



ANEXO 1

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

1. Título del proyecto

Evaluación termohidráulica de un secador solar portátil para el secado de la quinua.

2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE
Ingeniería y Tecnología	Energías renovables	Termodinámica

3. Duración del proyecto (meses)

11 meses

4. Tipo de proyecto

Individual	<input checked="" type="checkbox"/>
Multidisciplinario	<input type="checkbox"/>
Director de tesis pregrado	<input type="checkbox"/>

4. Datos de los integrantes del proyecto

Apellidos y Nombres	Quiñonez Choquecota José
Escuela Profesional	Ciencias Físico Matemáticas
Celular	986224782
Correo Electrónico	josequch@unap.edu.pe

- I. Título (El proyecto de tesis debe llevar un título que exprese en forma sintética su contenido, haciendo referencia en lo posible, al resultado final que se pretende lograr. Máx. palabras 25)

Evaluación termohidráulica de un secador solar portátil para el secado de la quinua.

- II. Resumen del Proyecto de Tesis (Debe ser suficientemente informativo, presentando -igual que un trabajo científico- una descripción de los principales puntos que se abordarán, objetivos, metodología y resultados que se esperan)

Una alternativa prometedora para cubrir demandas energéticas es la energía solar ya que puede ser utilizado directamente, es continua y es libre. Los secadores solares, son componentes térmicos de un calentador solar que se utiliza para convertir la energía solar incidente en energía térmica transferida al aire que circula. La estructura del secador solar es relativamente simple, el mantenimiento y la construcción son de bajos costos y no contamina el medio ambiente. Los secadores solares mixtos que utilizan la radiación solar de forma directa e indirecta para el secado, son los tipos de colectores más eficientes que existe, y de este tipo los secadores que trabajan por convección forzada y llevan una rugosidad tienen aún más eficiencia y se reduce considerablemente el tiempo de secado, además que el producto es de mejor calidad en comparación a los productos



secados de forma directa. En esta investigación, proponemos desarrollar un nuevo secador solar de tipo mixto de convección forzada de doble flujo, que tiene como elemento de mejora un absorbente con aletas de aluminio reciclado. Lo que se pretende lograr al finalizar el proyecto de investigación es, diseñar, construir y evaluar el calentador solar con absorbente con aletas de aluminio reciclado. Este secador que se pretende desarrollar, es a nivel de prototipo y será portátil, será evaluado en la aplicación del secado quinua. Esta investigación es importante porque se desarrolla una tecnología que mejora la calidad del producto y se trata de una aplicación de energía renovable a pequeña escala para de los productores de quinua.

III. Palabras claves (Keywords) (Colocadas en orden de importancia. Máx. palabras: cinco)

Secador solar, eficiencia térmica, convección forzada, secado de quinua, absorbente con aletas.

IV. Justificación del proyecto (Describa el problema y su relevancia como objeto de investigación. Es importante una clara definición y delimitación del problema que abordará la investigación, ya que temas cuya definición es difusa o amplísima son difíciles de evaluar y desarrollar)

Una de las técnicas más importantes para la conservación de alimentos por más tiempo es el secado. La eliminación del agua mediante el secado es la técnica más antigua utilizada en muchas aplicaciones. Entre varios métodos disponibles, el secado al sol al aire libre es el método más preferido por la mayoría de agricultores y productores, debido a su accesibilidad. Sin embargo, este proceso de secado depende en gran medida de las condiciones ambientales y es muy propenso a la contaminación por polvo, lluvia, viento, humedad, roedores y aves, lo que genera productos de baja calidad y pérdida de ingresos de los productores (Udomkun et al., 2020). El secado industrial es otra solución para el secado, pero cuesta más. Se requiere una gran cantidad de combustible fósil, que puede causar contaminación. Estos métodos de secado térmico representan el 10-20% del consumo total de energía industrial en el mundo desarrollado. La energía solar se utiliza con frecuencia para el secado y en las últimas décadas el secado solar se ha vuelto popular. El secado con la energía solar está disponible en abundancia, es gratuito y es una fuente de energía respetuosa con el medio ambiente (Lingayat et al., 2020).

