimiento que de ello resulta. En tal sentido, el desenvolvimiento académico universitario considera a todas las actividades con el uso de herramientas y materiales que benefician a los estudiantes de educación superior, en el ámbito de su universidad, esto incluye el uso del suministro de electricidad para proveerse de luz artificial y el uso de máquinas y herramientas que funcionan con electricidad. Uso de electricidad para el desenvolvimiento académico La electricidad es un recurso que utiliza el ser humano para un sinfín de actividades; su importancia es trascendental en el mundo de hoy. "El uso de la electricidad en la vida moderna es imprescindible. Difícilmente una sociedad puede concebirse sin el uso de la electricidad. La industria eléctrica, a través de la tecnología, ha puesto a la disposición de la sociedad el uso de artefactos eléctricos que facilitan las labores del hogar, haciendo la vida más placentera" (Reyes, 2022). En la educación la importancia de la energía eléctrica es inmensa, pues contribuye a que los estudiantes utilicen diversos aparatos para apoyarse en sus quehaceres académicos, comunicarse, estudiar de noche y también para hacer uso del internet (Fernandez, 2018). Es menester señalar que el uso de Tecnología de la Información y Comunicación (TICs) es fundamental en la educación actual, pues fomenta la interacción y la actividad digitalizada en el alumno, se puede hacer usos de herramientas virtuales y digitales que en el contexto físico no pueden accederse; mejora da motivación y genera interés en los estudiantes, mejorando también sus calificaciones y más que nada, causa un excelente beneficio en la comunicación entre docentes, estudiantes y padres. Obviamente estos para su funcionamiento requieren estar conectados a suministro de electricidad. Asimismo, si bien la luz artificial puede influir negativamente en la concentración de los estudiantes las estrategias de ambientación con luz eléctrica que imitan la iluminación natural en ambientes in-

ternos, producen resultados beneficiosos en el cuerpo humano y en el desarrollo del aprendizaje (TRIDIA, 2017).

1.3 Rendimiento académico universitario

El rendimiento académico de los estudiantes es multicausal, es decir está influenciado por diferentes factores y no hay uno en especial que es determinante; no obstante, la Unesco ha señalado que un factor relevante es la situación socioeconómica de los estudiantes (Alvarado et al., 2018). Cuando se habla de la situación socioeconómica, no solo se hace referencia al nivel económico en que se encuentra el estudiante, sino también al contexto social en el que vive (Real Academia de la Lengua Española, 2022; Real Academia de la Lengua Española, 2022) Debe considerarse entonces a las interrupciones del servicio eléctrico como un factor influyente en el rendimiento académico de los estudiantes universitarios, puesto que es parte de la situación socioeconómica de su entorno. En la cuenta de Facebook de Electrocentro se han publicado avisos de interrupciones eléctricas programas, que ocurren al menos cada mes, asimismo, en diferentes localidades, de manera espontánea ocurren interrupciones no programadas que dificultan o imposibilitan el acceso a clases de los estudiantes universitarios.

2 Materiales y métodos

El tipo de estudio fué básica porque busca ampliar el conocimiento científico, con enfoque cuantitativo de nivel o alcance descriptivo, correlacional simple.

2.1 Participantes

La población estuvo representada por los estudiantes de pregrado de la UNCP. El muestreo fue a juicio del autor y para la muestra se seleccionó a 168 estudiantes de diferentes ciclos de las facultades de Educación, Ingeniería Química, Ingeniería de Industrias Alimentarias, Ingeniería de Metalurgia y Materiales, y Trabajo Social.

2.2 Mediciones

Se recopilaron los datos mediante un cuestionario en escala que constó de cinco preguntas cerradas. Para la prueba de confiabilidad se recurrió al alfa

de Cronbach, mediante una prueba piloto aplicada a 128 estudiantes de la UNCP, con buen índice de consistencia interna ($\text{Alpha} = .765$)

3 Resultados

3.1 Interrupciones eléctricas

Se aplicó la encuesta a 168 estudiantes de diferentes ciclos de las facultades de Educación, Ingeniería Química, Ingeniería de Industrias Alimentarias, Ingeniería de Metalurgia y Materiales, y Trabajo Social de la UNCP.

Los resultados se muestran en la figura 1 la cual evidencia que aproximadamente el 74% indicaron que "A veces" o "Varias veces" se interrumpió el servicio eléctrico en clases.

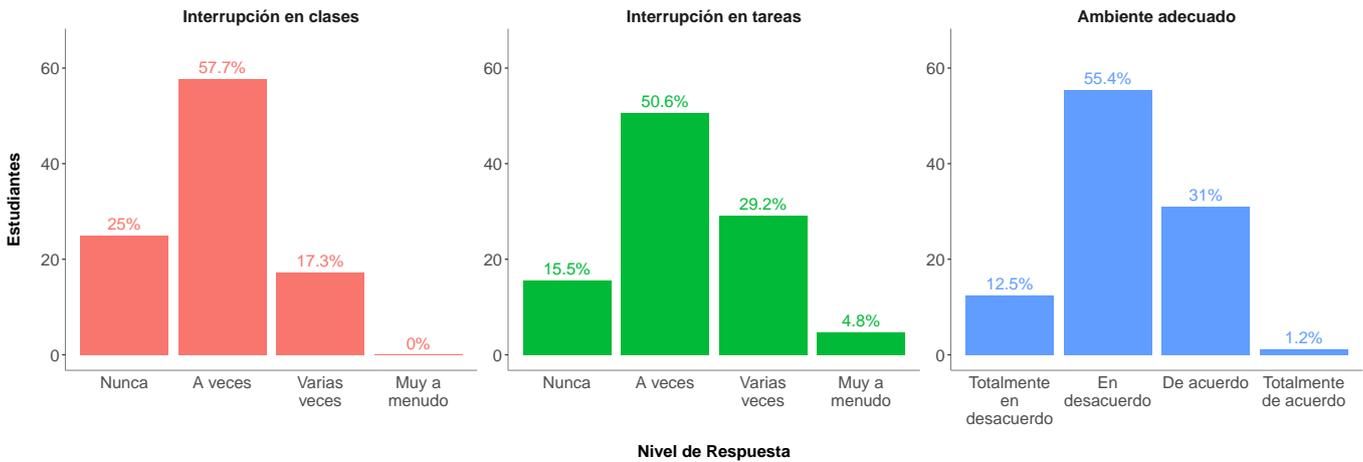
En cuanto a las interrupciones durante la realización de las tareas, la mayoría indicó que "A veces" (50.6%), 49 o "Varias veces" (29.2%) el servicio de energía eléctrica fué interrumpido. Esto generó dificultades en la realización de las labores académicas correctamente, por lo que el ambiente de estudio y las herramientas que usaron para sus prácticas fueron inadecuadas, como se aprecia en la figura 1 donde aproximadamente el 60% de los estudiantes manifestaron haber tenido dificultades en el ambiente de trabajo.

3.2 Desempeño académico

La figura 2 muestra que a pesar de que el servicio de energía eléctrica era suspendido, solo el 32.7% pudieron realizar tareas y prácticas que los docentes dejaban. Mientras que el 52.4% no pudieron realizarlas.

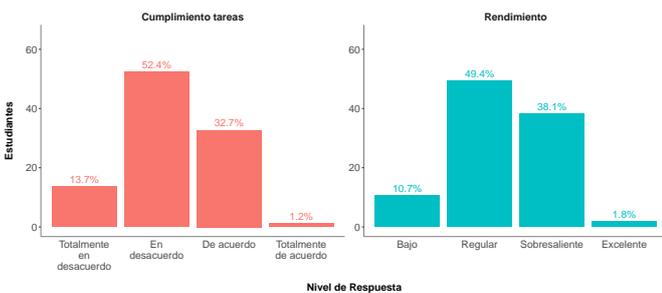
En cuanto al rendimiento académico, casi la mitad de estudiantes refirieron que su rendimiento es regular, mientras que el 38.1% señaló que era sobresaliente, lo cual indica deficiencias en casi la mitad de estudiantes.

Figura 1
Descripción de la Interrupción del Servicio Eléctrico



Nota:

Figura 2
Desempeño Académico



Nota:

3.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante una prueba no paramétrica dado la reducida cantidad de ítems en el cuestionario y las características de la población y el muestreo. Para ello se usó el software SPSS 25 para el cálculo del coeficiente de correlación Rho de Spearman, el cual reportó un valor de 0.544, con una significancia de 0.000, demostrando correlación moderada entre las variables de estudio.

4 Discusiones

Los resultados demostraron que las interrupciones eléctricas y el rendimiento académico de los estudiantes de la UNCP; se encuentran moderadamente correlacionadas con un índice rho de Spearman de .544. Este resultado es algo diferente a lo señalado por Fernández (2022) que indica que la energía eléctrica es fundamental para el desarrollo de las activi-

dades de los estudiantes; No obstante, si es coherente con lo estipulado por Tridia (2017) que indica que la luz eléctrica artificial influye negativamente en la concentración, pero aquellas iluminaciones que imitan a la luz natural, es beneficiosa.

También es coherente con el estudio realizado por Murillo y Martínez (2012) quienes no encuentran una relación significativa entre la iluminación eléctrica y el rendimiento académico.

5 Conclusiones

La influencia de las interrupciones eléctricas en el rendimiento académico de los estudiantes de la UNCP es mediana, ello puede afirmarse por un resultado en el coeficiente de correlación Rho de Spearman de .544 y nivel de significancia de 0.000, el cual es inferior a 0.05.

El 25 % los estudiantes manifiestan que “Nunca” se interrumpió el servicio de electricidad en clases. lo cual indica que alrededor del 75% de los estudiantes han sufrido interrupciones eléctricas en el campus en algún momento.

El 15.6% de los estudiantes manifiesta “Nunca” se interrumpió el servicio eléctrico mientras realizaban una tarea o trabajo académico, ello indica que el 84.4% sufrió interrupción del servicio eléctrico durante la realización de esas actividades.

El 32.2% de los estudiantes encuestados están de acuerdo en que aún si se iba la luz, el ambiente de estudio y las herramientas que usaron para sus prácticas fueron adecuadas y el 33.9% señaló que aún si

se iba la luz, pudieron realizar las tareas y prácticas que los docentes dejaban.

6 Recomendaciones

Es necesario ahondar los estudios haciendo diferencia entre facultades de la universidad para poder

determinar con más precisión el grado de influencia.

Si bien los sistemas de mantenimiento de servicio eléctrico en la UNCP están activos, es necesario monitorearlos para evitar las interrupciones eléctricas o de ocurrir, sean atendidas de inmediato

Referencias

- Alvarado, J. A., Ube, J. M., Cañizares, F. P., & Martínez, Z. R. (2018). Los factores socioeconómicos: ¿inciden en el rendimiento académico de los estudiantes universitarios? *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, (8), 13. Consultado el 16 de diciembre de 2023, desde <https://dilemascontemporaneoseducacion.com/index.php/dilemas/article/view/540>
- Contreras, D. S. (2016, noviembre). *Identificación de impactos sociales de la electrificación en el barrio petrillo libre del cantón nobol*. Guayaquil. Consultado el 16 de diciembre de 2023, desde <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/13561>
- Fernandez, V. (2018, 21 de septiembre). *Importancia del Acceso a la Energía en el Desarrollo Sustentable | Blog Recursos Humanos | AMEDIRH*. Consultado el 16 de diciembre de 2023, desde <https://www.amedirh.com.mx/blogrh/sector-energetico-en-rh/importancia-del-acceso-a-la-energia-en-el-desarrollo-sustentable/>
- Murillo, F. J., & Martínez, C. A. (2012). Las condiciones ambientales en las aulas de Primaria en Iberoamérica y su relación con el desempeño académico. *20(18)*, 23. Consultado el 16 de diciembre de 2023, desde <https://repositorio.uam.es/handle/10486/662861>
Accepted: 2014-12-16T17:31:52Z.
- Reyes. (2022). La Importancia de La Energía Eléctrica En La Actualidad. *Silicon Technology*. http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2020/12/Ing.-Ambar-Reyes-Zacarias_compressed.pdf
- Zapata, A. M. Z., Cabrera, G. P. C., & Velazquez, M. A. V. (2016). Factores institucionales incidentes en el rendimiento académico: un estudio de percepción. *Revista de Psicología Universidad de Antioquia*, 8(1), 35-47. <https://doi.org/10.17533/udea.rp.326891>



Evaluación de parámetros de funcionamiento para optimizar el rendimiento de turbinas hidráulicas de tornillo en zonas alto andinas del Perú

Evaluation of operating parameters to optimize the performance of hydraulic screw turbines in high andean zones of Peru

Lazo, Brecio D.¹; Lazo, Danae J.¹ y Condezo, David E.¹

¹Facultad de Ingeniería Mecánica,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

¹Facultad de Ingeniería Eléctrica,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

Cómo referenciar:

Lazo, B. D., Lazo, D. J. y Condezo, D. E. (2023). Evaluación de parámetros de funcionamiento para optimizar el rendimiento de turbinas hidráulicas de tornillo en zonas alto andinas del Perú. *Prospectiva Universitaria*, 20(01), 23–30. <https://doi.org/10.26490/uncp>

Resumen

Diversas comunidades de la región Junín como las de Huasicancha, del Alto Cunus, Pariahuanca y muchas otras de la selva peruana, carecen de servicios de energía eléctrica doméstica, no obstante si disponen de recursos hidráulicos susceptibles de explotación para la dotación de energía. En tal sentido, se buscó evaluar parámetros de funcionamiento mediante diseño experimental para optimizar el rendimiento de turbinas hidráulicas en zonas alto Andinas del Perú. Mediante la metodología de diseño VDI 2221 se evaluó diferentes tratamientos de la turbina hidráulica de tornillo que integra un procedimiento continuo de generación de potencia mecánica. Siguiendo un diseño factorial 2^3 , se recopilaron datos para el diseño experimental en el canal de riego del alto cunus. Los datos fueron procesadas y analizadas mediante el software estadístico MiniTab. Los resultados mostraron que los principales factores que influyen en la potencia mecánica fueron: (a) caída del agua, (b) longitud del tornillo, (c) diámetro del tornillo y (d) interacción entre la caída de agua y la longitud del tornillo. Por otra parte, no se encontro influencia significativa de los siguientes factores: (a) interacción entre la caída de agua y el diámetro del tornillo, (b) Interacción entre la longitud del tornillo y el diámetro del tornillo, (c) interacción entre la caída de agua, la Longitud del tornillo y el diámetro del tornillo. Los resultados obtenidos son suceptibles de ser aplicados para la generación de energía eléctrica a lo largo del canal de riego del alto cunus.

Palabras clave: turbina hidráulica, tornillo de Arquímedes, energía mecánica.

Abstract

Several communities in the Junín region, such as Huasicancha, Alto Cunus, Pariahuanca and many others in the Peruvian jungle, lack domestic electricity services, but they do have hydraulic resources that can be exploited to provide energy. In this sense, we sought to evaluate operating parameters through experimental design to optimize the performance of hydraulic turbines in high Andean areas of Peru. By means of the VDI 2221 design methodology, different treatments of the hydraulic screw turbine that integrates a continuous mechanical power generation process were evaluated. Following a 2^3 factorial design, data were collected for the experimental design in the upper cunus irrigation canal. The data were processed

and analyzed using MiniTab statistical software. The results showed that the main factors influencing mechanical power were: (a) water drop, (b) screw length, (c) screw diameter and (d) interaction between water drop and screw length. On the other hand, no significant influence of the following factors was found: (a) interaction between water drop and screw diameter, (b) interaction between screw length and screw diameter, (c) interaction between water drop, screw length and screw diameter. The results obtained can be applied to the generation of electric power along the upper Cunas irrigation canal.

Keywords: hydraulic turbine, Archimedes screw, mechanical energy.

1 Introducción

La interacción de la comunidad científica con los grupos de interés mejora la solución del problema, esa debe ser la intención del resultado de la investigación cuantitativa o cualitativa. La energía en sus diferentes niveles es utilizada por los humanos para diferentes procesos tecnológicos. Los agricultores necesitan energía eléctrica en los puntos de toma de agua para evitar accidentes. La alternativa para resolver el problema de los agricultores es instalar turbinas hidráulicas de tornillo.

El objetivo de la investigación fue experimentar el principio de la turbina hidráulica de tornillo en la generación de energía mecánica. La energía generada se utiliza para la generación de energía eléctrica a lo largo del canal de riego del alto Cunas del valle del Mantaro.

Maldonado (2005), en su tesis titulada Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán-Región Loreto, indica que la dificultad radicaba en el diseño de turbinas para utilizar este recurso en diferentes dimensiones. Se decidió probar una turbina prototipo en la comunidad Paraíso, ubicada en el Distrito de Mazan, como parte de los ensayos de campo. Los datos recopilados se han ajustado a una ecuación de potencia con un exponente aproximado de 3 (2.8366).

Tenorio en su tesis titulada Diseño e Implementación de un Prototipo de una Pico central Hidráulica para uso Rural. La turbina creada y construida logró una eficiencia del 79 %, una cifra que se encuentra dentro de los estándares aceptables establecidos por los fabricantes de turbinas Pelton. Sin embargo, este alto rendimiento se atribuye al ensamblaje preciso y, sobre todo, a las consideraciones apropiadas durante el proceso de diseño.

El estudio de las características de turbina hidráulica en flujo superficial libre contrastó que el rendimiento de la turbina hidráulica mediante el análisis de flujo multifásico es mayor que el rendimiento del análisis de flujo monofásico en las mismas condiciones de operacionalización. Signifi-

ca que el funcionamiento de la turbina hidráulica en flujo superficial libre con poca profundidad de agua aumenta significativamente la relación de velocidad de entrada (Nishi et al., 2017).

Los tornillos de Arquímedes pueden funcionar en cabezas de agua bajas (menos de unos 5 m) y en una gama de caudales con eficiencias prácticas del 60% al 80% y pueden generar hasta 355 kW de potencia. Las Turbinas de Tornillos de Arquímedes AST aumentan el número de lugares adecuados donde es posible desarrollar la energía hidroeléctrica sostenible, incluso en regiones no desarrolladas y de difícil acceso y en pequeñas comunidades. En muchos sitios de baja altura, los AST pueden ser más eficaces en función de los costos, con menores costos de instalación y funcionamiento que los sistemas hidroeléctricos alternativos. Un AST también puede reducir la perturbación de los procesos naturales de sedimentación y erosión y tener menores repercusiones en los peces y otra fauna. Los AST a menudo pueden adaptarse a las presas o embalses existentes sin energía, proporcionando nueva capacidad hidroeléctrica con un impacto ambiental marginal muy reducido. En este examen se esbozan las características de los AST y luego se examina y analiza la forma en que podrían beneficiar la sostenibilidad del desarrollo de la energía hidroeléctrica (YoosefDoost & Lubitz, 2020).

El generador de tornillo de Arquímedes (ASG) permite transformar la energía potencial de un fluido en energía mecánica y es conveniente para sitios hidráulicos de baja carga. Como es una tecnología nueva y en crecimiento con pocas pautas para el diseño y la optimización del rendimiento, la presente contribución propone un nuevo método de investigación experimental y numérico para estudiar el rendimiento de ASG. Para estudiar la estructura de los flujos turbulentos 3D y las pérdidas de energía en un tornillo, se resuelven las ecuaciones de Navier Stokes de un modelo de turbulencia clásico. Como se demostró, la fortaleza de este método es permitir estudiar con precisión el desempeño del ASG solo con los coeficientes habituales en los modelos de cierre turbulento. Estas simulaciones se logran para diver-

sas condiciones de flujo utilizando la geometría de un tornillo a escala de laboratorio. Se muestra que los valores modelados de pares y eficiencias están muy de acuerdo con los experimentales. Además, la simulación numérica parece ser una herramienta confiable para predecir el rendimiento de ASG que se encuentra por encima del 80% (Dellinger et al., 2018).

En esta investigación se experimentó la generación de potencia mecánica para la generación de energía eléctrica desde los canales de riego del valle del Mantaro.

2 Materiales y métodos

2.1 Procedimiento

Se llevó a cabo un experimento factorial 2^3 con diseño de Yates (Gutierrez & De la Vara, 2004) para evaluar la energía mecánica producida por un prototipo de turbina hidráulica con tornillo de Arquímedes en distintas condiciones de caída de agua, longitud y diámetro del tornillo.

Para el diseño del prototipo (figura) se consideró el enfoque estandarizado de la asociación alemana de ingenieros VDI (Verein Deutscher Ingenieure) conocido como VDI 2221/2222 (Pahl & Beitz, 2007). Finalmente el diseño del prototipo contó con los siguientes elementos: (a) soporte estructural, (b) tornillo de Arquímedes (tres kits de experimentación) y (c) disco de medición (torque, revoluciones por minuto).

La energía hidráulica proveniente del canal de riego del alto cunas fue capturado en la localidad de Angasmayo, recorriendo las localidades de Chalhuan, Chambara, Huayao, Huachac y Sicaya del valle del Mantaro. Las características de la corriente de agua del canal matriz de riego fue de una velocidad de 0.235 m/s, caudal de 1.021 m^3/s y una presión de 1.016 atmósferas.

La producción de la energía mecánica se realizó con el prototipo de la turbina hidráulica de tornillo, el cual fue diseñado para capturar la energía hidráulica del canal de riego, esta fuerza impacta en la hélice de tornillo parra recorrer la longitud según el tratamiento del diseño factorial 2^3 .

2.2 Mediciones

la medición del torque y revoluciones (RPM) en el eje de la turbina hidráulica de tornillo se midió con

un sensor de torque y un tacómetro, respectivamente. La energía mecánica se calculó mediante la ecuación 1, para luego ser codificada en una ficha de registro. La determinación de la potencia mecánica se calculó tomando estos datos y aplicando la ecuación 1.

$$P_c = M \times \omega \quad (1)$$

En la fase de experimentación, la medición de la producción de energía mecánica se realizó en los ocho tratamientos del diseño factorial 2^3 . Para la medición se consideró factores para la experimentación mediante la siguiente denominación:

- A= Caída de agua: 300; 500 mm
- B= Longitud del tornillo: 500; 1000 mm
- C= Diámetro del tornillo: 100; 150 mm

El cálculo de los parámetros de funcionamiento del prototipo se realizó con las siguientes ecuaciones (Charisiadis, 2015).

$$T_t = T(L \times N)/P \quad (2)$$

$$P_{out} = T_t \times \omega \quad (3)$$

$$Q = (N \times V \times \omega)/2\pi \quad (4)$$

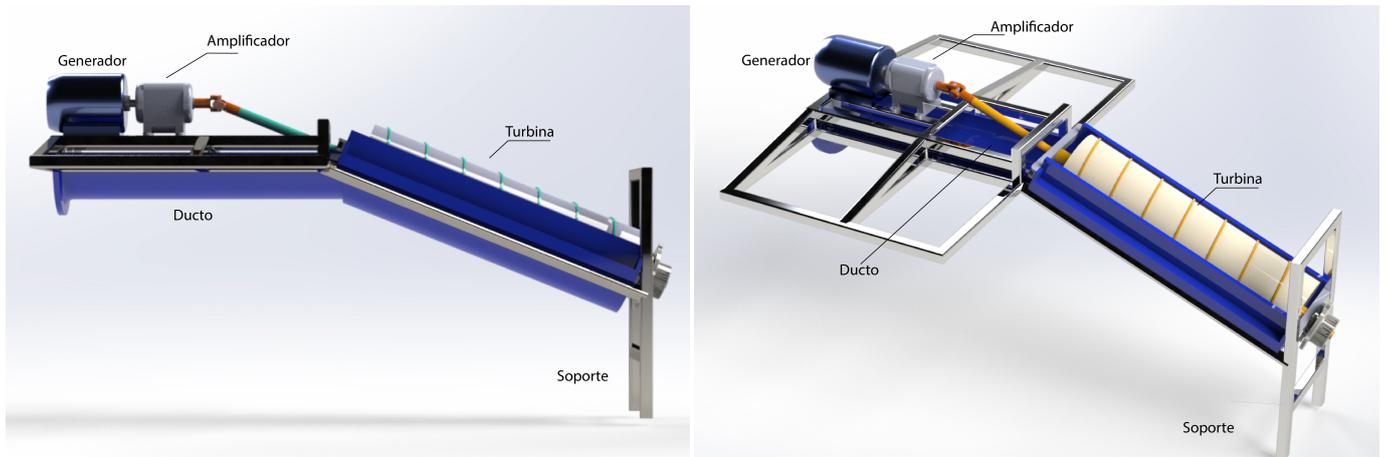
$$h = L \times \sin(\beta) \quad (5)$$

$$P_{avail} = \rho \times g \times h \times Q \quad (6)$$

Donde T_t es el torque total, L longitud del tornillo, N número de aletas del tornillo, P potencia, ω frecuencia angular (rad/seg), Q flujo volumétrico, V velocidad de traslación del cubo, h altura de la cabeza del tornillo, β ángulo de inclinación del tornillo de Arquímedes, P_{avail} Potencia disponible, ρ densidad del agua y g constante gravitacional (9.81m/s²).

