



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN TUBO
DE VACÍO SOLAR Y CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACIÓN
SOLAR EN PUNO PARA LA DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL
DE SU RENDIMIENTO TÉRMICO**

TESIS

PRESENTADA POR:

WINDER NAIDOO TORRES QUISPE

WILLIAM PAUL TIPULA MAMANI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2024



WINDER NAIDOO/WILLIAM PAUL TORRES QUISPE...

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN TUBO DE VACÍO SOLAR Y CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLA

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:410539948

128 Páginas

Fecha de entrega
29 nov 2024, 2:54 p.m. GMT-5

38,558 Palabras

Fecha de descarga
29 nov 2024, 3:09 p.m. GMT-5

143,149 Caracteres

Nombre de archivo
TESIS - listo PILAR 0007.pdf

Tamaño de archivo
9.5 MB





9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 8% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- **Caracteres reemplazados**
96 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

LEONIDAS VILCA CALLATA
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
CIP N° 83278

M.Sc. Felipe Condori Chambilla
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACION
EPIIME





DEDICATORIA

A Dios, por darme la Vida, a mis Padres Francisco e Hilaria por su Amor incondicional, a mis hermanos, Rocío, José, Dennys, Rosalinda y Edy por su compañía. De manera especial a Rosario por enseñarme que el Amor todo espera, todo lo soporta, todo lo puede. y siempre está entre nosotros.

Winder Naidoo Torres Quispe.



DEDICATORIA

*A Dios, a mis padres Gregorio y
María Luz y mis hermanos por haberme
apoyado siempre y permitir darme las
fuerzas para culminar esta investigación.*

William Paul Tipula Mamani.



AGRADECIMIENTOS

- *A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por habernos brindando la oportunidad de forjarnos como buenos profesionales.*
- *A la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y a la plana docente por los conocimientos brindados durante nuestra formación académica.*
- *A usted estimado Ingeniero Leonidas Vilca Callata, por habernos guiado durante todo el transcurso de esta investigación.*
- *A los distinguidos miembros del jurado: Dr. Norman Beltran Castañon, Msc. Jaime Roberto Quiroz Sosa, Msc. Carlos Alberto Ccama Polanco, por habernos brindado los alcances de sus correcciones, que contribuyeron a la culminación de este presente trabajo de investigación.*
- *A nuestra amiga Lic. Lizeth Veronica Nina Larico, por habernos apoyado en el asesoramiento del presente trabajo de investigación.*

William Paul Tipula Mamani.

Winder Naidoo Torres Quispe.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	19
1.2. JUSTIFICACIÓN	21
1.3. HIPÓTESIS DEL TRABAJO	22
1.4. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	22
1.5. OBJETIVO GENERAL	23
1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	24
2.2. MARCO TEÓRICO	34
2.2.1. El Sol.....	34
2.2.1.1. Interior Solar	36



2.2.1.2. Superficie Solar – Fotósfera.....	37
2.2.1.3. Radiación Solar	39
2.2.1.4. Espectro Electromagnético	42
2.2.1.5. Recorrido de la tierra respecto al sol.....	43
2.2.1.6. Movimiento de rotación del planeta.....	43
2.2.1.7. Azimut.....	44
2.2.1.8. Altura solar (h).....	45
2.2.1.9. Piranómetro.....	46
2.2.1.10. Pirheliómetro.....	46
2.2.1.11. Heliógrafo	47
2.2.1.12. Absorción de la radiación solar a través de la atmósfera	48
2.2.1.13. Parámetros posicionales sol-tierra	49
2.2.2. Tubo de vacío solar	50
2.2.2.1. Procesos de transferencia de calor en los tubos de vacío solares	52
2.2.2.2. Tipos de tubos de vacío.....	54

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES.....	58
3.1.1. Análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío.....	58
3.1.1.1. Colector solar de placa plana	60
3.1.2. Materiales para la Caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno.....	63
3.1.3. Materiales para la determinación experimental del rendimiento térmico del tubo de vacío	69



3.1.3.1. Tubo de vacío.....	69
3.1.3.2. Módulo diseñado para los ensayos experimentales	70
3.1.3.3. Termocupla digital	72
3.1.3.4. Brújula.....	73
3.1.3.5. Instrumento para medir longitudes y ángulos	74
3.2. MÉTODOS	75
3.2.1. Método para el análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío	75
3.2.2. Método para la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno	79
3.2.3. Metodología para determinación en forma experimental el rendimiento térmico del tubo de vacío solar	82
3.2.3.1. Método para determinar la energía térmica útil (Q_a) ganada por el agua dentro el tubo de vacío.....	84
3.2.3.2. Método para determinar la energía solar (Q_s) que incide sobre el tubo de vacío en la ciudad de Puno.....	85
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS.....	87
4.1.1. Resultados de análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío	87
4.1.2. Resultados de la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno	89
4.1.3. Resultados de la determinación experimental del rendimiento térmico del tubo de vacío	90



4.1.3.1. Cálculo de la energía térmica útil (Q_A) ganada por el agua dentro del tubo de vacío	90
4.1.3.2. Cálculo de la energía Solar (Q_s) que incide sobre el tubo de vacío en la ciudad de Puno	94
4.1.3.3. Cálculo del rendimiento térmico del tubo de vacío en la ciudad de Puno	97
4.2. DISCUSIÓN	98
V. CONCLUSIONES.....	101
VI. RECOMENDACIONES	103
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXOS.....	108

ÁREA: Energías Renovables

TEMA: Análisis del Comportamiento Térmico de un Tubo de Vacío Solar.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 de diciembre de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Características principales del sol.....	35
Tabla 2 Especificaciones técnicas de los tubos de vacío solares	52
Tabla 3 Especificaciones técnicas de un tubo de vacío.....	60
Tabla 4 Radiación Solar horaria (W/m^2) – Día 18 de Setiembre del 2023	66
Tabla 5 Radiación Solar horaria (W/m^2) – Días del 19 al 22 de Setiembre del 2023	67
Tabla 6 Radiación Solar horaria (W/m^2) – Días del 23 al 24 de Setiembre del 2023	68
Tabla 7 Radiaciones solares diarias del 18 al 24 de setiembre del 2023	81
Tabla 8 Datos experimentales de las temperaturas medidas.....	85
Tabla 9 Promedio de radiaciones solares horarias (W/m^2).....	89
Tabla 10 Determinación del promedio de radiación solar 18-24 set.	90
Tabla 11 Registro de temperaturas experimentales	93



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estructura del sol	37
Figura 2 Manchas Solares en la superficie solar observadas por SOHO en octubre del 2003.	38
Figura 3 Gránulos en la superficie solar y mancha solar	39
Figura 4 Grados de inclinación de la tierra	40
Figura 5 Tipos de radiación solar.....	41
Figura 6 Espectro electromagnético solar	42
Figura 7 Movimientos de traslación de la tierra respecto al sol.....	43
Figura 8 Movimientos de rotación de la tierra.....	44
Figura 9 Azimut	45
Figura 10 Altura solar	45
Figura 11 Piranómetro	46
Figura 12 Pirheliómetro	47
Figura 13 Heliógrafo de Campbell-Stokes	47
Figura 14 Absorción de la radiación solar en la atmósfera.....	48
Figura 15 Parámetros posicionales de los parámetros sol-tierra.....	50
Figura 16 Tubo de vacío solar	51
Figura 17 Proceso termosifónico	54
Figura 18 Proceso termosifónico	55
Figura 19 Esquema de funcionamiento de tubo Head Pipe	56
Figura 20 Tubo de vacío Heat Pipe.....	57
Figura 21 Elementos constitutivos de un tubo de vacío	59
Figura 22 Colector solar de placa plana.....	61



Figura 23	Partes de un colector solar de placa plana	63
Figura 24	Estación Meteorológica Automática – SENAMHI - Puno.....	64
Figura 25	Tubo de vacío	70
Figura 26	Módulo experimental diseñado	71
Figura 27	Módulo experimental con el montaje del tubo al vacío.....	72
Figura 28	Termocupla digital.....	73
Figura 29	Brújula	74
Figura 30	Instrumentos para medir longitudes y ángulos.	75
Figura 31	Pérdidas energéticas de un flujo de energía térmica de 1 KW/m ² en un colector solar de placa plana.....	78
Figura 32	Medición de medidas necesarias para cálculo del volumen de agua.....	91
Figura 33	Tubo de vacío	95



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Croquis del trabajo de investigación.	109
ANEXO 2 Tubo de vacío solar.....	110
ANEXO 3 Especificaciones técnicas de un tubo de vacío solar	111
ANEXO 4 Módulo diseñado para los ensayos experimentales.....	112
ANEXO 5 Instrumentos de medición utilizados en los ensayos experimentales.....	114
ANEXO 6 Módulo experimental con el montaje del tubo de vacío orientado al norte geográfico	115
ANEXO 7 Radiación solar horaria (W/h ²) de Enero a Setiembre del 2023	116
ANEXO 8 Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	125
ANEXO 9 Autorización para el depósito de tesis de investigación en el repositorio institucional	126
ANEXO 10 Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	127
ANEXO 11 Autorización para el depósito de tesis de investigación en el repositorio institucional	128



ACRÓNIMOS

SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
ESAN:	Escuela de Administración de Negocios para graduados
CEAC:	Editorial CEAC Ediciones S.A.
ISO:	International Organization for Standardization
CERMET:	Ceramic Metal
EMA:	Estación Meteorológica Automática
NASA:	National Aeronautics and Space Administration
INTERNET:	Interconnected Networks
SEN:	Social Economic Networks
UNAP:	Universidad Nacional del Altiplano de Puno



RESUMEN

La energía solar es parte importante de la vida y cada vez más su porcentaje se incrementará en la matriz energética de los países del mundo. Considerando que Arequipa, Cajamarca y Puno son departamentos con mayor radiación solar en el Perú, se debe aprovechar esta ventaja competitiva para propiciar investigaciones; en ese contexto nuestra investigación tiene el objetivo de determinar experimentalmente el rendimiento térmico de un tubo de vacío solar en la ciudad de Puno, para analizar el comportamiento térmico de un tubo de vacío solar basado en las propiedades ópticas del borosilicato, material con el que está fabricado; una metodología experimental empleada por el SENAMHI para la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno y, la metodología del ensayo técnico en ingeniería a través de un trabajo de campo y de gabinete para determinar el rendimiento térmico del tubo de vacío solar. El resultado de la radiación solar caracterizada para la ciudad de Puno fue de $719,64 \text{ W/m}^2$ y la determinación experimental del rendimiento térmico del tubo de vacío fue de $70,84\%$. Se concluyó que un tubo de vacío es un colector solar con un comportamiento térmico igual que un colector solar de placa en función al cual se realizó su diseño con un rendimiento térmico elevado que lo duplica cuantitativamente; por lo tanto, la radiación solar caracterizada debería ser multiplicada por un coeficiente de pérdida solar que involucra las pérdidas de energía que se generaron por las propiedades ópticas del borosilicato material de fabricación del tubo de vacío solar y, la conclusión que el rendimiento térmico se calcularía estableciendo la relación entre los cálculos experimentales del calor o energía ganada (Q_A) por el agua dentro del tubo de vacío entre la energía solar (Q_S) que incide en la superficie exterior del tubo de vacío solar.

Palabras clave: Borosilicato, Colector solar, Radiación solar, Rendimiento térmico, Tubo de vacío.



ABSTRACT

Solar energy is an important part of life and its percentage will increasingly increase in the energy matrix of the countries of the world. Considering that Arequipa, Cajamarca and Puno are departments with the highest solar radiation in Peru, this competitive advantage must be taken advantage of to promote research; In this context, our research has the objective of experimentally determining the thermal performance of a solar vacuum tube in the city of Puno, to analyze the thermal behavior of a solar vacuum tube based on the optical properties of borosilicate, the material with which it is manufactured; an experimental methodology used by SENAMHI for the characterization of solar radiation in the city of Puno and, the methodology of technical testing in engineering through field and office work to determine the thermal performance of the solar vacuum tube. The result of the characterized solar radiation for the city of Puno was 719.64 W/m² and the experimental determination of the thermal performance of the vacuum tube was 70.84%. It was concluded that a vacuum tube is a solar collector with a thermal behavior the same as a plate solar collector based on which its design was made with a high thermal performance that quantitatively doubles it; Therefore, the characterized solar radiation should be multiplied by a solar loss coefficient that involves the energy losses that were generated by the optical properties of the borosilicate manufacturing material of the solar vacuum tube and, the conclusion that the thermal performance would be calculated establishing the relationship between the experimental calculations of the heat or energy gained (QA) by the water inside the vacuum tube between the solar energy (Qs) incident on the outer surface of the solar vacuum tube.

Keywords: Borosilicate, solar collector, solar radiation, thermal performance, vacuum tube.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la coyuntura actual mundial del cambio climático debido al calentamiento global de la tierra producto de la contaminación ambiental, la energía solar es la principal energía renovable que juega un papel prioritario en la etapa de transición que se está dando en el mundo de cambio energético, la energía del sol contribuye a generar economías limpias para proteger el medio ambiente de la contaminación ambiental contribuyendo al bienestar de la población y garantizar en el tiempo la sostenibilidad económica en el área empresarial. La energía que nos proporciona el sol es radiación electromagnética constituida por luz, calor y rayos ultravioleta la que la utilizamos a través de colectores solares para obtener energía térmica o mediante la instalación de paneles fotovoltaicos para obtener energía eléctrica. Es imperiosa la necesidad que la ingeniería contribuya a mitigar la contaminación ambiental debido principalmente al consumo de energía de origen fósil como el petróleo y carbón; promoviendo la utilización de energía limpia como la energía solar, más teniendo en cuenta la consideración energética que Puno junto a Arequipa y Cajamarca son los departamentos del Perú con mayor radiación solar, es en ese sentido que es importante aprovechar esta ventaja competitiva para generar el emprendimiento de pequeñas empresas en el área de la energía solar que contribuyan al desarrollo industrial de la región en cuanto al diseño de termas solares y colectores solares que ayuden a elevar el nivel de confort de vida de la población puneña a través de la utilización de agua caliente sanitaria y sistemas de calefacción solar de viviendas considerando las bajas temperaturas que se presentan en el altiplano puneño. En ese contexto se fundamenta nuestra investigación, porque no existen investigaciones que analicen el comportamiento y rendimiento térmico de los



tubos de vacío solares en las condiciones climáticas de la ciudad de Puno que se encuentra a 3827 metros sobre el nivel del mar; para la aplicación práctica de los tubos de vacío es importante conocer y analizar en forma técnica su comportamiento y funcionamiento bajo la incidencia de los rayos y además su rendimiento térmico, conocimientos importantes prioritarios para el diseño de sistemas térmicos de calentamiento de agua sanitaria y calefacción de viviendas, aplicaciones primarias del proyecto de investigación que se desarrolló.