La aplicación del secador solar, es sin duda factible en el sur del país, tanto para el secado de productos agrícolas y cárnicas como para calefacción, ya que la energía solar es abundante, el cielo en gran parte del año es despejado, es de libre acceso y amigable con el medio ambiente. Con el desarrollo de este nuevo secador solar, brindaremos una forma de secar eficiente, una nueva tecnología de secado viable y amigable con el medio ambiente, de la misma manera se contribuirá a la comunidad científica con la experimentación de un nuevo prototipo.

V. Antecedentes del proyecto (Incluya el estado actual del conocimiento en el ámbito nacional e internacional. La revisión bibliográfica debe incluir en lo posible artículos científicos actuales, para evidenciar el conocimiento existente y el aporte de la Tesis propuesta. Esto es importante para el futuro artículo que resultará como producto de este trabajo)

El uso de la energía solar por medio de sistemas de secadores solares, no se ha comercializado ampliamente debido al alto costo inicial, disponibilidad intermitente, la escasa mano de obra calificada para la operación de secado y el mantenimiento deficiente de los equipos. Sin embargo, la razón principal es que los secadores solares no se diseñaron teniendo en cuenta la viabilidad económica (Lingayat et al., 2020). Una variedad de secadores solares con diferentes tipos y tamaños crean incertidumbre en la mente de los usuarios. Entre los diferentes tipos de secadores, el secador solar de tipo indirecto tiene una mejor calidad de producto en el producto seco que denomina secado al sol abierto y el secador solar de tipo directo al sol, ya que puede proporcionar la temperatura requerida, mejor control del secado, retención del color del producto, no daña a los productos



agrícolas, y es muy recomendable para materiales fotosensibles como limón, pepino, papaya, etc. Aunque la literatura disponible tiene ciertos datos sobre secador solar de tipo indirecto, ningún estudio ha contribuido con referencias específicas con técnicas de almacenamiento de energía, rendimiento, su análisis de costos, etc (Mohana et al., 2020). En la literatura, los secadores solares se pueden clasificar en base a la naturaleza del flujo de aire, en convección natural o forzada, según el número de paso que incluye el colector solar de aire en paso simple, paso doble y paso triple. Otro elemento importante a destacar son corrugaciones o rugosidades sobre la superficie del absorbedor para mejorar la transferencia de calor. Existen diversas investigaciones secador solar de tipo indirecto para secar diferentes productos agrícolas, diferentes detalles de diseño y evaluación de parámetros de rendimiento de la instalación, con material de almacenamiento de energía térmica, con una variedad de rendimiento, y análisis de costos de la instalación (Andharia et al., 2020).

Los secadores solares de tipo indirecto constan de dos componentes principales; armario de secado donde se guardan los materiales en bandejas y montaje del colector solar que consta de una cubierta transparente y placa absorbente. Sobre el producto agrícola que se va a secar, se deja que fluya aire caliente; por lo tanto, el producto se calienta y se elimina la humedad. La cámara de secado está provista de bandejas de malla de alambre para mantener el producto a secar. El rendimiento del colector solar se basa en factores como la velocidad, la temperatura ambiente, la humedad, etc.

Los científicos e investigadores han desarrollado secadores solares para muchos tipos de productos agrícolas para resolver los problemas del secado al sol tradicional y han estado trabajando continuamente para mejorar estos secadores. Los investigadores recomiendan utilizar secadores solares indirectos para secar productos agrícolas, al ser fotosensible, protege el material de la suciedad, el polvo y el ataque de animales y aves. El calor ganado por el aire de secado se puede aumentar con el aumento de las dimensiones del colector solar, como la longitud, el ancho, el espacio de aire que fluye y el ángulo de inclinación. También se observa que el tiempo requerido para el secado es menor en el tipo indirecto en comparación con el secado directo o al aire libre (Arunkumar et al., 2020).

