

# Evaluación del sistema de almacenamiento de calor para el secado solar por convección natural de productos agrícolas en Huancayo

Evaluation of the heat storage system for solar drying by natural convection of agricultural products in Huancayo

 Clemente, Wuilber .<sup>1</sup> y  Martínez, Carlos S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

**Resumen:** Una de las alternativas para mantener el ciclo de vida de productos agrícolas conservando sus nutrientes, es el proceso de secado o la deshidratación y para lograr estos procesos existen diversas tecnologías como; secado por convección natural y forzada, por energía solar, por energía eléctrica e incluso por energía térmica con fuentes fósiles; sin embargo, el más atractivo y sostenible es el secado por energía solar. La limitación de este proceso es cuando cesa la radiación solar, es decir, por las noches o en épocas de invierno, generándose baja eficiencia de secado. El propósito de la investigación es evaluar cuatro formas de almacenamiento de calor en materiales sólidos, específicamente en piedras planas negras de río y cantera en tamaños de 0.5" y 2.5" de diámetro; a fin de conocer el tiempo y temperatura que proporciona cada sistema. Para cumplir este objetivo se ha acudido a otros estudios a fin de ampliar los conocimientos inherentes a almacenamiento de calor sensible y su aplicación en el proceso de secado. Para la prueba, se ha configurado cuatro modelos; uno para la piedra de río de 0.5" (M1), uno para piedra de río 2.5" (M2), uno para piedra de cantera 0.5" (M3) y uno para piedra de cantera de 2.5"(M4), en cada una de ellos, se ha evaluado el tiempo de almacenamiento y la temperatura.

**Palabras clave:** Cámara de almacenamiento, Calor sensible, material sólido, Radiación solar y Temperatura.

**Abstract:** One of the alternatives for maintaining the life cycle of agricultural products while preserving their nutrients is the drying or dehydration process. Various technologies exist for achieving these processes, such as natural and forced convection drying, solar energy, electrical energy, and even thermal energy from fossil fuels. However, the most attractive and sustainable option is solar energy drying. The limitation of this process is when solar radiation ceases, i.e., at night or in winter, resulting in low drying efficiency. The purpose of the research is to evaluate four forms of heat storage in solid materials, specifically in flat black river and quarry stones in sizes of 0.5" and 2.5" in diameter, in order to determine the time and temperature provided by each system. To achieve this objective, other studies have been consulted in order to expand the knowledge inherent in sensible heat storage and its application in the drying process. For the test, four models have been configured: one for 0.5" river stone (M1), one for 2.5" river stone (M2), one for 0.5" quarry stone (M3), and one for 2.5" quarry stone (M4). In each of these, the storage time and temperature have been evaluated.

**Keywords:** Storage chamber, Sensitive heat, solid material, Solar radiation and Temperature.



**Referencia:** Clemente, W. , y Martínez, C. S. (2024). Evaluación del sistema de almacenamiento de calor para el secado solar por convección natural de productos agrícolas en Huancayo. *Prospectiva Universitaria*, 21(02), 15–22. <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/1952>

Recibido: 12 de febrero de 2024

Aceptado: 25 de junio de 2024

Publicado: 30 de junio de 2024

Prospectiva Universitaria. Vol. 21, núm. 02, julio a diciembre, 2024. Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons



CC BY 4.0 DEED

Attribution 4.0 International  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## 1. Introducción

El secado de productos agrícolas en la Región Junín viene desarrollándose paulatinamente, ya sea, utilizando como fuente de energía a combustibles fósiles o energías no convencionales, específicamente la energía solar; sin embargo, éste último aún presenta dificultades por su intermitencia. Debido a la intermitencia del recurso solar, los secadores solares sufren un secado discontinuo y, por lo tanto, un tiempo de secado prolongado (Dake et al., 2021), la limitación de los secadores solares es su incapacidad para lograr un secado continuo durante las horas en que no hay sol (Srinivasan et al., 2021). El secado al sol abierto tiene algunas limitaciones, pero estas limitaciones se pueden superar en los secadores solares mediante almacenamiento de energía térmica (TES) ya que mejora el rendimiento (Mugi et al., 2022); La falta de continuidad del proceso de secado después de la puesta del sol, es una de las limitaciones más importantes de los secadores solares que repercute en la calidad del producto y el tiempo de secado (Chaatouf et al., 2021). El secado es un procedimiento importante y es popular entre los agricultores para secar productos agrícolas, sin embargo, los agricultores no pueden secar sus cultivos debido a la disponibilidad limitada de rayos solares durante el día (Divyangkumar et al., 2022).