La torsión total en el tornillo fue calculada multiplicando la torción de un solo cubo por el número de cubos a lo largo de la longitud del tornillo, definida en la ecuación 2. La potencia de salida fue calculada mediante la ecuación 3. La tasa de flujo volumétrico Q a través del tornillo se calculó basándonos en el volumen de agua en un solo cubo y la velocidad de traslación del cubo a lo largo del eje del tornillo, definida mediante la ecuación 4. La altura de la cabeza del tornillo se calculó mediante la ecuación 5 y la potencia disponible en el flujo fue calculada mediante la ecuación 6.

Figura 1
Prototipo de Turbina Hidráulica de Tornillo



3 Resultados

3.1 Producción de energía durante la experimentación

Los valores de energía mecánica producida por el prototipo se muestran en la tabla 1.

Tabla 1
Resultados de Generación de Energía Mecánica

Combinaciones	Tratamientos			Replicas			Total
	A	B	C	I	II	III	
-1	-	-	-	0.38	0.16	0.14	0.23
a	+	-	-	0.61	0.72	0.68	0.67
b	-	+	-	1.37	1.63	1.54	1.51
ab	+	+	-	1.92	2.21	2.16	2.1
c	-	-	+	0.35	0.4	0.39	0.38
ac	+	-	+	0.67	0.79	0.77	0.75
bc	-	+	+	1.55	1.82	1.75	1.71
abc	+	+	+	2.23	2.63	2.52	2.46

Nota. Arreglo factorial 2³. Los valores de energía mecánica de las réplicas y el total se encuentran en kW.

Con estos datos, se realizó un análisis de varianza para determinar la influencia de los factores y sus interacciones en la generación de energía mecánica. Esto fue fundamental para determinar el análisis factorial y confirmar la hipótesis formulada en el estudio.

Tabla 2
Efectos y Coeficientes Estimados Para Energía Mecánica

Término	Efecto	Coeficiente	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		1.2254	0.0259	47.34	.000	
A	0.5357	0.2678	0.0259	10.35	.000	1.00
B	1.4386	0.7193	0.0259	27.79	.000	1.00
C	0.1952	0.0976	0.0259	3.77	.002	1.00
A*B	0.1314	0.0657	0.0259	2.54	.022	1.00
A*C	0.0213	0.0106	0.0259	0.41	.686	1.00
B*C	0.0811	0.0406	0.0259	1.57	.137	1.00
A*B*C	0.0611	0.0305	0.0259	1.18	.255	1.00

Nota. EE: Error Estándar. El resumen del modelo incluye S = 0.1268, R-cuadrado = 98.26%, R-cuadrado ajustado = 97.50% y R-cuadrado predicho = 96.09%.

El análisis de varianza determinó que los factores caída de agua, longitud del tornillo y el diámetro del tornillo, tuvieron un efecto significativo en la generación de energía mecánica. Contrariamente, las interacciones AB (caída de agua-longitud del tornillo), AC (caída de agua-diámetro del tornillo) y BC (longitud del tornillo-diámetro del tornillo) no presentaron un efecto significativo en la generación de energía mecánica.

Por otro lado, tampoco las interacciones entre ABC (caída de agua-Longitud del tornillo-diámetro del tornillo) presentaron un efecto significativo en la generación de energía mecánica. El análisis de varianza se presenta en la tabla 3.

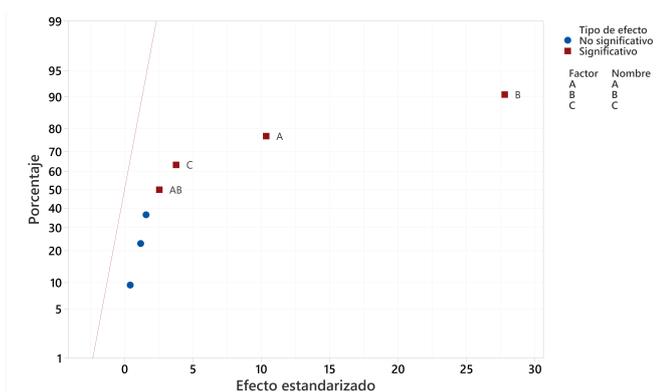
Tabla 3
Análisis de Varianza de la Energía Mecánica Generada

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	14.5366	2.0767	129.14	.000
Lineal	3	14.3684	4.7895	297.83	.000
A	1	1.7217	1.7217	107.06	.000
B	1	12.4183	12.4183	772.22	.000
C	1	0.2285	0.2285	14.21	.002
Interacciones de 2 términos	3	0.1458	0.0486	3.02	.060
A*B	1	0.1036	0.1036	6.44	.022
A*C	1	0.0027	0.0027	0.17	.686
B*C	1	0.0395	0.0395	2.46	.137
Interacciones de 3 términos	1	0.0224	0.0224	1.39	.255
A*B*C	1	0.0224	0.0224	1.39	.255
Error	16	0.2573	0.0161		
Total	23	14.7939			

Nota. Significancia de 5%.

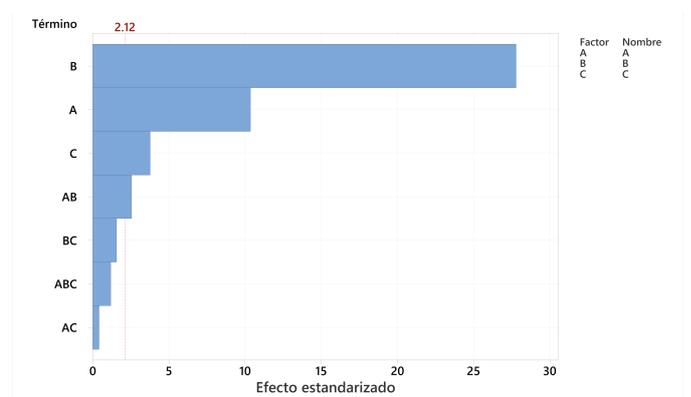
La figura 2 muestra que los puntos alejados de la línea suelen representar efectos significativos. Estos efectos suelen ser más pronunciados y están más distantes de la línea de ajuste en comparación con los efectos menos relevantes. Aquellos efectos que no son significativos tienden a ser más sutiles y se acercan más al valor cero.

Figura 2
Distribución Normal de Efectos Estandarizados para Energía Mecánica



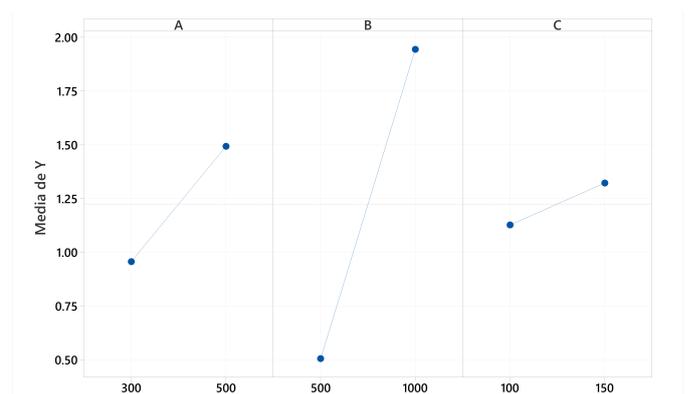
Por otro lado, el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados (figura 3) mostró que los factores longitud del tornillo, caída de agua, diámetro del tornillo y la interacción caída de agua - longitud del tornillo son elementos significativos en la generación de potencia mecánica.

Figura 3
Diagrama de Pareto Sobre Efectos Estandarizados Para Potencia Mecánica



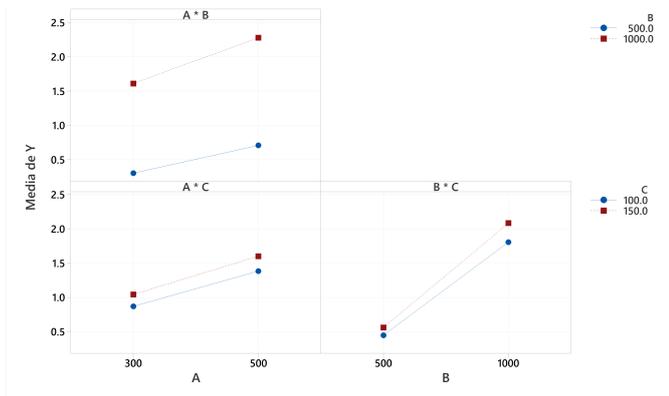
Se realizó un análisis de efectos principales para determinar la influencia de los factores en la generación de energía mecánica. La figura 4 muestra que la caída de agua, la longitud y el diámetro del tornillo presentan influencia positiva sobre la potencia mecánica en el prototipo.

Figura 4
Efectos Principales para la Potencia Mecánica



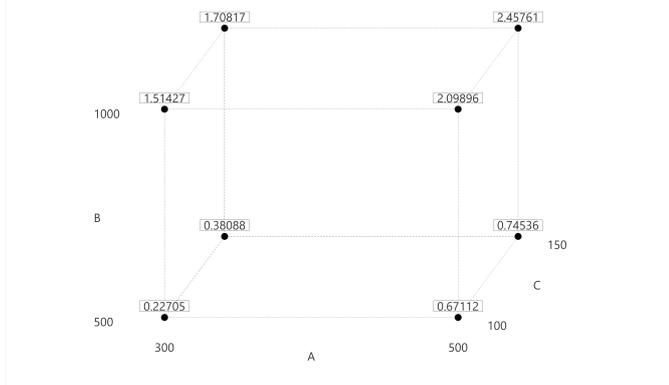
Por otro lado, la figura 5 muestra el análisis de interacciones entre los factores, el cual evidenció que ninguna interacción presentó influencia significativa sobre la potencia mecánica.

Figura 5
Interacción para la Potencia Mecánica



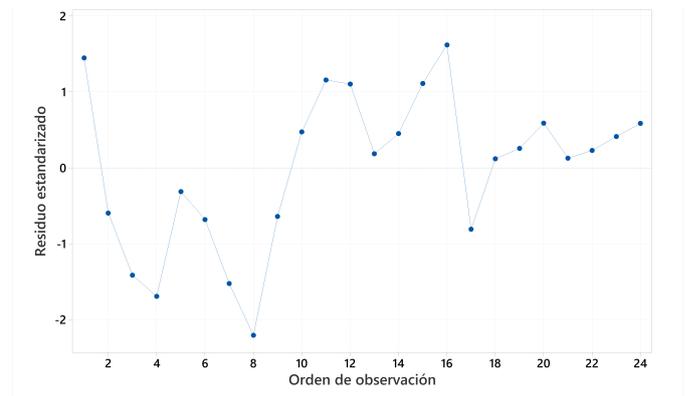
Un análisis mediante gráfica de cubos (figura 6) mostró que el máximo valor de la potencia mecánica se obtiene con caída de agua positiva, longitud del tornillo positiva y diámetro del tornillo positivo.

Figura 6
Gráfica de Pareto Sobre Efectos Estandarizados para Potencia Mecánica



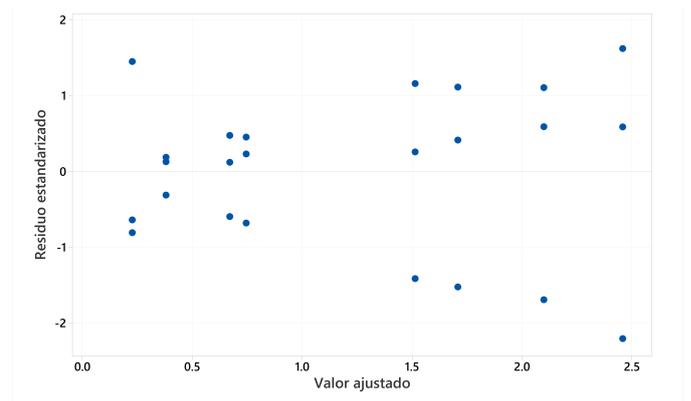
Un análisis de residuos según orden de observación presentado en la figura 7, muestra todos los residuos en el orden en el que se colectaron los datos y se utilizan para hallar errores no aleatorios, especialmente de efectos relacionados con el tiempo, ayudó también a revisar el supuesto que establece que los residuos no se correlacionan unos a otros.

Figura 7
Residuos Vs. Orden para Potencia Mecánica

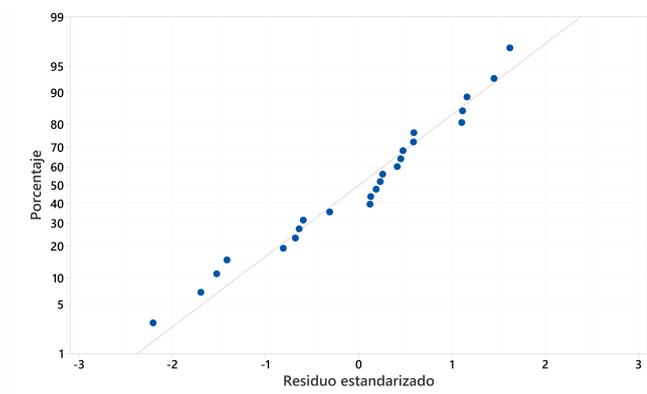


Asimismo, se evaluó la relación entre residuos y valores ajustados (figura 8), en la que se observó una distribución aleatoria alrededor del cero. Cuando un punto se aleja considerablemente del resto, podría tratarse de un valor atípico. Si la dispersión de los residuos aumenta conforme crecen los valores ajustados, esto podría indicar una violación del supuesto de una varianza constante.

Figura 8
Residuos Contra Valores Ajustados Para Potencia Mecánica



Se realizó también un análisis de probabilidad normal de residuos (figura 9), la cual mostró que los puntos tienden a conformar una línea recta, lo cual evidenció que los residuos se distribuyeron normalmente.

Figura 9*Probabilidad Normal para Potencia Mecánica*

4 Discusiones

4.1 Generación de energía mecánica

De acuerdo con los tratamientos aplicados, se confirma la generación de energía mecánica debido a la influencia de los factores intervenidos. Los efectos más relevantes se encuentran en los factores A, B, C y la interacción AB. Así, una vez que la turbina de tornillo alcanza una velocidad de 94.35 revoluciones por minuto, genera una potencia mecánica de 2.21 kW. Los tornillos de Arquímedes pueden funcionar con bajas caídas de agua (menos de unos 5 m) y una gama de caudales con eficiencias prácticas del 60% al 80% y pueden generar hasta 355 kW de potencia (YoosefDoost & Lubitz, 2020).

Según la respuesta del DOE en p-value, la mejor repuesta de potencia mecánica producida se logra con el tratamiento ab. Sobre esta configuración se debe incluir el tratamiento de los demás factores es decir en base a un solo rotor. Los aspectos geométricos de un tornillo de Arquímedes se definen mediante ciertos factores externos, como su radio exterior, longitud y ángulo de inclinación, y factores internos, como su radio interior, número y espaciado de las paletas.

Los factores externos suelen ser fijados por la ubicación del tornillo y la cantidad de agua que debe ser transportada. En contraste, los factores internos pueden ser seleccionados a discreción para mejorar

la eficiencia del tornillo (Charisiadis, 2015)

4.2 Impacto ambiental

La utilización de la energía hidráulica a baja velocidad y presión produce bajo impacto a la biodiversidad (biótica y abiótica), tal como se menciona en los textos de (Pichs-Madruga et al., 2011). Evaluación de resultados de Potencia mecánica Los residuos obtenidos se encuentran entre 2,0 y -2,0 demostrando claramente que el procedimiento de experimentación fue correcto, no encontrando valores que contradigan al teorema de Chebyshev (Gorgas et al., 2011).

Los principales factores A, B, C y la interrelación AB son significativas en el sistema ya que todos se encuentran en el lado derecho de la gráfica de Pareto de efectos estandarizados. Del mismo modo esto se puede comprobar en la validación de la hipótesis con la comparación de un nivel de significancia de los valores p (Walpole et al., 2012). Consecuencias teóricas Con un nivel de significancia del 5% y al comparar los valores p (ver Tabla 6), se evidencia que la hipótesis alternativa es válida para A, B, C y AB, lo que demuestra su significancia en todos estos factores. Esto sugiere que elementos principales como A, B, C y la interacción doble AB desempeñan un rol crucial en el incremento de la potencia mecánica. Por lo tanto, podemos afirmar que al configurar los componentes mediante el análisis factorial se mejora la generación de potencia mecánica.

4.3 Aplicaciones prácticas

Mediante el uso del análisis factorial, se optimiza el diseño y la fabricación de la turbina hidráulica de tornillo porque nos permite identificar con mayor precisión los factores más relevantes y sus interacciones. Esto contribuye a generar una mayor cantidad de energía sostenible y potencia mecánica. Gutiérrez y De la Vara (2004) han establecido que los diseños factoriales tienen como propósito analizar cómo afectan varios factores a una o más respuestas cuando hay interés en todos los factores por igual. Buscan encontrar una combinación de niveles de estos factores que optimice el rendimiento del proceso.

Referencias

- Charisiadis, C. (2015). *An Introductory Presentation to the Archimedean Screw as a Low Head Hydropower Generator*. <https://energiazero.org/cartelle/idroelettrico//archimede//Archimedean%20Screw%20Turbine%20book.pdf>
- Dellinger, G., Garambois, P. A., Dellinger, N., Dufresne, M., Terfous, A., Vazquez, J., & Ghenaim, A. (2018). Computational Fluid Dynamics Modeling for the Design of Archimedes Screw Generator. *Renewable Energy*, 118, 847-857. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.093>
- Gorgas, J., Nicolás, G., López, C., & Calvo, J. Z. (2011). *Estadística Básica Para Estudiantes de Ciencias*. Gutierrez, H., & De la Vara, R. (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill.
- Maldonado, F. M. (2005). *Diseño de Una Turbina de Río Para La Generación de Electricidad En El Distrito de Mazán-Región Loreto*. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf
- Nishi, Y., Sato, G., Shiohara, D., Inagaki, T., & Kikuchi, N. (2017). Performance Characteristics of Axial Flow Hydraulic Turbine with a Collection Device in Free Surface Flow Field. *Renewable Energy*, 112, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.04.047>
- Pahl, G., & Beitz, W. (2007). *Engineering Design a Systematic Approach*.
- Pichs-Madruga, R., Edenhofer, O., Sokona, Y., & von Stechow, K. S. P. E. P. M. G. H. S. K. S. S. T. Z. C. (2011). *Informe Especial Sobre Fuentes de Energía Renovables y Mitigación Del Cambio Climático*. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, Keying. (2012). *Probabilidad y Estadística Para Ingeniería y Ciencias*. Prentice Hall.
- YoosefDoost, A., & Lubitz, W. D. (2020). Archimedes Screw Turbines: A Sustainable Development Solution for Green and Renewable Energy Generation-a Review of Potential and Design Procedures. *Sustainability*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/SU12187352>



Sistema de monitoreo basado en IoT para la medición de calidad de agua de riego

IoT-based monitoring system for irrigation water quality measurement

Gamarra, Arturo H.¹; Taipei, José A.¹; Arellano, Mario A.¹;
Lozano, Yovany D.¹ y Suazo, Ángel C.¹

¹Facultad de Ingeniería Mecánica,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

Cómo referenciar:

Gamarra, A. H., Taipei, J. A., Arellano, M. A., Lozano, Y. D. y Suazo, Á. C. (2023). Sistema de monitoreo basado en IoT para la medición de calidad de agua de riego. *Prospectiva Universitaria*, 20(01), 31-39. <https://doi.org/10.26490/uncp>

Resumen

Siendo la agricultura en el Valle del Mantaro, una de las principales actividades económicas, tal como se indica en el Censo Nacional 2017, el sector agropecuario muestra la fortaleza agrícola de la región Junín, con una superficie agraria de 2 370 582.58 hectáreas y 120 mil 312 productores agropecuarios, donde la provincia de Huancayo concentra la mayor cantidad de productores superior a los 27 mil que constituye el 22.4% del total. Siendo una de las fuentes principales de riego las aguas del río Mantaro, tanto por la margen derecha y margen izquierda, y teniendo como un problema álgido la contaminación de sus aguas ocasionado por las empresas mineras metalúrgicas que emiten residuos de metales pesados y de las aguas residuales domésticas, teniendo un alto grado de turbidez, los cuales contaminan la producción de los productos agrícolas del Valle del Mantaro. Por otro lado, el incremento de la temperatura ocasionado por el cambio climático incrementa la temperatura de agua de riego mermando su rendimiento de la producción agrícola de diferentes cultivos, como son los cultivos de la región tales como: papa, zanahoria, alcachofa, quinua, maíz, trigo, habas, alverja, pastos y algunas hortalizas. El objetivo de la presente investigación es la de implementar un sistema de monitoreo en tiempo real basado en IoT para medir la temperatura del agua de riego, medir el potencial de hidrógeno (pH) y medir el NTU de la turbidez del agua de riego, para lo cual se construyó prototipos con la capacidad de medir estas variables.

Palabras clave: monitoreo, tiempo real, internet de las cosas, temperatura, potencial de hidrógeno, turbidez, IoT.

Abstract

Being agriculture in the Mantaro Valley, one of the main economic activities, as indicated in the 2017 National Census, the agricultural sector shows the agricultural strength of the Junín region, with an agricultural area of 2 370 582.58 hectares and 120 thousand 312 agricultural producers, where the province of Huancayo concentrates the largest number of producers over 27 thousand which constitutes 22.4% of the total. One of the main sources of irrigation is the waters of the Mantaro River, both on the right and left banks, and a major problem is water pollution caused by metallurgical mining companies that emit heavy metal waste and domestic wastewater, with a high degree of turbidity, which contaminates the production of agricultural products in the Mantaro Valley. On the other hand, the increase in temperature caused by climate change increases the temperature of irrigation water, reducing the yield of agricultural production of different crops such as potatoes, carrots, artichokes, quinoa, corn, wheat, beans, peas, pastures and some vegetables. The objective of this research is to implement a real-time monitoring system

based on IoT to measure the temperature of irrigation water, measure the hydrogen potential (pH) and measure the NTU of the turbidity of irrigation water, for which prototypes were built with the ability to measure these variables.

