



ANEXO 1

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

1. Título del proyecto

Evaluación del desempeño térmico de un secador solar mejorado con aletas en forma de arco

2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE
Ingeniería y Tecnología	Física Aplicada	Termodinámica

3. Duración del proyecto (meses)

12 meses

4. Tipo de proyecto

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

5. 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

Apellidos y Nombres	Quispe Aymachoque Julio Pedro
Escuela Profesional	Ciencias Físico Matemáticas
Celular	952802907
Correo Electrónico	pquispe@unap.edu.pe

Apellidos y Nombres	Holguino Huarza Antonio
Escuela Profesional	Ciencias Físico Matemáticas
Celular	951738817
Correo Electrónico	aholguino@unap.edu.pe

Apellidos y Nombres	Apaza Cruz Jorge Luis
Escuela Profesional	Ingeniería Electrónica
Celular	951800159
Correo Electrónico	jlapaza@unap.edu.pe

Apellidos y Nombres	Quea Gutiérrez Lucio
Escuela Profesional	Ingeniería de Minas
Celular	999772779
Correo Electrónico	lquea@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 del desempeño térmico de un secador solar mejorado con aletas en forma de arco

- 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)

En esta investigación se realizará la aplicación de energías renovables para el secado mediante un secador solar en particular. El objetivo es, mejorar el desempeño térmico mediante rugosidad artificial el calentador solar de aire que es la principal fuente de energía del secador solar de tipo mixto. Para mejorar la eficiencia térmica de un secador solar, se propone un calentador solar de aire mejorado con aletas en forma de arco que puede mejorar suficientemente la transferencia de calor entre el aire y la placa absorbente de calor. Se evaluarán los principales factores, incluido el tamaño de la geometría de las aletas, es decir, el espacio entre las aletas, el ancho de las aletas, el ancho de la separación, la altura del canal, la intensidad de la radiación solar y la tasa de flujo másico de aire. Se analizarán los efectos de estos factores sobre la eficiencia térmica del calentador de aire solar y la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida, y cinética de secado. Se realizará la comparación de los parámetros de rendimiento del secador solar con aletas con una de placa lisa poniendo en funcionamiento para el secado de quinua.

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

Secador solar, rendimiento térmico, convección forzada, absorbente con aletas, secador de quinua.

- 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)

En la actualidad, las energías renovables tienen un futuro prometedor para cubrir la demanda energética mundial, y es de nuestro interés debido a la necesidad de la energía solar-térmica, su disponibilidad y menor contaminación en comparación a las otras formas de energía. La energía solar es una de las principales fuentes de energía limpia entre otras fuentes de energías renovables y puede satisfacer gran parte de la demanda de energía de nuestra sociedad sin contaminar el medio ambiente (Balasuadhakar, 2021; Singh & Singh Negi, 2020). Los secadores solares o también los calentadores solares de aire, sin duda es factible su implementación en el altiplano peruano tanto para el secado de productos agrícolas como para calefacción, ya que la energía solar en la región de Puno es abundante, el cielo en gran parte del invierno es despejado, es de libre acceso y de fácil obtención. Por otro lado, Puno es una región del Perú que es uno de los mayores exportadores, de modo que al secar este producto de forma adecuada con la propuesta del secador tendría un valor agregado considerable.

Los secadores solares están compuestos de un calentador de aire solar y una cámara de secado, 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 (Mohana et al., 2020).

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)

La literatura científica sostiene que los secadores solares de gabinete o calentador solar con rugosidad artificial integradas en la superficie absorbente tiene mayor eficiencia en comparación con las superficies absorbentes lisas (Singh & Singh Negi, 2020; Vengadesan & Senthil, 2020), Arunkumar et al., 2020; Fudholi & Sopian, 2019). Otros investigadores prefieren mejorar el rendimiento térmico del calentador de aire solar insertando un lecho empacado en el canal del colecto, y esta mejora puede ser de 11 a 17% más en comparación con el de flujo paralelo (El-Said et al., 2021). Sin embargo, en el calentador solar con rugosidad artificial el factor más indeseable es que además de requerir una fuente de bombeo también aumenta la caída de presión durante el funcionamiento (Singh & Singh Negi, 2020).