Los secadores de convección natural toman más tiempo para secar productos agrícolas y, por lo tanto, estos modelos pueden ser ideales para alimentos con bajo contenido de humedad, como, chile verde, coliflor, cebolla y plátano rodajas que se pueden secar en las 8 h horas expuestas al sol (Abdullah et al., 2020). Otras frutas o verduras con alto contenido de humedad no se pueden secar continuamente, ya que resulta en actividad microbiana. En algunos casos, las secadoras funcionan durante más de un día, mientras que los productos alimenticios se almacenan en algunos depósitos por la noche (Hassan et al., 2021). Estos alimentos se secan consecutivamente durante el día y se almacenan durante la noche que pueden crear descomposición, por lo que es difícil mantener la calidad. Además, los estudios sobre la mejora del rendimiento de los secadores de convección natural no se destacan en la literatura; por lo tanto, esta área debe ser investigada más por investigadores e industrias (Vengadesan & Senthil, 2020).

En el secador solar de convección forzada, se utiliza un ventilador para optimizar el caudal de aire a través del conducto de modo que se controla el caudal del aire y ayuda a mantener la temperatura dentro del sistema controlando. Se revela que los secadores indirectos de convección forzada proporcionan una distribución uniforme del flujo de aire a través de las bandejas y dentro de la cámara de secado. Ayuda a mejorar la transferencia de calor y masa entre el aire y el material; por lo tanto, la velocidad de secado se mejora en comparación con los secadores de convección natural. La eficiencia térmica en los secadores solares de convección forzada aumentó hasta en un 47,5%, y para la configuración de convección natural varía entre 4–23,7%. Estos secadores se pueden utilizar para secar productos agrícolas con alto y bajo contenido de humedad (Bhardwaj et al., 2020).

Se ha encontrado que los secadores solares de múltiples pasadas son más eficientes sin embargo el costo de fabricación es significativamente más alto que de una sola pasada. Además, se necesitan más procedimientos de diseño en comparación con los secadores solares de una sola pasada. El costo de secado (que involucra costos de operación, mantenimiento y mano de obra) por kilogramo de producto es pequeño en el colector solar de múltiples pasadas que en el secador de una sola pasada debido al menor tiempo de secado en configuraciones de múltiples pasadas. Asimismo, se encuentra que el consumo energético específico varía con el tipo de producto utilizado, el tiempo de secado y la capacidad del secador (Fallah Jouybari & Staffan Lundström, 2020; Hassan et al., 2021). La temperatura de la cámara de secado de los secadores de paso múltiple está en el rango de 47–101 °C



mientras que para los secadores de paso único está en el rango de 20–101 °C (Lingayat et al., 2020). El área de contacto del aire caliente es enorme en los secadores de paso múltiple que en los secadores de paso único; por lo tanto, hay una mejora de la transferencia de calor, pero al mismo tiempo, las posibilidades de pérdidas de calor son mayores (Mohana et al., 2020). Por otro lado, se pueden proporcionar ondulaciones en la placa absorbente para aumentar el efecto de turbulencia y, por lo tanto, aumentar el coeficiente de transferencia de calor entre la placa absorbente y el aire. Se pueden utilizar corrugaciones de forma circular, triangular y cuadrada en ambos lados de las placas absorbentes (Mol da Silva et al., 2021).

VI. Hipótesis del trabajo (Es el aporte proyectado de la investigación en la solución del problema)

La eficiencia térmica y el análisis termohidráulico del nuevo secador solar tipo mixto de convección forzada de doble flujo, integrado con absorbente de con aletas de aluminio reciclado, tiene un mayor rendimiento en comparación al secado natural y el tiempo de secado también es mucho menor.

VII. Objetivo general

Evaluar el rendimiento termohidráulico de un secador solar portátil secador solar tipo mixto, de convección forzada de doble flujo, integrado con absorbente con aletas de aluminio reciclado, para el secado de la quinua.

VIII. Objetivos específicos

- Diseñar y construir un secador solar portátil secador solar tipo mixto, de convección forzada de doble flujo, integrado con absorbente con aletas de aluminio reciclado, para el secado de la quinua.
- Evaluar el rendimiento termohidráulico de un secador solar portátil secador solar tipo mixto, de convección forzada de doble flujo, integrado con absorbente con aletas de aluminio reciclado, para el secado de la quinua.