Para resolver estas dificultades existen tecnologías y principios teóricos tales como; transferencia de calor, termodinámica, física, diseño y óptica; existen diversas formas de almacenar energía térmica, uno de ellos es el tanque de almacenamiento de agua que contiene dos tipos de materiales de cambio de fase con diferentes puntos de fusión, luego, con base en el cálculo por la simulación, se obtuvo el tanque con el mayor rendimiento de almacenamiento térmico al cambiar el espesor de los materiales de cambio de fase (Lu et al., 2018). Asimismo, existen sistemas de almacenamiento de calor en forma de tubos de cobre llenos de material de cambio de fase (PCM), colocados en el plenum de montaje lateral, para su análisis se utilizó el software Ansys Fluent el mismo que también predice el comportamiento térmico y dinámico del secador solar (Chaatouf et al., 2022). Para el análisis y predicción de parámetros de secado solar existen diversas teorías modernas como las redes neuronales, es así, el desarrollo de un modelo de gemelo digital utilizando redes neuronales artificiales y análisis de sensibilidad global para estimar diferentes indicadores de sostenibilidad exergética (potencial de mejora, índice de exergía residual e índice de sostenibilidad) de un secador solar de tipo indirecto convencional y un secador solar indirecto con un sistema de almacenamiento térmico (ITSD-TSS), es

útil para la evaluación experimental del secado de tomate en clima tropical (Cetina-Quiñones et al., 2021); otra de las tecnologías que puede resolver el problema de secado de manera eficiente es el sistema de secado de gabinete solar equipado con un colector solar de tubo de vacío de tubería de calor (ETSC) y un sistema de almacenamiento térmico con aplicación de PCM, en ello, se consideró el análisis térmico del colector solar, eficiencia de secado, modelado CFD del sistema y evaluación de calidad de rodajas de manzana deshidratada (Iranmanesh et al., 2020).

Además existen estudios del rendimiento energético y exergético de un secador solar integrado con lecho empacado (TES) como medio de almacenamiento de energía térmica, en ello se muestra la cinética de secado de rodajas de naranja, a fin de evaluar el potencial de almacenamiento térmico del lecho empacado centrándose en el consumo de energía y los indicadores de sostenibilidad exergética (Atalay, 2019). Uno de los componentes principales de un almacenador de energía térmica es el material, es así, se analizan los materiales de almacenamiento de energía natural colocados en diferentes lugares, como tipo 1, tipo 2 y tipo 3, en ellos se revisa el rendimiento de los materiales de almacenamiento de energía natural de uso frecuente, como arena, arenisca, grava, rocas, guijarros, piedra caliza, arcilla, suelo, ladrillos, cuarzo, hormigón armado y agua (Mugi et al., 2022). Otro elemento importante en el estudio de los secadores y su almacenamiento son los modelos numéricos novedosos que ayudan a identificar el efecto de las aletas en el dispositivo de almacenamiento de energía térmica (TES) del secador solar de tipo indirecto (ITSD) (Yadav & Chandramohan, 2020). La unidad de almacenamiento de energía térmica en el secador solar consta de sistemas de almacenamiento de calor latente, sensible o mixta e incide en los materiales utilizados en diferentes secadores solares, de tipo directo, indirecto y de modo mixto que funcionan tanto en convección natural como forzada (Srinivasan et al., 2021). La caracterización del material de almacenamiento de calor latente es de suma importancia al diseñar el almacenamiento de calor latente para cualquier aplicación solar térmica, en consecuencia, es necesario determinar sus características termo físicas (Agarwal & Sarviya, 2017).

Actualmente, existen diversos estudios inherentes a la tecnología de secado de productos agrícolas, es más, también hay investigaciones sobre almacenamiento de energía térmica, tal es así, en la investigación; Diseño, desarrollo y pruebas de rendimiento de un sistema de secador solar basado en almacenamiento de energía térmica para uvas con semillas, se mues-

tra el uso de cera de parafina orgánica para almacenar energía térmica en el secador solar, el mismo que mejoró la eficiencia del secado incluso durante las horas en las que no hay sol y redujo el período general de secado ([Gopinath et al., 2022](#)), la aplicación de sistemas solares térmicos para conservar y procesar productos agrícolas como frutas y verduras ha encontrado un alcance destacado en los últimos años, sobre todo en la mejora del rendimiento del secador solar en función de la temperatura, el contenido de humedad (%) y la humedad relativa ([Kokate et al., 2023](#)).