Un método investigado para mejorar la transferencia de calor por convección es aumentar el área de superficie del dispositivo creando rugosidad artificial en la superficie de absorción, lo que aumenta la turbulencia dentro del canal, los calentadores solares de aire con aletas se estudian en algunas investigaciones (Kumar et al., 2021; Nidhul et al., 2022). Parsa (Parsa et al., 2021) analizaron un colector con placa corrugado y otros cinco con diseños convencionales. Ellos encontraron que el factor de mejora del coeficiente de transferencia de calor por convección dentro del conducto corrugado era de 4 a 5 veces en comparación a los otros, también se afirmó que el factor de extracción de calor del colector conducto corrugado había mejorado en promedio en un 59% mientras que su eficiencia se ha incrementado en un 15 a 43% en comparación con otros colectores convencionales en un intervalo de flujo másico de 0,01 a 0,1 kg/s y de insolación solar de 950 W/m² en la india, y llegaron a la conclusión de que el calentador solar de conducto corrugado puede ser considerado como un diseño avanzado que tiene un precio similar a los convencionales diseños. Kumar (Kumar et al., 2021) mostraron que el calentador solar con absorbente corrugado en forma de V es de 10% a 15% y 5% a 11% más eficiente en las formas de doble paso y de un solo paso, respectivamente, en comparación con los calentadores solares de aire de placa absorbente plana. El-Sid, y Hassan (El-Said et al., 2021; Hassan et al., 2021) revelaron que la temperatura de salida del calentador solar con placa de absorción corrugado en forma de V es mayor que el calentador solar con absorbente de placa plana en un 5%, y en términos de eficiencia es mayor por 11% a 14%. El rendimiento térmico de estas configuraciones fueron 58,9, 60,3, y 48,6%, respectivamente. Se puede ver que ambas configuraciones corrugadas transversalmente superior a la del colector de placa plana. Esto se puede atribuir a la mejora de las tasas de turbulencia y de transferencia de calor dentro del canal de flujo de aire en la placa corrugada. Singh y otros (Singh & Singh Negi, 2020) estudiaron 6 tipos de calentadores solares de doble flujo en paralelo, de placa plana y de varias configuraciones corrugados. Se analizó el rendimiento energético, efectivo y exergético de los colectores en base de parámetros, como el caudal másico, la insolación y altura del canal de flujo. Al comparar los calentadores solares de absorbente corrugado con el absorbente de placa plana para condiciones de operación similares se observa que existe una mejora significativa en la eficiencia de los que tienen absorbente corrugado. Además, la altura óptima del canal del calentador solar es de 0,02 m, en la cual todas las eficiencias tienen los valores más altos para todo el rango de flujo de masa e insolación investigados.

En relación con el secado de quinua, no se han realizado estudios en los que se compara la deshidratación del secado al aire libre con la tecnología solar (Singh & Singh Negi, 2020). Al revisar la literatura anterior, no se encontró una descripción de las características del secado solar de la quinua por lo que el objetivo de este trabajo incide en generar conocimiento en la cinética de secado y como seleccionar el modelo que mejor se ajuste a los resultados experimentales.



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

El rendimiento térmico del secador solar tipo mixto de absorbente con aletas tiene un mayor rendimiento en comparación al de absorbente liso.

VII. Objetivo general

Evaluar el rendimiento térmico del secador solar mejorado con aletas en forma de arco en funcionamiento forzado, para el secado de la quinua.

VIII. Objetivos específicos

- Construir y probar un secador solar con placa absorbente mejorado con aletas en forma de arco que funciona por convección forzada.
- Evaluar los parámetros de rendimiento térmico de un secador solar con placa absorbente mejorado con aletas en forma de arco que funciona por convección forzada, 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 presente trabajo de investigación, según su finalidad es aplicada, porque tiene la intención de mejorar la calidad de vida y contribuir con conocimientos nuevos al construir un nuevo prototipo de colector solar.

La investigación se realizará en la ciudad de Puno, cuyas coordenadas de longitud y latitud son: -15,824229 y -70,012956 respectivamente.

La metodología para la evaluación la eficiencia del calentador solar será de acuerdo como sugiere la norma ASHRAE (ASHRAE-Standard, 93-2003) adaptado para estudios cuasiexperimentales (Madadi Avargani et al., 2021).

Para recoger los datos como: temperatura de entrada, salida, placa absorbente y del ambiente, radiación incidente, velocidad del aire, humedad relativa, masa inicial y final del producto.