Keywords: monitoring, real time, internet of things, temperature, hydrogen potential, turbidity, IoT.

1 Introducción

Según el III Censo Nacional Agropecuario del Instituto Nacional de Estadística e Informática el sector agropecuario muestra la fortaleza agrícola de la región Junín, con una superficie agraria de 2 370 582.58 hectáreas y 120 mil 312 productores agropecuarios, donde la provincia de Huancayo concentra la mayor cantidad de productores superior a los 27 mil que constituye el 22,4% del total.

Siendo una de las fuentes principales de riego las aguas del río Mantaro, tanto por la margen derecha y margen izquierda, y teniendo como un problema álgido la contaminación de sus aguas ocasionado por las empresas mineras metalúrgicas que emiten residuos de metales pesados y de las aguas residuales domésticas, teniendo un alto grado de turbidez, los cuales contaminan la producción de los productos agrícolas del valle del Mantaro. [Ajith et al. \(2020\)](#) argumentan que la utilización de productos químicos perjudiciales en la industria y la agricultura provoca una grave contaminación del agua porque se vuelcan directamente en los ríos, lagos y estanques adyacentes sin ser tratados para separar toxinas y compuestos nocivos.

El incremento de la contaminación del agua viene afectando gravemente a la vida marina y sus hábitats; por otro lado, las personas sumidas en la pobreza que no tienen acceso a agua potable limpia se ven obligados a beber agua sin tratar, lo que los hace vulnerables a las enfermedades relacionadas con el agua que afectan su salud; así mismo, la evaporación acelerada de los estanques es causada por actividades humanas como la eliminación de aguas residuales y el escurrimiento de fertilizantes de las tierras agrícolas. Debido a la escasez de agua en diversos países, la gestión de este elemento vital es fundamental; así mismo, esta consideración también debe tenerse en cuenta para la agricultura ya que gran cantidad de agua es usada para este fin; por otro lado, los posibles efectos del calentamiento global exigen la consideración de la creación de medidas de adaptación hídrica para garantizar la disponibilidad de este vital elemento para la producción y consumo de elementos; en efecto, los estudios predestinados a ahorrar la utilización del agua en el proceso de riego se han

incrementado a lo largo de los años.

Dado la creciente contaminación del agua causada por la acción humana y los desastres naturales, los sistemas de monitoreo del agua es un punto de interés de la sociedad, y el surgimiento de la automatización representa un potencial para distintas aplicaciones relacionadas con el agua; así mismo, con el surgimiento del big data hoy en día se cuentan con diversas técnicas para los estudios relacionados con la calidad del agua, el riego inteligente y la red inteligente de distribución del agua, todo ello es posible si se disponen de datos precisos en tiempo real.

El Internet de las cosas (IoT) en la actualidad permite una mejor gestión de los cultivos, una gestión de recursos mucho más óptima, una agricultura con mayor rentabilidad, calidad y cantidad perfeccionadas, monitoreo de cultivo y de los campos entre otros beneficios; todo ello, gracias a la disponibilidad de los distintos sensores IoT entre los que destacan el sensor de temperatura del aire, el sensor de pH del suelo, el sensor de humedad del suelo, el sensor de turbidez del agua, el sensor de volumen de agua, etc.

Según el decreto supremo N° 015-2015-MINAM, indica en el numeral 22 del artículo 2 de nuestra constitución política se establece que toda persona tiene derecho a desarrollarse en un ambiente equilibrado. Y teniendo en cuenta el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental de proteger el ambiente, así como a sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas de manera particular y grupal, la preservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país. Teniendo en cuenta estos 2 ítems, el MINAM establece las precisiones de las Categorías de los estándares nacionales de la calidad del agua (ECA) para agua. Aquí se considera la categoría tres, Riego de vegetales y bebida de animales, y en la subcategoría D1 los parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y alto, donde se indica los parámetros del potencial de hidrógeno (pH) y la temperatura del

agua de riego.

El río Mantaro en su recorrido de norte a sur en la región Junín recibe considerables cantidades de agua residuales tanto de las empresas minero metalúrgicas como de las viviendas, por lo que se hace imprescindible monitorear sus aguas para su uso en las actividades agrícolas del Valle del Mantaro. Para monitorear los parámetros del agua de riego se utiliza las tecnologías inteligentes basado en Internet of Things (IoT) que permiten alcanzar este objetivo. En esta investigación se monitoreó los parámetros del agua de riego como la temperatura, el potencial de hidrógeno (pH) y la turbidez, se consideraron 4 meses de monitoreo agosto, septiembre, octubre y noviembre, tres mediciones diarias en diferentes horarios, para lo cual se elaboró un prototipo que cuenta con sensores para este fin.

Dedkshath et al. (2018) publicaron el artículo titulado IoT Based Environmental Monitoring System using Arduino UNO and Thingspeak, en el que de manera general indican que, el cambio climático ha incrementado la importancia del monitoreo ambiental; así, para establecer la calidad del medio ambiente se hace imprescindible un seguimiento continuo de los parámetros ambientales; en tal sentido, para el desarrollo de esta investigación se ha considerado la tecnología IoT por ser la más emergente ya que la misma cumple un rol determinante en la recolección de información de la unidad de detección, la misma que se compone de distintos sensores como temperatura, humedad, etc., para este proyecto se ha utilizado un módulo Wi-Fi Arduino UNO que ha permitido el procesamiento y la transferencia de los datos detectados a la nube Thingspeak; de este modo, los parámetros admitidos se almacenaron en la plataforma en la nube (Thing habla); así mismo, los cambios en el medio ambiente han sido actualizados en forma de base de datos mediante el método de computación en la nube, la herramienta Thing Speak también posibilita una función para introducir un canal público que permite ser visto por cualquier usuario; finalmente también, se ha creado una aplicación Android que hizo posible el acceso directo a los parámetros medidos.

Kumar y Shekar (2018) en su artículo titulado Water Quality Monitoring System using IoT and Machine Learning, señalan que en el Foro Económico Mundial se ha clasificado como un riesgo global a la crisis del agua potable debido a que, por día mueren aproximadamente 200 niños; así mismo, el solo hecho de beber agua no potable origina alrededor de

3 millones de muertes anualmente; por otro lado, a pesar de los avances tecnológicos se tienen dificultades para medir la calidad del agua porque son insuficientes las métricas utilizadas para este fin; en tal sentido y motivados por el problema expuesto anteriormente, han propuesto el desarrollo de un sistema de monitoreo de la calidad del agua costo reducido que usa tecnologías recientes como el internet de las cosas, aprendizaje automático y computación en la nube que se presentan como una muy buena alternativa para reemplazar la forma convencional de monitoreo de la calidad del agua; ello con el fin de, evitar el padecimiento de enfermedades delicadas como fluorosis, deformidades óseas, etc. de los habitantes de las zonas rurales, este modelo también ha tenido la capacidad de controlar la temperatura del agua y calibrarla para adecuarse a la temperatura ambiente, de acuerdo al modelo elaborado se ha logrado una puntuación R-cuadrada de 0,933

Contreras et al. (2018) han publicado su artículo Construcción de un Sistema de Adquisición y Transmisión Remota de la Calidad del Agua Basado en el Internet de las Cosas (IoT) para la acuicultura, cuyo objetivo ha sido proponer el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto de calidad del agua para la acuicultura basado en IoT y que ha sido construido utilizando el kit de desarrollo de bajo costo NodeMCU; así mismo, este sistema funcionando en modo de bajo consumo de energía ha mostrado la capacidad de recoger y proteger datos en una memoria micro-SD y transmitirlo mediante wifi (802.11 b/g/n) a un terminal de supervisión y monitoreo, las mediciones de los siguientes parámetros: 1) pH, 2) Oxígeno Disuelto (OD), 3) Temperatura del agua, 4) Nivel del agua, 5) Radiación solar, 6) Humedad relativa y 7) Temperatura del aire.

Este sistema ha sido probado en una estancia acuícola productora de cachamas y tilapia y los datos obtenidos se comprobaron con los adquiridos con procesos de medición normalizados de laboratorio a partir del cual se ha determinado que el sistema propuesto es robusto, confiable y sencillo de implementar a un costo reducido.

Dasgupta et al. (2019) han elaborado el artículo titulado Smart irrigation: IOT-based irrigation monitoring system, que detalla la ejecución de un proyecto que ha tenido como objetivo monitorear de manera autónoma los sistemas de riego en fincas grandes y pequeñas para eliminar los sistemas manuales asociados con problemas de responsabilidad individual y desconocimiento de los trabajadores del

campo; inclusive a veces, las personas con experiencia no pueden garantizar la cantidad de fertilizante o agua que deben usarse para lograr el máximo rendimiento; por lo tanto, el sistema propuesto en este proyecto controlará la temperatura, la humedad, la humedad del suelo y otros factores físicos, como la presencia de contaminantes primordiales en el aire, como PM2.5, PM10, CO, NOx; finalmente, los factores y el rendimiento del cultivo se han comparado con el conjunto de datos de encuestas preliminares y se ha intentado predecir si es necesario el riego o no, para que con la ayuda de dicha información, se determine la tasa de liberación de agua de las bombas y de esta manera se alimente a un sistema de micro-controlador que supervisa y controla el sistema de riego en su totalidad.

García et al. (2020) han publicado el artículo denominado IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture, en el que indican que los sensores comerciales típicos para sistemas de riego agrícola son considerablemente costosos, lo que impide que los pequeños agricultores implementen este tipo de sistema; sin embargo, en la actualidad se fabrican sensores de bajo costo que se pueden acoplar a nodos para implementar sistemas adecuados para la gestión del riego y el monitoreo de la agricultura; ello debido a que, el reciente desarrollo de las tecnologías IoT y WSN que tienen aplicación en estos tipos de sistemas, en este estudio se ha presentado una encuesta destinada a resumir el estado actual del arte referente a sistemas de riego inteligentes; del mismo modo, han determinado que los parámetros que se monitorean en los sistemas de riego están relacionados con la cantidad y calidad del agua, características del suelo y condiciones climáticas; también, han realizado una descripción general de los nodos y tecnologías inalámbricas más usados, detallando los retos y las mejores prácticas para la ejecución de sistemas de riego basados en sensores.

1.1 Tecnología de Internet de las Cosas (IoT)

Kamal et al. (2019) aseveran que, la tecnología IoT es utilizado en diversos campos de investigación para monitorear, recopilar y analizar datos desde ubicaciones remotas, así mismo indican que, a medida que aumenta la cantidad de datos, los procedimientos de monitoreo se convierten en importantes factores de decisión; de este modo, los sensores basados en Internet de las Cosas (IoT) pueden considerarse

una solución para el monitoreo efectivo de la calidad del agua.

El internet de las cosas se refiere a un nuevo tipo de mundo en el que casi todos los dispositivos y artefactos que utilizamos están conectados a una red; por lo tanto, se pueden usar juntos para realizar actividades complejas que requieren una gran inteligencia, para dicha inteligencia e interconexión, los dispositivos IoT se componen de sensores, actuadores, procesadores y transceptores integrados. PandaBhatnagar2020a confirman que el internet de las cosas (IoT) hace posible la conexión de varios objetos (ordenadores, móviles, sensores, coche, cámara, electrodomésticos, etc.), dicha interconexión se da gracias a los protocolos instaurados o determinados de Internet, con el fin de integrar múltiples tecnologías y analizarlos en tiempo real, permite también la compilación e intercambio de datos a través de una red sin el requerimiento de la interacción de persona a persona o de persona a computadora, todo ello con la finalidad de obtener una solución inteligente frente a cualquier problema.

1.2 Computación en la nube

La computación en la nube constituye un modelo para el acceso bajo demanda a un grupo compartido de recursos configurables (Ordenadores, servidores, redes, unidades de almacenamiento, aplicaciones, software, etc.); así mismo indican que, distintas aplicaciones del IoT necesitan de un gran almacenamiento de datos, elevada velocidad de procesamiento para alcanzar la toma de decisiones en tiempo real y redes de banda ancha de alta velocidad para la transferencia de datos, audio o vídeo; por lo que, señalan que la computación en la nube ofrece la solución ideal para el conducción de grandes flujos de datos y su respectivo procesamiento para una cantidad sin precedentes de unidades IoT y de personas en tiempo real.

La computación en la nube constituye un elemento esencial en IoT; de forma similar que una red de computadoras, la computación en la nube hace posible la reducción de los costos al extender los recursos existentes; entonces, la diferencia es que en la computación en la nube, una aplicación no ingresa directamente a estos recursos; de lo contrario, el ingreso es de forma indirecta mediante un servicio, que a su vez hace uso de los recursos físicos requeridos para proporcionar una respuesta a la aplicación; por otro lado dice que, el trabajo en la nube es pri-

mordial cuando las tareas requieren una potencia informática considerable; es decir, es la elección lógica cuando el tiempo para obtener información no es significativo.

1.3 Sensores

Karvinen y Karvinen (2014) manifiestan que, los sensores son dispositivos eléctricos que funcionan como elementos de entrada; pero, no todas las entradas son verdaderamente sensores; pero si, una considerable parte de las entradas emplean sensores; por ejemplo, el mouse, un teclado o el panel táctil de un ordenador, o inclusive una cámara web; no son sensores, pero evidentemente utilizan sensores en su diseño, además y de manera eventual, se puede considerar a los sensores como una unidad para medir un estímulo externo al sistema en el que se encuentra (su entorno), luego los datos de salida se basan en la medición.

Salazar y Silvestre (2017) arguyen que, los sensores constituyen unidades fundamentales en la arquitectura del Internet de las cosas, entre las primordiales características de estos dispositivos es que los datos que recopilan pueden ser admitidos a cientos de millas de distancia y su aplicación se presenta en varios sectores de la industria que van, desde la salud hasta la construcción; también, los sensores tienen una indudable ventaja de poder anticiparse a las necesidades de la humanidad en base a la información almacenada acerca de su entorno; asimismo, su inteligencia representada por un gran número de redes permite no sólo advertir sobre el entorno, sino también tomar decisiones sin la intervención del ser humano.

1.4 Medición de la Turbidez

Piamba-Mamian et al (2021) replica que Nephelometric Turbidity Unit (NTU) es la unidad de medición de la turbidez en un líquido y las unidades están dadas en mg/L o PPM (partes por millón). Un sensor de PH se usa para determinar la acidez o alcalinidad de la solución Loganathan et al. (2019); el pH es la concentración de iones de hidrógeno en la solución y que una solución que contiene más iones H^+ permanece ácida, mientras que la solución que contiene más iones OH^- permanece alcalina; así mismo, el valor de pH de las soluciones oscila entre 1 y 14, una solución con un valor de pH de 1 será muy ácida y con un valor de pH de 14 será muy básica; por otro lado,

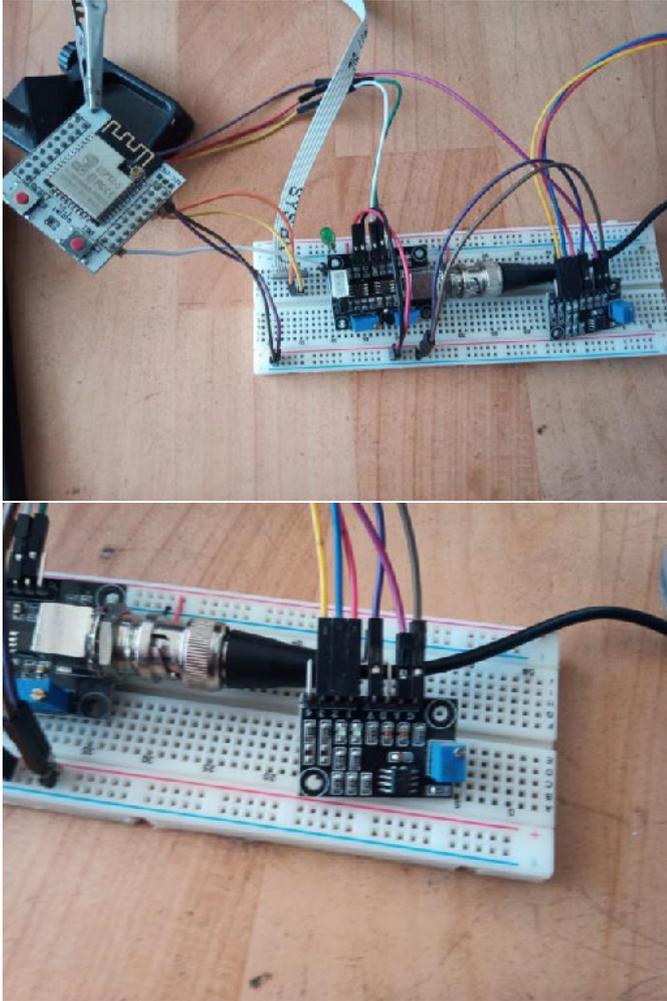
la acidez y alcalinidad de cualquier solución depende de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) e iones de hidroxilo (OH^-) respectivamente.

Por otro lado, un sensor de turbidez se emplea para la evaluación del nivel de agua de ríos y arroyos, mediciones de eficiencia y aguas residuales, equipo de gestión de estanques de sedimentación, estudios de transporte de sedimentos también se hallan en centros de experimentos para realizar mediciones pertinentes (2019).

El Potencial de hidrógeno (pH) es una medida de la acidez es el potencial de hidrógeno (pH) e indica la concentración de iones hidronio (H_3O^+) en ciertas soluciones, su medición se realiza mediante potenciometría a través de un electrodo conocido como medidor de pH; sin embargo, se pueden utilizar sensores multiparamétricos, estos dispositivos registran otras variables como la temperatura, el amoníaco y los niveles de oxígeno disuelto.

1.5 Análisis de agua para riego

Si el agua cumple con sus funciones básicas hacia la planta garantizando su rendimiento sin causar efectos perjudiciales, entonces se considera que es un agua de buena calidad para el riego agrícola; por lo tanto, la calidad del agua de riego está relacionada con los tres elementos: suelo-agua-planta, porque además de considerar el efecto sobre la nutrición de las plantas, también se considera el efecto de la calidad del agua sobre el equilibrio del suelo. Con respecto al pH dice que, el suelo con una elevada concentración de iones de hidrógeno [H^+] se considera ácido y el suelo con una baja concentración se considera alcalino (básico); así mismo afirma que, el pH del suelo suele encontrarse en el intervalo entre 4.0 y 9.0. Los suelos con un pH entre 6.0 y 7.5 causan menos problemas para las plantas debido a que, la solubilidad de los nutrientes de las plantas suele ser más alta en ese rango. Si el valor de pH se desvía de este rango, puede haber problemas con la asimilación de nutrientes. Luego concluye que, si el pH del agua es menor a 7,0 se considera ácida (posee una mayor concentración de iones H^+), si el pH es igual a 7,0 se considera neutro y, si el pH es mayor que 7,0 sería básico (la concentración de iones H^+ es menor); por otro lado, la medida del pH también depende de la relación suelo/agua, porque al incrementar la cantidad de pH en el agua se incrementa el pH del suelo. Moreno y Peñaranda (2016) citan a Leiva (2010) quien indica que el pH constituye una

Figura 1*Componentes Para Medición de Calidad del Agua de Riego*

Ambos prototipos fueron construidos para realizar la medición de factores asociados a la calidad de agua de riego para el cultivo de papa; dichas mediciones se han realizado en tiempo real considerando 03 mediciones diarias comprendidas entre los meses de agosto y diciembre del año 2022; así mismo el resultado de cada medición de turbidez, pH y temperatura fueron enviados al servidor web conocido como "thingspeak.com" dichos resultados han sido posteriormente estudiados.

Para la construcción de los prototipos se han necesitado de la placa de desarrollo o DEVKIT V1 NodeMCU-32 que permite la elaboración de modelos físicos de manera inmediata de proyectos con internet de las cosas (IoT), como en esta investigación; asimismo, esta placa contiene una placa SoM ESP-WROOM-32 cuya base es el SoC ESP32, el convertidor USB-serial CP2102 imperioso para la programación mediante USB el ESP32, reguladores de voltaje y leds

indicadores; es preciso también señalar que, la plataforma ESP32 es el progreso del ESP8266 optimizando sus capacidades de comunicación y procesamiento computacional.

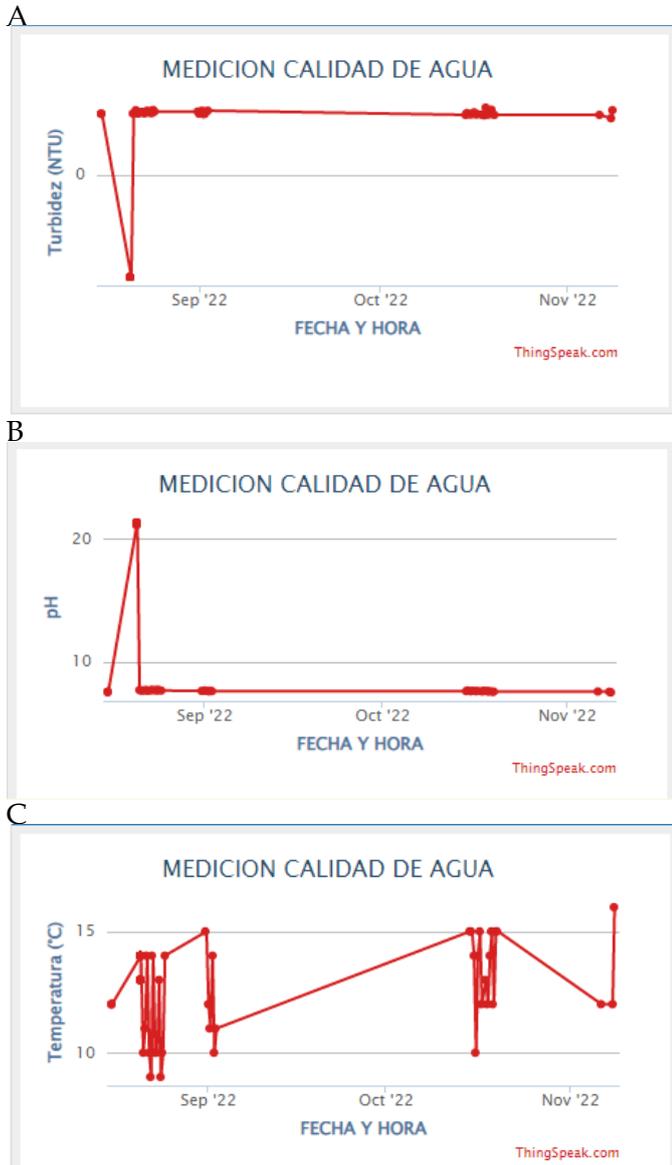
Con lo que respecta a la conectividad es posible considerar diversos protocolos de comunicación entre los que destacan: WiFi, Bluetooth y BLE; con respecto al procesamiento, la inclusión de su CPU 32-bit de dos núcleos de hasta 240Mhz le permite tener un control de forma independientemente; algo muy importante de esta plataforma es, la inclusión interna de una gran cantidad de periféricos para la conexión con: sensores táctiles capacitivos, sensor de efecto Hall, amplificadores de bajo ruido, interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C y su aplicación es muy diversa como en la implementación de Mini Servidores Web, Procesamiento digital, Webcams, Cámara IP, Robótica móvil, Domótica, etc

3 Resultados

3.1 Captura de datos de turbidez, pH y temperatura

Para la Captura de datos de turbidez, pH y temperatura del agua de riego en tiempo real se recurrió al entorno ThingSpeak donde se ha creado un canal, donde se ha realizado tres lecturas por día entre el 01 de agosto y el 03 de diciembre de 2022, el comportamiento de los datos se muestran en la figura

Figura 2
Comportamiento de Turbidez, pH y Temperatura del Agua de Riego



Nota. A) Turbidez, B) pH, C) Temperatura

Luego de la de datos de turbidez, pH y temperatura del agua de riego se organizaron los mismos de tal modo de que para cada uno de los factores asociados a la calidad de agua de riego considerando el promedio diario en cada caso.