Asimismo, en un artículo se examinó el rendimiento de un novedoso sistema de secado solar por convección forzada, de bajo costo, para controlar las fluctuaciones térmicas durante el proceso de secado, día y noche, el colector solar de aire (SAC) se equipó con un medio de almacenamiento de calor sensible (SHSM), mientras que la unidad de secado contenía parafina RT-42 como medio de almacenamiento de energía térmica (TES) ([Bhardwaj et al., 2021](#)). Para mejorar la eficiencia y el tiempo de secado es necesario el requerimiento de un almacenamiento híbrido de calor sensible-latente, basado en un intercambiador de calor de carcasa y tubos comerciales adaptados y el material de cambio de fase (PCM) está encapsulado dentro de los tubos y el aceite térmico sirve como almacenamiento de calor sensible y como medio de transferencia de calor ([Zauner et al., 2017](#)). También se desarrolló e investigó un secador solar de convección forzada indirecta y directa integrado con un medio de almacenamiento de calor sensible de guijarros en las condiciones climáticas predominantes en el Sahara ([Chaouch et al., 2018](#)). Por otro lado, se puede almacenar calor en paredes, tal como el diseño y desempeño térmico de muros acumuladores de calor (RSC) fabricados con materiales mixtos (hormigón y agua) para calentar viviendas de construcción masiva construidas por el Estado Nacional de Argentina ([Viegas et al., 2018](#)).

Los materiales para el almacenamiento de calor es clave, por eso hay investigaciones que presentan un resumen de diversos materiales de almacenamiento de energía solar térmica y sistemas de almacenamiento de energía térmica que se utilizan actualmente, donde se discuten y analizan las propiedades de los materiales de almacenamiento de energía solar térmica, los comportamientos dinámicos de los sistemas de almacenamiento de energía solar térmica en investigaciones recientes ([Alva et al., 2017](#)). En el ámbito de la agricultura existen diversos tipos de secadores solares, de tipo indirecto (ITSD) es el secador más utilizado para secar productos agrícolas, el presente documento de revisión se centra principalmente en estrategias/técnicas claves

disponibles para mejorar la eficiencia de los sistemas de secado solar indirecto ([Kale & Havaldar, 2023](#)), del mismo modo se investigó el rendimiento del PCM integrado con un secador solar con un secado de patatas fritas en términos de eficiencia térmica, velocidad de secado, eficiencia de secado y factor de utilización del calor. En el secador habilitado con PCM, el producto se secó en un solo día, manteniendo la temperatura de secado promedio entre 58 °C y 66 °C durante todo el secado ([Divyangkumar et al., 2022](#)). Con la investigación lo que se pretende es evaluar la capacidad de almacenamiento de calor sensible en materiales sólidos como piedras negras de cantera y río en dos tamaños cada uno; 0.5", 2.5"; es decir se evalúa el tiempo de almacenamiento y la temperatura durante ausencia de radiación solar.

## 2. Materiales y métodos

Los materiales que se utilizaron para la fabricación de los módulos de almacenamiento de calor fueron: piedra de cantera de i, piedra de cantera de 2.5, piedra de río de i y de 2.5; melamina de i, vidrio de 6 mm de espesor, silicona y malla de acero. El método que se ha utilizado para la configuración del sistema, se basó a los lineamientos del diseño conceptual y categorial que contempla: identificación del objeto a diseñar, definición de funciones, solución conceptual y configuración definitiva ([Espinoza Montes, 2013](#)). En el diseño conceptual se ha planificado la forma geométrica de los paneles; 300 mm de ancho, 500 mm de largo y 100 mm de alto. El proceso de fabricación consistió en trazado, corte y ensamble.