Los datos serán analizados para obtener el desempeño térmico y cinética de secado, mediante el modelo teórico desarrollado y de forma experimental para cada caso. Se utilizará el coeficiente de determinación, y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) como criterio de bondad de ajuste de los datos experimentales frente a los datos predichos por los modelos matemáticos, asimismo la estadística descriptiva concordante a los variables y datos analizados. Para la simulación se utilizará el software MS Excel y MatLab 2020b.

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

Alam, T., & Kim, M.-H. (2017). Performance improvement of double-pass solar air heater – A state of art of review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 779-793. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.087>

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>



- Balasuadhakar, A. (2021). A review of construction, material and performance in mixed mode passive solar dryers. *Materials Today: Proceedings*, 46, 4165-4168. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.679>
- Fudholi, A., & Sopian, K. (2019). A review of solar air flat plate collector for drying application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 333-345. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.032>
- 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>
- Kabeel, A. E., Hamed, M. H., Omara, Z. M., & Kandael, A. W. (2017). Solar air heaters: Design configurations, improvement methods and applications – A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1189-1206. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.021>
- Kumar, P., & Singh, D. (2020). Advanced technologies and performance investigations of solar dryers: A review. *Renewable Energy Focus*, 35, 148-158. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2020.10.003>
- Kumar, R., Gaurav, Kumar, S., Afzal, A., Muthu Manokar, A., Sharifpur, M., & Issakhov, A. (2021). Experimental investigation of impact of the energy storage medium on the thermal performance of double pass solar air heater. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101673>
- Mohana, Y., Mohanapriya, R., Anukiruthika, T., Yoha, K. S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (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>
- Nidhul, K., Yadav, A. K., Anish, S., & Arunachala, U. C. (2022). Thermo-hydraulic and exergetic performance of a cost-effective solar air heater: CFD and experimental study. *Renewable Energy*, 184, 627-641. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.111>
- Singh, S., & Singh Negi, B. (2020). Numerical thermal performance investigation of phase change material integrated wavy finned single pass solar air heater. *Journal of Energy Storage*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102002>
- Singh, V. P., Jain, S., Karn, A., Kumar, A., Dwivedi, G., Meena, C. S., Dutt, N., & Ghosh, A. (2022). Recent Developments and Advancements in Solar Air Heaters: A Detailed Review. *Sustainability*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912149>
- Sopian, K., Alghoul, M. A., Alfegi, E. M., Sulaiman, M. Y., & Musa, E. A. (2009). Evaluation of thermal efficiency of double-pass solar collector with porous–nonporous media. *Renewable Energy*, 34(3), 640-645. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.027>
- Sureandhar, G., Srinivasan, G., Muthukumar, P., & Senthilmurugan, S. (2021). Performance analysis of arc rib fin embedded in a solar air heater. *Thermal Science and Engineering Progress*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100891>
- 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)

El secador solar 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 conocimiento de la eficiencia de un secador solar con aletas en forma de arco.

ii. Impactos económicos

El producto secado tendrá mayor calidad y el tiempo de secado se reducirá considerablemente, lo que se refleja en mayor ingreso y el ahorro de tiempo.

iii. Impactos sociales

Tendría un impacto positivo en la sociedad por la utilización de energías renovables.

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)

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 la ciudad de Puno en Perú.

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	2000,00



2. Materiales y equipos				
Plancha de acero	Unidad	150	1	150
Policarbonato alveolar	Unidad	150	2	300
Madera de Pino	Unidad	40	8	320
Pernos de 1 in, 2 in y 3 in	Unidad	0,5	100	50
Lana de acero	Unidad	5	6	70
Cartón prensado	Unidad	50	1	50
Tubos y accesorios de PVC	Unidad	10	12	120
Silicona	Unidad	70	5	350
Pintura negro mate	Unidad	70	4	280
Empaques de goma	Unidad	25	8	200
Balanza analítica	Unida	1700	1	1200
Papel Bond	Millar	40	2	80
3. Servicios				
Servicio de Construcción	Jornal	100	2	700,00
Alquiler de Equipos	Unidad	250	4	2000,00
Impresiones y anillados	Unidad	15	10	150,00
Publicación y difusión	Unidad	4000	1	4000,00
4. Imprevistos				
Imprevistos S/. (15% del total)				1803,00
Total S/.				13823,00