En el desarrollo de la investigación para el análisis técnico del comportamiento y funcionamiento del tubo de vacío solar se empleó la metodología científica de investigación tecnológica sistemática y, para la determinación experimental del rendimiento térmico del tubo de vacío solar se empleó la metodología del ensayo técnico en ingeniería.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la coyuntura actual de cambio climático mundial por la utilización de combustibles de origen fósil como el carbón, petróleo y gas los cuales contribuyen con más del 75% de las emisiones de los gases de efecto invernadero en el mundo y también son los causantes de aproximadamente el 90% de la generación del dióxido de carbono (CO₂); las emisiones de estos gases generarán el efecto invernadero al cubrir al planeta capturan el calor del sol lo que produce el calentamiento global y el cambio climático, la tierra actualmente se calienta más rápido que en años anteriores con el transcurrir del tiempo están variando los patrones del clima y modificando el equilibrio de la naturaleza, lo que implica eminente riesgo para la humanidad y todos los seres vivos de nuestro planeta.



Para contribuir a mitigar este problema los gobiernos del mundo plantearon iniciativas en la Cumbre sobre la Acción Climática del 2019 que se celebró en las Naciones Unidas en Nueva York, abordando un aspecto principal el uso de energías no convencionales como la energía del sol, el gobierno peruano da prioridad a proyectos energéticos solares en todas las regiones del país; en ese contexto considerando que Puno es uno de los departamentos con mayor radiación solar del Perú, en el proyecto de investigación nos planteamos el problema de aprovechar esta ventaja competitiva para contribuir a la solución del problema particular de la región Puno de las bajas temperaturas de invierno elevando el confort de su nivel de vida a través de la producción de agua caliente sanitaria, y calefacción de viviendas utilizando la ingeniería del diseño de sistemas térmicos de colectores solares de tubos de vacío. Una causa importante para la no solución del problema planteado es que no se tiene información técnica sobre el elemento de los colectores solares, el tubo de vacío, respecto a su comportamiento o funcionamiento y su rendimiento térmico en Puno situado a 3827 metros sobre el nivel del mar, lo cual es fundamental para el diseño óptimo de un sistema térmico solar, esta falta de información técnica tiene como consecuencia que el desarrollo de empresas emprendedoras relacionadas al diseño en el área de la energía solar es incipiente en la región Puno por la causa técnica planteada; es en ese sentido que en el contexto formulado el aporte del proyecto de investigación desarrollado es relevante y contribuirá con la generación de conocimientos técnicos referente a los tubos de vacío solares, tecnología que revolucionó el diseño de colectores solares al incrementar su rendimiento térmico en un 100% aproximadamente y, de la misma manera se desarrolló la investigación experimental aplicando los conocimientos de la ingeniería a la solución de problemas técnicos de la sociedad; lo que implicó que nos planteamos y formulamos las preguntas



de investigación que constituyeron las guías del proyecto de investigación desarrollado para el logro óptimo de los objetivos de la tesis:

- ¿Es posible analizar en forma técnica el comportamiento térmico de un tubo de vacío solar?
- ¿Es posible efectuar la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno?
- ¿Es posible determinar en forma experimental el rendimiento térmico de un tubo de vacío solar en la ciudad de Puno?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el problema mundial es el cambio climático como consecuencia de la contaminación ambiental generado principalmente por la utilización de la energía de combustibles fósiles como el carbón y petróleo; por lo que es prioritario aprovechar fuentes de energía que no contaminen el ambiente como la energía solar que el sol nos provee de manera limpia, gratuita y renovable, beneficios que ayudarán a mitigar el problema aplicando los conocimientos de la ingeniería al diseño de sistemas de captación energética a través de colectores solares térmicos de tubos de vacío, en ese contexto el tema de tesis desarrollado está inmerso en el área de la utilización de la energía solar, tecnologías que en la coyuntura actual de cambio climático mundial se están investigando y desarrollando en todos los países por su importante implicancia en la solución de problemas de varios aspectos de nuestra vida cotidiana, justificación importante por su proyección a la sociedad más considerando que Puno es uno de los tres departamentos del Perú con mayor radiación solar, ventaja competitiva que se debe aprovechar para contribuir el desarrollo industrial de la región Puno.



La justificación teórica considerando el aspecto académico de la formación del ingeniero, es que el estudio analítico del comportamiento o funcionamiento en un tubo de vacío solar bajo la radiación solar de Puno, es fundamental para la aplicación en el diseño de sistemas térmicos solares que funcionan óptimamente tanto para la obtención de agua caliente sanitaria y calefacción de viviendas.

El desarrollo de la tesis tuvo una justificación importante en el aspecto de la investigación experimental en cuanto se aplicó los conocimientos en el diseño de un módulo para la manipulación del tubo de vacío solar que se adecúe a la obtención de los datos experimentales necesarios para cumplir los objetivos trazados y, también se realizó el diseño del ensayo técnico experimental para determinar el rendimiento térmico del tubo de vacío solar.

Un aspecto fundamental de la tesis desarrollada es la contribución a mitigar el problema del calentamiento global de la tierra que acarrea los problemas de cambio climático que lo estamos experimentando en la región Puno como ocurre en todo el mundo, de lo que se puede afirmar una justificación ambiental relevante de la investigación desarrollada.

1.3. HIPÓTESIS DEL TRABAJO

- Se puede aplicar los conocimientos de ingeniería al análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío solar y determinar experimentalmente su rendimiento térmico.

1.4. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Es posible analizar en forma técnica el comportamiento térmico de un tubo de vacío solar.



- Es posible caracterizar la radiación solar en la ciudad de Puno.
- Es posible determinar experimentalmente el rendimiento térmico de un tubo de vacío solar en la ciudad de Puno.

1.5. OBJETIVO GENERAL

- Aplicar los conocimientos de ingeniería al análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío solar y determinar experimentalmente su rendimiento térmico.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar en forma técnica el comportamiento de un tubo de vacío solar.
- Caracterizar la radiación solar en la ciudad de Puno.
- Determinar en forma experimental el rendimiento térmico de un tubo de vacío solar en la ciudad de Puno.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Reyes, E. (2019). Propuesta de uso de energía solar para el suministro de energía eléctrica y mejora de la eficiencia energética en la Universidad ESAN, tesis para optar el título de Ingeniero en Gestión Ambiental, Universidad ESAN. En el resumen de la investigación se manifiesta que el 90% de acciones de las personas se realiza en edificios u hogares, los que requieren energía para su iluminación para su funcionamiento y emitiéndose 40% de CO₂, en la tesis se propone el uso de energía renovable, energía del sol, a través de sistemas fotovoltaicos en la Universidad ESAN de Surco – Lima. Se estimará también como objetivos las emisiones de CO₂ y la eficiencia de la energía utilizada antes y después del uso de los sistemas fotovoltaicos. La metodología utilizada es la de auditorías energéticas, monitoreo meteorológico y encuestas en la Universidad, en los resultados se establece que utilizan más energía las luminarias y el aire acondicionado.

Vásquez, L. (2005). Proyecto de Prefactibilidad para la implementación de energía solar fotovoltaica y térmica en el campamento minero Comihuasa, tesis para optar el título de Ingeniero Industrial de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. El objetivo de la investigación es el proyecto de prefactibilidad para el uso de energía térmica y fotovoltaica en el campamento Comihuasa, mina Caudalosa – Huancavelica a través de conocimientos de ingeniería y gestión de proyectos para satisfacer la demanda energética con energía del sol, para ahorrar mensualmente KWH y mitigar la contaminación ambiental y variar la matriz energética del sector de la minería. En los resultados se analiza beneficios económicos para la empresa y sociedad.



Clemente, W. (2014). Optimización del sistema solar fotovoltaico para la generación eléctrica en viviendas aisladas altoandinas, tesis para optar el título de Magíster en Tecnología Energética, Universidad Nacional del Centro del Perú – Huancayo. Investigación de tipo tecnológica considerando la línea de investigación del Ministerio de Energía y Minas y la de la Facultad de Ingeniería Mecánica, en el área de la energía renovable del sol. Su objetivo es optimizar el sistema fotovoltaico evaluando la radiación solar y dimensionamiento y funcionamiento del sistema fotovoltaico, para generar energía eléctrica para los distritos de San José y Yanacancha de las provincias de Chupaca y Concepción de Junín, la metodología utilizada fue la sistémica basada en la experimentación utilizando la elevación, acimut del panel y ubicación del controlador de carga, obteniéndose en los resultados ocho combinaciones, construyéndose además módulos en Yanacocha y San José para los ensayos y validaciones de la prueba de hipótesis.

Ramos, J. (2023). Evaluación del potencial de la energía solar del distrito de Junín utilizando sistemas de información geográfica, tesis de la Universidad Privada del Norte, en el resumen manifiesta que para el ser humano es necesario un entorno sostenible basado en el cambio climático; Proyectos de energía renovables se desarrollan en el Perú hace más de 10 años, el objetivo del trabajo es evaluar el potencial energético solar en el distrito de Junín a través de información geográfica para generar energía eléctrica. En la metodología se usa metadatos del Atlas Solar Global y datos del SENAMHI y para interpolación de datos la técnica GIS. Obteniéndose en los resultados dos promedios mensuales anuales para la radiación normal directa de 5,50 KWh/m² y 5,40 KWh/m² y para el potencial energético fotovoltaico de 4831 KWh y 4771 KWh, valores que implican un rendimiento óptimo en aplicaciones de energía solar en el distrito de Junín.



Álvarez, R. (2017). Aprovechamiento del potencial de energía solar y uso en el distrito de Pomabamba periodo 2012-2014, Investigación de la Universidad Nacional San Antonio de Mayolo. El objetivo de la investigación es conocer la factibilidad del aprovechamiento y uso de la energía solar como una energía limpia y renovable para contribuir a la mitigación del cambio climático en el distrito de Pomabamba – Áncash. En la metodología se usó información del SENAMHI referentes a la energía solar máxima, mínima y promedio de los años 2012, 2013 y 2014 en forma diaria; para la aplicación en colectores solares, en los resultados la radiación máxima es de $7,12 \text{ KW/m}^2$ y la mínima de $1,93 \text{ KW/m}^2$ con un promedio de $4,52 \text{ KW/m}^2$, obteniéndose eficiencias en los colectores de 78%, por lo que se concluye que en base a la radiación solar que incide en el distrito de Pomabamba se puede utilizar la energía solar como fuente inagotable de energía.

La Torre, L. y Barco, J. (2022). Diseño e implementación de un sistema de energía renovable por medio de paneles solares en la comunidad Masa. Tesis para optar el título de Ingeniero Eléctrico, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. El objetivo de la investigación es el diseño e implementación de sistemas fotovoltaicos para obtener instalaciones eléctricas de baja tensión. El proyecto desarrollado es para comunidad de Masa, Golfo de Guayaquil, donde se carece de energía permanente, actualmente se abastece con motores de combustión. La metodología está basada en el diseño de sistemas fotovoltaicos utilizando estudios de campo referentes a las necesidades energéticas de la comunidad. Se entregó el sistema fotovoltaico como resultado del proyecto.

Mercado, C. (2015). Evaluación de parámetros de operación de colector solar de tubos de vacío para generación de agua caliente en Huancayo, tesis para obtener título de Maestría en Tecnología Energética de la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. El tipo de investigación es tecnológica, línea de diseño y evaluación de



sistemas térmicos en el área de energía solar. El objetivo es la evaluación de parámetros de funcionamiento del colector solar de tubos de vacío para la producción de agua caliente sanitaria, la metodología empleada es la sistemática y de diseño factorial, manipulándose tres variables con dos niveles, además del uso de la estadística inferencial a través de análisis de residuos y varianza y de la prueba de Fisher. Para la obtención de resultados óptimos experimentales se utilizó un colector marca Luxxol de 134 litros y se efectuó un análisis de significancia de los factores de la investigación.

Sánchez, L. (2010). Análisis y diseño de un sistema de calefacción solar para agua caliente sanitaria. Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. La finalidad de la investigación es el estudio del diseño de sistemas térmicos para calentamiento de agua sanitaria doméstica con energía solar, empleando colectores solares de tubos de vacío. En la metodología de la investigación se diseña un colector solar de tubos de vacío, analizando el principio y funcionamiento del colector. En los resultados se hace un análisis del costo del sistema y proyectándose a que el sistema diseñado se ejecute a través de la creación de una empresa para la producción de los equipos diseñados.

Ríos, J. (2021). Evaluación de la eficiencia de un colector solar con tubos al vacío para el precalentamiento de agua para la cocción de alimentos. Tesis para optar el título de Master en ecoeficiencia industrial con mención en eficiencia energética de la Universidad Internacional SEK, Ecuador. El propósito del trabajo es contribuir con una alternativa de reducción del consumo de gas doméstico en la cocción de alimentos utilizando energía solar térmica para el precalentamiento del agua a temperaturas menores de 100°C. En la metodología se usa un calentador solar de agua con tubos de vacío con un rendimiento térmico de 68% en época de invierno, pudiéndose obtener un ahorro de 50%. En los resultados se observa que el gas licuado de petróleo es contaminante,



deficitario y subsidiado y debe reducirse su consumo, lo cual contribuirá a elevar la calidad de vida de las personas, ahorro económica y mitigación de la contaminación ambiental del planeta.

Salcedo, V. (2011). Influencia del estudio de la tecnología de vacío en tubos sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando la energía solar, tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. El objetivo del proyecto es estudiar el rendimiento de los colectores solares de tubos de vacío y compararlo con el rendimiento de calentadores de serpentín y analizar el uso del vacío para alcanzar temperaturas mayores. En la metodología se propone el diseño de un colector de tubos de vacío para determinar su eficiencia experimental y en los resultados se menciona haber alcanzado temperaturas cercanas a 62°C en seis horas de funcionamiento, acumulándose 1,85 KW de energía con una eficiencia térmica de 81,8%.

Hinojosa, J. (2017). Diagnóstico térmico para la instalación de un sistema para calentamiento de agua sanitaria utilizando energía solar térmica en la comunidad de Río Blanco, Tungurahua, Ecuador. El proyecto tiene por objetivo el diagnóstico térmico para diseñar un sistema térmico de agua caliente sanitaria usando energía solar en la comunidad de Río Blanco, Tungurahua, Ecuador. En la metodología se estudia la irradiación solar para un diseño eficiente acorde a las condiciones climáticas instalándose un sistema de tubos de vacío y uno de cilindro parabólico. En los resultados se obtuvo una irradiación promedio de $2,88 \text{ KW/m}^2$ mensual, con una energía de 8,74 KWh en los tubos de vacío y de 2,42 KWh en el sistema cilíndrico parabólico, concluyéndose que el calentador es óptimo, con temperaturas de confort de 30 a 36°C del agua caliente sanitario.