IX. Metodología de investigación (Describir el(los) método(s) científico(s) que se empleará(n) para alcanzar los objetivos específicos, en forma coherente a la hipótesis de la investigación. Sustentar, con base bibliográfica, la pertinencia del(los) método(s) en términos de la representatividad de la muestra y de los resultados que se esperan alcanzar. Incluir los análisis estadísticos a utilizar)

El diseño de la investigación es cuasi experimental, dado que el colector se probará en situaciones reales de funcionamiento a cielo abierto. La metodología que se utilizará para el diseño, construcción y evaluación será de acuerdo como sugiere la norma ASHRAE (ASHRAE-Standard, 93-2003) adaptando para casos reales, por lo que se utilizará partes fundamentales para diseños cuasiexperimentales. No se va a manipular intencionalmente ninguna variable independiente del colector, sino que se medirán las variables de, la radiación solar incidente, flujo másico, temperaturas de entrada y salida del colector, temperatura de la placa, temperatura ambiente, velocidad del aire, humedad relativa, masa del producto, rendimiento instantáneo, parámetros de pérdida total de calor y parámetro de eficiencia óptica. Los parámetros de desempeño se van a medir en intervalo de tiempo de 10 minutos durante cinco días para días soleados. Se empleará un análisis paramétrico y un ANOVA para comparar las medias de los parámetros de rendimiento de secado entre los métodos de secado solar tradicional y con el nuevo secador solar.

El análisis teórico se realizará por balance de energía en estado estacionario para el colector, y para calcular el rendimiento del secado con los modelos termohidráulicos planteados en la literatura (Andharia et al., 2020; Bhardwaj et al., 2020; Dutta et al., 2021; Mohana et al., 2020; Ndukwu et al., 2020; Tuncer et al., 2020).

X. Referencias (Listar las citas bibliográficas con el estilo adecuado a su especialidad)

- Abdullah, A. S., Amro, M. I., Younes, M. M., Omara, Z. M., Kabeel, A. E., & Essa, F. A. (2020). Experimental investigation of single pass solar air heater with reflectors and turbulators. *Alexandria Engineering Journal*, 59(2), 579-587. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.02.004>
- Andharia, J. K., Bhattacharya, P., & Maiti, S. (2020). Development and performance analysis of a mixed mode solar thermal dryer for drying of natural rubber sheets in the north-eastern part of India. *Solar Energy*, 208, 1091-1102. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.051>
- Arunkumar, H. S., Karanth, K. V., & Kumar, S. (2020). Review on the design modifications of a solar air heater for improvement in the thermal performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100685>
- Bhardwaj, A. K., Kumar, R., Chauhan, R., & Kumar, S. (2020). Experimental investigation and performance evaluation of a novel solar dryer integrated with a combination of SHS and PCM for drying chilli in the Himalayan region. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100713>
- Dutta, P., Dutta, P. P., & Kalita, P. (2021). Thermal performance studies for drying of *Garcinia pedunculata* in a free convection corrugated type of solar dryer. *Renewable Energy*, 163, 599-612. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.118>
- Fallah Jouybari, N., & Staffan Lundström, T. (2020). Performance improvement of a solar air heater by covering the absorber plate with a thin porous material. *Energy*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116437>
- Hassan, H., Yousef, M. S., & Abo-Elfadl, S. (2021). Energy, exergy, economic and environmental assessment of double pass V-corrugated-perforated finned solar air heater at different air mass ratios. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100936>
- Lingayat, A. B., Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., & Meda, V. (2020). A review on indirect type solar dryers for agricultural crops – Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights. *Applied Energy*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114005>
- Mohana, Y., Mohanapriya, R., Anukruthika, T., Yoha, K. S., Moses, J. A., & C., A. (2020). Solar dryers for food applications: Concepts, designs, and recent advances. *Solar Energy*, 208, 321-344. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.098>
- Mol da Silva, G., Guimarães Ferreira, A., Morouço Coutinho, R., & Brasil Maia, C. (2021). Energy and exergy analysis of the drying of corn grains. *Renewable Energy*, 163, 1942-1950. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.116>
- Ndukwu, M. C., Onyenwigwe, D., Abam, F. I., Eke, A. B., & Dirioha, C. (2020). Development of a low-cost wind-powered active solar dryer integrated with glycerol as thermal storage. *Renewable Energy*, 154, 553-568. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.016>
- Tuncer, A. D., Khanlari, A., Sözen, A., Gürbüz, E. Y., Şirin, C., & Gungor, A. (2020). Energy-exergy and enviro-economic survey of solar air heaters with various air channel modifications. *Renewable Energy*, 160, 67-85. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.087>
- Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E., Vanlauwe, B., & Müller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. *Journal of Environmental Management*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110730>
- Vengadesan, E., & Senthil, R. (2020). A review on recent developments in thermal performance enhancement methods of flat plate solar air collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110315>



XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto (Señalar el posible uso de los resultados y la contribución de los mismos)

Con los resultados de esta investigación, contribuimos con una nueva propuesta de aplicación de energía renovable a pequeña escala para el secado de quinua. Este prototipo tiene como propósito reducir el tiempo de secado considerablemente en comparación con el secado tradicional directo, por lo que el productor de quinua que aplique esta tecnología tendría mejores ganancias y un producto con mayor calidad.

XII. Impactos esperados

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

La comunidad científica tendrá un nuevo prototipo mejorado de un secador solar eficiente.

ii. Impactos económicos

La quinua tendrá un producto de mayor calidad y el tiempo de secado se reducirá considerablemente

iii. Impactos sociales

El secado de productos será de mayor calidad y una forma de secar en menor tiempo, que tenía un impacto positivo en la sociedad

iv. Impactos ambientales

Se fomentará el uso de energías renovables y a reducir la contaminación ambiental.

XIII. Recursos necesarios (Infraestructura, equipos y principales tecnologías en uso relacionadas con la temática del proyecto, señale medios y recursos para realizar el proyecto)

El experimento se realizará a cielo abierto despejado. Los materiales están sujetos a variar de acuerdo a la disponibilidad en la región. Para la construcción se utilizarán herramientas de carpintería, y para la evaluación se utilizarán los siguientes instrumentos y equipos:

- Termómetros digitales.
- Termopares tipo K.
- Anemómetro digital.
- Piranómetro.
- Balanza analítica.
- Sensor de humedad.
- Ordenador

XIV. Localización del proyecto (indicar donde se llevará a cabo el proyecto)

El proyecto se realizará en las instalaciones del CINER-Puno



XV. Cronograma de actividades

Actividad	Trimestres											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Búsqueda de información		X	X									
Diseño del secador solar				X	X							
Construcción del secador solar						X						
Recolección de datos						X	X					
Análisis de datos							X	X	X	X		
Redacción del informe final										X	X	X

XVI. Presupuesto

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
1. Personal				
Auxiliar para instalación	Jornal	100	10	1000,00
2. Materiales y equipos				
Plancha de aluminio	Unidad	120	1	120,00
Polycarbonato alveolar de 6 mm	Unidad	110	2	220,00
Madera de Pino	Unidad	40	8	320,00
Pernos de 1 in, 2 in y 3 in	Unidad	0,5	100	50,00
Lana de acero	Unidad	5	6	30,00
Triplay o carto prensado	Unidad	50	1	50,00
Tubos y accesorios de PVC	Unidad	5	12	60,00
Silicona	Unidad	20	5	100,00
Pintura negro mate	Unidad	40	4	160,00
Empaques de goma	Unidad	25	8	200,00
Papel Bond	Millar	30	2	60,00
3. Servicios				
Servicio de Construcción	Jornal	100	2	200,00
Alquiler de Equipos	Unidad	250	4	1000,00
Impresiones y anillados	Unidad	15	10	150,00
4. Imprevistos				
Imprevistos S/. (15% del total)				558,00
Total S/.				4278,00