Se ha construido cuatro paneles, en cada uno de ellos se encuentran los materiales de almacenamiento (piedras negras). Estos paneles son expuestos a la radiación solar durante el día a fin de captar el calor y almacenarlas en las piedras negras, cuando cesa la radiación, se inicia con la medición de la temperatura y el flujo de calor en cada panel, cada 5 minutos, hasta que la temperatura de salida del panel sea igual al del ambiente. Además, los paneles tendrán orientación hacia el norte, con un ángulo de elevación de 23.5°. El proceso ejecutado durante la construcción y montaje, incluyó la identificación de necesidades, definición de requisitos, funciones de los componentes, matriz morfológica, evaluación técnica y económica, configuración definitiva y puesta a prueba con mediciones.

## 3. Resultados

### 3.1. Identificación de necesidades

Los requerimientos para la configuración se muestran en la tabla 01. Se prioriza que el material de alma-

cenamiento absorba calor efectivamente (importancia 1) para que el tiempo sea el mayor posible. Asimismo, se requiere que la selección de componentes sea adecuada para evitar fugas y que la cámara sea resistente a lluvias y viento.

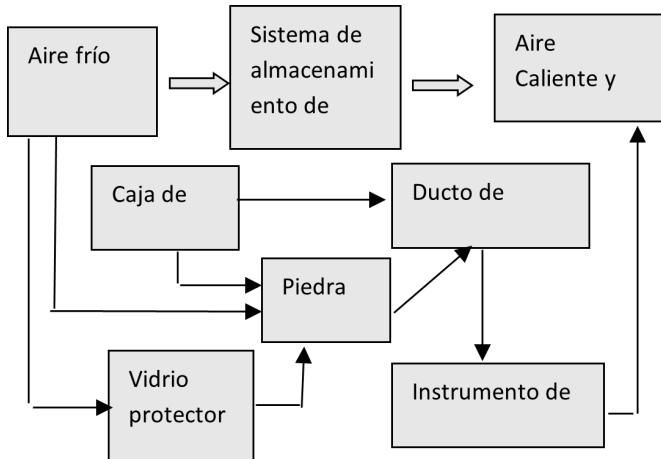
### 3.2. Definición de requisitos para la configuración

Para cumplir las exigencias del sistema de almacenamiento de calor con fines de secado de productos agrícolas, es necesario definir los requisitos de configuración, fabricación y montaje. En cuanto a la geometría, la cámara o caja posee un largo total de 500 mm, un ancho de 300 mm y una altura de 100 mm, con paredes de 12 mm de espesor y un vidrio protector de 6 mm. El diámetro de salida del flujo es de 6 mm. Para el almacenamiento se utilizan piedras negras de río y de cantera en diámetros de 12 mm y 25 mm. El sistema es estático y soporta una carga de 12 kg, utilizando radiación solar y energía del viento. Los materiales empleados son melamina, vidrio y piedras, asegurando un montaje y transporte sencillos, bajo costo y facilidad de mantenimiento.

### 3.3. Definición de las funciones de los componentes del sistema

**Figura 1**

Caja negra y caja blanca del sistema de secado



Para definir las funciones, acudimos a la técnica de la caja negra y caja blanca (Figura 1). El sistema recibe aire frío y radiación solar, procesándolos a través de componentes como la piedra negra (absorbente), vidrio protector, caja de melamina y ducto de evacuación para entregar aire caliente durante un tiempo determinado. Las funciones se determinan en base a los componentes y con ellos se establece la matriz morfológica.

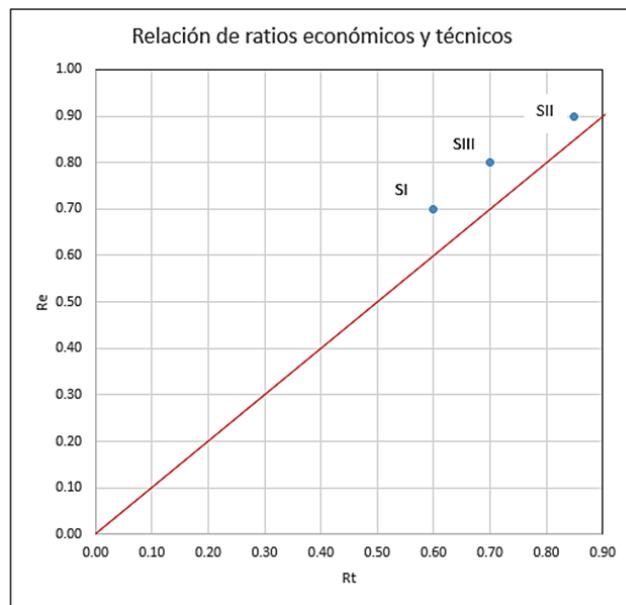
La alternativa que satisface a las exigencias corresponde a la solución II, es decir; una cámara de almace-

namiento de melamina, piedra negra de cantera y río de diversos tamaños como material absorbente de calor, el vidrio de 6 mm de espesor como protector transparente y un ducto de un pie de longitud para transportar aire caliente hacia el instrumento de medición. Sin embargo, para consolidar la alternativa se hizo las evaluaciones técnicas y económicas de cada solución.