Porras, C. (2015). Evaluación de un sistema de energía solar térmica basado en colectores de tubos de vacío para suministro de agua a alta temperatura, tesis doctoral de



Ingeniería Agroforestal de la Universidad Politécnica de Madrid. La tesis tiene como objetivo fomentar el uso de la energía solar para producir agua caliente para la agroindustria y caracterizar un sistema térmico solar de tubos de vacío para agua caliente sanitaria a temperaturas superiores a las que se obtienen en estos sistemas, en cuya metodología se determina la eficiencia térmica, el volumen de agua caliente a producir a las temperaturas requeridas y la determinación de la rentabilidad del sistema térmico experimental. En los resultados se menciona que el aumento de la temperatura disminuye la energía suministrada al depósito, obteniéndose diferencia de 1000 Wh/m^2 entre 40°C y 80°C para irradiaciones solares de 8000 Kh/m^2 con una eficiencia de 73% y 56%.

Saettone, E. (2020). Utilización de tubos de borosilicato al vacío para aplicaciones tecnológicas con energía termosolar. Artículo en la Revista de Ingeniería Industrial, Universidad de Sao Paulo. En la investigación se encamina al uso de los tubos de vacío de borosilicato por sus características y propiedades térmicas, en el diseño de equipos para desalar el agua de mar utilizando la energía solar, en la metodología se enfatiza que se obtiene temperaturas ocho veces superior en días soleados y en días nublados de tres veces que las habituales, realizándose ensayos experimentales tanto en días soleados y nublados, el proyecto de inversión es factible con un costo de litro de 0,13 soles.

Quispe, S. (2021). Análisis comparativo de la eficiencia térmica en termas solares de colectores de vacío, para dos ángulos de inclinación de 25° y 35° en Juliaca, Tesis para optar el título de Ingeniero en Energías Renovables, Universidad Nacional de Juliaca. En la investigación se analizó la eficiencia térmica de 3 termas de tubos al vacío para una inclinación de 25° y 35° durante 2 semanas en un punto de la ciudad de Juliaca ubicada a 3825 msnm, se empleó un análisis comparativo experimental puro. Los tubos fueron de diferentes colores, negro el más comercial, lila segundo en ventas y el plateado que es de



una tecnología más actual; en los ensayos los tubos se orientaron al norte; se utilizaron sensores de temperatura, piranómetro para medir la radiación solar, goniómetro para medir el ángulo. En los resultados la eficiencia del tubo plateado fue de 79%, del tubo lila 78% y del tubo negro fue de 77%.

Colque, O. y Condori, A. (2019). Determinación de la eficiencia térmica de una terma solar de tubos de vacío en Puno. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico Electricista.

El trabajo de investigación se desarrolló los últimos días de octubre del año 2019, la metodología empleada fue experimental expresable en la relación de la energía solar ganada por el a calentar entre la energía solar que llega al colector solar. Los resultados experimentales en la terma “DAVSOL” de 6 tubos de vacío de flujo directo estuvieron en el rango de 66 – 74% con un promedio diario de 69,98%; los ensayos experimentales se realizaron del 23 al 27 de octubre del 2019 en el horario de 11:00 am a 14:30 pm. Una conclusión importante es que las termas de tubo de vacío son 13,02% más eficientes que las termas solares de colectores planos (55,70%).

Montoya, A. et al. (2021). Estudio de evaluación de eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío con tanque acumulador, de la Empresa D’SOL. Trabajo de investigación de la Escuela Profesional de Física de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

La investigación se realizó en tres días de evaluación, se informa de la velocidad de calentamiento del sistema y el aislamiento térmico del tanque acumulador por medio de curvas de velocidad de enfriamiento. En la metodología para el ensayo se usaron dos sensores de temperatura, para el tanque de almacenamiento, el monitoreo de temperatura y radiación solar se realizó desde las 19:00 pm del 30 de abril hasta las 24:00 horas del 3



de mayo del 2021. La eficiencia energética (η_t) es la relación entre la energía térmica ganada por el agua y la energía solar disponible el día del ensayo. Para los resultados se monitoreó las temperaturas del agua en el tanque y la temperatura ambiental desde las 19:000 pm hasta las 24:00 horas; operando la eficiencia del primer día fue de 69,97%, del segundo día 47,91% y del tercer día de 20,11%. Se concluye que la velocidad de calentamiento del agua es directamente proporcional a la eficiencia térmica, porque el decremento del flujo del fluido se debe a que la temperatura de calentamiento del agua es menor durante cada día.

Rondan, I. y Rebas, R. (2018). Determinación de la eficiencia de un tubo de vacío de baja presión y alta presión de un colector solar. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote. Los tubos de vacío en colectores solares para obtener agua caliente sanitaria, constituye un gran avance tecnológico, los tubos captan eficientemente la radiación con variaciones de hasta 25° sobre la inclinación y el cual funciona eliminando casi las pérdidas por conducción y convección. En la metodología experimental se aplicó un procedimiento para determinar la radiación solar ganada por el tubo basada en la geometría solar, transferencia de calor y se aplicó un método numérico. La eficiencia promedio del tubo de vacío de baja presión fue de 48% y el de alta presión de 46%.

Salcedo, V. (2020). Influencia del estudio de la tecnología de vacío en tubos sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando la energía solar. Tesis para optar el título de Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica de Ambato.

En el trabajo se compara la eficiencia de colectores solares de tubos de vacío con los colectores de serpentín o paralelos y se investiga la utilización del vacío como aislante; se investiga también un sistema que aprovecha mejor la energía solar y que se pierda por



las condiciones climáticas variadas como el viento o lluvia, se concluye que la tecnología del vacío para calentar agua hasta aproximadamente 62°C, en un tiempo de 6 horas almacenando energía útil hasta 1854,61 W. Se construye una terma solar de tubos de vacío obteniéndose una eficiencia de 81,8%, superior a termas convencionales.

Haim, P. et al. (2020). Análisis comparativo de rendimiento colectores solares térmicos en la República Argentina mediante sistemas de información geográfico. Artículo científico RIIYM-ISSN-Volumen V – Número 8.

El crecimiento de la tecnología en el mundo como en Argentina incrementó la importación de colectores solares. En Argentina es variada la temperatura y radiación solar, variables que influyen en la eficiencia de colectores solares; se analiza en la investigación la eficiencia de un colector de placa plana y tubo de vacío para los meses de Junio y Enero determinando como varían las eficiencias de ambos colectores, luego se efectúan mapas con sistemas de información geográficas para mostrar la variación de la eficiencia en toda Argentina.

Quispe, L. y Sotomayor, G. (2022). Determinación y análisis temporal de la radiación solar global en el Altiplano de Puno. Artículo Revista Chilena de Ingeniería, Vol. 30, N° 1, 2022, pp. 69-81.

El sol es fuente de energía solar limpia y gratuita, se investiga la disponibilidad de radiación solar global en el altiplano puneño, a través de 14 estaciones meteorológicas del SENAMHI del 2007 al 2013. En la metodología se usa el modelo Bristow y Campbell, que utiliza información de estaciones meteorológicas. En los resultados se tiene una correlación de 0,938 entre radiación solar global estimada y la que se midió; se obtuvieron promedios máximos y mínimos anuales de 6,342 y 5,481; 6,783 y 5,908; 7,298 y 5,945 KWh/m².día respectivamente. Se concluye que los resultados son apropiados por ser superiores a 4,000 KWh/m².día en el periodo de estudio. La radiación solar debe



transformarse en energía térmica y eléctrica para solucionar problemas de la zona altoandina de Puno.

Vanegas, M. et al. (2019). Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de la Guajira – Colombia. Artículo científico Prospect, Vol.13, N°2, pp. 54-63, 2019.

Colombia por Ley 1745 del año 2014 promueve la utilización de energías no convencionales en el sistema energético del país, el objetivo de la investigación es la evaluación de parámetros geométricos, astronómicos, físicos y meteorológicos, para cuantificar y caracterizar la radiación solar a través de datos meteorológicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) de distintas estaciones del departamento de La Guajira con registros climáticos de 5 años a más y evaluados por el modelo Bird y Hulstrom. En los resultados se identificaron zonas del departamento que son potenciales para desarrollar la tecnología solar.

Oyarzun, H; y Álvarez, L. (2020). Características de la radiación solar en un bosque de *Pinus radiata*, en Valdivia, Chile, Artículo de Bosque 9(2), pp. 115-121, 2020. En el trabajo de investigación se analizó la distribución espacial y temporal de la radiación solar en un bosque adulto de *Pinus radiata* con datos de solarímetros ubicados sobre el bosque a 43 m, la radiación difusa presentó la penetración mayor hacia el suelo, con un promedio por año de 30,2% por días despejados y 10,4% para días nublados; y la radiación directa de 4,4% y 2,5% respectivamente. La radiación directa aumentó, en el bosque en el verano, mientras que la radiación difusa se mantuvo constante, durante el año y; las fluctuaciones de la radiación dentro del bosque se generan por la dispar penetración de la radiación directa.



Juantorena, A. et al. (2019). Evaluación experimental de un calentador solar de agua de tubos evacuados. Revista de Aplicación Científica y Técnica, Junio 2019 vol. 3, N° 8, pp. 24-34.

Se investiga la evaluación experimental de un calentador solar de tubos evacuados, en la metodología se montó una instalación con ayuda del grupo COSEIN empresa Morelense, sus elementos son un colector solar de 10 tubos evacuados que funciona por termos sifón, un depósito de 130 litros, sensores para medición de variables, una unidad de monitoreo de datos con software SITRAD para interpretar y manejar información, como temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), flujos de entrada y salida del agua (L/s) y la radiación solar (W/m^2); se trabajó 5 meses y se determinó una eficiencia térmica de 74%.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. El Sol¹

El sol se formó hace 6,5 millones de años, contiene el 99,8% de masa del sistema solar, su radio mide 700,000 Km y es 109 veces el radio de la tierra. Está compuesto por hidrógeno y helio principalmente, 74,9% de hidrógeno y 23,8% de helio; oxígeno 1%, carbono 0,3% y neón con hierro 0,2%. La temperatura en el sol es muy alta por lo que se encuentra en estado de plasma, el 99% de la materia del universo es plasma.

El sol es la principal fuente de vida, su radiación es inagotable, la energía que más provee el sol diariamente es 10000 veces mucho mayor que la energía

¹ Blanco_Cano, X. (2009). El Sol, nuestra estrella, Revista digital universitaria, volumen 10, Universidad Nacional Autónoma de México.

consumida por todos los habitantes de la tierra; el uso de la energía solar ayudará a mitigar la contaminación ambiental del planeta.

En la tabla siguiente se especifican las principales características del sol.

Tabla 1

Características principales del sol.

Características	Valores
Edad	4600 millones de años
Diámetro	1 391 980 Km
Volumen	$1,412 \times 10^{27} \text{ m}^3$ (1 300 000 veces el volumen de la tierra)
Masa	$1,99 \times 10^{30} \text{ Kg}$ (332 916 veces la masa de la tierra)
Densidad	150 veces la del agua
Giro del sol	Gira 1 vez cada 27 días cerca del ecuador
Temperaturas	En el centro : $16 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ En la corona : $1 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ En la superficie : $5 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{K}$
Distancia desde la tierra	Mínima : $147 \times 10^6 \text{ Km}$ Media : $150 \times 10^6 \text{ Km}$ Máxima : $152 \times 10^6 \text{ Km}$
Energía	$3,83 \times 10^{26} \text{ J/s}$
Energía recibida sobre la atmósfera exterior de la tierra	1367 W/m^2
Velocidad de la luz	$3 \times 10^5 \text{ Km/s}$

Fuente: Roldán, J. (2008). Fuentes de energía.

2.2.1.1. Interior Solar

El sol está constituido interiormente por capas, el núcleo, zona radiactiva y zona convectiva.

a) El núcleo

Es la zona más interior del sol, su radio es un cuarto del radio del sol y abarca solo 1,5% del volumen del sol, su densidad es alta 150 g/cm^3 . El núcleo tiene una temperatura de 15,7 millones de $^{\circ}\text{K}$ y produce casi la totalidad de la energía solar por reacciones nucleares que determinan que la composición del núcleo varíe, el hidrógeno es solo del 40% de la masa del núcleo y el helio aproximadamente 60%. (Figura 2.1)

b) Zona radiactiva

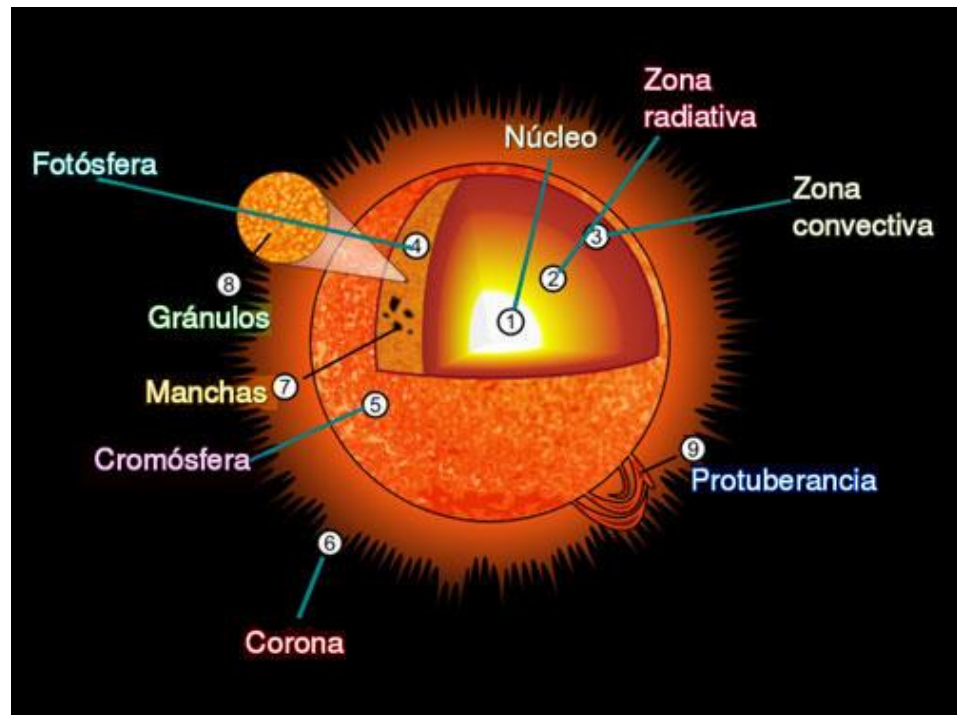
La zona radiactiva está comprendida de 0,25 a 0,7 radios solares, la energía se transfiere solo por radiación y no existe convección en la parte gaseosa su temperatura decrece hacia el exterior de 7 a 2 millones de grados Kelvin y su densidad fluctúa de 20 a 2 g/cm^3 . (Figura 2.1)

c) Zona convectiva

Esta zona está comprendida desde 0,7 radios solares hacia la superficie solar, la transferencia de energía es casi en forma total por convección, se forman columnas de gas hacia el exterior y regresan hacia el interior del sol, formando gránulos en la fotosfera. Su densidad externa es $0,2 \text{ g/m}^3$. (Figura 2.1)

Figura 1

Estructura del sol



Fuente: <https://en.wikipedia.org/wiki/sun>

2.2.1.2. Superficie Solar – Fotósfera

La fotósfera es la superficie que vemos en el sol a simple vista, es una capa gaseosa de 100 Km de espesor, color amarillo y una temperatura de 5800 °K, por su color se clasifica como estrella del tipo G2; constituye la capa más fría del sol, presentándose fenómenos como las manchas solares, fáculas y gránulos.