3.2 Descripción de datos de turbidez, pH y temperatura

De acuerdo a los datos de la tabla 3, la turbidez del agua de riego se encuentra entre los valores de 2.4800 y 2.7867 NTU; así mismo, al tenerse una asimetría positiva se puede afirmar que la mayoría

de los valores son menores a la media de 2.6286; de igual modo, la concentración de los valores de la turbidez es ligeramente baja.

En cuanto al pH del agua de riego, se encontró valores entre 7.423 y 7.683; así mismo, al tenerse una asimetría negativa se puede afirmar que la mayoría de los valores del pH son mayores a la media que 7.592; de igual modo, la concentración de los valores de del pH es ligeramente elevada.

Por otra parte, la temperatura del agua de riego se encontró entre valores de 12.00 y 24.33°C; así mismo, al tenerse una asimetría positiva se puede afirmar que la mayoría de los valores de la temperatura son menores a la media que 14.74°C; de igual modo, la concentración de los valores de temperatura es ligeramente elevada.

Tabla 3
Descriptivos de Turbidez, pH y Temperatura

Estadístico	Turbidez	pH	Temperatura
Media	2.629	7.592	14.740
Error típico	0.007	0.005	0.270
Mediana	2.627	7.607	13.330
Moda	2.500	7.597	12.670
Desviación estándar	0.080	0.060	3.010
Varianza muestral	0.006	0.004	9.090
Curtosis	-1.038	0.740	0.090
Asimetría	0.143	-1.255	1.170
Rango	0.307	0.260	12.330
Mínimo	2.480	7.423	12.000
Máximo	2.787	7.683	24.330
Suma	328.580	948.948	1842.000

4 Discusiones

En concordancia con lo indicado por Kumar y Shekar (2018) en su artículo titulado Water Quality Monitoring System using IoT and Machine Learning, esta investigación también ha considerado tecnologías asociadas al internet de las cosas y computación en la nube. Los valores de asimetría y concentración de datos obtenidos individualmente para los parámetros de turbidez, pH y temperatura nos indican que se tratan de variables que tienden a una distribución normal, lo cual deberían considerarse en otros estudios si así se requiere.

Los valores correspondientes al pH del agua de riego en todo momento se mantuvieron dentro de los límites recomendados según el Decreto Supremo No. 015-2015-MINAM (2015), la Categoría 3: Riego

de Vegetales para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA); por otro lado, teniendo en cuenta lo indicado por Loganathan et al. (2019) en su artículo titulado IoT based water and soil quality monitoring system, en esta investigación los valores obtenidos para el pH en todos los casos está comprendido entre 1 y 14; por lo tanto, se puede indicar que dichos valores han permitido tener la acidez y alcalinidad estables.

Otro estudio ha tenido en cuenta la temperatura del agua de riego como parámetro a ser medido ya que afecta de manera directa a la temperatura del suelo y de las plantas, cambiando su sistema térmico en función del sistema de riego, el tiempo de riego y el origen del agua empleada Heredia (2001); en esta investigación se ha observado, con respecto

a los valores de temperatura que en los meses de octubre a diciembre los valores monitoreados no se encontraban dentro del rango recomendado por Sanabria (2002) quien considera los valores de temperatura crítica y óptima para diferentes cultivos.

En base a lo expresado por Kumar y Shekar (2018) en su artículo titulado Water Quality Monitoring System using IoT and Machine Learning, sería recomendable incluir las técnicas de aprendizaje automático y otras tecnologías recientes, que no han sido tomado en cuenta en este estudio y que permitan optimizar el monitoreo de la calidad del agua ya que son insuficientes las métricas utilizadas para este fin; además ello permitiría que, dichos parámetros sean calibrados adecuadamente y así garantizar una buena producción del sector agrícola.

Referencias

- Ajith, J. B., Manimegalai, R., & Ilayaraja, V. (2020). An IoT Based Smart Water Quality Monitoring System using Cloud. *2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (Ic-ETITE)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/ic-ETITE47903.2020.450>
- Contreras, C., Molina, J. A., Osmá, P., & Zambrano, D. (2018). Construcción de un sistema de adquisición y transmisión remota de la calidad del agua basado en el Internet de las cosas (IoT) para la acuicultura. *LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: 16*, 7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.367>
- Dasgupta, A., Daruka, A., Pandey, A., Bose, A., Mukherjee, S., & Saha, S. (2019). Smart Irrigation: IOT-Based Irrigation Monitoring System. En M. Chakraborty, S. Chakrabarti, V. E. Balas & J. K. Mandal (Eds.), *Proceedings of International Ethical Hacking Conference 2018* (pp. 395-403). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1544-2_32
- Dedkshath, R., Dharanya, P., Dimpil K., K., Deepak, G., & Shanthini, S. (2018). IoT Based Environmental Monitoring System using Arduino UNO and Thingspeak. *International Journal of Science Technology & Engineering*, 4(9), 8.
- García, L., Parra, L., Jiménez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. *Sensors*, 20(4), 1042. <https://doi.org/10.3390/s20041042>
- Karvinen, K., & Karvinen, T. (2014, 23 de septiembre). *Getting Started with Sensors: Measure the World with Electronics, Arduino, and Raspberry Pi*.
- Kumar, N., & Shekar, P. (2018). Water Quality Monitoring System Using IoT and Machine Learning. *2018 International Conference on Research in Intelligent and Computing in Engineering (RICE)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/RICE.2018.8509050>
- Loganathan, G. B., Mohan, E., & Kumar, S. (2019). IoT based water and soil quality monitoring system. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(2), 5.
- Sanabria, J. (2002). Impacto del evento niño en la agricultura peruana campaña 2002-2003. *Repositorio Institucional - SENAMHI*. Consultado el 20 de diciembre de 2023, desde <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/465>
- Accepted: 2020-08-04T01:21:24Z.



Generador de vapor seco ecológico para contrarrestar la COVID-19 en la ciudad de Huancayo

Ecological dry steam generator to counteract COVID-19 in the city of Huancayo

Calcina, Armando F.¹; Quilca, Juan A.¹ y Garay, Ercilio J.¹

¹Facultad de Ingeniería Mecánica,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

Cómo referenciar:

Calcina, A. F., Quilca, J. A. y Garay, E. J. (2023). Generador de vapor seco ecológico para contrarrestar la COVID-19 en la ciudad de Huancayo. *Prospectiva Universitaria*, 20(01), 40-47. <https://doi.org/10.26490/uncp>

Resumen

Se buscó construir y evaluar un generador de Vapor Seco Ecológico para Contrarrestar la COVID-19 en la ciudad de Huancayo. Este sistema ayuda a disminuir el riesgo de contagio de enfermedades provocadas por virus y bacterias. Correspondió a una investigación de tipo tecnológica de nivel aplicativo. El producto fue un generador de Vapor Seco Ecológico, diseñado para disminuir la carga de microorganismos de la superficie externa de las personas mediante un sistema de producción de vapor seco de plantas medicinales como el eucalipto, kion, ajos y otros que se cultivan o crecen de forma silvestre en nuestra zona y que son recomendadas por la medicina complementaria para fortalecer nuestro sistema inmune y tratar con éxito los síntomas de infecciones respiratorias como el coronavirus. El vapor seco generado en el ambiente cerrado actúa como desinfectante sin mojar, permitiendo al vapor seco actuar superficialmente en las prendas de vestir disminuyendo así la probabilidad de transmisión o contagio de enfermedades como el caso del COVID-19, de una persona a otra o de una persona a una superficie y evitar la contaminación cruzada. Los resultados obtenidos es que el generador de vapor seco, se encuentra dentro de los valores de temperatura y presión requeridas para generar el vapor seco ecológico que tiene poder de saneamiento matando a los microorganismos y a las bacterias, contrarrestando así, la COVID-19 en nuestra región.

Palabras clave: generador, vapor seco, ecológico, coronavirus, eucalipto.

Abstract

We sought to build and evaluate an ecological dry steam generator to counteract COVID-19 in the city of Huancayo. This system helps to reduce the risk of contagion of diseases caused by viruses and bacteria. It corresponded to a technological research of applicative level. The product was an Ecological Dry Steam generator, designed to reduce the load of microorganisms on the external surface of people through a system of dry steam production of medicinal plants such as eucalyptus, kion, garlic and others that are cultivated or grow wild in our area and are recommended by complementary medicine to strengthen our immune system and successfully treat the symptoms of respiratory infections such as coronavirus. The dry steam generated in the closed environment acts as a disinfectant without wetting, allowing the dry steam to act superficially on clothing, thus decreasing the probability of transmission or contagion of diseases such as COVID-19, from one person to another or from one person to a surface and avoiding cross-contamination. The results obtained are that the dry steam generator is within the temperature and pressure values required to generate the ecological dry steam that has sanitation power killing microorganisms and bacteria, thus counteracting the COVID-19 in our region.

Keywords: generator, dry steam, environmentally friendly, coronavirus, eucalyptus.

1 Introducción

La principal forma de propagación del virus conocido comúnmente como coronavirus de Wuhan es a través del aire, mediante diminutas gotas generadas al toser o estornudar una persona infectada. Además, puede transmitirse por contacto de las manos con los ojos, la nariz o la boca al haber tocado superficies contaminadas.

Según un estudio de laboratorio, se ha observado que el coronavirus puede permanecer viable en distintas superficies durante cierto tiempo, como unas horas en el cobre y hasta por más días en superficies plásticas o aceros. Los dispositivos de vapor, también conocidos como equipos de limpieza por vapor, se emplean en diversas aplicaciones para limpiar superficies de variados materiales.

Estos sistemas se fundamentan en la efectividad del vapor para eliminar la grasa y, además, contribuyen al ahorro de espacio en la línea de producción, lo que conlleva ventajas logísticas significativas. Los generadores de vapor presentan una eficacia notable en el proceso de desinfección gracias a la capacidad del vapor para eliminar bacterias y gérmenes, entre otros usos. Además, el sistema de limpieza por vapor saturado posibilita trabajar de manera continua sin requerir mano de obra adicional.

Nuestra intensión alcanza a proponer un sistema de prevención como es la construcción y utilización de un generador de vapor seco ecológico de plantas medicinales como el eucalipto entre otros. Como medida de prevención para contrarrestar la transmisión del covid-19 en nuestra ciudad.

Esta tecnología se considera una solución efectiva para limpiar y desinfectar ambientes y superficies del virus del Covid-19, dado que la mayoría de los virus, incluyendo este, tienen dificultades para sobrevivir a temperaturas superiores a 27°C. Este proceso requiere la producción de vapor saturado o vapor seco, de plantas medicinales entre ellas el eucalipto.

Este proceso es muy efectivo, pero a veces demasiado lento para tratar grandes áreas. La limpieza con Vapor saturado que exporta esta invención como es el recipiente generador de vapor saturado con plantas medicinales y principalmente del eucalipto que explota las características del vapor saturado hemos desarrollado un método muy efectivo para desinfectar ambientes y superficies de Covid-19, por lo que le llamaremos limpieza ecológica

La limpieza ecológica implica realizar una limpieza exhaustiva aprovechando de manera eficien-

te todos los recursos disponibles. En este contexto, se busca una sinergia entre estos recursos. La premisa fundamental de la limpieza ecológica consiste en minimizar el uso de agua y productos químicos, realizar tareas con un esfuerzo físico reducido y maximizar la eficacia del calor generado mediante la producción de vapor saturado. El Vapor Saturado también puede eliminar hongos, bacterias y virus, siendo ventajas del Vapor Seco o vapor saturado (Hoffmann, 2016).

El vapor seco es el resultado de transformar el agua de su estado líquido a su forma gaseosa sin presencia de humedad visible. Esto se logra elevando la temperatura del agua hasta alcanzar los 100 grados centígrados a nivel del mar, momento en el cual el agua hierve y se convierte en vapor.

A mayor altitud geográfica, el agua puede hervir a temperaturas inferiores, alrededor de 92 grados Celsius debido a la disminución de la presión atmosférica. En nuestro sistema, el proceso para generar vapor seco implica calentar el agua dentro de un recipiente sellado hecho de aluminio o acero inoxidable. Al presurizar el vapor dentro de este recipiente y evitar que escape, la temperatura del vapor aumenta, esto es lo que llamamos «Vapor Seco» o «Vapor Saturado».

El propósito del generador de vapor seco Ecológico de plantas medicinales entre ellas obtener el vapor de las hojas del eucalipto para ello presenta dispositivos que permiten mantener condiciones óptimas de vapor seco tales como la temperatura, humedad, presión con característica de reducido del consumo de agua, ahorro en productos químicos y tiempo, ya que el Vapor Saturado llega a prácticamente cualquier rincón y lugar de difícil acceso, fácil de usar, máximos resultados con el mínimo esfuerzo y sin químicos agresivos que dañan el medio ambiente (Montoya, 1995).

1.1 Generadores de vapor seco o vapor saturado móviles

Citando como ejemplo a los generadores de vapor seco REA Steam Leasing son útiles para todas las operaciones de limpieza y desengrasado industrial, limpieza, desengrasado y saneamiento en el ámbito alimentario, farmacéutico y cosmético. (REA) Los generadores de vapor se utilizan también para limpiar y esterilizar sitios públicos, hospitales, medios de transporte público, y todos los alojamientos turísticos. El vapor saturado, también conocido como

«vapor seco», describe el estado en el cual un fluido se encuentra en equilibrio (vapor). En este estado, el vapor tiene la máxima cantidad de vapor a una presión y temperatura específicas sin experimentar cambios en esas condiciones (Rodríguez, 2010).

En otras palabras, no hay variaciones de presión o temperatura mientras el líquido y el vapor permanecen en equilibrio. Este tipo específico de vapor se produce mediante calderas que generan vapor a temperaturas que oscilan entre los 140°C y 180°C, a presiones que van desde 6 hasta 10 bar. En estas condiciones, el vapor generado contiene alrededor del 5% de micro gotas de agua. El “vapor seco” se destaca como una opción superior que proporciona una limpieza segura y eficiente al eliminar microorganismos, al mismo tiempo que respeta el medio ambiente. Entre las principales características de los generadores con vapor saturado están:

La limpieza se vuelve altamente efectiva gracias al poder del vapor saturado; este método conlleva un consumo mínimo de agua, aproximadamente desde 15 litros por hora.

- El equipo realiza la limpieza, desinfección y secado en un solo ciclo.
- Se trata de un sistema de limpieza sumamente versátil, ya que los generadores son móviles, permitiendo la realización de limpiezas in situ.
- La presión del vapor alcanza los 12 bar, la temperatura en la caldera es de 188 °C y la temperatura en la boquilla es de 150 °C.
- El vapor saturado, que contiene aproximadamente un 5% de agua, aporta consistencia al vapor, lo que mejora el efecto de limpieza mecánica.

1.2 Porcentaje de Sequedad

Este se utiliza para medir la cantidad de agua presente en el vapor. Cuando el vapor contiene un 10% de agua en masa, se dice que es un vapor 90% seco, lo que equivale a tener un porcentaje de sequedad de 0.9. La sequedad del vapor es fundamental, ya que incide directamente en la cantidad de energía transferible que el vapor puede transportar, generalmente expresada como calor latente.

Sequedad del Vapor = 100% - % de contenido de Agua.

1.3 Calor del Vapor Húmedo

Las tablas de vapor generalmente contienen valores específicos para propiedades termodinámicas como la entalpía (h), el volumen específico (v), la entropía (s), entre otros, para el vapor saturado (100% seco) y para el agua saturada (0% de sequedad). Sin embargo, estas tablas suelen carecer de datos para el vapor húmedo, que es aquel que tiene un porcentaje intermedio de humedad entre el vapor saturado y el agua saturada, el cual se pueden calcular de la siguiente manera:

$$V = X \times V_g + (1 - X) \times V_f \quad (1)$$

Donde V es volumen específico, V_f es volumen Específico del Agua Saturada, V_g es volumen específico del Vapor Saturado.

La expresión « $X = \frac{\%}{100}$ de sequedad», indica que el porcentaje de sequedad se representa como un valor dado en porcentaje dividido por 100, lo que la convierte en una fracción.

Por otro lado, la entalpía Específica (h) del Vapor Húmedo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$h = h_f + X \times h_{fg} \quad (2)$$

La expresión « $X = \frac{\%}{100}$ de sequedad» indica que el porcentaje de sequedad (X) se representa como un valor dado en porcentaje dividido por 100, lo que la convierte en una fracción, asimismo h_f es la entalpía Específica del Agua Saturada, h_{fg} es la entalpía específica del vapor y agua saturada.

La entropía específica (s) del vapor húmedo se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$s = s_f + X \times s_{fg} \quad (3)$$

Donde s_f es la entropía específica del agua saturada, s_{fg} es la entropía específica del vapor y agua saturada.

La sequedad del vapor es un factor clave para lograr la máxima eficiencia de calentamiento. Suministrar vapor con un alto grado de sequedad, lo más cercano posible al 100%, es fundamental para garantizar una transferencia de calor más eficiente.

Esto se debe a que el vapor más seco contiene más energía transferible en forma de calor latente, lo que aumenta la capacidad de calentamiento y mejora la eficiencia del sistema de calefacción o proceso en el que se utilice el vapor. Por tanto, para alcanzar la máxima eficiencia de calentamiento, es crucial proporcionar vapor con el menor contenido de humedad posible (Bohórquez, 2013).

La esterilización, higiene y desinfección son aspectos fundamentales para combatir la presencia de virus y bacterias, como el COVID-19, el coronavirus y otros patógenos. El uso de vapor saturado se destaca en la limpieza y desinfección in situ, ofreciendo un sistema versátil y dinámico (Damjanović-Vratnica et al., 2011).

Este método es efectivo para la limpieza de depósitos, carros, mesas de trabajo y diversos equipos, ya que elimina cualquier microorganismo vivo. Además, es útil para limpiar cintas transportadoras en la industria agroalimentaria, eliminando suciedad y residuos de manera eficaz.

Los equipos de limpieza con vapor son empleados tanto en fabricantes de cosméticos como en el sector farmacéutico, donde la higiene y desinfección son cruciales para cumplir con altos estándares de seguridad y calidad en la producción (<https://aymsa.com>). Los limpiadores de vapor seco se destacan por su capacidad para limpiar grandes superficies utilizando cantidades mínimas de agua, a menudo una taza o incluso menos, los posiciona como una tecnología incomparable en términos de eficiencia de limpieza (Bohórquez, 2013).

Esta característica los hace superiores a otras alternativas, y su uso no solo beneficia la salud humana al ofrecer una limpieza efectiva, sino que también reduce el impacto ambiental al disminuir el consumo de agua y la necesidad de productos químicos. La vaporización es una de las formas naturales y ecológicas de eliminar grasa, suciedad, polvo y residuos de proteínas.

1.4 Sanitización del covid-19 a través del vapor

El vapor se utiliza para desinfectar ambientes y superficies del Covid-19, la mayoría de los virus en esta condición no sobreviven a temperaturas mayores a 27 °C. Este método implica dirigir un chorro de vapor hacia una superficie cercana, generalmente no más de 10 cm, lo cual resulta muy efectivo, pero puede ser lento para tratar áreas extensas.

Por esta razón, se emplea el vapor como un medio para dispersar un producto específico, permitiendo desinfectar grandes áreas en un tiempo récord. Con esta técnica, se pueden desinfectar eficazmente áreas extensas en muy poco tiempo; por ejemplo, 200 m³ pueden tratarse en tan solo cinco minutos (fuente: REA).

Por otra parte, el vapor seco es un elemento de

limpieza ecológica, gracias al mínimo consumo de agua se viene optimizado con las herramientas adecuadas para hacer trabajos de limpieza ecológica y efectiva (REA).

El vapor seco o saturado ecológico proviene de las plantas medicinales entre ello de las hojas del eucalipto y poder explotar las grandes propiedades curativas de este vegetal como se muestra en la figura 1. En ese sentido producir el vapor seco o saturado se realiza mediante generadores de vapor ya sea de manera industrial de manera doméstica o de forma casera con la finalidad de cumplir los objetivos medicinales naturales para contrarrestar Las causas provenientes del Covid-19.

Figura 1

Sanitización a Través del Vapor



Es muy probable que si se consulta a un individuo de edad avanzada sobre la planta empleada para tratar afecciones respiratorias como la gripe, la tos o el dolor de garganta, su respuesta sea el eucalipto.

El eucalipto se destaca por su habilidad para combatir microorganismos responsables de enfermedades respiratorias, como el resfriado, gracias a su capacidad bactericida. Además, al tener un efecto bacteriostático, puede detener el crecimiento de estos microorganismos. Varios estudios sugieren que el eucalipto tiene la capacidad de eliminar y prevenir el crecimiento de bacterias que suelen encontrarse en la piel o la nariz, como los estafilococos y mycobacterium, entre otros. Los baños de vapor con hojas de eucalipto han demostrado ser beneficiosos para aliviar dolencias asociadas con la artritis o el reumatismo, debido a su efecto antiinflamatorio, que resulta eficaz para reducir los dolores relacionados con estas enfermedades (El Tiempo).

Las hojas de eucalipto poseen cualidades antisépticas que les permiten combatir diversas afeccio-

nes de la piel, como el acné, las irritaciones cutáneas, las heridas, las llagas y los eccemas. Uno de los atributos más destacados y difundidos del eucalipto es su capacidad para despejar y eliminar el exceso de mucosidad que obstruye las vías respiratorias. Por esta razón, las hojas de eucalipto son aliadas eficaces en la lucha contra enfermedades como la tos seca, la bronquitis y la faringitis (figura 2) Es por estos antecedentes la razón primordial de generar el vapor seco de las plantas medicinales como es las hojas del eucalipto sometidas a vapor seco o saturado El eucalipto tiene la capacidad de estimular el correcto funcionamiento del sistema inmunológico y se utiliza como antiséptico y desinfectante en presencia de infecciones virales y bacterianas. Por esta razón, es altamente recomendada para aliviar los síntomas de resfriados y otras afecciones respiratorias. Además, sus propiedades expectorantes, calmantes y antiinflamatorias ayudan a despejar los pulmones y a aliviar la congestión pulmonar (Andina 2021).

El eucalipto no es un tratamiento para curar el COVID-19, pero puede ayudar a aliviar algunos de los síntomas asociados con la enfermedad. Además, tiene propiedades que pueden prevenir infecciones respiratorias causadas por el virus de la influenza, y se ha demostrado su efecto antibacteriano y fungicida según información de El Tiempo. Principalmente, se sugiere el uso del eucalipto para abordar afecciones respiratorias como la gripe, el asma o los resfriados, entre diversas otras enfermedades que afectan las vías respiratorias.

Figura 2

Planta Medicinal de Eucalipto



El árbol de eucalipto es valorado por sus aplicaciones medicinales, especialmente utilizando las hojas de la especie globulus, debido a tres propiedades fundamentales: son antiinflamatorias, antimicrobianas y expectorantes. En el caso de la propiedad antiinflamatoria, al reducir la inflamación, facilita la res-

piración y el proceso respiratorio en general.