Con estos ratios, también podemos afirmar la decisión correcta de la solución, a fin de configurar los componentes de manera adecuada (Barriga Gamarra, 2016). En función a estos ratios, se construye la relación que existe entre ellos (Figura 2), apreciando que la solución II (SII) está más próximo a la línea diagonal, mientras que las soluciones I y III están alejadas; por tanto, la alternativa óptima es la solución II. En consecuencia, la configuración definitiva se hizo para esta alternativa.

**Figura 2**

Relación de las calificaciones técnicas y económicas



### 3.4. Puesta a prueba

A la cámara de almacenamiento se instaló el termómetro de vástago, a fin de que éste mida la variación de temperatura y el flujo de calor. Para que las piedras estén extendidas en la base de la caja se utilizó malla de acero y sobre ésta se almacena el flujo de aire caliente. Sin embargo, lo que se pretende es que el calor se almacene en las piedras negras. Otro de los propósitos es que el calor almacenado por las piedras emita calor sensible hacia un secador de productos agrícolas cuando cesa la radiación solar, es decir por las noches. Sin embargo, es necesario controlar y verificar el tiempo a bomba que dura en alimentar el calor hacia el secador y así determinar la eficiencia del secador en su

**Tabla 1***Requerimientos para la Definición del Sistema de Almacenamiento*

Información sin Procesar	Enunciado de la Necesidad	Jerarquía	Importancia
“Se desea que el sistema almacene calor con efectividad, sin generar fugas”	Selección de componentes sea adecuado	2	X
Se desea que el tiempo de almacenamiento sea mayor posible	El material de almacenamiento absorba calor	1	X
La Temperatura dentro de la cámara sea mayor que del ambiente.	La cámara de almacenamiento sin fugas.	4	X
Se desea que la cámara de almacenamiento sea resistente	Cámara de almacenamiento resistente a lluvias y viento	3	
Se desea que el sistema sea transportable.	Módulo transportable	6	
Se desea que el sistema no emita GEI al ambiente	Baja emisión del GEI	5	

*Nota.***Tabla 2***Matriz Morfológica del Sistema de Secado*

Funciones Parciales	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03
Almacena las Piedras y el Flujo de Aire Caliente	Cámara de almacenamiento de melamina	Cámara de almacenamiento de madera	Cámara de almacenamiento de Fibra de vidrio
Absorbe el Calor de la Radiación Solar	Ladrillos refractarios artesanales	Piedra negra de diversos tamaños	Bloques de cemento
Transfiere la Radiación y no Permite el Retorno	Vidrio de 4 mm de espesor	Vidrio de 6 mm de espesor	Vidrio de 8 mm de espesor
Transporta el Flujo de Aire Caliente	Manguera de vacío de 3 pies	Manguera de vacío de 1 pie	Manguera de vacío de 2 pies
SOLUCIÓN	Solución I	Solución II	Solución III

**Tabla 3**  
*Evaluación Técnica de las Soluciones*

Criterios Técnicos	Solución I	Solución II	Solución III
Almacenamiento de Calor	2	3	2
Temperatura Adecuada en la Cámara	3	4	3
Calidad de la Configuración	2	3	3
Consumo de Energía	2	4	3
Pocos Componentes	3	3	3
Fácil Montaje	2	3	3
Funcionamiento Sencillo	3	3	3
Mantenimiento Sencillo	2	3	3
Facilidad de Uso	3	4	3
Emisión de Contaminantes	2	3	2
TOTAL	24	34	28
Ratio (Total/40)	0.60	0.85	0.70

Nota.