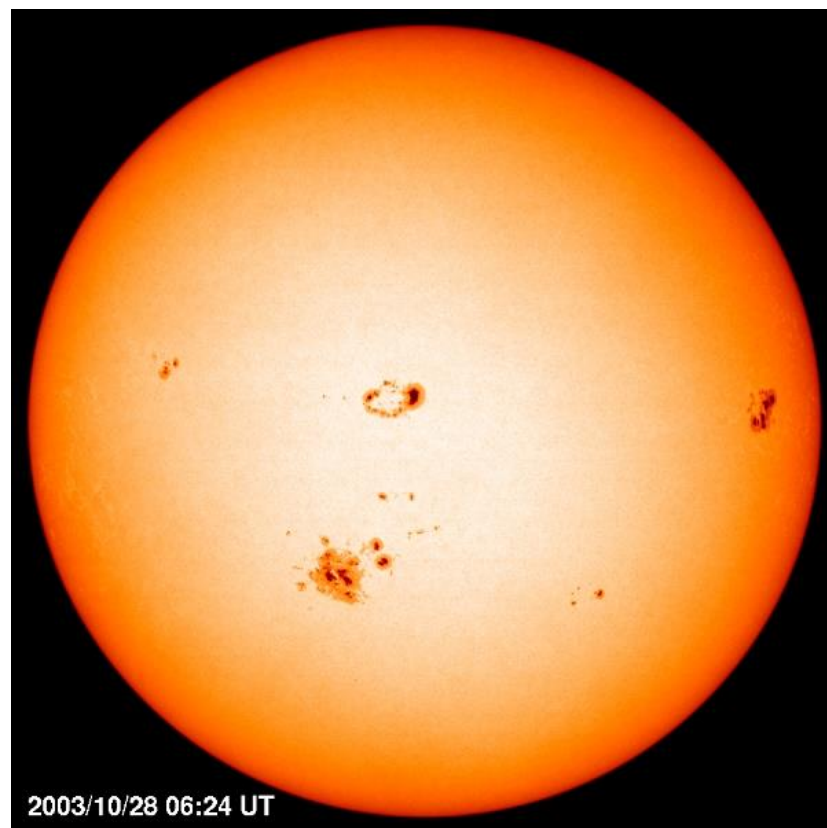
a) Manchas solares

Es el fenómeno solar más conocido se puede observar por telescopios o a simple vista. Debido a observaciones de astrónomos se estableció la rotación del sol y que no es uniforme, 28 días en el ecuador y 35 días en los polos. El número de manchas solares cambian en un periodo

de 11 años aproximadamente. La umbra parte central de las manchas tiene una temperatura de 4000 °K y su brillo es solo 30% de la fotosfera; las manchas solares las percibimos negras por el contraste con el resto de la fotosfera.

Figura 2

Manchas Solares en la superficie solar observadas por SOHO en octubre del 2003.



Fuente: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/mdi20031028.html>

b) Fáculas

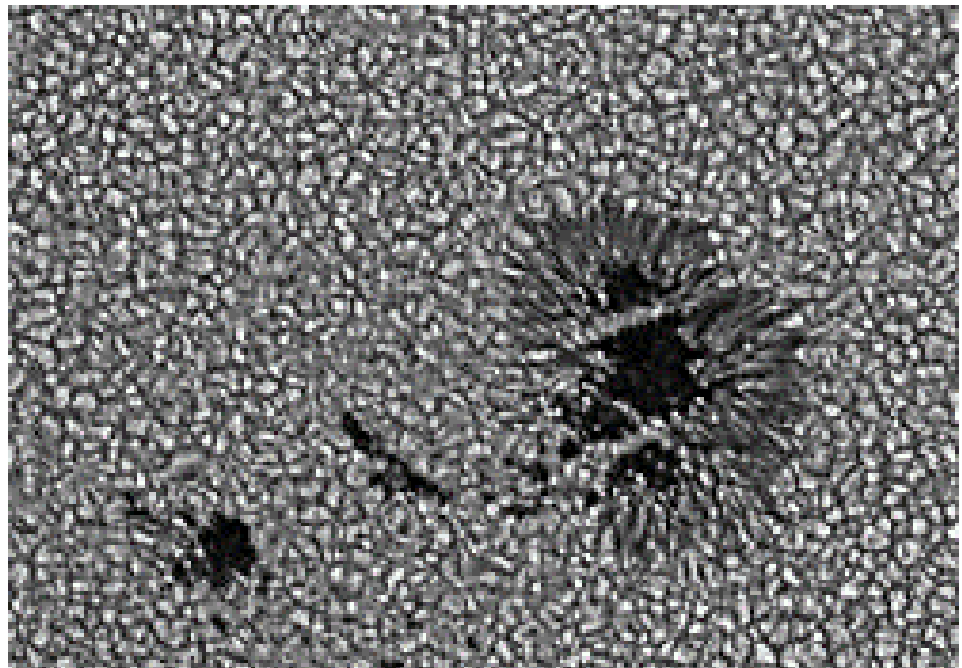
Las féculas son zonas muy brillantes que se presentan en la fotosfera solar que se constituyen entre gránulos solares y son generadas por las concentraciones que se produce en el campo magnético.

c) Gránulos

Los gránulos se generan por los fenómenos de transferencia del calor por convección en el área convectiva, el plasma caliente de la fotosfera no sube y vuelve al interior solar provocando que aparezcan gránulos en la fotosfera; en los centros de los gránulos el plasma asciende por lo que son más brillantes y calientes. El tamaño de los gránulos bordea los 1000 Km y se mantienen de 8 a 20 minutos.

Figura 3

Gránulos en la superficie solar y mancha solar



Fuente: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/feature1.shtml>

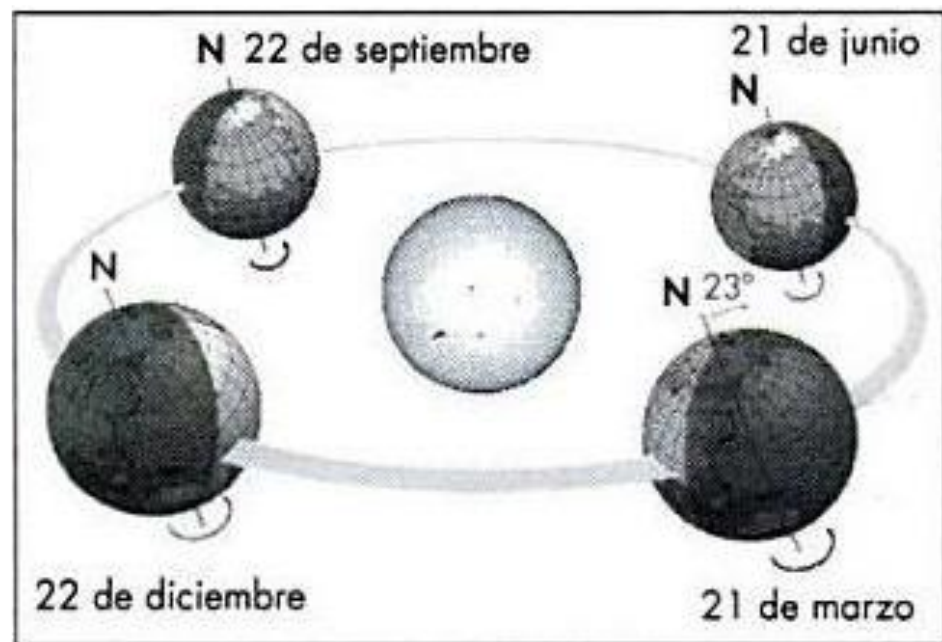
2.2.1.3. Radiación Solar

La radiación solar es un flujo de energía que el sol irradia al espacio en todas las direcciones en forma de ondas electromagnéticas, sobre la atmósfera los rayos inciden en forma aproximada $1,36 \text{ KW/m}^2$ que constituye la constante solar, que es la irradiancia solar sobre una

superficie plana perpendicular al vector de posición del sol, los polos reciben menor radiación y los trópicos mayor radiación de los rayos solares y la intensidad de la radiación será uniforme cuando los rayos incidan en forma normal a la superficie irradiada, influenciado por la inclinación de la tierra.

Figura 4

Grados de inclinación de la tierra



Fuente: Tous, M. (2009). Energía solar térmica de baja temperatura, Barcelona, Editorial CEAC.

En días con nubes la intensidad de la radiación es menor y por lo tanto la energía que recibe el sistema térmico solar menor. Los tipos de radiación son:

a) Radiación Solar Difusa

Es la radiación solar reflejada y que se esparce en la atmósfera que llega de la bóveda celeste como se aprecia en la Figura 2.5.

b) Radiación solar directa

La radiación solar directa es la que llega en forma directa del sol, se aprecia en la Figura 2.5.

c) Albedo

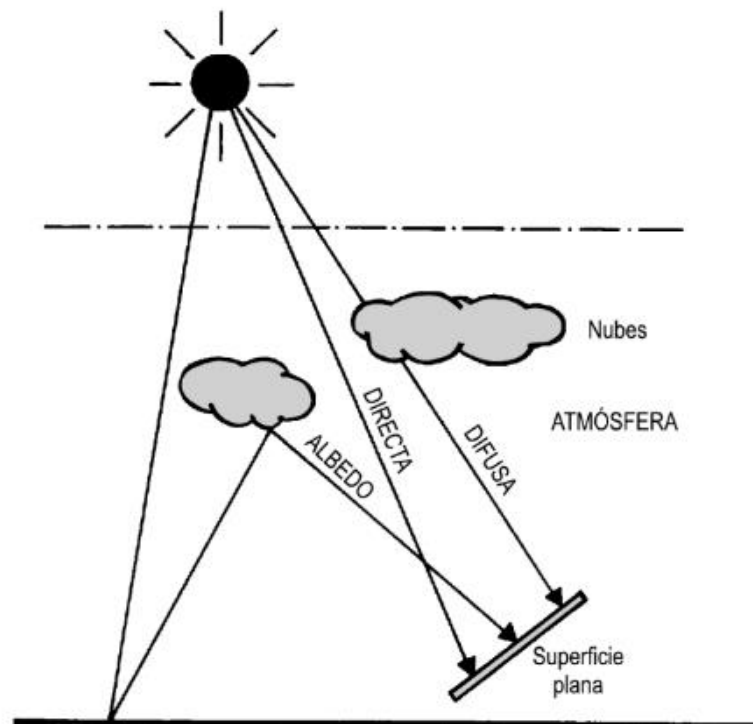
La radiación solar albedo es la que proviene a la superficie que se considera, después que se refleja en otras superficies del entorno; se aprecia en la Figura 2.5.

d) Radiación Solar Global

La radiación solar global es la suma de dos radiaciones la directa y la difusa. Se aprecia en la Figura 2.5.

Figura 5

Tipos de radiación solar



Fuente: Roldán, J. (2008). Fuentes de Energía, México, Editorial Paraninfo.

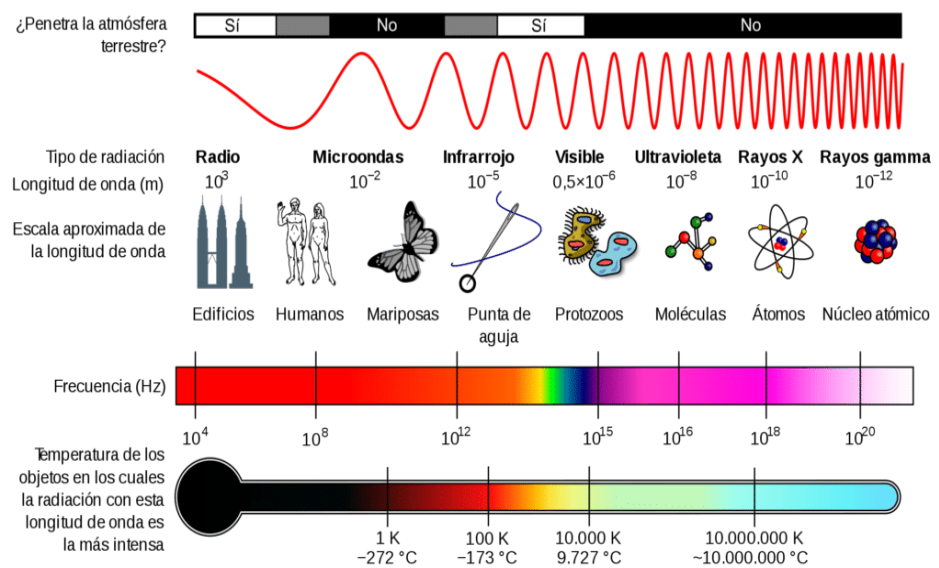
Se define a la irradiación a la energía que incide por unidad de superficie en función del tiempo, se mide en KW/m^2 .

2.2.1.4. Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es el rango posible de radiaciones electromagnéticas solares, es una distribución característica desde bajas frecuencias análogas a las de la radio y hasta los rayos gamma, se puede observar en la Figura 2.6.