En cuanto a su capacidad antimicrobiana, el eucalipto se utiliza para combatir microorganismos, especialmente bacterias, que son responsables de infecciones en las vías respiratorias, tales como bronquitis, sinusitis, traqueítis y resfriados (Agro Bayer). Las propiedades expectorantes del eucalipto provienen de sus hojas, que son altamente fragantes y contienen un aceite esencial compuesto principalmente por eucaliptol.

Este componente es un poderoso mucolítico que ayuda a fluidificar las secreciones en los pulmones, facilitando su expulsión. Además, actúa como antitusivo e inhibe la irritación bronquial, por lo que se recomienda su uso en enfermedades como la bronquitis aguda y crónica para aliviar los síntomas asociados a estas condiciones respiratorias (Agro Bayer).

2 Materiales y métodos

2.1 Método

Las pruebas experimentales de generación de vapor seco de plantas medicinales se evaluaron en la muestra siendo el generador, lo que nos permitió realizar las acciones correspondientes a la presente investigación. Se realizó el análisis físico determinando la presión y vapor saturado. El generador de vapor realiza tres funciones principales: aumentar temperatura, producir humedad y generar vapor seco o saturado de plantas medicinales. Al cual le llamamos vapor seco ecológico.

2.2 Materiales

Para la construcción del generador se utilizó: (a) dos rejillas vaporizadores, (b) tres pernos de 1/8 de pulgada, (c) un empaque de caucho, (d) un recipiente de aluminio, (e) una tapa de cristal, (f) un pitón de sonido a presión, (g) seis tuercas de 1/8" y (h) cuatro sujetadores de presión. La tabla muestra que el generador está constituido por ocho elementos

Tabla 1
componentes del generador

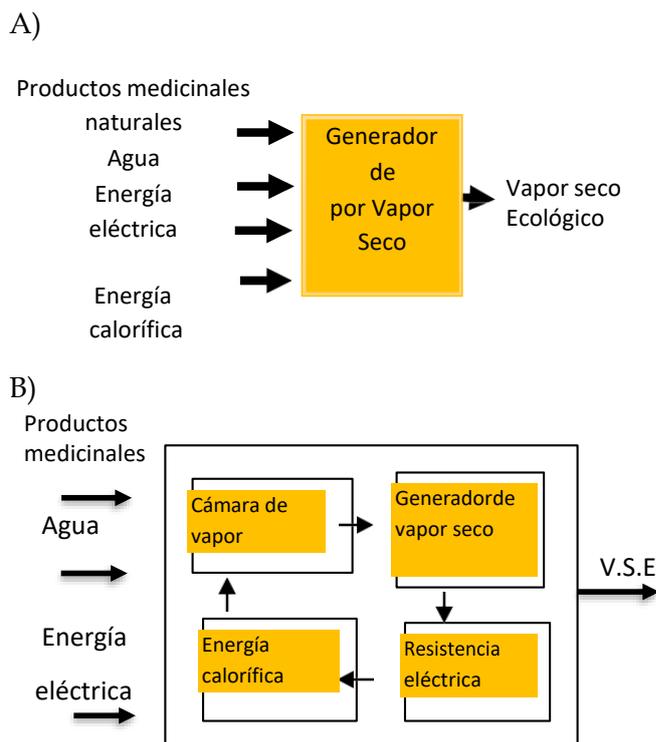
Item	Parte	Cantidad
1	Rejilla vaporizador	2
2	Perno de 1/8"	3
3	Empaque de caucho	1
4	Recipiente	1
5	Tapa	1
6	Pitón de sonido a presión	1
7	Tuercas de 1/8"	6
8	Sujetador de presión	4

Figura 3
Generador de vapor seco ecológico



En la figura 3 se muestra en detalle los componentes o partes que contiene el generador de vapor ecológico, compuesto por las placas filtrantes, el Perno de 1/8", el empaque el recipiente externo que contiene todos los elementos o componentes, la tapa del recipiente que en este caso es de vidrio de soporte a altas temperaturas, el pitón de sonido a presión que da la alerta por sonido de la cantidad de agua en caso se haya consumido el agua, los sujetadores de presión que en este caso son 04 los que sujetan la tapa de vidrio con presión suficiente para no permitir que la tapa deje fugar el vapor producido.

Figura 4

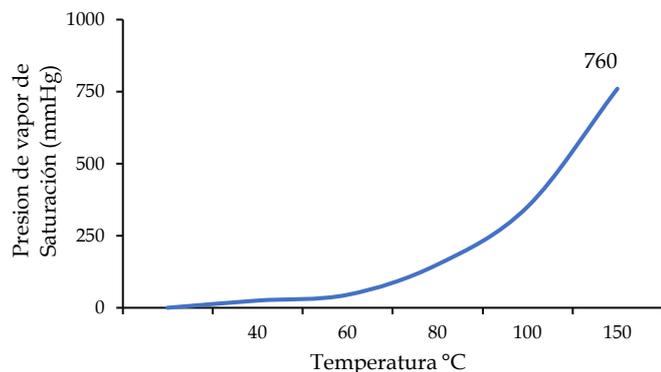


Nota. Panel A: Caja negra del generador de vapor seco ecológico. Panel B: Caja blanca del generador de vapor seco ecológico.

En la figura ?? se ilustra la caja negra y blanca del generador, donde los productos medicinales ingresan conjuntamente con el agua a producir el vapor seco, para ello se necesita la generación de energía calorífica lo cual se conseguirá con la energía eléctrica que será conectada a una fuente de energía de 220 V, para que luego la cámara de desinfección funcione en forma continua generando el vapor seco del eucalipto, kion, ajos y otros productos medicinales naturales que se utilizan para estimular el buen funcionamiento del sistema inmunológico y como agentes antisépticos y desinfectantes frente a procesos virales y bacterianos. Esta cámara de desinfección tiene como salida el producto vapor seco deseado.

3 Resultados

En la figura 5 se muestran los resultados de los valores de temperaturas y la presión de vapor saturado obtenidos para conseguir el punto de ebullición y obtener el vapor seco.

Figura 5*Presión Vs temperatura de vapor saturado*

En la Tabla 2, el término "calor latente de evaporación" se define como la cantidad de energía requerida para transformar una cantidad determinada de líquido en vapor a una temperatura constante y bajo una presión establecida.

Por lo general, a presiones más bajas, el calor latente de evaporación tiende a ser más elevado. Conforme la presión del vapor saturado aumenta, el calor latente de evaporación disminuye de forma gradual. Al alcanzar presiones muy altas, en un punto crítico, el calor latente de evaporación llega a cero, lo que ocurre en un estado supercrítico, alrededor de 22.06 MPa (3200 psi). En este estado, las distinciones entre el líquido y el vapor desaparecen, ya que tienen propiedades intermedias entre un gas y un líquido, sin existir una fase claramente definida.

Tabla 2*Vapor Saturado Basado en la Temperatura y Presión*

Temperatura	Presión	Volumen específico		Entalpia específica		
		V_f	V_g	H_f	H_g	H_g
100	0.093	0.0010435	1.672	419.1	2256	2676
110	42.091	0.0010516	1.209	461.4	2230	2691
120	97.340	0.0010603	0.8913	503.8	2202	2706
130	168.93	0.0010697	0.6681	546.4	2174	2720

El generador de vapor seco, se encuentra dentro de los valores de temperatura y presión requeridas para generar el vapor seco ecológico de plantas medicinales por ejemplo para una temperatura de 110°C la presión es de 42.091 KPa obteniéndose un volumen específico de fluido mínimo de 0.0010516 m³/kg y un volumen específico de vapor de 1.209 m³/kg, una entalpia de 2230 KJ/kg.

El vapor posee una eficacia notable en el proceso de desinfección, ya que permite la eliminación de bacterias y gérmenes, entre otros usos. El sistema de limpieza mediante vapor saturado incluso permite trabajar en ambientes cerrados, lo que lo convierte

en una opción efectiva para desinfectar y limpiar en entornos donde otras soluciones podrían presentar dificultades debido a la ventilación o condiciones cerradas.

El vapor seco obtenido de plantas medicinales es considerado ecológico ya que su uso no causa daño al medio ambiente. Representa una alternativa efectiva que ofrece una desinfección segura y rápida al eliminar microorganismos, al mismo tiempo que respeta el entorno ambiental. Este sistema se fundamenta en la eficacia del vapor para eliminar grasa y suciedad, además de ahorrar espacio en las líneas de producción, lo que conlleva ventajas logísticas significativas.

4 Discusiones

En Las escenas de desinfección son algo común en la ciencia ficción, pero existe una versión real de un generador de vapor seco para desinfectar que se está poniendo a prueba. La superficie interior del generador está equipada con un sistema que puede matar virus y bacterias en el cuerpo humano y en la ropa de forma remota.

La cámara, debido al shock térmico interno que genera, tiene la capacidad de desinfectar y eliminar microorganismos y bacterias. La alta capacidad de limpieza de la cámara se logra gracias a la combinación del poder absorbente de las microgotas de agua junto con la presión ejercida.

Este proceso de limpieza se basa en la combinación de choque térmico y la capacidad absorbente y desinfectante del agua, lo que resulta efectivo para la eliminación de microorganismos y la limpieza en general. El generador de vapor seco de desinfección por vapor seco permite su funcionamiento continuo y generación de vapor seco de productos medicinales para desinfectar sin mojar a la persona por vapor seco

La evaluación del proceso de generación de vapor seco con productos medicinales naturales y desinfección de la persona, permite mejorar su eficiencia y calidad en el proceso de desinfección en nuestra la región Junín.

Agradecimientos

Los autores reconocen el apoyo de la oficina de transferencia tecnológica de la UNCP por sus valiosos aportes y motivación para realizar este trabajo de investigación.

Referencias

- Bohórquez, R. D. (2013). *Auditoria energética al circuito de vapor y condensado de una planta de elaboración de café liofilizado*. [Tesis de lic.]. Escuela Superior Politécnica del Litoral. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/31327>
Accepted: 2015-12-14T19:27:54Z.
- Damjanović-Vratnica, B., Đakov, T., Šuković, D., & Damjanović, J. (2011). Antimicrobial Effect of Essential Oil Isolated from *Eucalyptus Globulus* Labill. from Montenegro. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(3), 277-284. <https://doi.org/10.17221/114/2009-CJFS>
- Hoffmann, A. (2016). *Plantas medicinales de uso común en Chile*. Ediciones Fundación Claudio Gay.
- Montoya, J. M. (1995). *El eucalipto*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Rodríguez, J. (2010). *Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería*. Universidad Tecnológica Nacional. Consultado el 13 de febrero de 2024, desde <https://www.unamenlinea.unam.mx/recurso/83488-introduccion-a-la-termodinamica-con-algunas-aplicaciones-de-ingenieria>



Evaluación del tamaño de porosidad de una membrana polimérica a partir de acetato de celulosa con nanopartículas de óxido de silicio

Evaluation of the porosity size of a polymeric membrane made from cellulose acetate with silicon oxide nanoparticles

Ceras, Caty ¹; Ingaruca, Ever F. ¹; Vilca, Orlando A. ¹; Rojas, Edgar L. ¹ y Caro, Esaú. ¹

¹Facultad de Ingeniería Química,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

Cómo referenciar:

Ceras, C., Ingaruca, E. F., Vilca, O. A., Zacarías, E. L., y Caro, E. T. (2023). Evaluación del tamaño de porosidad de una membrana polimérica a partir de acetato de celulosa con nanopartículas de óxido de silicio. *Prospectiva Universitaria*, 20(01), 48-53. <https://doi.org/10.26490/uncp>

Resumen

Las membranas poliméricas de celulosa se utilizan en los procesos de ultrafiltración para la retención de partículas de tamaños superiores a 2.5 μm ; sin embargo, la porosidad de las fibras en las membranas no es homogénea dejando pasar a las bacterias durante la purificación de agua de consumo humano. En la presente investigación se adicionó nanopartículas de SiO_2 a las fibras de las membranas de nitrato de celulosa para evaluar la capacidad de disminución de la porosidad. Se utilizaron membranas de porosidad entre 0.29 y 17.74 μm cuya distribución entre las fibras de la celulosa no fueron homogéneas. La adición de las nanopartículas de SiO_2 a las membranas de nitrato de celulosa disminuyeron la porosidad hasta un tamaño de poro de 0.82 y 3.02 μm .

Palabras clave: porosidad, nanopartículas SiO_2 , membranas.

Abstract

Polymeric cellulose membranes are used in ultrafiltration processes for the retention of particles larger than 2.5 μm ; however, the porosity of the fibers in the membranes is not homogeneous, allowing bacteria to pass through during the purification of water for human consumption. In the present investigation, SiO_2 nano-particles were added to the fibers of cellulose nitrate membranes to evaluate the porosity decreasing capacity. Membranes of porosity between 0.29 and 17.74 μm whose distribution among the cellulose fibers were not homogeneous were used. The addition of SiO_2 nano-particles to the cellulose nitrate membranes decreased the porosity to a pore size of 0.82 and 3.02 μm .

Keywords: porosity, SiO_2 nano-particles, membranes.

1 Introducción

Las membranas por su composición polimérica es uno de los materiales de gran uso en la separación no solo de metales, sino de otros componentes orgá-

nicos presentes en los cursos de aguas subterráneas y superficiales que disminuyen la calidad del agua de consumo.

La otra dificultad es la presencia de bacterias en el agua a potabilizar; por todo ello, es necesario que

se utilice las membranas de separación combinadas con nanopartículas para una disminución completa de los contaminantes presentes en las aguas de uso doméstico. Las nanopartículas vienen aplicándose en diferentes tratamientos de agua potable debido a los siguientes factores.

Efecto de agregación y concentración: el aumento de la concentración de nanopartículas promueve un estado de agregación. La mayoría de los agregados de nanopartículas de tamaños micrométricos no pueden penetrar en las células y de este modo pierden su toxicidad.

Efecto de pre exposición: la actividad fagocítica celular puede ser estimulada por un tiempo de exposición más corto o por la exposición previa de concentraciones más bajas de nanopartículas

1.1 Concentración de acetato de celulosa para la formación de una película de membrana polimérica

Los nano materiales por tener una mayor área superficial son capaces de trabajar a baja concentración, y al combinarlos con las estructuras poliméricas se forman membranas catalíticas nano estructuradas que sirven para eliminar los contaminantes de las aguas residuales y a la vez son ecológicas y eficientes. Estas bondades de la combinación entre nanopartículas y membranas facilitan el tratamiento de las aguas residuales y son de bajo costo para su comercialización (Yaqoob et al., 2020).

Al unirse las nanopartículas a las membranas forman una película gomosa, que al calentarse por encima de su temperatura de transición vítrea pueden generar nuevas porosidades de las membranas. Las propiedades de las membranas utilizadas en nano filtración deben tener un corte de peso molecular inferior a 500 g/mol y una baja tendencia al ensuciamiento (Marchetti et al., 2015).

El proceso de filtración con membranas nanocompuestas mejoran la matriz de una membrana polimérica gracias a la adición de nanopartículas de óxidos metálicos. La mejora de las propiedades en cuanto a su antiincrustante, antimicrobianas y permeabilidad es adecuada con respecto a las membranas desnudas o sin la adición de nanopartículas.

Las membranas nanocompuestos generalmente muestran mejores propiedades antiincrustantes debido a las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas y la menor rugosidad de la membrana. El efecto a la mejora de la permeabilidad es por dispo-

ner de una mayor porosidad y una distribución más estrecha por el tamaño de los poros que son los aportes de los nano conductores.

La concentración de las nanopartículas aumenta el rendimiento de las membranas, y estas concentraciones óptimas depended de las propiedades de las nanopartículas como de la composición de las membranas. Las membranas poliméricas compuestas tienen las mejores propiedades fisicoquímicas para la utilización en los procesos de microfiltración y nano filtración del tratamiento y desinfección de aguas.

Los materiales inorgánicos de nanopartículas de TiO_2 , ZnO , Ag y Cu dan los mejores rendimientos en los procesos de separación por la mejora de sus propiedades de estabilidad antiincrustante, mecánica, térmica y física y química. Estos nano materiales muestran una actividad biológica específica hacia virus, bacterias y protozoos que se encuentran en las aguas.

Esta combinación de membranas compuestas y de nuevos materiales híbridos se utilizan en la desinfección del agua (Castro-Muñoz, 2020). Las membranas de acetato de celulosa disminuyen la rugosidad a medida que la concentración de polímeros aumenta hasta un 15% de peso, por otra parte, la membrana disminuye el contenido de agua y su porosidad a diferencia que aumenta su resistencia hidráulica que es analizada con microscopía electrónica de barrido según su morfología (Shoba et al., 2020).

Cuando se aumenta el peso hasta un 20 % de las nanopartículas de óxido de sílices, también aumentan la permeabilidad de las membranas nano compuestas para la selectividad de CO_2/N_2 (Najafi et al., 2018). Las membranas nano fibrosas electro hiladas están revolucionando los procesos de filtración en la purificación de agua potable y aguas residuales con un menor consumo de energía y alta eficiencia en comparación con las membranas convencionales.

Al tener una alta porosidad, cercano al 80%, con respecto a las membranas convencionales de porosidad entre 5 - 35%. Estas membranas nanocompuestas son modificadas sus superficies para mejorar los problemas de incrustaciones y el tratamiento de aguas residuales (Tili & Alkanhal, 2019). Los nanocompuestos de membranas y nanopartículas que conforman una matriz polimérica aumentan una mayor eficiencia de eliminación de metales como es el caso de la disminución de arsénico con una membrana de acetato de celulosa y nanopartículas ZnO (Potla et al., 2018). En la obtención de membranas poliméricas un aumento de la concentración de

acetato de celulosa y la composición de los disolventes como la acetona aumentan las fibras de las membranas y se modifica su morfología con el aumento del peso molecular (Crabbe-Mann et al., 2018).

1.2 Concentración de nanopartículas de óxido de silicio en membranas poliméricas de celulosa

La preparación de membranas nano compuestas tiene varios métodos de preparación. Las propiedades de estas nuevas membranas son modificadas al cambiar el tipo y la concentración de los monómeros que reaccionan, así como las variables del proceso de obtención de las membranas.

Las nanopartículas de acuerdo a sus estructuras hacen modificar las propiedades de las membranas con diferentes concentraciones y el proceso de mezclado de los componentes. Las principales modificaciones se realizan a las condiciones de reacción de polimerización y la concentración de monómero (Adamczak et al., 2019). La filtración del agua a través de membranas es un método alternativo en el tratamiento del agua para uso poblacional.

La membrana actúa como una barrera selectiva que bloquea el paso de algunos componentes tóxicos presentes en las aguas. En el trabajo de (Ribeiro et al., 2007) utilizaron una inoculación de 107 a 108 unidades formadoras de colonias (UFC) de *Escherichia coli* por ml. En el proceso de separación de estas bacterias se realizó por inversión de fase, y las membranas se prepararon con soluciones poliméricas, incluyendo polisulfona y fluoruro de polivinilideno. En ambos casos se adicionó polimetacrilato de metilo a las soluciones poliméricas, utilizando N, N-dimetilformamida como disolvente.

Después del proceso de separación con este tipo de membranas se logra reducir la carga bacteriana hasta un 99 y 100% al utilizar un caudal de agua con $300 L/h \times m^2$. Las principales tecnologías para la modificación de las membranas son de tres tipos, en primer lugar, se tiene las modificaciones post fabricadas, luego las membranas electro hilado y finalmente el recubrimiento y plasma; tanto, para las membranas poliméricas y cerámicas. Al realizar las modificaciones se logran nuevas propiedades que permiten comprender los problemas operacionales de la tecnología de separación por membranas que conducen a encontrar nuevas alternativas de procesos de separación (Madalosso et al., 2021). Las membranas compuestas de película delgada se preparan al recu-

brir con nanopartículas de polímeros y que algunos casos pueden ser de poliestireno o polibutadieno para formar un soporte de ultrafiltración hidrófilo. Esta película de nanopartículas proporciona una capa de separación libre de defectos con un espesor de 130 a 150 nm capaz de ser altamente permeable y soportar condiciones de pH agresivas más allá del rango de membranas comerciales disponibles (Marchetti et al., 2015).

Existen variedades de polímeros que se utilizan para la purificación de las aguas de uso poblacional; sin embargo, para la recuperación de las aguas residuales existen muy pocos tipos de membranas, en este contexto los polímeros conductores están siendo utilizadas en la eliminación de contaminantes nocivos presentes en las aguas residuales. Las primeras tecnologías lo realizaban por adsorción de los iones pesados, luego para la adsorción de otros tipos de contaminantes como los colorantes orgánicos.

Últimamente, se vienen utilizando foto catalizadores basados en membranas conductoras para el tratamiento de aguas residuales. Los materiales con base en la celulosa tienen alternativas viables a los polímeros sintéticos debido a sus características físico-químicas y biológicas favorables. Al generarse una matriz orgánica facilita la incorporación de partículas de hidroxiapatita, enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares, así como las interacciones electrostáticas que se forman entre los grupos funcionales en la superficie de las cadenas poliméricas y las nanopartículas inorgánicas. Los métodos de producción de las membranas, como la inversión de fase, el electrohilado o el ensamblaje electrostático gradual, junto con las diversas estrategias empleadas para obtener una dispersión homogénea de las partículas inorgánicas en la matriz polimérica (Oprea & Voicu, 2020).

1.3 Tamaño de porosidad de la membrana polimérica de celulosa con nanopartículas

Las estructuras de las membranas poliméricas constituidas de por un metal y un compuesto orgánico es muy importante por generar nuevas propiedades de flexibilidad y con aplicaciones potenciales en la purificación de las aguas. Una de las mayores dificultades es el transporte de los compuestos a separar durante la filtración por membranas, siendo estos estudios de investigaciones futuras (Jun et al., 2020). Las estructuras de membranas poliméricas compuestas, también son útiles en evitar las sus-

tancias peligrosas, iones metálicos y disolventes orgánicos, esto gracias a la formación de los complejos poliméricos. Las propiedades mejoradas de estos tipos de polímeros pueden fácilmente cumplir con la aplicación de los 12 principios de la química verde principalmente dirigida a los procesos de adsorción y en la terapéutica relacionados con la salud humana (Kumar et al., 2020). El proceso de filtración con membranas nanocompuestas mejoran la matriz de una membrana polimérica gracias a la adición de nanopartículas de óxidos metálicos. La mejora de las propiedades en cuanto a su antiincrustante, antimicrobianas y permeabilidad es adecuada con respecto a las membranas desnudas o sin la adición de nanopartículas. Las membranas nanocompuestas generalmente muestran mejores propiedades antiincrustantes debido a las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas y la menor rugosidad de la membrana. El efecto a la mejora de la permeabilidad es por disponer de una mayor porosidad y una distribución más estrecha por el tamaño de los poros que son los aportes de los nanoconductores. La concentración de las nanopartículas aumenta el rendimiento de las membranas, y estas concentraciones óptimas depended de las propiedades de las nanopartículas como de la composición de las membranas (Wen et al., 2019). Las membranas nanofibras electrohiladas están revolucionando los procesos de filtración en la purificación de agua potable y aguas residuales con un menor consumo de energía y alta eficiencia en comparación con las membranas convencionales. Al tener una alta porosidad, cercano al 80%, con respecto a las membranas convencionales de porosidad entre 5% - 35%. Estas membranas nanocompuestas son modificadas sus superficies para mejorar los problemas de incrustaciones y el tratamiento de aguas residuales (Tlili & Alkanhal, 2019).

2 Métodos y materiales

2.1 Equipos

Microscopía Electrónica de Barrido de Emisión de Campo (SEM), marca TESCAN, modelo MIRA3-LMU y el Analizador de Nanopartículas y Analizador de Potencial Z (DLS), marca NICOMP PSS Z3000, ambos del Centro de Investigación de Nanotecnología de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Sonificador, marca BRANSON, Modelo SFX250.