**Tabla 4**  
*Evaluación Económica de las Soluciones*

Criterios Económicos	Solución I	Solución II	Solución III
Costo de Material	3	4	3
Costo de Ensamblaje	2	4	4
Tiempo de Prueba Corto	3	3	3
Posibilidad de Adquirir en la Zona	3	4	3
Posibilidad de Fabricación	3	3	3
TOTAL	14	18	16
Ratio (Total/20)	0.70	0.90	0.80

Nota.

conjunto.

#### 4. Discusiones

Las exigencias para la configuración del sistema de almacenamiento de calor fueron; la reducción de tiempo de secado, obviamente en las secadoras solares, pero en el propio sistema se quiso que el tiempo almacenamiento de energía térmica sea mayor, a fin de que éste pueda suministrar calor hacia el secador durante la noche y por ende sea menor el tiempo de secado de los productos agrícolas. Para esto se ha evaluado las características técnicas y económicas de la solución óptima, que fue la solución II. El resultado de esta solución se ha construido en cuatro modelos, es decir cuatro paneles o cámaras teniendo en cuenta el material que absorbe calor, en este caso las piedras de río y cantera. En la investigación; diseño, construcción y validación de un liofilizador tipo manifold, no se aprecia el proceso de diseño y construcción, sin embargo, muestra la evaluación de secado por liofilización y convección, obteniendo buenos resultados, incluso comparables a los obtenidos con un liofilizador comercial, en los parámetros de porcentaje de humedad y actividad de agua, los resultados se contrasta las ventajas del secado por liofilización frente al secado tradicional convectivo, obteniendo en todos los casos alimentos deshidratados con mejor valor nutricional y características sensoriales (Mora et al., 2019). Con nuestra investigación, en comparación al anterior, para la configuración se ha utilizado una metodología de diseño y producto de ello, se ha obtenido la configuración definitiva, luego se puso a prueba, con el secado papa picado en rodajas y congelado, es decir, la papa congelada se puso en la cámara de vacío a fin de ser secado por sublimación, a través de la bomba de vacío.

Otro estudio muestra la influencia de tres procesos; temperatura de la muestra menor a la del punto eutéctico, temperatura de la muestra igual al de eutéctico y temperatura de la muestra superior al eutéctico; en la calidad del producto, que contempla la apariencia, color, sabor, almacenamiento, ingredientes nutricionales y costo. Durante el secado, el proceso 3 (temperatura de la muestra superior al eutéctico) con un rápido aumento de temperatura tiene una mejor tasa de rehidratación y microestructura, por tanto se tipifica el mejor, debido a su índice de rendimiento mayor y tiem-

po de proceso corto (B. B. Wang, Sun, Chen, Sajjad, y Yan, 2022). Efectivamente, en la investigación nuestra, también se presenta similar caso, es decir, el mejor performance se ha encontrado cuando la temperatura de la muestra es mayor al del punto eutéctico.

El proceso de liofilización incluye al menos una etapa de congelación, una etapa de secado primario (sublimación) y una etapa de secado secundario (desorción). En la primera etapa el producto se congela y se forman cristales de hielo en el producto, durante la etapa de secado primario, se extrae el agua del producto a través de la sublimación de los cristales de hielo, mediante un aumento de temperatura; mientras que en la etapa de secado secundario, la temperatura se eleva para eliminar las moléculas de agua unidas del producto (Patent No. 2 853 249, 2021). En el estudio sólo se ha considerado dos etapas; la sublimación de la papa congelada y luego la elevación de la temperatura para el secado final. Otro sistema de liofilización incluye una cámara de congelación y al menos una boquilla de pulverización dirigida a un interior de la cámara de congelación, además posee una cámara de secado al vacío y una conexión entre la cámara de congelación y la cámara de secado al vacío para transferir polvo congelado por pulverización y para el aislamiento a presión de la cámara de congelación respecto a la cámara de secado al vacío (Patent No. 2 760 075, 2020). En comparación al anterior, la investigación nuestra posee una configuración de cámara de vacío y la bomba de vacío con sus respectivos accesorios.

#### 4.1. Agradecimientos

Nuestra gratitud a la oficina general de investigación y al Instituto especializado de investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNCP, por permitirnos desarrollar la investigación, asimismo nuestro agradecimiento al Centro de energías renovables de la UNCP, por facilitarnos los instrumentos de medición.

#### 4.2. Contribución de los autores

Clemente, W.; realizó el diseño y el artículo. Martínez, C. A.; realizó el módulo.