Figura 6

Espectro electromagnético solar



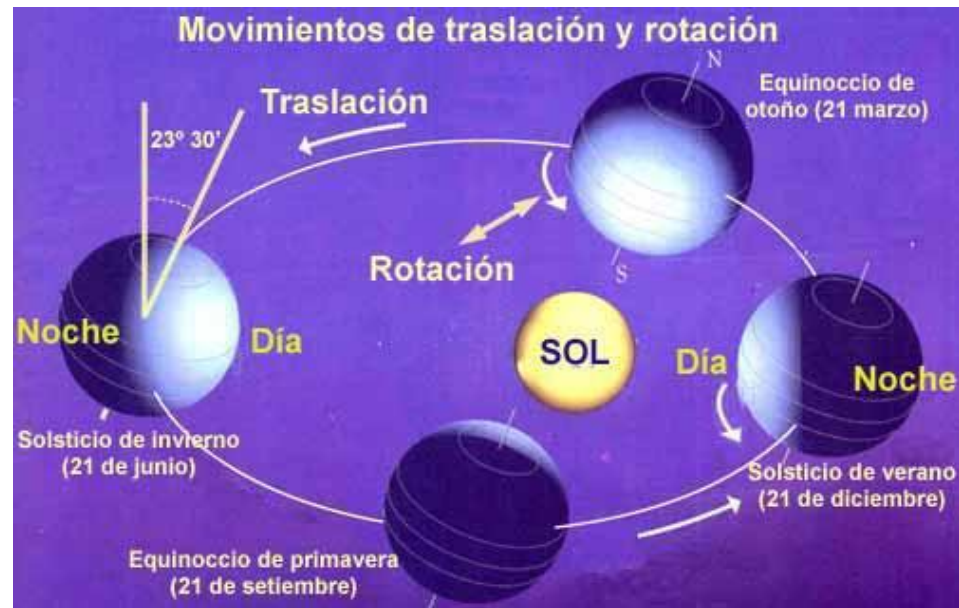
Fuente: Roldán, J. (2008). Fuentes de Energía, México, Editorial Paraninfo.

2.2.1.5. Recorrido de la tierra respecto al sol

En la figura siguiente se puede observar los movimientos de traslación de la tierra con respecto al sol.

Figura 7

Movimientos de traslación de la tierra respecto al sol



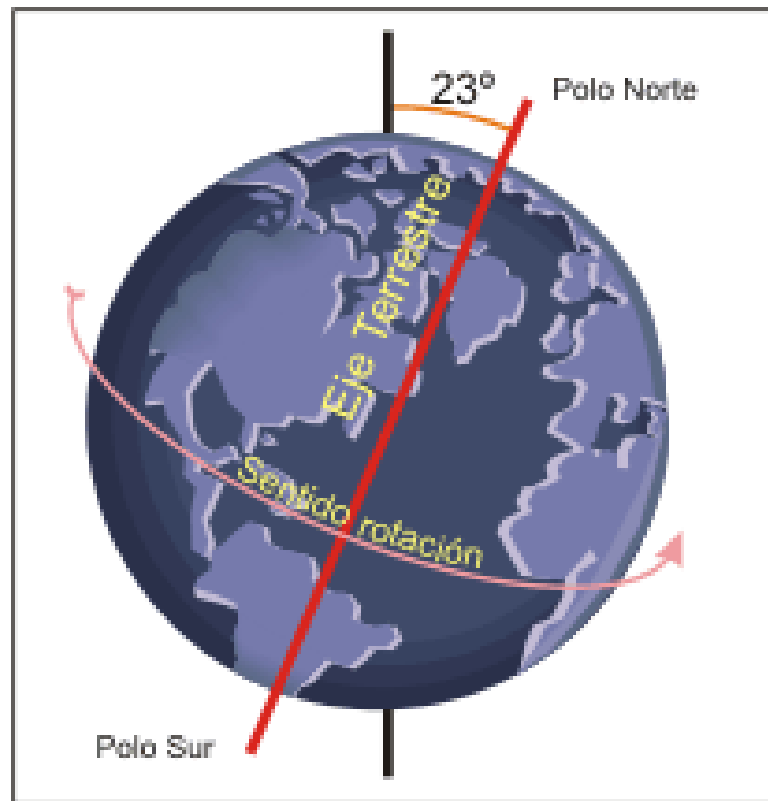
Fuente: C. Tenemasa (2012). “Propuesta para la implementación de una industria fabricante de calentadores de agua de uso doméstico a base de energía solar en la ciudad de Riobamba” Riobamba.

2.2.1.6. Movimiento de rotación del planeta

La tierra gira alrededor de ella misma sobre un eje polar que forma un ángulo promedio de $23^{\circ}27'$ con la perpendicular al plano de la trayectoria elíptica, lo que determina que el ángulo de incidencia de los rayos del sol varíe, en verano es más que invierno.

Figura 8

Movimientos de rotación de la tierra



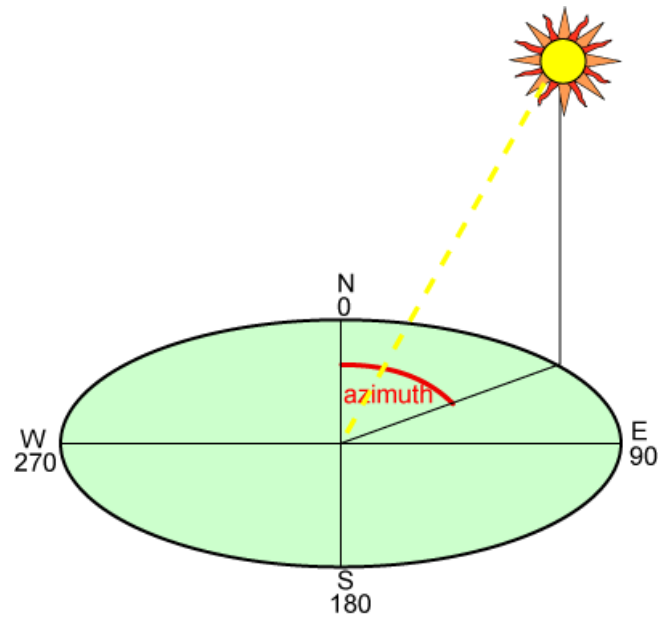
Fuente: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Movimientos_de_la_Tierra

2.2.1.7. Azimut

Azimut es el ángulo que hace los rayos solares con un plano tangente a la superficie de la tierra con el sur geográfico, al mediodía el azimut vale cero.

Figura 9

Azimut



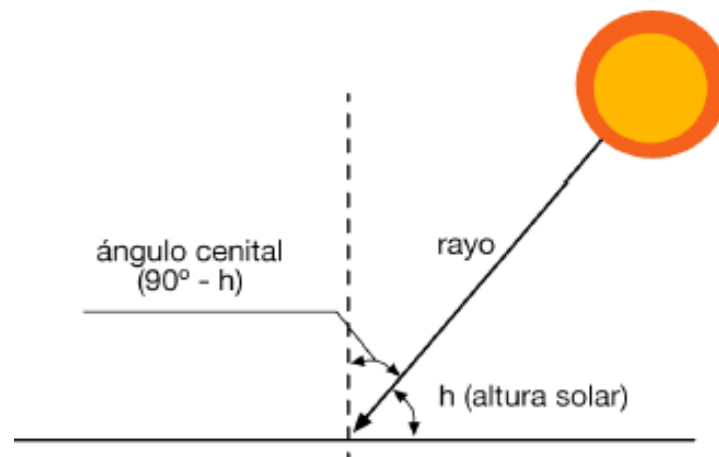
Fuente: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/%C3%A1ngulo-acimut>

2.2.1.8. Altura solar (h)

La altura solar es el ángulo que hacen los rayos solares con la horizontal al llegar a la superficie terrestre.

Figura 10

Altura solar



Fuente: <https://certificacionenergetica.info/posicionamiento-solar/amp/>

2.2.1.9. Piranómetro

El piranómetro o solarímetro es un instrumento utilizado en meteorología para medir con precisión la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre. Está constituido por un sensor, diseñado con el objetivo de medir con precisión la densidad del flujo de radiación solar, mide en la unidad de KW/m^2 en una extensión de 180 grados.

Figura 11

Piranómetro



Fuente: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Piran%C3%B3metro>

2.2.1.10. Pirheliómetro

El pirheliómetro mide la radiación solar directa que incide sobre la superficie terrestre, diseñado de acuerdo a la norma ISO 9060 y con las normas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM); se conecta a un datager para registrar datos y descargarlo a una computadora.

Figura 12

Pirheliómetro



Fuente: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Pirheli%C3%B3metro>

2.2.1.11. Heliógrafo

Es un instrumento meteorológico para medir la insolación u horas de sol en un día, consiste en una bola de vidrio de aproximadamente 10 cm de diámetro que funciona como una lupa, que quema una película graduada con las horas del día a medida que transcurre el día.

Figura 13

Heliógrafo de Campbell-Stokes



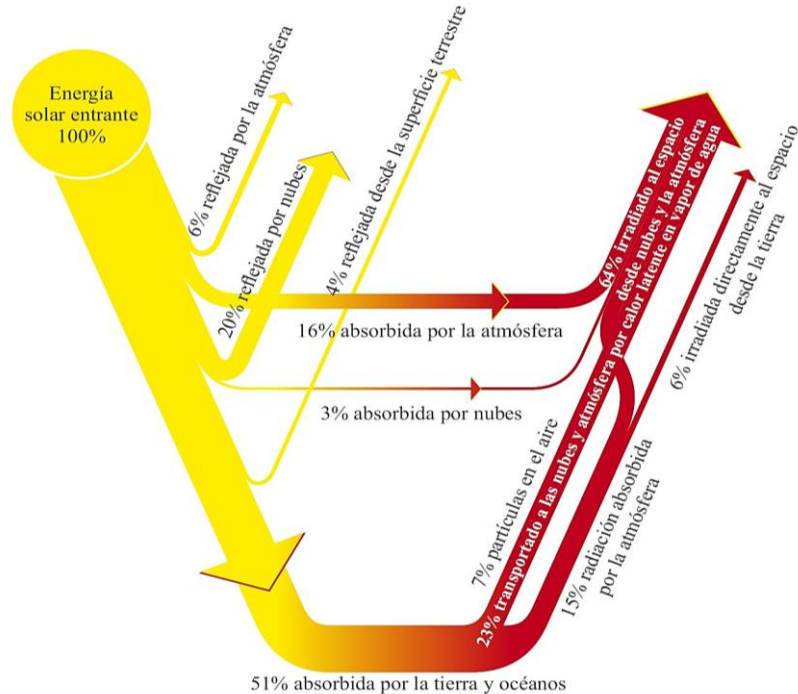
Fuente: <https://www.tiempo.com/ram/1762/el-heliografo-de-campbell-stokes/>

2.2.1.12. Absorción de la radiación solar a través de la atmósfera

La distancia entre la tierra y el sol varía en el movimiento de traslación lo que determina que la radiación solar en un plano perpendicular en un sitio cualquiera de la tierra no es la misma, en el mes de enero ambos cuerpos celestes están más cerca y en julio lo más alejados recibiendo la atmósfera entre 1400 W/m^2 y 1330 W/m^2 de energía respectivamente. Del total de energía solar sobre la tierra solo la superficie terrestre con los océanos logra absorber el 51%, el resto se desvía por fenómenos atmosféricos al exterior de la atmósfera y a otro lugar de la tierra.

Figura 14

Absorción de la radiación solar en la atmósfera



Fuente: <https://www.kippzonen.com/Download/415/Solar-Energy-Guide-English>

2.2.1.13. Parámetros posicionales sol-tierra²

Los parámetros para estimar con cierta aproximación la posición y entender el movimiento del sol a partir de un punto específico donde se encuentra la tierra, se muestra en la Figura 2.15:

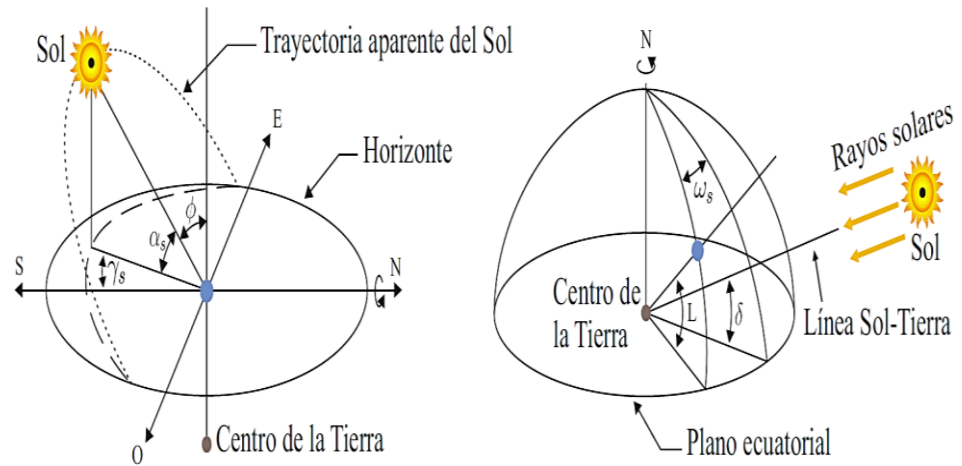
- a) **Latitud (L)**. La latitud es el ángulo entre la línea radial de un punto determinado con el centro de la tierra y la proyección respectiva en la superficie del ecuador. En el hemisferio norte la latitud es positiva, en el hemisferio sur la latitud es negativa y en la superficie del Ecuador la latitud es cero grados.
- b) **Declinación solar (δ)**. Es el ángulo entre la dirección de los rayos solares y la línea que une el sol y el centro de nuestro planeta, por el movimiento de traslación del planeta varía entre $23,45^\circ$ a $-23,45^\circ$.
- c) **Altura solar (α_s)**. Se le llama también elevación solar, ángulo entre un plano horizontal de observación y el centro del sol, se relaciona o complementa con el ángulo cenital (ϕ) que se forma entre la vertical de un punto específico y la dirección de los rayos solares.
- d) **Ángulo acimutal (γ_s)**. Ángulo entre línea sur en forma normal al plano de observación en un lugar específico de la tierra, se relaciona con la declinación solar (δ), ángulo horario (ω_s) y la elevación solar (α_s).

² Saldivar, T. (2022). Caracterización y optimización del seguimiento solar de un concentrador solar de canal parabólico, Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología.

- e) **Ángulo de incidencia (θ_i)**. Ángulo que se forma entre la irradiancia solar directa y la línea normal al plano donde inciden los rayos solares.

Figura 15

Parámetros posicionales de los parámetros sol-tierra.



Fuente: Kalogirou, S. (2013). Solar energy engineering processes and systems, Academic Press.