Mufla Horno de Cámara, marca: PROTHERM

modelo: ECO 110/15 con capacidad de 15 litros, temperatura máxima: 1100 °C. Balanza: de precisión modelo 400. 400 g/0.001 g, marca VWR americana

2.2 Materiales

Consumibles para SEM, tubos de ensayo, matraz Erlenmeyer, vasos de precipitación, fiola, lunas de reloj, buretas, máscara de seguridad, papel filtro, pinza, bolsas herméticas, embudo, cuchara y espátula metálica. Se utilizaron los siguientes reactivos: acetato de celulosa químicamente puro, Nanopartículas de dióxido de silicio (SiO_2), Alcohol Etílico Absoluto, Peróxido de Hidrógeno, Agua desionizada (Millipore).

3 Resultados

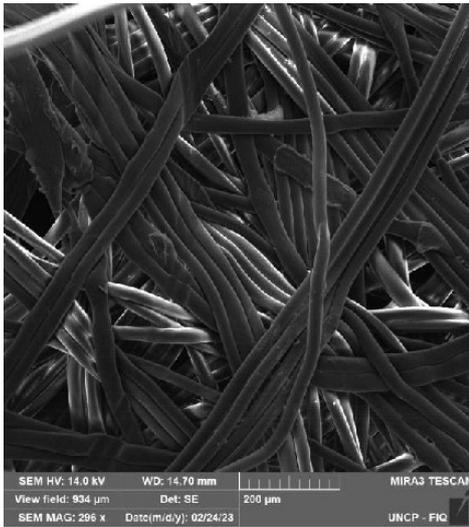
En la determinación del tamaño y la morfología de las membranas se utiliza la técnica fisicoquímica de distribución del tamaño de la porosidad mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) de alta resolución que tienen la Facultad de Ingeniería Química. La solución en la preparación de la celulosa se realiza en un medio ácido para lograr una buena polimerización de la celulosa y la formación adecuada de las membranas a diferentes composiciones de las nanopartículas de óxido de silicio (figura 1).

Figura 1

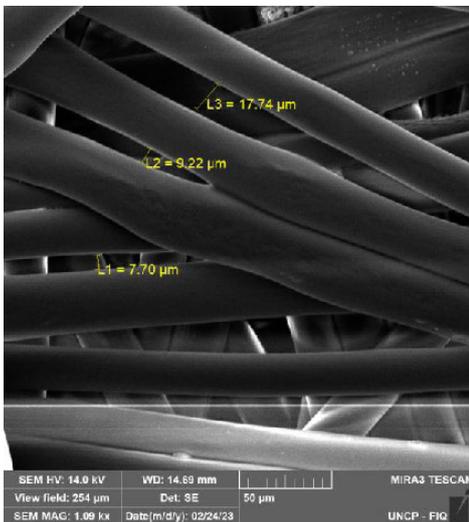
Preparación de muestra de polímero de celulosa



Mediante las observaciones de las imágenes del SEM (figura 2), se evidencia que la formación de las membranas poliméricas a partir del acetato de celulosa tiene una estructura en forma de malla divergente de porosidad no uniforme. La formación de las fibras es entrecruzada lo que dificulta obtener una porosidad homogénea. Esta mala formación de la estructura se obtuvo para una concentración de acetato de celulosa de 2 mg/l.

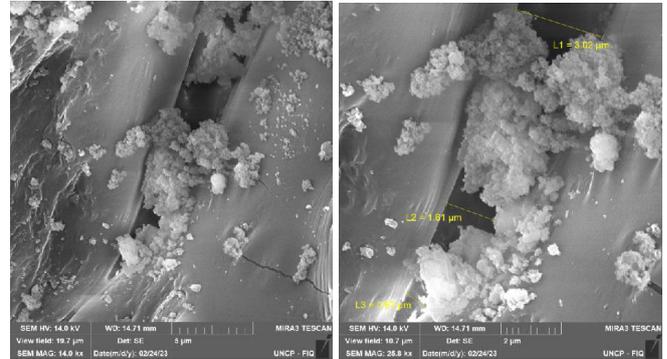
Figura 2*Micrografía de las fibras de membranas de celulosa*

En la figura 3, se puede distinguir porosidades de las membranas de nitrato de celulosa estéril entre 7.70 y 17.74 µm. Las porosidades de las membranas utilizadas en este trabajo fue entre 0.29 y 0.59 µm, similar a los diámetros de poro de 0.22, 0.45 y 0.65 µm (2019).

Figura 3*Micrografía de Fibras de Membranas de nitrato celulosa en Experimento*

En los primeros experimentos se utilizó nanopar-

tículas de SiO₂ en polvo del tamaño de 50 nm aproximadamente, las cuales se adicionaron a las membranas para determinar si las nanopartículas se adsorben a la porosidad de las membranas (figura 4).

Figura 4*Porosidad de Fibra de Membrana de Nitrato de Celulosa*

Al adicionar las nanopartículas de SiO₂ a las membranas de nitrato de celulosa se ha logrado disminuir la porosidad de las membranas de aquellos que tienen entre 7.70 y 17.74 µm hasta un tamaño de poro de 0.82 y 3.02 µm (panel B, figura 4), y que de esta forma esta adsorción de las nanopartículas estaría garantizando la efectividad de ser anti bacterial para la disminución de la proliferación de las bacterias son las aguas que contengan diferentes patógenos La interpretación del panel B de la figura 4, nos indica que la membrana en su totalidad no tiene una porosidad homogénea y que las partículas de óxido de silicio están sobre las fibras sin poder incorporarse en los espacios de las membranas y esta distribución en la porosidad no es homogénea.

4 Conclusiones

La porosidad de una membrana de nitrato de celulosa se encuentra entre 0.29 y 17.74 µm la cual indica que no se tiene una distribución homogénea de los espacios entre las fibras de la celulosa.

La adición de las nanopartículas de SiO₂ a las membranas de nitrato de celulosa disminuyen la porosidad hasta un tamaño de poro de 0.82 y 3.02 cm.

Referencias

Adamczak, M., Kamińska, G., & Bohdziewicz, J. (2019). Preparation of Polymer Membranes by In Situ Interfacial Polymerization. *International Journal of Polymer Science*, 2019, e6217924. <https://doi.org/10.1155/2019/6217924>



Dosificación de nanopartículas de hierro zero valente y tiempo de contacto para la eliminación de coliformes en aguas residuales municipales

Dosing of zero valent iron nanoparticles and contact time for the removal of coliforms in municipal wastewater

Ochoa, Henry R.¹; Loayza, Cesar A.¹; Ceras, Caty ¹;
 Mendoza, Fiorella S.² y Ochoa, Hans G.¹

¹Facultad de Ingeniería Química,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

¹Facultad de Ingeniería Ambiental,
Universidad Alas Peruanas,
Huancayo, Perú.

Cómo referenciar:

Ochoa, H. R., Loayza, C. A., Ceras, C., Mendoza, F. S., y Ochoa, H. G. (2023). Dosificación de nanopartículas de hierro zero valente y tiempo de contacto para la eliminación de coliformes en aguas residuales municipales. *Prospectiva Universitaria*, 20(01), 54–60. <https://doi.org/10.26490/uncp>

Resumen

Las aguas residuales municipales son aguas de abastecimiento utilizadas en las actividades domésticas, por ende, requieren de tratamiento, sin embargo, no todo tratamiento brinda resultados efectivos, actualmente el uso de nanopartículas es un tratamiento prometedor para las aguas residuales, por ende, en este trabajo de investigación se buscó determinar la eficacia de las nanopartículas de Fe cero valente en la eliminación de coliformes totales (CT) y Coliformes termotolerantes (CF). El tipo de investigación fue experimental con un diseño de pre y post tratamiento y grupo de control, se analizó la variación de la dosis de nanopartículas y el tiempo de contacto mediante el análisis experimental en 150 mL de agua residual municipal con nZVI de 0.5g, 1.0g y 1.5g por 30 min, 60 min y 100 min. Las concentraciones iniciales encontradas fueron CT y CF: $>1.1 \times 10^5$ cada una; logrando un máximo porcentaje de remoción de 85.91% de CT y 89.09% de CF, ambos con 0.5 g de dosis y 100 min de tiempo de contacto, 91.45% en CT y 93.68% en CF, ambos con 1.0 g de dosis y 60 min de tiempo de contacto y 98.59% en CT y 98.95% en CF, ambos con 1.5 g de dosis y 100 min de tiempo de contacto. Con los resultados deducimos que la mayor eficacia de eliminación de coliformes totales y termotolerantes se dan a una dosis de 1.5g con un tiempo de contacto de 100 minutos.

Palabras clave: eliminación, nZVI, coliformes, coliformes termotolerantes, dosis, tiempo de contacto.

Abstract

Municipal wastewater is a water supply used in domestic activities, therefore, it requires treatment, however, not every treatment provides effective results, currently the use of nanoparticles is a promising treatment for wastewater, therefore, in this research work we sought to determine the effectiveness of Fe zero valent nanoparticles in the elimination of total coliforms (TC) and thermotolerant coliforms (TC). The type of research was experimental with a pre- and post-treatment design and control group. The variation of nanoparticle dose and contact time was analyzed by experimental analysis in 150 mL of

municipal wastewater with nZVI of 0.5g, 1.0g and 1.5g for 30 min, 60 min and 100 min. The initial concentrations found were CT and CF: $>1.1 \times 10^5$, respectively, achieving a maximum removal percentage of 85.91 of CT and 89.09 of CF, both with 0.5 g dose and 100 min contact time, 91.45 in CT and 93.68 in CF, both with 1.0 g dose and 60 min contact time and 98.59 in CT and 98.95 in CF, both with 1.5 g dose and 100 min contact time. With the results we deduce that the highest total and thermotolerant coliforms elimination efficiency occurs at a dose of 1.5 g with a contact time of 100 min.

Keywords: elimination, nZVI, coliforms, thermotolerant coliforms, dosage, contact time.

1 Introducción

Se conoce al agua residual como toda aquella alterada negativamente a causa de la actividad humana, donde al analizarlas resultan no aptas para el consumo humano, de esta manera el agua residual es toda aquella utilizada en los domicilios, centros urbanos, industria y ganadería, así como las naturales que se mezclan con ellas.

En el tratamiento de aguas residuales municipales, se usan diversas tecnologías en las diferentes etapas del proceso, tanto en el tratamiento primario, secundario y desinfección. Sin embargo, muchos de estos no cuentan con la eficiencia esperada para remover altos porcentajes de microorganismos como los «coliformes totales» y «termo tolerantes», las cuales afectan a los seres humanos y al medio ambiente, provocando un desequilibrio en el ecosistema e incluso generando la propagación de enfermedades intestinales. Existen estudios que buscan solucionar este problema, no obstante, muchos no han tenido resultados con gran relevancia o algunos generan efectos secundarios (Sonune & Ghate, 2004).

Hoy en día, las nanopartículas ofrecen diferentes tratamientos ambientales y remediaciones para aguas residuales, aire, aguas subterráneas, superficies y suelos contaminados (Borja et al., 2020). Las nanopartículas tienen la capacidad de brindar solución a los retos tecnológicos y ambientales en distintas áreas como la medicina, química y ambiente (Astruc et al., 2005).

Además, durante los últimos años, los estudios sobre nanopartículas magnéticas se han incrementado a causa de su multifuncionalidad, que engloba desde la aplicación en la biomedicina hasta el obtención de imágenes por resonancia magnética, administrar drogas y tratar el cáncer. Por estas razones las nanopartículas se consideran biomateriales por ser biocompatibles y biodegradables (Calero, 2015). El campo en el cual mas sobresalen actualmente, en particular las nanopartículas magnéticas de hierro, es el campo ambiental, ya que se usa principalmente para remediar suelo y agua, por su baja toxicidad, de

fácil separación, pequeño tamaño y gran reactividad (Diaz, 2021). Por ello que el presente estudio buscó evaluar la aplicación de la nanotecnología mediante la utilización de nanopartículas de hierro Zero Valente para la remoción y eliminación de bacterias coliformes, a través de procesos seguros y fiables para el medio ambiente.

En tal sentido, se buscó explicar de qué forma influye la dosificación de la nanopartícula de hierro Zero Valente y el tiempo de contacto en la eliminación de los coliformes totales y termo tolerantes de las aguas residuales municipales.

2 Materiales y Métodos

2.1 Procedimiento

Se diseñó un experimento con grupo control de pre y posprueba para la evaluación de la eficacia de las nanopartículas de hierro zero valente (n-ZVI) en la eliminación de coliformes totales y termotolerantes en aguas residuales municipales.

Las n-ZVI fueron obtenidas de la empresa MK-nano (división de MK Impex Corp.) estas consisten en nanopartículas de superficie estabilizada de Fe(0) que tuvieron un tamaño de 25 nm y fueron elaboradas en el lote N° KC0512.

Para el tratamiento de las aguas residuales se siguió el siguiente procedimiento: (a) en tres vasos precipitados de 150 mL se colocaron 100 mL de agua residual municipal; (b) en cada vaso se adicionó 0.5g, 1g, y 1.5g de n-ZVI; (c) luego, los vasos se colocaron en un agitador magnético para homogeneizar la mezcla a 440 RPM; (d) el proceso de disminución de los microorganismos se controló en tiempos de 20 min, 60 min y 100 min. Una vez culminado el tiempo se procedió a un proceso de filtrado; (e) la cantidad de coliformes removidas se evaluó mediante un análisis de tubos múltiples.

2.2 Muestreo

La población objetivo fueron las aguas residuales municipales, mientras que la unidad muestral fueron 150 mL por cada tratamiento con nanopartículas de óxido de hierro cero valentes (n-ZVI). Se tomó 500 mL para la caracterización inicial de la concentración de coliformes totales y termotolerantes y 3L para la parte experimental, las cuales fueron preservadas a menos de 4°C en botellas esterilizadas.

2.3 Análisis

El estudio recurrió a técnicas de estadística descriptiva e inferencial para el análisis de los datos; para la evaluación de las hipótesis planteadas se recurrió al análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey.

Para determinar el porcentaje de remoción de coliformes se aplicó la ecuación 1 tomando valores promedio de la cantidad de bacterias medidas después de los tratamientos.

$$\%eliminacin = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde C_i es coliformes iniciales, C_f es coliformes finales.

3 Resultados

La muestra control de aguas residuales municipales se caracterizó por contener aproximadamente más de 1.1×10^5 NPM/100mL de Coliformes Totales y Termotolerantes.

Tabla 1

Reducción de Coliformes Después de los Tratamientos

Tiempo	Coliformes R1		Coliformes R2	
	Totales	Termo tolerantes	Totales	Termo tolerantes
Dosis de 0.5 gramos				
30	2.90×10^4	2.40×10^4	2.90×10^4	2.10×10^4
60	2.10×10^4	1.20×10^4	2.40×10^4	1.60×10^4
100	1.50×10^4	1.20×10^4	1.60×10^4	1.20×10^4
Dosis de 1.0 gramos				
30	1.20×10^4	9.30×10^3	1.50×10^4	9.30×10^3
60	9.50×10^3	7.50×10^3	9.30×10^3	6.40×10^3
100	3.60×10^3	2.80×10^3	3.40×10^3	2.60×10^3
Dosis de 1.5 gramos				
30	6.40×10^3	4.40×10^3	6.40×10^3	4.30×10^3
60	4.30×10^3	3.60×10^3	4.20×10^3	3.40×10^3
100	1.60×10^3	1.10×10^3	1.50×10^3	1.20×10^3

Nota. Tiempo de tratamientos en minutos.

Luego de la aplicación de las n-ZVI estas cantidades disminuyeron drásticamente a valores que se muestran en la tabla 1.

Con respecto al porcentaje de eliminación de coliformes, la figura 1 evidencia que los tratamientos lograron gran reducción en las muestras de agua. Destacó porcentajes máximos de hasta 98.59% y 98.95% para coliformes totales y termotolerantes, respectivamente; esto a una dosis de 1.5g de n-ZVI y a 100 min de contacto.

Por otro lado, los datos se sometieron a un análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre los tratamientos, asimismo este análisis demostró que los factores al trabajar de forma individual o en conjunto obtuvieron un valor-p menor a .05, esto significó que la dosis de nanopartículas influyó significativamente en la reducción de coliformes totales y termotolerantes.

Tabla 2

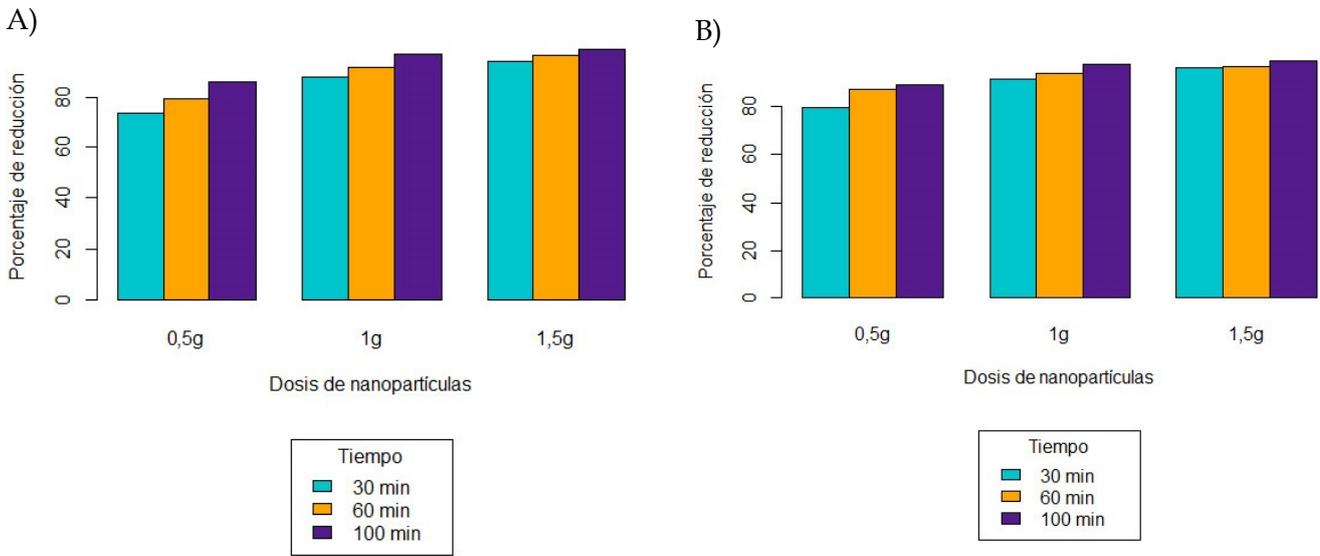
Eliminación de Coliformes por Dosis

Dosis de n-ZVI	N	Media	Agrupación
Coliformes totales			
1.5	6	0.9630	A
1.0	6	0.9200	A
0.5	6	0.7970	B
Coliformes termotolerantes			
1.5	6	0.9727	A
1.0	6	0.9426	A
0.5	6	0.8530	B

La tabla 2 muestra la comparación entre las tres dosis de n-ZVI en la reducción de coliformes totales, en ella se evidencia que la menor dosis (0.5g) produjo la media más baja de eliminación (79.70%) mientras que con la mayor dosis (1.5g) se logró la mayor media de eliminación (96.30%).

Con respecto al porcentaje de reducción de coliformes termotolerantes, la menor dosis (0.5g) produjo un 85.30% de eliminación, siendo la menor de todas. En contraste, con una dosis de 1.5g se logró la media más elevada, alcanzando hasta el 96.30% de eliminación de coliformes termotolerantes.

Figura 1
Porcentaje de Eliminación de Coliformes



Nota. Panel A: Porcentaje de eliminación de coliformes totales. Panel B: Porcentaje de eliminación de coliformes termotolerantes.

Tabla 3
Eliminación de Coliformes por Tiempo de Contacto

Tiempo	N	Media	Agrupación
Coliformes totales			
100	6	0.9377	A
60	6	0.8905	A
30	6	0.8518	A
Coliformes termotolerantes			
100	6	0.9520	A
60	6	0.9259	A
30	6	0.8905	A

En la tabla 3 se observa la comparación de la reducción de coliformes entre los tres tiempos de contacto, con respecto a coliformes totales, el menor tiempo de contacto (30 min) produjo una media de 85.18% de eliminación, siendo la menor de entre todas; mientras que el mayor (100 min.) logró la media más elevada de eliminación (93.77%). Con respecto al porcentaje de reducción de coliformes termotolerantes, el menor tiempo (30 min) produjo una eliminación del 89.05%, mientras que el mayor (100 min.) produjo la media más elevada (95.20%).

Estos datos sugieren que la mayor eficacia de eliminación de coliformes totales y termotolerantes se encuentra con una dosis de 1.5g de n-ZVI a un tiempo de contacto de 100 minutos.

4 Discusión

Se demostró que las nanopartículas de Fe zero valente pueden eliminar una gran cantidad de coliformes totales y termotolerantes, alrededor del 98.59% y 98.95% de respectivamente. Esto se puede ver en investigaciones como la de [Groiss et al. \(2017\)](#) que demostró que las nanopartículas de óxido de hierro poseen propiedad antibacteriana potencial contra los parametros microbiologicos que este caso fueron E. coli y S. Epidermidis.

De igual manera [Cross et al. \(2009\)](#), que estudio con nanopartículas de hierro afirma de igual manera que el óxido de hierro retarda la proliferación de bacterias en la superficie de las membranas, lo que resulta en una mejor remediación del agua. [Mukherjee y De \(2015\)](#) demostró de igual manera que la propiedad antibacteriana de las nanopartículas de óxido de hierro logran grandes resultados inhibiendo bacterias hasta un 72%.

[Trujillo et al. \(2018\)](#) menciona que las nanopartículas de oxido de hierro pueden realizar una captura bacteriana eficiente, abriendo puertas a la reducción de la proliferación bacteriana. Asimismo [Najafpoor et al., \(2020\)](#) trabaja con nuestros indicadores afirmando que el aumento de la dosis de nanopartículas y el tiempo de contacto y la disminucion del nivel de contaminación mejoran la eficacia del tratamiento hasta un 55%, resultado que en nuestra investigación demostramos. Por su parte [Hatamie et al. \(2016\)](#) nos

muestra de igual manera que las nanopartículas de hierro zero valente también puede reducir la turbidez y la demanda química de oxígeno, eliminar importantes cationes de metales pesados y aniones al mismo tiempo, siendo una grana alternativa de uso para tratamiento de aguas.

Karnik et al. (2007); Sadek et al. (2021); Seid-Mohammadi et al. (2021) afirman que las nanopartículas nZVI se han distinguido de las granulares de partículas de Fe debido a la mejora en su alta movilidad y reactividad, debido a su mayor área superficial por lo cual presenta mejores resultados. Das et al. (2017) al usar Fe/ZnO NP afirma que es un tratamiento de bajo costo y con alta eficacia bajo la luz solar por lo que puede tener potencial para aplicaciones en el mundo real, para ayudar a reducir la propagación de bacterias resistentes.