#### 4.3. Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

### Referencias

- Agarwal, A., & Sarviya, R. (2017). Characterization of Commercial Grade Paraffin wax as Latent Heat Storage material for Solar dryers. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 779-789. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.086>
- Alva, G., Liu, L., Huang, X., & Fang, G. (2017). Thermal energy storage materials and systems for solar energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 693-706. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.021>
- Cetina-Quiñones, A., López López, J., Ricalde-Cab, L., El Mekaoui, A., San-Pedro, L., & Bassam, A. (2021). Experimental evaluation of an indirect type solar dryer for agricultural use in rural communities: Relative humidity comparative

- study under winter season in tropical climate with sensible heat storage material. *Solar Energy*, 224, 58-75. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.040>
- Chaatouf, D., Salhi, M., Raillani, B., Amraoui, S., & Mezrhab, A. (2021). Assessment of a heat storage system within an indirect solar dryer to improve the efficiency and the dynamic behavior. *Journal of Energy Storage*, 41, 102874. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102874>
- Chaatouf, D., Salhi, M., Raillani, B., Amraoui, S., Mezrhab, A., & Naji, H. (2022). Parametric analysis of a sensible heat storage unit in an indirect solar dryer using computational fluid dynamics. *Journal of Energy Storage*, 49, 104075. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104075>
- Chaouch, W. B., Khellaf, A., Mediani, A., Slimani, M. E. A., Loumani, A., & Hamid, A. (2018). Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment. *Solar Energy*, 174, 328-341. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.037>
- Dake, R. A., NTsoukpoe, K. E., Kuznik, F., Lèye, B., & Ouédraogo, I. W. (2021). A review on the use of sorption materials in solar dryers. *Renewable Energy*, 175, 965-979. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.071>
- Divyangkumar, N., Jain, S., & Panwar, N. (2022). Influences of latent heat storage heat sink integrated with solar dryer to enhance drying period. *Energy Nexus*, 8, 100160. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100160>
- Gopinath, G., Muthuvel, S., Muthukannan, M., Sudhakarapandian, R., Praveen Kumar, B., Santhan Kumar, Ch., & Thanikanti, S. B. (2022). Design, development, and performance testing of thermal energy storage based solar dryer system for seeded grapes. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101923. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101923>
- Iranmanesh, M., Samimi Akhijahani, H., & Barghi Jahromi, M. S. (2020). CFD modeling and evaluation the performance of a solar cabinet dryer equipped with evacuated tube solar collector and thermal storage system. *Renewable Energy*, 145, 1192-1213. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.038>
- Kale, S. G., & Havaldar, S. N. (2023). Performance enhancement techniques for indirect mode solar dryer: A review. *Materials Today: Proceedings*, 72, 1117-1124. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.177>
- Kokane, Y. D., Baviskar, P. R., Baviskar, K. P., Deshmukh, P. S., Chaudhari, Y. R., & Amrutkar, K. P. (2023). Design, fabrication and performance analysis of indirect solar dryer. *Materials Today: Proceedings*, 77, 748-753. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.439>
- Lu, S., Zhang, T., & Chen, Y. (2018). Study on the performance of heat storage and heat release of water storage tank with PCMs. *Energy and Buildings*, 158, 1770-1780. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.059>
- Mugi, V. R., Das, P., Balijepalli, R., & Vp, C. (2022). A review of natural energy storage materials used in solar dryers for food drying applications. *Journal of Energy Storage*, 49, 104198. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104198>
- Srinivasan, G., Rabha, D., & Muthukumar, P. (2021). A review on solar dryers integrated with thermal energy storage units for drying agricultural and food products. *Solar Energy*, 229, 22-38. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.07.075>
- Viegas, G. M., Jodra, J. I., San Juan, G. A., & Díscoli, C. A. (2018). Heat storage wall made of concrete and encapsulated water applied to mass construction social housing in temperate climates. *Energy and Buildings*, 159, 346-356. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.001>
- Yadav, S., & Chandramohan, V. (2020). Performance comparison of thermal energy storage system for indirect solar dryer with and without finned copper tube. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100609. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100609>
- Zauner, C., Hengstberger, F., Mörzinger, B., Hofmann, R., & Walter, H. (2017). Experimental characterization and simulation of a hybrid sensible-latent heat storage. *Applied Energy*, 189, 506-519. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.079>