2.2.2. Tubo de vacío solar

Los tubos de vacío son los elementos que constituyen los colectores solares, con los elementos que realizan la conversión de la energía solar en energía calorífica útil produciendo el calentamiento del agua. Un tubo de vacío está constituido principalmente por dos tubos de vidrio concéntricos; como se puede apreciar en la figura siguiente:

Figura 16

Tubo de vacío solar



Fuente: <http://www.aerosolarmexico.com/productos-aerosolar-mexico>

El tubo de vidrio exterior del tubo de vacío está fabricado de borosilicato transparente de gran resistencia hasta al impacto de granizos de 2,5 cm de diámetro, el tubo de vidrio interior concéntrico también es de borosilicato, recubierto con una capa de nitrato de aluminio, material que tiene la propiedad de alta absorción de la radiación solar y la propiedad óptica de reflexión es mínima. En el proceso de fabricación del tubo de vacío, el aire contenido entre los dos tubos concéntricos es extraído para lograr el vacío, que es el aislante térmico más perfecto, el vacío tiene el objetivo de eliminar las pérdidas de calor por los procesos de transferencia por conducción y convección, logrando así un aislamiento térmico. Las especificaciones técnicas de los tubos de vacío solares se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2*Especificaciones técnicas de los tubos de vacío solares*

TUBO CAPTADOR DE CALOR		
	Tipo selectivo absorción al vacío	Doble capa concéntrico - vacío intermedio
	Material	Vidrio Borosilicato
	longitud del tubo exterior	1850 mm
Características	Diámetro Exterior	58 mm
	Diámetro Interior	Ø 47 mm (±0.1 mm)
	Espesor	Ø 1,6mm (±0.1 mm)
	Vacío	$P \leq 5 \cdot 10^{-3}$ Pa
	Coefficiente de pérdida de calor Promedio	$\leq 0.63 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$
Resistencia	Granizo	Hasta Ø ≤ 25 mm
Absorbedor	Capa selectiva de absorción	Al-N/Al

Fuente: <http://www.ajover.co/wp-content/uploads/2016/08/FICHA-CALENTADOR-SOLAR>

2.2.2.1. Procesos de transferencia de calor en los tubos de vacío solares

Para entender la eficiencia de la tecnología de tubos de vacío, es importante conocer los procesos de transferencia de calor de un cuerpo a otro:

a) **Conducción**

La conducción es la transferencia de calor que ocurre entre dos cuerpos que se encuentran a diferentes temperaturas y en contacto físico directo permanente e incluso puede ser dos áreas de un mismo cuerpo, cuya transferencia depende de la medida de las áreas en contacto, esta



transferencia se percibe cuando se sostiene una varilla metálica sometida al fuego en el otro extremo.

b) Convección

La convección es el proceso de transferencia de calor entre fluidos, lo que ocurre porque al aumentar la temperatura de un fluido, disminuye su densidad y asciende sobre el flujo más frío y denso, transfiriendo el calor al fluido frío. Se puede experimentar este proceso al tocar una estufa y notar una corriente ligera de aire cálido que asciende.

c) Radiación

En la transferencia de calor por radiación no es condición que los cuerpos estén en contacto, pudiendo existir vacíos entre los cuerpos, todo cuerpo a una temperatura mayor a cero absoluto irradia ondas electromagnéticas térmicas, a mayor temperatura la radiación emitida es mayor, lo que comprobamos al estar cerca de una estufa se percibe la radiación que se desprende.

En los tubos de vacío la conversión energética es eficiente porque reducen significativamente las pérdidas por conducción y convección, debido a que entre los dos tubos concéntricos que forma el tubo de vacío, existe el vacío lo que implica que existe solo transferencia de calor por radiación.

2.2.2.2. Tipos de tubos de vacío

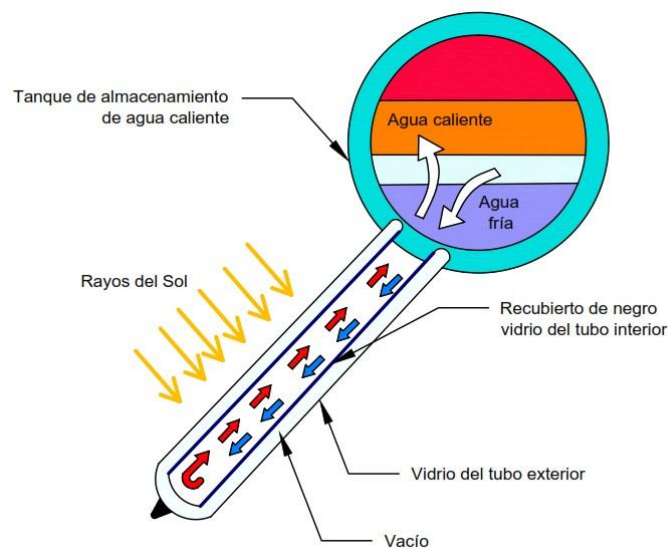
Los colectores solares de tubo de vacío emplean tubos evacuados formados por dos tubos concéntricos entre los cuales se aspira el aire produciéndose el vacío que actúa como aislante térmico.

a) Tubos de evacuado simples

Son tubos usados en calentadores termosifónicos, en la superficie interior del tubo tiene una capa oscura de sustancia absorbente, al incidir la radiación solar en el tubo la sustancia la transforma en calor, elevando la temperatura del agua por estar en contacto mutuo. El agua se calienta por el proceso de transferencia de calor de convección, el agua calentada asciende en el tubo y es reemplazada por el agua fría que se va calentando y el proceso se reinicia, las pérdidas de calor por transferencia son mínimas, en la figura se muestra el proceso de termosifón.

Figura 17

Proceso termosifónico

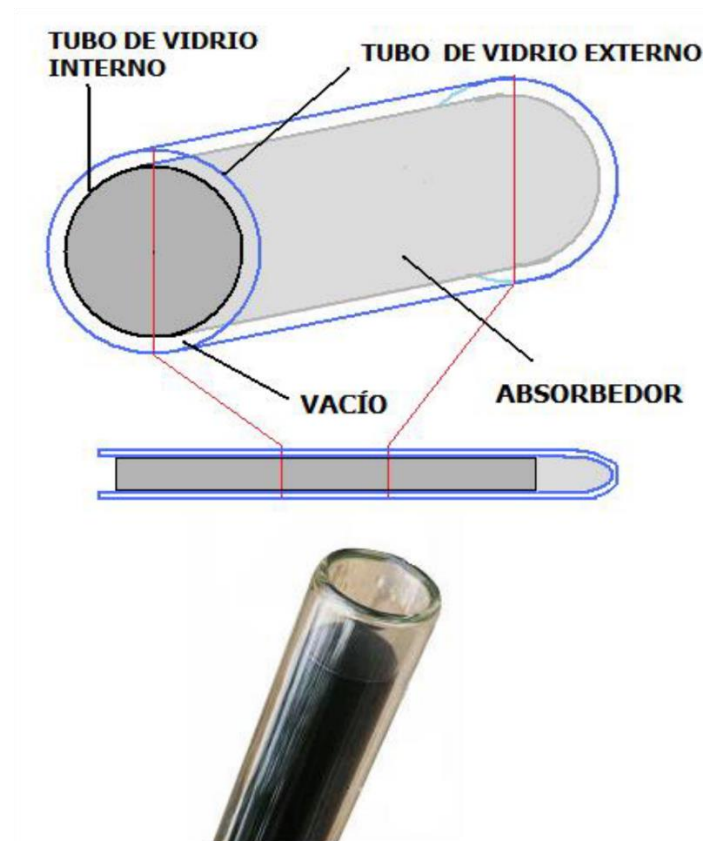


Fuente: <https://www.energiasolar.lat/colector-solar-de-tubo-de-vacio/>

Se muestra en la figura siguiente un tubo de evacuado simple.

Figura 18

Proceso termosifónico



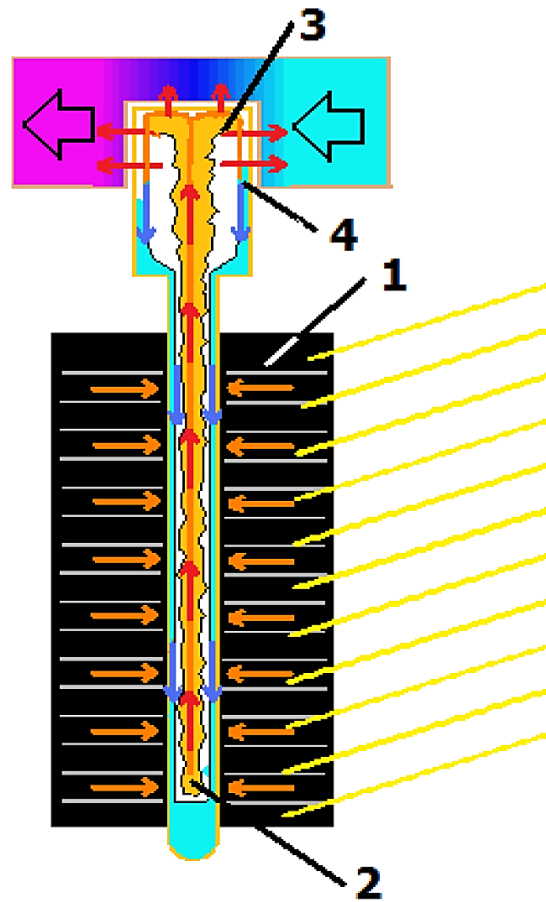
Fuente: <https://www.energiasolar.lat/colector-solar-de-tubo-de-vacio/>

b) Tubo de vacío Heat Pipe

El tubo de vacío es un tubo cerrado en cuyo interior se introduce un fluido con propiedades propias, cuando los rayos solares inciden sobre el absorbedor el fluido se evapora y absorbe calor, el gas asciende encima del líquido hasta la parte superior del tubo donde se ubica el punto frío, condensándose y cediendo el calor latente al agua, retornando al fondo por gravedad, repitiéndose el proceso, hasta que el agua del colector eleva su temperatura hasta 130°C; el tubo heat pipe funciona como superconductor térmico, su funcionamiento se esquematiza en la figura siguiente:

Figura 19

Esquema de funcionamiento de tubo Head Pipe

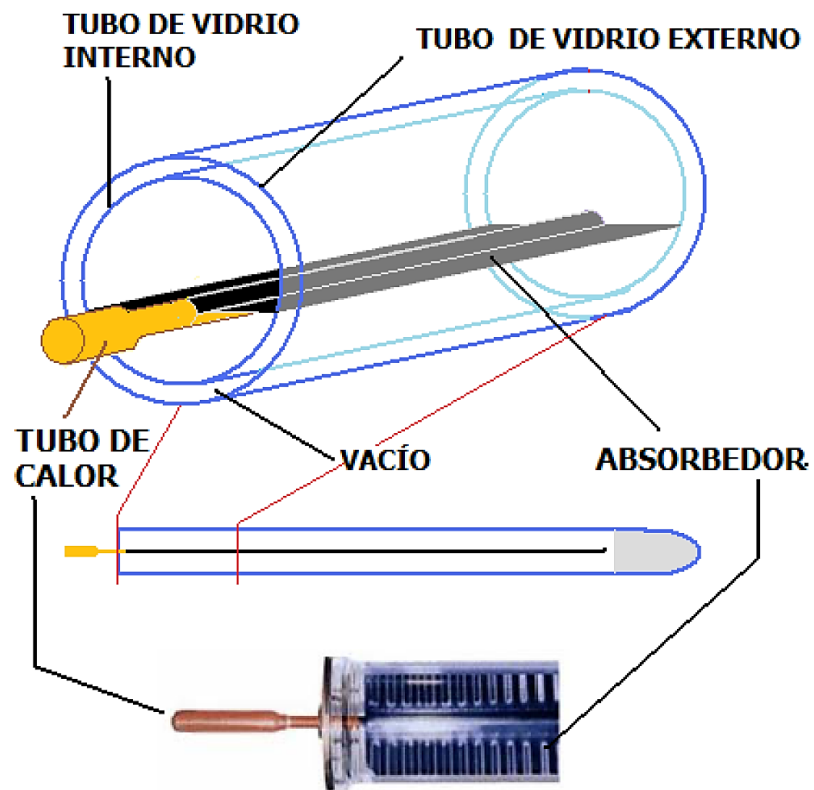


Fuente: www.sitiosolar.com

El tubo de vacío heat pipe o tubo de calor, resiste a heladas severas y no tiene pérdidas de calor en la noche porque el proceso de transferencia de calor no es reversible y tiene que instalarse con una inclinación mínima de 15° para una circulación óptima del líquido. En la figura siguiente se muestra un esquema del tubo de vacío heat pipe.

Figura 20

Tubo de vacío Heat Pipe



Fuente: www.sitiosolar.com



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío

Para efectuar el análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío, nos basaremos en el material teórico constituido por las especificaciones técnicas del tubo de vacío. Un tubo de vacío es componente de un colector solar, el tubo de vacío es análogo a un frasco característico de Dewar y está formado por dos tubos de vidrio concéntricos de borosilicato, uno de los tubos con elevada resistencia térmica y química. La superficie exterior del tubo interior tiene una cubierta especial solar, el cual está cerrado en un extremo y en el otro extremo se encuentra sellado al otro tubo concéntrico exterior y, una característica importante que tiene que ver su gran eficiencia térmica es que en el espacio anular entre los dos tubos concéntricos es evacuado el aire y crear el vacío más perfecto que es el aislante más perfecto con el propósito de eliminar la pérdida de calor por los fenómenos de transferencia de calor de conducción y convección que se produce durante el funcionamiento del tubo de vacío.

La cubierta de revestimiento solar seleccionada tiene el objetivo de obtener el rendimiento y estabilidad térmica máxima, estos recubrimientos especiales absorben casi la totalidad de la radiación solar que incide sobre la superficie del tubo de vacío y simultáneamente la disminución de la pérdida de calor por el proceso de emitancia térmica de las superficies de recubrimiento. Los tubos de vacío se diferencian de otros dispositivos similares fundamentalmente por sus

excelentes propiedades ópticas y térmicas, obtenidas por tecnologías de punto de pulverización catódica DC, obteniéndose propiedades ópticas de absorción solar de 0,94 a 0,96 y emisión solar de 0,04 a 0,06 a una temperatura de 100°C.