(Ahammed & Davra, 2011; Fernández et al., 2020; Sizerici et al., 2019) nos mencionan que el óxido de hierro inactiva las bacterias entéricas naturales presentes en los efluentes de aguas residuales municipales. Por último, complementando con investigaciones como de Horky et al. (2019); Sasidharan et al. (2022); Zarpelon et al. (2016) se demuestra que es necesario el desarrollo de nuevos nano materiales que inhiban o eliminen bacterias ya que es un tema de investigación importante, oportuno y prometedor

Asimismo, con respecto a la dosis de nanopartículas de hierro zero valente, se mostró que un incremento en la dosis de nanopartículas de Fe zero valente tiene una gran capacidad de eliminación de coliformes, alrededor del 96.30% de coliformes totales y 97.27% de coliformes termotolerantes con una cantidad de 1.5 g de nZVI. En resumen, un incremento de nanopartículas de Fe puede eliminar con gran eficacia los coliformes, esto se atribuye a una gran disrup-

ción física en las membranas celulares de los coliformes, lo cual conlleva una mejora en los efectos biocidas del Fe₀, de igual manera la presencia de Fe²⁺ disuelto al reaccionar con el oxígeno intracelular o peróxido de hidrógeno, ocasiona un estrés oxidativo logrando inactivar los coliformes totales y termotolerantes (Baca, 2021). En su investigación Nangmenyi et al. (2011) solo con una dosis de significativa de nanopartículas de hierros zero valente logró una sólida actividad antibacteriana al lograr una eliminación de 2 log de 10⁶ CFU /mL de E. coli en 1 min.

Por ultimo, Al-Allaf et al. (2023); Malakotian et al. (2017) nos muestran que las nanopartículas de óxido de hierro en bajas concentraciones pueden actuar como fuente de iones de hierro requeridos por microorganismos, pero en altas concentraciones pueden causar estrés y daño celular en las células bacterianas al reducir el crecimiento celular. Con respecto al tiempo de contacto, puede verse que la eliminación de coliformes aumentó de forma significativa cuando el tiempo de contacto fue mayor logrando una eliminación de 93.77% y 95.20% para coliformes totales y termotolerantes respectivamente. Esto podría atribuirse a que, a mayor dosis de nanopartículas, el proceso anti material tarda más tiempo con respecto a la inhibición bacteriana llegando a durar así varios días (Ingaruca, 2021).

En suma, un incremento del tiempo de contacto tiene la capacidad de eliminar de forma eficiente los coliformes totales y termotolerantes. Por último, investigaciones como de Han et al. (2019) afirman que el aumento del tiempo de contacto inactivó constantemente E. coli sugiriendo que el tratamiento con nZVI se puede utilizar en la industria de tratamiento de agua en lo que respecta a la contaminación bacteriana.

Referencias

- Ahammed, M. M., & Davra, K. (2011). Performance evaluation of biosand filter modified with iron oxide-coated sand for household treatment of drinking water. *Desalination*, 276(1-3), 287-293. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.065>
- Al-Allaf, M., Al-Rawi, A., & AL-Ahmadi, K. (2023). Biosynthesis of Iron Oxide Nanoparticles and Using it to Support the Efficiency of Wastewater Filtration System. *Rafidain Journal of Science*, 32(1), 28-39. <https://doi.org/10.33899/rjs.2023.177285>
- Astruc, D., Lu, F., & Aranzaes, J. R. (2005). Nanoparticles as Recyclable Catalysts: The Frontier between Homogeneous and Heterogeneous Catalysis. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(48), 7852-7872. <https://doi.org/10.1002/anie.200500766>
- Baca, L. S. (2021). Dimensionamiento y evaluación de un reactor Raceway como sistema de desinfección solar de agua mediante hierro zero valente a escala de laboratorio, 2019. *Universidad Nacional Jorge*

- Basadre Grohmann*. Consultado el 22 de diciembre de 2023, desde <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3323497>
Accepted: 2022-11-10T21:26:10Z.
- Borja, J. M., Heredia, S. F., & Sáez, M. Á. (2020). Los nanomateriales y sus aplicaciones en la remediación ambiental. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 5, 338-370. Consultado el 22 de diciembre de 2023, desde <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7518060>
- Calero, M. (2015, 11 de diciembre). *Caracterización de nanopartículas magnéticas en cultivos celulares para sus aplicaciones biomédicas* [doctoralThesis]. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/670895>
Accepted: 2016-05-17T13:21:34Z.
- Cross, K. M., Lu, Y., Zheng, T., Zhan, J., McPherson, G., & John, V. (2009). Water Decontamination Using Iron and Iron Oxide Nanoparticles. En *Nanotechnology Applications for Clean Water* (pp. 347-364). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-1578-4.50033-0>
- Das, S., Sinha, S., Das, B., Jayabalan, R., Suar, M., Mishra, A., Tamhankar, A. J., Stålsby Lundborg, C., & Tripathy, S. K. (2017). Disinfection of Multidrug Resistant *Escherichia coli* by Solar-Photocatalysis using Fe-doped ZnO Nanoparticles. *Scientific Reports*, 7(1), 104. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00173-0>
- Díaz, P. L. (2021). Efecto bactericida de nanopartículas de hierro, cobre y zinc y plata en el tratamiento y desinfección de aguas residuales. *Naturaleza y Tecnología*, (1). Consultado el 22 de diciembre de 2023, desde <http://www.naturalezaytecnologia.com/index.php/nyt/article/view/384>
- Fernández, L., González-Rodríguez, J., Gamallo, M., Vargas-Osorio, Z., Vázquez-Vázquez, C., Piñeiro, Y., Rivas, J., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2020). Iron Oxide-Mediated Photo-Fenton Catalysis in the Inactivation of Enteric Bacteria Present in Wastewater Effluents at Neutral pH. *Environmental Pollution*, 266, 115181. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115181>
- Groiss, S., Selvaraj, R., Varadavenkatesan, T., & Vinayagam, R. (2017). Structural Characterization, Antibacterial and Catalytic Effect of Iron Oxide Nanoparticles Synthesised Using the Leaf Extract of *Cynometra Ramiflora*. *Journal of Molecular Structure*, 1128, 572-578. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2016.09.031>
- Han, S., Huang, Y., & Liu, Z. (2019). Bacterial indicator reduction in dairy manure using hybrid zero-valent iron (h-ZVI) system. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(11), 10790-10799. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04501-x>
- Hatamie, A., Parham, H., Zargar, B., & Heidari, Z. (2016). Evaluating magnetic nano-ferrofluid as a novel coagulant for surface water treatment. *Journal of Molecular Liquids*, 219, 694-702. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.04.020>
- Horky, P., Skalickova, S., Urbankova, L., Baholet, D., Kociova, S., Bytesnikova, Z., Kabourkova, E., Lackova, Z., Cernei, N., Gagic, M., Milosavljevic, V., Smolikova, V., Vaclavkova, E., Nevrla, P., Knot, P., Krystofova, O., Hynek, D., Kopel, P., Skladanka, J., ... Smerkova, K. (2019). Zinc phosphate-based nanoparticles as a novel antibacterial agent: In vivo study on rats after dietary exposure. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0319-8>
- Ingaruca, K. G. (2021). Evaluación del tiempo de contacto y la concentración de nanopartículas de dióxido de titanio en la desinfección de las bacterias *E. coli* de las aguas residuales municipales tratadas. *Universidad Continental*. Consultado el 22 de diciembre de 2023, desde <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/9212>
Accepted: 2021-06-01T17:53:04Z.
- Karnik, B. S., Davies, S. H., Baumann, M. J., & Masten, S. J. (2007). Removal of *Escherichia coli* after Treatment Using Ozonation-Ultrafiltration with Iron Oxide-Coated Membranes. *Ozone: Science & Engineering*, 29(2), 75-84. <https://doi.org/10.1080/01919510601139492>
- Malakotian, M., Asadipour, A., & Moghaddam, Y. J. (2017). Effect of Iron Oxide Nanoparticles for the Removal of Coliform Bacteria from Contaminated Water.
- Mukherjee, M., & De, S. (2015). Reduction of microbial contamination from drinking water using an iron oxide nanoparticle-impregnated ultrafiltration mixed matrix membrane: Preparation, characteriza-

- tion and antimicrobial properties. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 1(2), 204-217. <https://doi.org/10.1039/C4EW00094C>
- Nangmenyi, G., Li, X., Mehrabi, S., Mintz, E., & Economy, J. (2011). Silver-modified iron oxide nanoparticle impregnated fiberglass for disinfection of bacteria and viruses in water. *Materials Letters*, 65(8), 1191-1193. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2011.01.042>
- Sadek, A. H., Asker, M. S., & Abdelhamid, S. A. (2021). Bacteriostatic impact of nanoscale zero-valent iron against pathogenic bacteria in the municipal wastewater. *Biologia*, 76(9), 2785-2809. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00814-w>
- Sasidharan, A. P., V, M., & Raphael, V. P. (2022). Coliform Removal Efficacy of Polyurethane Foam Impregnated with Chitosan Nanoparticles and Silver/Silver Oxide Nanoparticles. *Water Supply*, 22(5), 5675-5687. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.186>
- Seid-Mohammadi, A., Asgari, G., Rahmani, A., Madrakian, T., & Karami, A. (2021). Evaluation of Zeolite Supported Bimetallic Nanoparticles of Zero-Valent Iron and Copper (Z-nZVI/Cu) in the Presence of Ultrasonic for Simultaneous Removal of Nitrate and Total Coliforms from Aqueous Solutions: Optimization and Modeling with Response Surface Methodology. *Toxin Reviews*, 40(4), 1058-1070. <https://doi.org/10.1080/15569543.2019.1617316>
- Sizirici, B., Yildiz, I., AlAli, A., Alkhomeiri, A., Alkhoori, A., Bufalasa, F., & Alawadi, R. (2019). Modified Biosand Filters Enriched with Iron Oxide Coated Gravel to Remove Chemical, Organic and Bacteriological Contaminants. *Journal of Water Process Engineering*, 27, 110-119. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.015>
- Sonune, A., & Ghatge, R. (2004). Developments in Wastewater Treatment Methods. *Desalination*, 167, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.113>
- Trujillo, W., Zarria, J., Pino, J., Menacho, L., Coca, M., & Bustamante, A. (2018). Adherence of amino acids functionalized iron oxide nanoparticles on bacterial models E. Coli and B. subtilis. *Journal of Physics: Conference Series*, 987(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/987/1/012044>
- Zarpelon, F., Galiotto, D., Aguzzoli, C., Carli, L. N., Figueroa, C. A., Baumvol, I. J. R., Machado, G., Crespo, J. d. S., & Giovanela, M. (2016). Removal of Coliform Bacteria from Industrial Wastewaters Using Polyelectrolytes/Silver Nanoparticles Self-Assembled Thin Films. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 137-146. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.11.013>



Diseño de un sistema móvil de suministro solar fotovoltaico para el abastecimiento de energía

Design of a mobile solar photovoltaic power supply system for energy supply

D'Angles, Boris E.¹; Cueva, Percy H.¹; Orellana, Wilar T.¹ y Quispe, Zully M.¹

¹Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

Cómo referenciar:

D'Angles, B. E., Cueva, P. H., Orellana, W. T. y Quispe, Z. M. (2023). Diseño de un sistema móvil de suministro solar fotovoltaico para el abastecimiento de energía. *Prospectiva Universitaria*, 20(01), 9-16. <https://doi.org/10.26490/uncp>

Resumen

Se diseñó las especificaciones técnicas mínimas que debería contar un sistema fotovoltaico móvil para el abastecimiento de energía a suministros que requieran energía entre 10-15 kWh por día. Para ello se ha planteado el diseño de un sistema fotovoltaico montado sobre un coche tipo remolque, el cual puede ser fácilmente transportado por un vehículo. El diseño ha consistido en un sistema de 8 paneles monocristalinos de 455 Wp, con un inversor de 5000W con opción de carga de baterías, un banco de baterías formado por 4 baterías de 300 Ah y un sistema de protección contra corto circuito y sobretensiones instalado en un tablero con conexión a tierra a través de un sistema de tierra temporal. En el estudio se realizaron simulaciones de operación del sistema en 3 ciudades de la Región Junín, una ubicada en la Selva Central y 2 en el Valle del Mantaro. Los resultados mostraron que es posible abastecer de energía en forma continua con el uso del sistema incluso en los meses con mayor nubosidad y precipitaciones.

Palabras clave: energía solar, sistemas fotovoltaicos, móvil, modelamiento, huella de carbono.

Abstract

The minimum technical specifications that a mobile photovoltaic system should have in order to supply energy to supplies that require energy between 10-15 kWh per day were designed. For this purpose, the design of a photovoltaic system mounted on a trailer type car, which can be easily transported by a vehicle, has been proposed. The design consisted of a system of 8 monocrystalline panels of 455 Wp, with a 5000W inverter with battery charging option, a battery bank consisting of 4 batteries of 300 Ah and a short circuit and overvoltage protection system installed on a board with grounding through a temporary grounding system. In the study, system operation simulations were carried out in 3 cities of the Junin Region, one located in the Central Jungle and 2 in the Mantaro Valley. The results showed that it is possible to supply energy continuously with the use of the system even in the months with higher cloud cover and rainfall.

Keywords: solar energy, photovoltaic systems, mobile, modeling, carbon footprint.

1 Introducción

Con el paso de los años las necesidades energéticas en Perú y en diferentes países han ido en aumen-

to, es así que recientemente en la última pandemia surgió la necesidad de llevar servicios de salud prioritarios a diferentes puntos alejados del país. En el campo de la vacunación contra el COVID-19, se sabe

que la mayor parte de vacunas en estudio necesitan conservarse entre 2°C a 8°C y a -20°C. MINSA(2021). Para lo cual, según se hace referencia por la OMS, se requiere instalar una adecuada cadena de frío para la refrigeración de las vacunas. Así también, en otros contextos, las Municipalidades y otros organismos públicos tienen en su agenda muchas actividades y eventos con fines de concientización social, difusión de nuevas políticas asistenciales, servicios de atención al ciudadano, comedores populares, asistencia médica gratuita para personas en extrema pobreza, campañas de esterilización de animales ,etc. MPH (2020).

Por ello se hace necesario contar con equipos de laboratorio y computadoras para el análisis de muestras, los que en muchas ocasiones son alimentados con energía proveniente de generadores Diesel (grupos electrógenos), los cuales representan actualmente focos de emisión de gases contaminantes. Es así que en éste contexto nos hemos propuesto la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible diseñar un sistema móvil de suministro solar fotovoltaico que permita abastecer de energía eléctrica en forma temporal a usuarios en zonas con acceso restringido a la energía? Es así que motivados por lo propuesto por Zhou (2014) y su investigación relacionada a mejorar un sistema de utilización de energía solar fotovoltaica para un pequeño vehículo y su minimización de pérdidas. Así también Macias et al. (2021) presentaron una investigación sobre la integración de células fotovoltaicas en vehículos y nos brinda datos sobre su autonomía y rendimientos. Sin embargo, en esta investigación se ha pretendido aplicar la movilidad del sistema no para la propulsión del vehículo, sino para funcionar como fuente de energía móvil y satisfacer las necesidades energéticas de los usuarios.

Por lo mencionado, en esta investigación se ha tenido como principal objetivo diseñar un sistema móvil de suministro solar fotovoltaico que permita abastecer de energía eléctrica en forma temporal a usuarios en zonas con acceso restringido a la energía. Para ello el proyecto analizó determinar las especificaciones técnicas mínimas requeridas para un sistema fotovoltaico móvil de 3640 Wp de potencia instalada, el cual sea capaz de suministrar hasta 5000 VA a cargas monofásicas de diversos tipos compuestas por ejemplo por sistemas de iluminación, sistemas de refrigeración, computadoras, equipos de laboratorio y otros similares. El suministro de energía permitirá proveer de energía tanto en horas de sol como

durante la noche, debido al diseño de un banco de baterías que brindará una autonomía al sistema de hasta 24 horas de funcionamiento.

2 Materiales y métodos

2.1 Procedimiento

La investigación fué de tipo aplicada y califica como investigación de desarrollo tecnológico, ya que según manifiesta Casaño (2016). Este tipo de investigaciones proponen dar solución a problemas de ingeniería mediante la elaboración de prototipos o diseños tecnológicos que no solamente investigan la realidad, sino que también la modifican.

2.1.1 Criterios para el diseño del sistema fotovoltaico móvil

El sistema se compuso por los siguientes subsistemas:

1. Captación: Formado por 8 paneles solares de silicio monocristalino de 455 Wp, los cuales tendrán en forma conjunta una potencia instalada de 3640 Wp.
2. Acumulación: Formado por un banco de baterías de tipo AGM de 300 A-h cada una. Las cuales irán dispuestas en la base de la estructura móvil de transporte para darle mayor estabilidad al sistema.
3. Conversión y adecuación de energía: Compuesta por un inversor de DC/AC de 5000 VA con opción de cargador de baterías.
4. Protección: Formado por un sistema de puesta a tierra temporánea y un tablero con dispositivos de protección contra sobretensiones y sobrecorrientes.
5. Soporte: Formado por una estructura de soporte plegable para los 6 paneles solares, la cual permite dos posiciones para el modo de transporte y para el modo de utilización.
6. Transporte: Formado por una estructura tipo coche remolque que permitirá soportar hasta un peso de 2500 kg que podría ser ejercido por los paneles fotovoltaicos, las baterías y demás dispositivos del sistema.

El sistema es fácilmente transportable hasta su punto de utilización, por ello se ha optado por hacer su instalación sobre un coche tipo remolque.

El sistema permite el abastecimiento de una carga específica con hasta un consumo de 20 kWh por día, pudiendo autoabastecerse ya sea mediante sus paneles solares o via conexión a la red eléctrica mediante el sistema de carga de baterías de su inversor en horas diurnas o nocturnas..

El sistema permite el uso seguro de una fuente de generación de energía mediante el uso de dispositivos de protección como sistemas de puesta a tierra, protecciones contra sobretensiones, sobre corriente e interruptores diferenciales.

2.1.2 Especificaciones de los subsistemas

Tabla 1
Características de Panel JA SOLAR

Característica	Valor	Medida
Potencia Máxima (Pmax)	455	W
Corriente punto de máxima potencia (Imp)	10.88	A
tensión punto de máxima potencia (Vmp)	41.82	V
Corriente de corto circuito (Isc)	11.41	A
Tensión a circuito abierto (Voc)	49.85	V
Coefficiente de temperatura a PMAX	-0.35	%/°C
Coefficiente de temperatura de (Isc)	-0.044	%/°C
Coefficiente de temperatura (Voc)	-0.272	%/°C
Temperatura máx. de operación de la célula	45	°C
Dimensiones	2112 x 1052 x 35	mm
Peso	22.4	Kg
Rendimiento	20.5	%
Máxima Tensión de operación	1000	V
Tipo de panel	Monocrystalino	-

Nota. Ficha técnica de panel JA solar JAM72S20 455W.

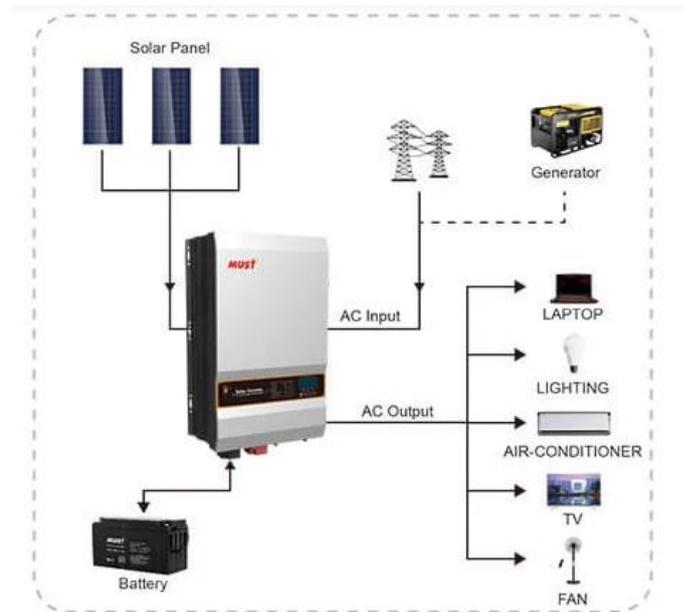
Para las necesidades energéticas de trabajo de una vivienda, oficina o pequeño laboratorio se requieren entre 5 - 15 kWh por día. Para el requerimiento de potencia de una carga en viviendas u oficinas se está tomando como referencia el uso de pequeños electrodomésticos, sistemas de refrigeración y sistemas de iluminación pueden requerir una potencia de hasta 5000 Watts.

Para el subsistema de captación se ha considerado el uso de 8 paneles solares de 455Wp de silicio monocrystalino, que permitirán tener una potencia instalada de 3640Wp y una generación diaria de igual o mayor a 15 kWh de energía eléctrica.

Para el subsistema de conversión y adecuación de energía se ha considerado el uso de un inversor off grid de la marca MUST, el cual entre sus prestaciones permite alimentar cargas domésticas como

televisores, ventiladores o equipos de refrigeración y posee una disponibilidad de potencia de hasta 5000 W y también permite contar con un banco de baterías de respaldo. Este inversor puede cargar su banco de baterías ya sea con energía solar o con energía proveniente de la red eléctrica convencional. Entre sus prestaciones más destacadas es su capacidad de arrancar un motor de hasta 2HP, lo suficiente para accionar pequeños sistemas de refrigeración.

Figura 1
Inversor MUST



2.2 Mediciones

Se ha realizado la recopilación de datos para las simulaciones tanto de fichas técnicas de fabricantes así como de los datos proporcionados por la base de datos meteorológicos de irradiación de PVGIS. Para ello se ha realizado la recopilación de datos de irradiación y temperaturas promedio de la ciudad de Huancayo, la ciudad de Jauja y la ciudad de Chanchamayo, de modo que con la simulación se pueda predecir el comportamiento del sistema móvil en lo que se refiere a su generación de energía.

2.2.1 Métodos de cálculo para el modelamiento

Se ha considerado el método propuesto por la Universidad de Cádiz, el cual toma en cuenta la irradiación media mensual por metro cuadrado de superficie [Gdm(0)], considera también un factor de pérdidas (Fp) el cual toma en cuenta los rendimientos del inversor, las pérdidas por reflexión de la luz,

pérdidas por acumulación de polvo, también se considera un factor de pérdidas por inclinación de la superficie captadora (F_c), la eficiencia de los paneles fotovoltaicos (η_p), los días del mes en curso, la superficie del panel (A_p) y el número total de paneles del sistema móvil ($PanelesPV_{total}$).

$$E = Gdm(0) \times F_c \times \eta_p \times das \times F_p \times A_p \times PanelesPV_{total} \times 10^{-3} \quad (1)$$

El Factor de Pérdidas (F_p) "se calculó tomando en cuenta el rendimiento del inversor (η_i), el rendimiento de la subestación de potencia (N_{SET}), el rendimiento del cableado ($N_{\Delta T}$), un factor de pérdidas por acumulación de polvo sobre la superficie del panel (F_{su}), un factor de pérdidas por sombras (F_s), un factor de pérdidas de potencia por temperatura (F_t) y un factor de pérdidas por reflexión (F_{ref})" (D'Angles, 2020).

$$F_p = \eta_i \times N_{SET} \times N_{\Delta T} \times F_{su} \times F_s \times F_t \times F_{ref} \times F_{dis} \quad (2)$$

El cálculo del coeficiente de pérdidas por temperatura F_t , según Perpiñán (2018). Consideran expresiones de cálculo basadas en: (T_c) que es la temperatura de la célula fotovoltaica en grados Celsius; (T_a) es la temperatura ambiente en grados Celsius; ($NOCT$) es la temperatura nominal de operación de las células en grados Celsius; DT es un valor que expresa una diferencia entre la temperatura de operación de la célula y la temperatura de 25°C; (C_{tPMAX}) es un coeficiente de pérdidas de potencia por temperatura a potencia máxima; %PtPMAX son las pérdidas porcentuales de potencia por incremento de temperatura; %PtIsc son las pérdidas porcentuales de corriente por incremento de temperatura; %PtVoc son las pérdidas porcentuales de tensión por incremento de temperatura

$$T_c = T_a + G \times \frac{NOCT - 20}{800} \quad (3)$$

$$\Delta T = T_c - 25 \quad (4)$$

$$\%P_{tPMAX} = C_{tPMAX} (T_c - 25) \quad (5)$$

$$F_t = \frac{100 - \%P_{tem}}{100} \quad (6)$$

$$\%P_{tIsc} = C_{tIsc} (T_c - 25) \quad (7)$$

$$\%P_{tVoc} = C_{tVoc} (T_c - 25) \quad (8)$$

$$(9)$$

3 Resultados

Para probar la efectividad del diseño del sistema móvil se han realizado tres simulaciones con los datos de irradiación y temperatura de las ciudades de Huancayo, Jauja y Chanchamayo. En cada prueba se puede apreciar la cantidad de energía máxima disponible en promedio para cada uno de los doce meses del año.