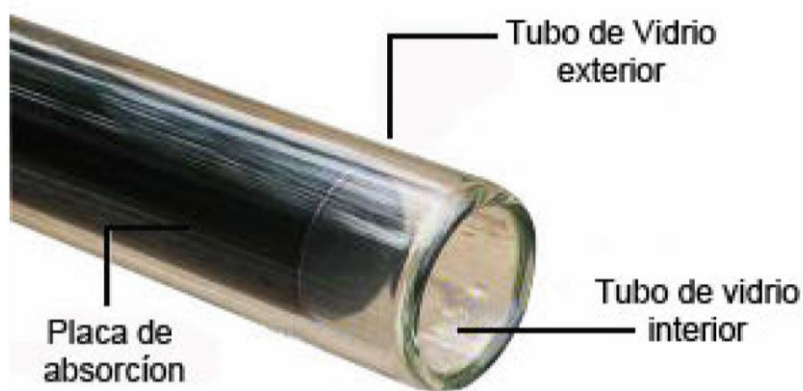
Las características técnicas de un tubo de vacío son:

- Elevado proceso de conversión de la energía solar térmica.
- Muy baja pérdida de calor.
- El nivel de vacío logrado es muy elevado, lo que asegura un funcionamiento óptimo en climas de temperaturas bajas.
- Las cubiertas solares selectivas tienen una tecnología muy avanzada.
- La cubierta selectiva “Cermet” está constituida por metal-nitruro de aluminio y cobre, el Cermet de doble película tiene mayor rendimiento fototérmico.

En la siguiente figura se muestra los componentes de un tubo de vacío con los dos tubos concéntricos.

Figura 21

Elementos constitutivos de un tubo de vacío



Fuente: <https://www.google.com/search?q=+tubos+de+vac%C3%A>

En la siguiente tabla se muestra las especificaciones técnicas cuantitativas

de un tubo de vacío.

Tabla 3

Especificaciones técnicas de un tubo de vacío.

Características	Especificaciones técnicas
Medidas	$\phi 58 \times 180$ mm
Peso aproximado	2.29 ± 0.18 kg
Estructura	Tubos de vidrio coaxiales de doble capa
Diámetro exterior del tubo	$\phi 58 \pm 0.7$ mm
Diámetro del tubo interno	$\phi 47 \pm 0.7$ mm
Longitud de tubo	1812 ± 4 mm
Material de recubrimiento	Nitruro de aluminio o cobre
Presión de Vacío	$P \leq 5 \times 10^{-3}$ pa
Temperatura de trabajo	-25 °C/ 300 °C
Coeficiente de pérdida de calor	≤ 0.6 w/ (m ² * °C)
diámetro de granizo soportado	$\phi 25$ mm
Angulo de incidencia para funcionamiento de la superficie selectiva	15°C-70°C
Presión Soportada	1 Mp

Fuente: Elaboración propia

3.1.1.1. Colector solar de placa plana

Un sistema de energía solar con colectores de placa tiene como propósito fundamental aprovechar la energía del sol mediante colectores y por un proceso de transferencia de calor almacenarlo en un sistema.

Los colectores solares son dispositivos que tienen la función de captar la energía solar y transformarla en energía calorífica, el colector

solar más utilizado en sistemas térmicos de energía solar es el colector solar de placa plana.

Figura 22

Colector solar de placa plana



Fuente: www.aulafacil.com

Las partes principales de un colector de placa plana es importante para tomar la decisión en cuánto a elegir la calidad del colector, en cuanto a las consideraciones respecto a las condiciones ambientales de la región, a qué instalación de un sistema térmico se destinará el colector solar y lo fundamental el presupuesto que se tiene.

El colector solar de placa plana está constituido por las siguientes partes:

1. Cubierta de vidrio transparente

La cubierta tiene la función de que se asegure la hermeticidad del colector que contiene agua y aire; durante el funcionamiento del colector

genera el efecto invernadero y disminuye las pérdidas por transferencia de calor por convección, para lograr una mayor eficiencia térmica del colector.

2. Placa absorbedora

La placa que absorbe la energía solar para transformarla en energía calorífica y luego realizar la transmisión a través del fluido que gana la energía solar.

3. Aislamiento

El material que se usa como aislamiento tiene la función de evitar las pérdidas de transferencia de calor.

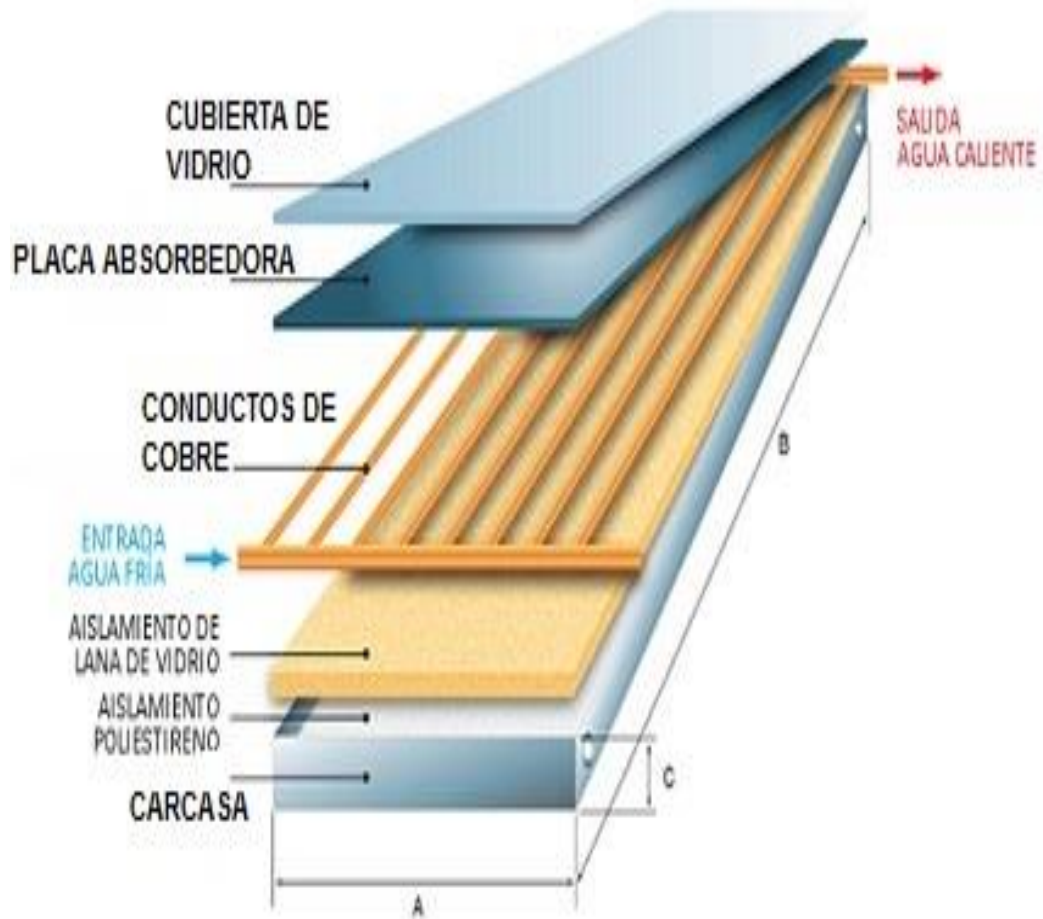
4. Carcasa protectora

La carcasa como su nombre lo señala tiene la función de proteger y soportar sobre la carcasa el peso de cada una de las partes que constituyen el colector y constituye de nexo con el edificio donde se ubica el colector solar a través de los elementos que sirven para anclar el dispositivo.

En la siguiente figura se muestra las partes del colector solar de placa plana.

Figura 23

Partes de un colector solar de placa plana



Fuente: www.aulafacil.com

3.1.2. Materiales para la Caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno

Por la naturaleza experimental de la investigación los materiales para cuantificar y caracterizar la radiación solar que incide sobre la superficie cilíndrica del tubo de vacío de flujo directo que es la energía solar que se transformará en energía térmica para calentar el agua contenida en el tubo de vacío, energías que se cuantificarán experimentalmente y en función a las cuales se determinó el rendimiento térmico del tubo de vacío.

En una investigación experimental los datos deben ser precisos y referidos al lugar donde se realizó la investigación; en ese contexto los datos experimentales de la radiación solar en la ciudad de Puno para su cuantificación y caracterización se midieron con una Estación Meteorológica Automática (EMA) de marca VAISALA-H13401 fabricada en Helsinki – Finlandia que registra la información cada 10 minutos, la promedia y envía vía satélite a Estaciones Meteorológicas de Estados Unidos, la estación automática pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) ubicada en el Departamento de Puno, provincia de Puno, distrito de Puno ubicado a una altitud de 3812 metros sobre el nivel del mar, cuyas coordenadas geográficas son: Latitud $15^{\circ}49'34,8''$ y Longitud $70^{\circ}0'43,7''$; Estación ubicada en la Avenida Floral al frente de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA).

Figura 24

Estación Meteorológica Automática – SENAMHI - Puno



Fuente: Imagen propia



Las estaciones Meteorológicas Automáticas a lo largo del departamento de Puno fueron donadas al SENAMHI – Puno por el gobierno de Estados Unidos para monitorear los datos climáticos del mundo a través de las instituciones respectivas como la NASA, las que proporcionan solo informaciones promedias en el departamento de Puno de radiaciones solares.

Por lo tanto, las radiaciones solares que fueron solicitadas al SENAMHI Puno, específicamente de la Estación Meteorológica Automática ubicada en la ciudad de Puno frente a la Universidad son mediciones experimentales precisas, validadas y medidas a través de sensores de Piranómetros montados en la Estación Automática, instrumentos de última generación.

Se tiene información experimental de la radiación solar que incide en la ciudad de Puno desde el mes de enero a setiembre del año 2023, mensualmente, diariamente y desde las 0:00 horas hasta las 24:00 horas; la investigación se realizó el mes de setiembre del 2023 durante 7 días desde el 18 al 24 en el horario de 8:00 a 13:00 horas, cuyos datos experimentales cuantificados se muestran en las tablas siguientes:



La demás información de la radiación solar horaria del año 2023 hasta el mes de setiembre se muestra en el anexo respectivo.

3.1.3. Materiales para la determinación experimental del rendimiento térmico del tubo de vacío

Para la determinación experimental del rendimiento térmico del tubo de vacío se emplearon los siguientes materiales:

3.1.3.1. Tubo de vacío

Por consideraciones experimentales de manipulación del tubo de vacío el cual tiene que llenarse de agua varias veces y además el montaje de este es en el módulo de laboratorio que se diseñó; para el registro de datos experimentales como las temperaturas y su precisión necesaria se realizaron ensayos preliminares de toma de datos y, en base a estos ensayos se decidió que la longitud del tubo de vacío apropiada tendría que ser menor que la longitud estándar de 1800 mm.

Las dimensiones del tubo de vacío que se consiguió en el mercado local fueron:

Longitud : 850 mm

Diámetro exterior : 58 mm

Diámetro interior : 48 mm

Se muestra en la figura siguiente el tubo de vacío que se utilizó en el trabajo de investigación experimental.

Figura 25

Tubo de vacío



Fuente: Imagen propia

3.1.3.2. Módulo diseñado para los ensayos experimentales

Para el diseño del módulo en el que se realizó el montaje del tubo de vacío para la realización de los ensayos experimentales se fundamentaron en las siguientes consideraciones técnicas:

- El módulo de madera tendría el dispositivo cilíndrico donde se realizó el montaje del tubo de vacío y, el módulo tendría la solidez necesaria para soportar el peso del tubo lleno de agua.
- En el módulo experimental el tubo de vacío se podrá orientar geográficamente en el módulo experimental del tubo de vacío podrá variar el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal.

- El módulo experimental permitirá que la radiación solar que incida sobre la superficie exterior del tubo de vacío no sea interferida y sea la máxima.
- El módulo experimental se podrá movilizar manualmente y, su operatividad experimental sea sencilla.

En las figuras siguientes se muestra el módulo experimental diseñado y el módulo con el montaje de tubo de vacío.

Figura 26

Módulo experimental diseñado



Fuente: Imagen propia

Figura 27

Módulo experimental con el montaje del tubo al vacío



Fuente: Imagen propia

3.1.3.3. Termocupla digital

Para la medición de las temperaturas experimentales del agua en el tubo de vacío se empleó una termocupla digital porque pasado el mediodía la temperatura sobrepasa los 70°C, lo cual no se puede medir con un termómetro normal de vidrio.

Se muestra en la figura siguiente la termocupla digital empleada.

Figura 28

Termocupla digital



Fuente: Imagen propia

3.1.3.4. Brújula

Por consideraciones teóricas de energía solar, para que la captación de la radiación solar por la superficie exterior del tubo de vacío sea la óptima, su orientación geográfica debe ser hacia el norte geográfico y no magnético. Para su orientación se empleó la brújula que se muestra en la figura siguiente.

Figura 29

Brújula



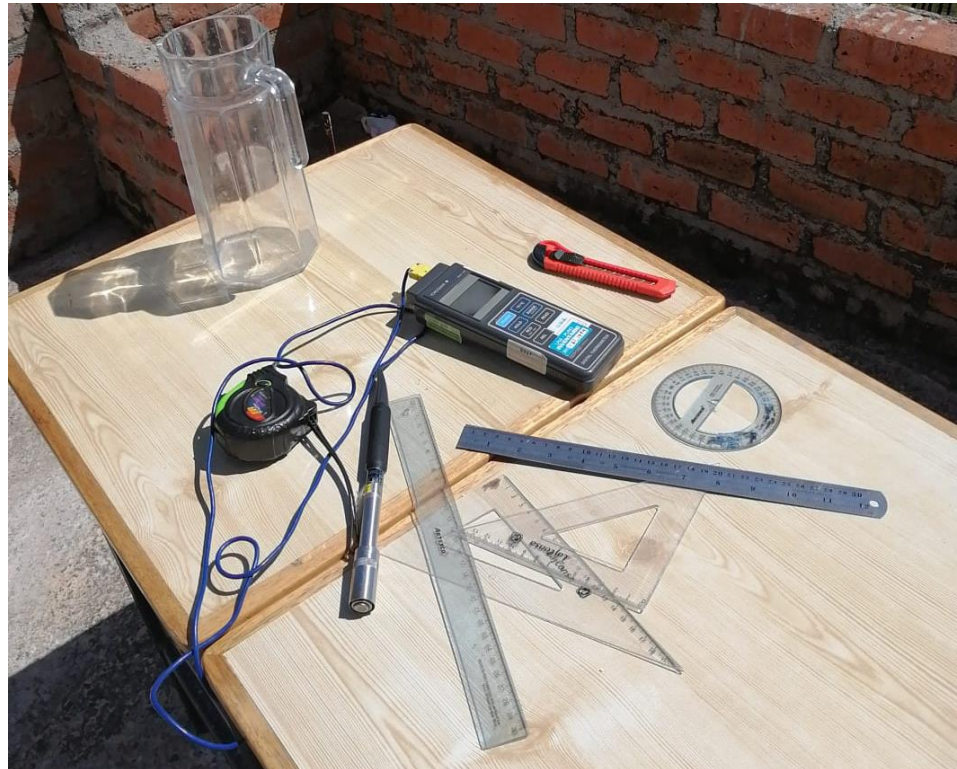
Fuente: Imagen propia

3.1.3.5. Instrumento para medir longitudes y ángulos

Los instrumentos necesarios para medir longitudes fueron regla, escuadras y wincha métrica y para medir los ángulos de inclinación se empleó un transportador y además para dar precisión al ángulo de inclinación se empleó la trigonometría para la que se construyó un triángulo rectángulo.