Para verificar la efectividad de la metodología de cálculo propuesta se ha contrastado los resultados con los datos provenientes de un sistema fotovoltaico compuesto por 24 paneles de silicio monocristalino de la empresa Electrocentro S.A., ubicado en la ciudad de Huancayo.

3.1 Simulaciones en la Ciudad de Huancayo

Como se puede ver en la tabla 2, con el uso de un sistema fotovoltaico móvil con 8 paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino, es posible tener una cosecha mensual que va desde 459 kWh /mes en febrero hasta los 624.12 kWh/mes en julio, lo que significa una producción anual de 6643.68 kWh. Así también con estos resultados mensuales, es posible determinar que los promedios diarios para cosecha de energía estarían entre 16.39 kWh en el mes de febrero y 20.16 kWh en el mes de Julio, par a lo cual se cumpliría totalmente el objetivo de poder suministra energía eléctrica a una carga con un consumo de hasta 15 kWh por día.

Tabla 2

Simulaciones de producción de energía en la ciudad de Huancayo

Mes	Días	Gdm (0)	Fc	Fp	Np	Ap	Energía
Enero	31	6.148	0.924	0.820	0.2	2.22	513.32
Febrero	28	5.812	0.959	0.828	0.2	2.22	459.00
Marzo	31	5.436	1.010	0.826	0.2	2.22	499.74
Abril	30	5.725	1.067	0.829	0.2	2.22	540.46
Mayo	31	5.874	1.120	0.837	0.2	2.22	606.98
Junio	30	5.771	1.149	0.844	0.2	2.22	597.06
Julio	31	5.911	1.138	0.842	0.2	2.22	624.12
Agosto	31	6.314	1.095	0.831	0.2	2.22	632.61
Setiembre	30	6.085	1.037	0.822	0.2	2.22	553.40
Octubre	31	6.529	0.982	0.810	0.2	2.22	572.11
Noviembre	30	6.766	0.938	0.806	0.2	2.22	545.57
Diciembre	31	6.114	0.915	0.810	0.2	2.22	499.32

Nota. Simulaciones con ocho paneles.

Se evidencia que a pesar de la continuas lluvias que se dan en los meses de diciembre a marzo, la ge-

neración de energía no disminuye significativamente debido probablemente a los altos valores de irradiación que se dan en estos meses, los cuales corresponden al verano austral de hemisferio sur.

Tabla 3
Pérdidas por temperatura para la ciudad de Huancayo

Mes	Irradiancia	Irradiación	Ta	Tc	DT	Coef. T %	Pérdidas %	Ft %
Enero	6.92	905.66	16.61	44.91	-0.09	-0.37	-0.03	100.03
Febrero	6.35	831.64	16.46	42.45	-2.55	-0.37	-0.94	100.94
Marzo	6.45	843.88	16.56	42.93	-2.07	-0.37	-0.77	100.77
Abril	6.18	809.05	16.63	41.91	-3.09	-0.37	-1.14	101.14
Mayo	5.65	739.71	16.25	39.37	-5.63	-0.37	-2.08	102.08
Junio	5.13	671.26	15.99	36.97	-8.03	-0.37	-2.97	102.97
Julio	5.43	710.20	15.64	37.83	-7.17	-0.37	-2.65	102.65
Agosto	6.25	817.87	15.91	41.47	-3.53	-0.37	-1.31	101.31
Setiembre	6.83	893.74	16.37	44.30	-0.70	-0.37	-0.26	100.26
Octubre	7.83	1024.78	16.31	48.33	3.33	-0.37	1.23	98.77
Noviembre	8.09	1058.94	16.49	49.58	4.58	-0.37	1.70	98.30
Diciembre	7.77	1017.43	16.51	48.30	3.30	-0.37	1.22	98.78

Nota. DT: variación de temperatura (Δ); TONC = 45 y Tp = 20 por cada mes

Así también con respecto a las pérdidas por temperatura en producción de energía, los cálculos evidencian que debido a que las temperaturas promedio de esta ciudad no sobrepasan los 16.61°C, las pérdidas serían casi despreciables, ya que como se aprecia en la tabla 2 con resultados de cálculo, las pérdidas porcentuales de energía resultan negativas entre los meses de enero a setiembre y solo se considerarían las que poseen valores positivos en los meses de octubre, noviembre y diciembre con un valor máximo de 1.70%.

Para el cálculo se utilizaron las fórmulas del apartado 2.5 y datos de coeficientes de pérdidas por temperaturas para el panel de JA SOLAR JAM72S20 455W

3.2 Simulaciones en la ciudad de Jauja

Como se puede ver en la tabla 4, con el uso de un sistema fotovoltaico móvil con 8 paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino, es posible tener una cosecha mensual que va desde 465 kWh /mes en febrero hasta los 631.61 kWh/mes en agosto, lo que significa una producción anual de 6614.92 kWh.

Así también con estos resultados mensuales, es posible determinar que los promedios diarios para cosecha de energía estarían entre 16.60 kWh en el mes de febrero y 20.37 kWh en el mes de julio, para lo cual se cumpliría totalmente el objetivo de poder suministrar energía eléctrica a una carga con un consumo de hasta 15 kWh por día y en comparación

a los valores de la ciudad de Huancayo, Jauja ofrecería valores similares a los registrados en Huancayo pero con una ligera variación de 0.45% atribuibles a condiciones climatológicas o errores de estimación.

Tabla 4
Simulaciones de producción de energía en la ciudad de Jauja

Mes	Días	Gdm (0)	Fc	Fp	Np	Ap	Energía
Enero	31	6.122	0.924	0.820	0.2	2.2218	511.16
Febrero	28	5.894	0.959	0.828	0.2	2.2218	465.51
Marzo	31	5.575	1.010	0.826	0.2	2.2218	512.52
Abril	30	5.735	1.067	0.829	0.2	2.2218	541.47
Mayo	31	5.843	1.120	0.837	0.2	2.2218	603.71
Junio	30	5.744	1.149	0.844	0.2	2.2218	594.27
Julio	31	5.950	1.138	0.842	0.2	2.2218	628.31
Agosto	31	6.304	1.095	0.831	0.2	2.2218	631.61
Setiembre	30	6.037	1.037	0.822	0.2	2.2218	549.03
Octubre	31	6.270	0.982	0.810	0.2	2.2218	549.44
Noviembre	30	6.611	0.938	0.806	0.2	2.2218	533.01
Diciembre	31	6.059	0.915	0.810	0.2	2.2218	494.87

Nota. Simulaciones con ocho paneles.

Al igual que en Huancayo, Jauja es una ciudad ubicada en el denominado Valle del Mantaro, que es un valle interandino en el cual las lluvias entre los meses de diciembre a marzo se manifiestan intensamente, pero a pesar de ello la generación de energía tampoco disminuye significativamente debido probablemente a los altos valores de irradiación que se dan en estos meses, los cuales corresponden al verano austral de hemisferio sur.

Tabla 5
Pérdidas por temperatura para la ciudad de Jauja

Mes	Irradiancia	Irradiación	Ta	TONC	Tp	Tc	DT	Coef. T %	Pérdidas %	Ft %
Enero	6.92	905.66	16.61	45	20	44.91	-0.09	-0.37	0.03	100.03
Febrero	6.35	831.64	16.46	45	20	42.45	-2.55	-0.37	0.94	100.94
Marzo	6.45	843.88	16.56	45	20	42.93	-2.07	-0.37	0.77	100.77
Abril	6.18	809.05	16.63	45	20	41.91	-3.09	-0.37	1.14	101.14
Mayo	5.65	739.71	16.25	45	20	39.37	-5.63	-0.37	2.08	102.08
Junio	5.13	671.26	15.99	45	20	36.97	-8.03	-0.37	2.97	102.97
Julio	5.43	710.20	15.64	45	20	37.83	-7.17	-0.37	2.65	102.65
Agosto	6.25	817.87	15.91	45	20	41.47	-3.53	-0.37	1.31	101.31
Setiembre	6.83	893.74	16.37	45	20	44.30	-0.70	-0.37	0.26	100.26
Octubre	7.83	1024.78	16.31	45	20	48.33	3.33	-0.37	-1.23	98.77
Noviembre	8.09	1058.94	16.49	45	20	49.58	4.58	-0.37	-1.70	98.30
Diciembre	7.77	1017.43	16.51	45	20	48.30	3.30	-0.37	-1.22	98.78

Nota. DT: variación de temperatura (Δ); TONC = 45 y Tp = 20 por cada mes

En lo referente a las pérdidas por temperatura registradas en las estimaciones de producción de energía, se aprecia algo muy similar que en el caso de la ciudad de Huancayo, valores negativos entre los meses de enero a setiembre y valores de pérdidas con un máximo de 1.70% en el mes de noviembre. Por tanto,

al estar ambas ciudades dentro del Valle del Mantaro las condiciones de operación del sistema fotovoltaico móvil serían bastante similares para las ciudades de Jauja y Huancayo, resultados que como se verá en el próximo apartado, diferirán con respecto a lo calculado para la ciudad de Chanchamayo que se encuentra en la zona denominada como Selva Central de Junín.

3.3 Simulaciones en la ciudad de La Merced

Como se evidencia en la tabla 6, con el uso de un sistema fotovoltaico móvil con 8 paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino, es posible tener una cosecha mensual que va desde 379 kWh / mes en febrero hasta los 525.68 kWh/mes en agosto, lo que significa una producción anual de 5547.64 kWh. Así también con estos resultados mensuales, es posible determinar que los promedios diarios para cosecha de energía estarían entre 13.53 kWh en el mes de febrero y 16.95 kWh en el mes de julio. Para el caso de Chanchamayo y posiblemente para otras ciudades de la Selva Central de Junín la producción de energía del sistema fotovoltaico móvil cumpliría parcialmente el requerimiento máximo de energía de 15 kWh diarios. Sin embargo, se podría afirmar que el sistema sería capaz de satisfacer en un 90.20% las necesidades energéticas de centros poblados ubicados en zonas urbanas y rurales de Junín.

Tabla 6
Simulaciones de producción de energía en la ciudad de Jauja

Mes	Irradiancia	Irradiación	Ta	TONC	Tp	Tc	DT	Coef. T %	Pérdidas %	Pt %
Enero	5.14	673.12	23.90	45	20	44.94	-0.06	-0.37	0.02	100.02
Febrero	4.82	630.33	23.40	45	20	43.10	-1.90	-0.37	0.70	100.70
Marzo	4.74	620.51	23.40	45	20	42.79	-2.21	-0.37	0.82	100.82
Abril	4.93	645.51	23.50	45	20	43.67	-1.33	-0.37	0.49	100.49
Mayo	4.86	636.01	23.00	45	20	42.88	-2.12	-0.37	0.79	100.79
Junio	4.76	622.91	22.10	45	20	41.57	-3.43	-0.37	1.27	101.27
Julio	4.92	644.62	21.80	45	20	41.94	-3.06	-0.37	1.13	101.13
Agosto	5.31	694.99	22.70	45	20	44.42	-0.58	-0.37	0.22	100.22
Setiembre	5.23	684.96	23.40	45	20	44.80	-0.20	-0.37	0.07	100.07
Octubre	5.45	713.02	24.00	45	20	46.28	1.28	-0.37	-0.47	99.53
Noviembre	5.46	714.15	23.70	45	20	46.02	1.02	-0.37	-0.38	99.62
Diciembre	5.02	657.41	23.20	45	20	43.74	-1.26	-0.37	0.46	100.46

Nota. Simulaciones con ocho paneles.

En el análisis de pérdidas por temperatura se ha podido evidenciar según los resultados de la tabla 7 que las pérdidas porcentuales por temperatura alcanzan un -0.47% en el mes de octubre y -0.38% en el mes de noviembre, lo que indicaría que solamente en estos meses se presentarían pequeñas pérdidas por incrementos de temperatura. Los resultados ob-

tenidos para los otros meses, los cuales tienen valores positivos indicarían quizás una mejora en la eficiencia de las células o simplemente que las células trabajarían según sus condiciones óptimas de operación. Así también al igual que en las ciudades del Valle del Mantaro se registra alta nubosidad y lluvias permanentes entre los meses de verano austral entre diciembre y marzo, lo que disminuye su irradiación incidente sobre las superficies y también incide en su temperatura.

Tabla 7
Pérdidas por temperatura para la ciudad de La Merced

Mes	Días	Gdm (0)	Fc	Fp	Np	Ap	Energía
Enero	6.148	0.924	0.82	0.2	2.2218	6.148	1539.96
Febrero	5.812	0.959	0.828	0.2	2.2218	5.812	1376.99
Marzo	5.436	1.01	0.826	0.2	2.2218	5.436	1499.21
Abril	5.725	1.067	0.829	0.2	2.2218	5.725	1621.39
Mayo	5.874	1.12	0.837	0.2	2.2218	5.874	1820.94
Junio	5.771	1.149	0.844	0.2	2.2218	5.771	1791.19
Julio	5.911	1.138	0.842	0.2	2.2218	5.911	1346.89
Agosto	6.314	1.095	0.831	0.2	2.2218	6.314	1897.83
Setiembre	6.085	1.037	0.822	0.2	2.2218	6.085	1660.19
Octubre	6.529	0.982	0.81	0.2	2.2218	6.529	1716.33
Noviembre	6.766	0.938	0.806	0.2	2.2218	6.766	1636.7
Diciembre	6.114	0.915	0.81	0.2	2.2218	6.114	1497.96

Nota. DT: variación de temperatura (Δ); TONC = 45 y Tp = 20 por cada mes

3.4 Contrastación de resultados con un sistema fotovoltaico real

Para garantizar la efectividad de los cálculos se han contrastado los datos de las simulaciones de producción de energía en la ciudad de Huancayo con un sistema fotovoltaico que ha sido recientemente puesto en servicio por la empresa Electrocentro S.A. quienes han facilitado algunos datos de la cosecha de energía de su sistema fotovoltaico conectado a la red. El sistema fotovoltaico está constituido por 24 paneles de tipo monocristalino de 470 Wp montados sobre estructuras fijas en el tejado de su Centro de Control ubicado en la Subestación de Parque Industrial en el distrito del El Tambo en la ciudad de Huancayo.

La producción de energía del sistema conectado a la red durante los primeros 22 días del mes de julio de 2023 hasta las primeras horas de la mañana del día 23 de julio se habían cosechado 1.298 MWh, de los cuales 615.14 kWh fueron consumidos y 683.26 kWh fueron inyectados a la red.

Para poder hacer la contrastación de resultados

se ha modelado la producción de energía de un sistema constituido por 24 paneles utilizando el modelo de cálculo propuesto para las simulaciones así como los datos de irradiación y temperatura empleados en las simulaciones del sistema fotovoltaico móvil para la ciudad de Huancayo. Tal como se aprecia en la tabla 8, la energía proyectada en la simulación considerando 22.3 días para el cálculo ha dado como resultado 1.346 MWh, lo cual en comparación a los 1.298 MWh reportados por el sistema fotovoltaico de Electrocentro S.A. dan un margen de error de solamente 3.56%. Si bien es cierto hubiera sido más satisfactorio realizar una comparación con la producción de energía todos los meses del año, este sistema ha iniciado recientemente su operación en el mes de julio de 2023, por lo que aun no existen más datos disponibles.

Tabla 8
Simulación de producción de energía en el Parque Industrial

Mes	Días	Gdm (0)	Fc	Fp	Np	Ap	Energía
Enero	6.148	0.924	0.82	0.2	2.2218	6.148	1539.96
Febrero	5.812	0.959	0.828	0.2	2.2218	5.812	1376.99
Marzo	5.436	1.01	0.826	0.2	2.2218	5.436	1499.21
Abril	5.725	1.067	0.829	0.2	2.2218	5.725	1621.39
Mayo	5.874	1.12	0.837	0.2	2.2218	5.874	1820.94
Junio	5.771	1.149	0.844	0.2	2.2218	5.771	1791.19
Julio	5.911	1.138	0.842	0.2	2.2218	5.911	1346.89
Agosto	6.314	1.095	0.831	0.2	2.2218	6.314	1897.83
Setiembre	6.085	1.037	0.822	0.2	2.2218	6.085	1660.19
Octubre	6.529	0.982	0.81	0.2	2.2218	6.529	1716.33
Noviembre	6.766	0.938	0.806	0.2	2.2218	6.766	1636.7
Diciembre	6.114	0.915	0.81	0.2	2.2218	6.114	1497.96

Nota. Producción con 24 paneles

4 Discusión

El sistema propuesto concibe la idea de un sistema fotovoltaico montado sobre un coche remolque de 5m de longitud, el cual dispondría de dos columnas fabricadas con tubo cuadrado de acero galvanizado de 6" sobre las cuales estaría montada una estructura de soporte con capacidad para 8 paneles solares, distribuyendo cuatro en el lado izquierdo y cuatro en el lado derecho. La base del remolque podría albergar las baterías y un gabinete para el inversor y el cuadro de mando y protección. Adicionalmente, se pretende utilizar una puesta a tierra temporal, la cual sería desplegada cada vez que el sistema móvil se ubicará en un nuevo emplazamiento.

Dado que la investigación se centra más en los resultados de simulaciones sobre el comportamiento del sistema fotovoltaico móvil en tres diferentes emplazamientos temporales, los resultados obtenidos giran en torno a las producciones de energía que diariamente se podrían registrar en diferentes ciudades del departamento de Junín, estando dos de las ubicaciones seleccionadas en medio de los Andes Centrales de Perú a altitudes comprendidas entre los 3200 y 3400 msnm. Es así que los resultados han mostrado desempeños para las tres ubicaciones de sistema fotovoltaico móvil como se presenta en la tabla 9.

En la tabla 9, se puede apreciar con mayor claridad cuáles serían las producciones de energía de un día promedio por cada mes del año para las 3 diferentes ciudades. Solamente para el caso de La Merced, que es una ciudad ubicada en la Selva central, la producción de energía no llegaría a los 15 kWh del diseño propuesto solamente en los meses de lluvias, es decir, en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, pero como ya se mencionó se logra una cobertura de como mínimo un 90.20% en el peor mes.

Así también se ha analizado los resultados de producción de energía en una ciudad de la Selva Central de Perú, la cual depende de condiciones de irradiación y temperatura. Un punto clave a analizar es que las pérdidas por temperatura dependen en su cálculo tanto de la temperatura ambiente como de la irradiación por metro cuadrado a considerar, es por ello que aparentemente en la ciudad de Huancayo se podrían presentar mayores pérdidas por temperatura, pero es porque las irradiaciones son más elevadas que en las ciudades de Selva Central, sin embargo, el hecho de tener altas irradiaciones y temperaturas que llegan a los 40°C podría generar mayores pérdidas porcentuales en el sistema fotovoltaico. Ha sido importante la contrastación de los resultados de la simulación con los datos reales del Sistema Fotovoltaico de la Empresa Electrocentro S.A., el cual está compuesto por 24 paneles de 470 Wp el cual viene funcionando desde julio del 2023. La diferencia entre el modelo de cálculo y las simulaciones para la ciudad de Huancayo solo tuvieron una diferencia porcentual de 3.56% con respecto al valor calculado con el modelo utilizado en esta investigación. Si nos fijamos en la producción de energía de nuestro sistema fotovoltaico móvil, para el mes de julio se tiene proyectada una cosecha de energía que en promedio debería de ser de 20.13 kWh por día, y teniendo en cuenta que nuestro sistema cuenta con 8 paneles de 455 Wp cada uno y el sistema de Electrocentro

S.A cuenta con 24 paneles de 470Wp, multiplicando por 3, se obtendría una cosecha de energía de 60.39 KWh, lo cual es un resultado bastante cercano a lo mostrado en la gráfica siguiente, la cual registró un a producción de 63.24 kWh para el día 22 de julio de 2023.

Tabla 9

Comparación de generación de energía por ciudad

Mes	Huancayo		Jauja		La Merced	
	Mensual	Diario	Mensual	Diario	Mensual	Diario
Enero	513.32	16.56	511.16	16.49	430.73	13.89
Febrero	459	16.39	465.51	16.63	379.96	13.57
Marzo	499.74	16.12	512.52	16.53	436.64	14.09
Abril	540.46	18.02	541.47	18.05	463.42	15.45
Mayo	606.98	19.58	603.71	19.47	495.66	15.99
Junio	597.06	19.26	594.27	19.17	482.6	15.57
Julio	624.12	20.13	628.31	20.27	510.04	16.45
Agosto	632.61	20.41	631.61	20.37	525.68	16.96
Setiembre	553.4	17.85	549.03	17.71	475.7	15.35
Octubre	572.11	18.46	549.44	17.72	482.76	15.57
Noviembre	545.57	17.6	533.01	17.19	446.95	14.42
Diciembre	499.32	16.11	494.87	15.96	417.5	13.47
Total	6643.69	216.49	6614.91	215.56	5547.64	180.78

5 Conclusiones

Los resultados de las 3 simulaciones para diferentes ciudades de la Región Junín mostraron diferentes comportamientos que podría presentar el sistema móvil según los niveles de irradiación y temperatura de cada zona. La zona que presenta menores posibilidades de la generación con energía solar fotovoltaica es la zona de La Merced, la que en comparación a las zonas de Jauja y Huancayo presenta menor producción de energía y no alcanzaría los 15 kWh en los meses de alta nubosidad y lluvias. Sin embargo, también se puede apreciar que las irradiaciones en todas las zonas son las suficientes para producir la energía suficiente para poder satisfacer las necesidades energéticas de los usuarios del sistema móvil garantizando un 90.20% de cobertura de la demanda energética. Con base a las especificaciones del fabricante de los inversores, también se aprecia que sería posible cargar los bancos de baterías con energía proveniente de la red eléctrica en caso de no contar con la suficiente irradiación en meses de nubosidad prolongada y altas precipitaciones.

Referencias

- D'Angles, B. E. (2020). *Análisis de los factores que influyen en el diseño de una planta fotovoltaica de 40MW ubicada en el Valle del Mantaro* [Tesis de especialización]. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo. Consultado el 16 de diciembre de 2023, desde <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6031>
Accepted: 2020-10-26T16:47:56Z.
- Macias, J., Herrero, R., Nunez, R., & Anton, I. (2021). On the Effect of Cell Interconnection in Vehicle Integrated Photovoltaics: Modelling Energy under Different Scenarios. *2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 1336-1339. <https://doi.org/10.1109/PVSC43889.2021.9518935>
- Zhou, Q. (2014). Application of Electric Car PV Charging System. *2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA)*, 675-677. <https://doi.org/10.1109/WARTIA.2014.6976353>