Figura 30

Instrumentos para medir longitudes y ángulos.



Fuente: Imagen propia

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Método para el análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío

El método para realizar el análisis técnico del comportamiento de un tubo de vacío estuvo basado en dos consideraciones:

- La primera consideración metodológica empleada se basó en el estudio analítico de la conformación física de un colector de placa plana y cómo es su comportamiento cuando la radiación del sol incide sobre la superficie exterior de vidrio del colector que funciona en forma transparente a la longitud de onda electromagnética de la radiación solar enmarcada en el



rango visible, superficie del colector que deja pasar en forma mayoritaria la energía solar, ésta energía calorífica calienta la superficie del colector que a una temperatura significativa se transforma en una superficie de emisión de radiación de ondas largas que están en el rango de ondas electromagnéticas infrarrojas, pero como la superficie de vidrio se comporta de manera opaca para las ondas electromagnéticas de esa longitud de onda, es decir que la radiación solar que ingresa ya no puede salir por la superficie del colector fenómeno que hace que el recinto interior del colector se vaya calentando muy por encima de la temperatura ambiental del exterior; este comportamiento térmico del colector hace que los conductos por donde fluye el agua elemento caloportador se caliente y transporte la energía térmica a donde ésta sea necesaria. Aunque la caja protectora del colector está aislada en forma térmica debido al calentamiento interno de ésta se produce los fenómenos de transferencia de calor hacia el ambiente exterior que está a una temperatura mucho menor, flujo de calor o energía térmica que constituyen pérdidas para el colector solar que influye en forma importante sobre el rendimiento térmico; estas pérdidas son mucho mayores cuanto menor sea la temperatura ambiental exterior y cuanto mayor sea la temperatura del agua en el interior del colector con respecto a la temperatura ambiental.

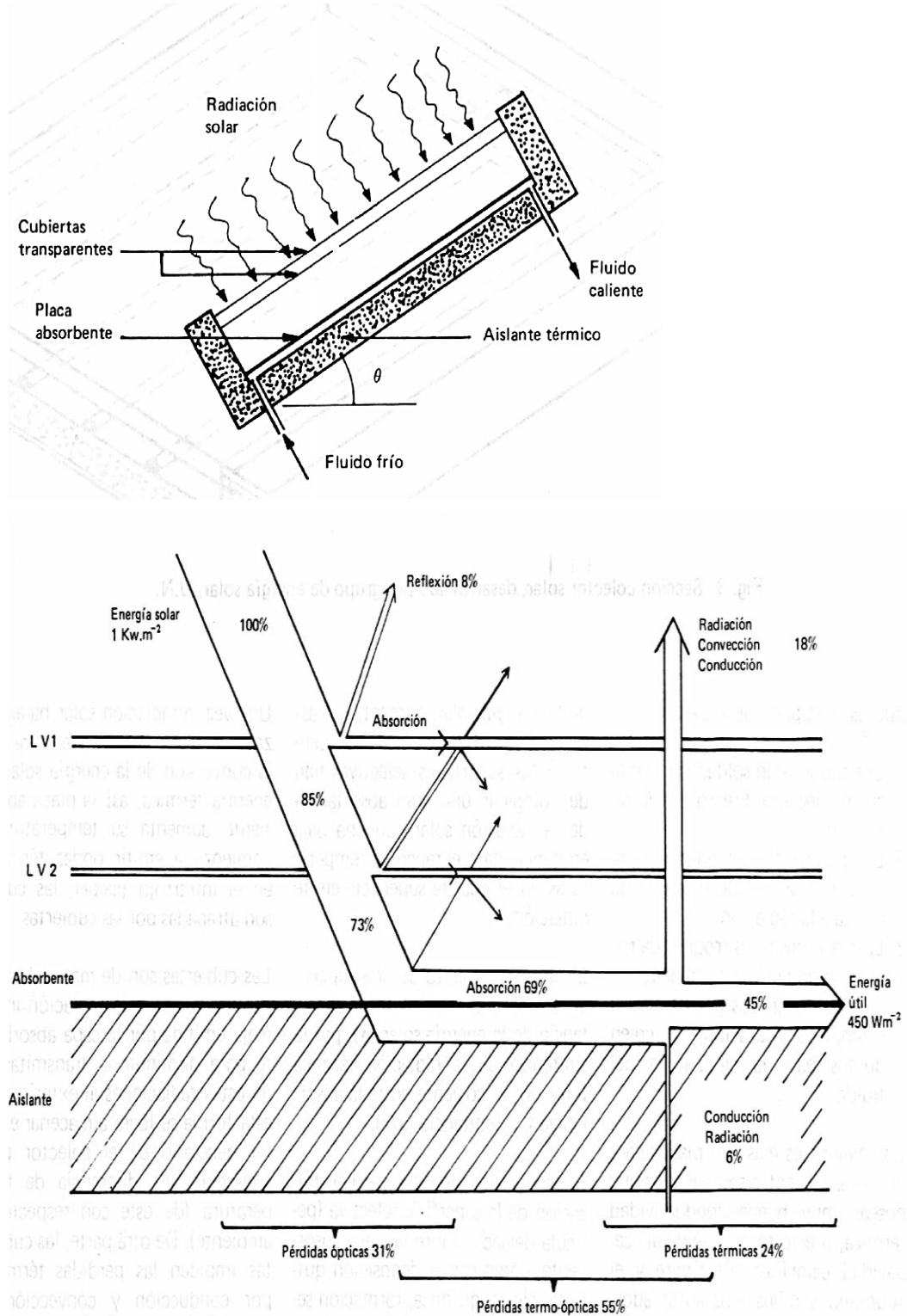
- La segunda consideración metodológica empleada para analizar el comportamiento térmico de un tubo de vacío es el estudio analítico de las pérdidas de calor o energía térmica solar que se producen por los fenómenos de transferencia de calor que se producen en un colector de placa plana, pérdidas energéticas que se disminuyeron en forma



significativa y que permitieron el diseño físico de un tubo de vacío, mejorando el funcionamiento térmico del colector. En la metodología del análisis del comportamiento del colector se debe cuantificar las pérdidas de energía térmica para aumentar el rendimiento térmico, se analizarán las pérdidas ópticas referidas a las ondas electromagnéticas que constituyen las radiaciones solares referentes a los fenómenos físicos de transmitancia en el rango infrarrojo, y en la radiación solar los fenómenos de reflexión y absorción, y las pérdidas de energía térmica al medio ambiente exterior son consecuencia de los procesos de transferencia de calor que se generan en el interior del colector solar como son los procesos de conducción y convección fundamentalmente. En la figura siguiente si asumimos una energía térmica de 1 KW/m^2 que incide sobre la primera lámina (LV1) constituyendo el 100%, analizaremos su comportamiento al ingresar al interior del colector solar.

Figura 31

Pérdidas energéticas de un flujo de energía térmica de 1 KW/m² en un colector solar de placa plana



Fuente: Gonzáles, J. (1981) Análisis de cubiertas transparentes y de superficies selectivas para colectores solares. Tesis. Dpto. de Física U.Nal.

- El flujo térmico al llegar a la segunda lámina (LV2) del colector solo lo hace en un 85% perdiéndose energía debido a l fenómeno de reflexión de la lámina LV1 en un orden de 8% y por absorción en un orden de 7% de la misma lámina. De esta energía sobrante solo un porcentaje de 73% incide sobre la cubierta absorbente como consecuencia de la reflexión en un orden de 7% y 5% de absorción que se produce en la lámina dos (LV2). A consecuencia de las pérdidas al final solo el 69% de la radiación solar que incide es realmente lo que absorbe el colector solar, este comportamiento implica que los fenómenos ópticos de reflexión y absorción generaron pérdidas de energía térmica del 31% y además los procesos de transferencia de calor de radiación, conducción y convección generaron una pérdida de energía térmica de 24%; por lo tanto, las pérdidas de energía térmica en total es un 55% y que la energía aprovechada por el colector solo es de 45% es decir 450 W/m^2 de los 1000 W/m^2 de radiación solar que incidió en el colector solar.

3.2.2. Método para la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno

Por la naturaleza de la investigación experimental desarrollada y considerando que es un aporte tecnológico importante a la investigación de la aplicación de la energía solar en la región; la caracterización, es decir, el conocimiento cabal de la cantidad de energía solar que incide sobre la superficie exterior del tubo de vacío utilizado para evaluar su rendimiento térmico. La radiación solar real fue medida con instrumentos de última generación, por la estación meteorológica automática del SENAMHI, específicamente ubicada en la ciudad de Puno frente a la Universidad Nacional del Altiplano, específicamente



en el distrito de Salcedo, ubicado a una Latitud de -15.879949 , Longitud de -70.001666 y una altitud de 3825 m.s.n.m; con una radiación solar promedio diario de 719 Kw/m², cuyos datos experimentales tienen gran confiabilidad y que son validados por el monitoreo de estaciones meteorológicas de Estados Unidos y la NASA para obtener información climatológica experimental de Puno y todo el Perú.

El método que se empleó para la caracterización experimental de la radiación solar en la ciudad de Puno fue la siguiente:

1. Se determinó qué Estación Meteorológica Automática (EMA) del SENAMHI Puno se ubica en la ciudad de Puno.
2. La EMA de SENAMHI a la que se solicitó información sobre la radiación solar real medida experimentalmente en la ciudad de Puno fue la estación frente a la Universidad, ubicada a 3812 metros sobre el nivel del mar y cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud: $15^{\circ}49'34,8''$

Longitud: $70^{\circ}0'43,7''$

3. Se recabó información de la radiación solar diaria en la ciudad de Puno desde enero a setiembre del año 2023.
4. La determinación experimental del rendimiento térmico se realizó los días 18 al 24 de setiembre del 2023, considerando un análisis de las radiaciones solares horarias, días en que la radiación era estable para el propósito de la investigación.
5. Se determinó que los ensayos experimentales se realizarían en el horario

de 8:00 horas a 13:00 horas a través de un análisis de las radiaciones horarias considerando que a partir de las 13:00 horas la radiación declina. Las radiaciones solares horarias consideradas se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 7

Radiaciones solares diarias del 18 al 24 de setiembre del 2023

Setiembre – 2023							
Día Hora	18	19	20	21	22	23	24
8,00	136	162	149	204	198	195	201
9,00	464	317	446	457	466	409	470
10,00	708	718	705	717	689	715	682
11,00	905	936	908	917	930	903	901
13,00	1032	1075	1037	1045	1045	1042	952
13,00	1083	844	1089	1098	1088	1089	1098

Fuente: SENAMHI

6. Se determinó el promedio de la radiación solar horaria (W/m^2) de los días 18 al 24 de setiembre del 2023 en el horario de 8:00 a 13:00 horas.
7. Se determinó la radiación solar que incide en la superficie exterior del tubo de vacío, cuantificando el promedio de las radiaciones solares de los 7 días, que constituyó la caracterización solar experimental utilizada en la determinación del rendimiento térmico del tubo de vacío, validada por mediciones de alta confiabilidad realizadas por el SENAMHI – Puno, institución de investigación reconocida a nivel mundial, cuyas mediciones climatológicas son fuente de datos experimentales de instituciones a nivel mundial como la NASA.



3.2.3. Metodología para determinación en forma experimental el rendimiento térmico del tubo de vacío solar

Es relevante expresar que en los antecedentes de investigaciones internacionales y nacionales no hay trabajos desarrollados sobre la determinación del rendimiento térmico de un solo tubo de vacío, tampoco en las especificaciones técnicas de tubos de vacío de las diferentes marcas que existen en el mercado nacional se informa sobre su rendimiento térmico, por lo tanto la investigación desarrollada es importante como un aporte al desarrollo de la tecnología solar en la región de Puno, por ser uno de los departamentos con mayor radiación solar del Perú.

La norma técnica peruana NTP399.400, 2001 de la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales (INDECOPI) solo se refiere al Método de ensayo para determinar el rendimiento de los colectores solares, Norma Técnica basada en las normas ANSI/ASHRAE93-1986 (RA91), lo que se refiere en cuanto a colectores solares formados por varios tubos de vacío y a colectores solares de placa plana; tomando como referencia estas normas se adecuaron con las consideraciones técnicas necesarios al ensayo técnico de la determinación el rendimiento térmico de un solo tubo de vacío, aporte relevante de nuestro proyecto de investigación al desarrollo de la tecnología solar, el método empleado se fundamenta en el principio de la Conservación de la Energía aplicada a la energía solar que incide en un solo tubo de vacío solar, matemáticamente expresada por la relación para determinar experimentalmente el rendimiento térmico de un solo tubo de vacío solar.

$$\eta_t = \frac{\text{Energía útil ganada por el agua}}{\text{Energía solar que incide en el tubo de vacío}}$$



Los acápites de la norma que se adaptaron al ensayo experimental realizado fueron las siguientes consideraciones técnicas de diseño y experimentación.

- La norma técnica peruana NTP 399.400,2010 – INDECOPI se aplica a ensayos de radiación natural o radiación solar que se puede simular.
- Define a la superficie absorbente como el área de transferencia de calor que calienta el fluido.
- La radiación solar global es la energía del sol que incide por unidad de área y tiempo expresada en W/m^2 .
- El piranómetro es el instrumento para medir la radiación global.
- Define como colector solar al dispositivo que absorbe la radiación solar que incide y transmite la energía al fluido que circula a través de él.
- Define al periodo de ensayo como el tiempo en que se conserva condiciones estables para medir la eficiencia.
- El fluido que transfiere el calor como el agua es el que circula por el colector solar.
- Para los ensayos de determinación e rendimiento térmico el colector se ubicará en un lugar donde no exista energía reflejada, edificios o superficies alrededor del ensayo.
- Para la medición de temperaturas se debe emplear termocuplas tipo T.
- Para determinar el rendimiento térmico es importante considerar la inclinación y orientación del colector solar.
- El rendimiento térmico, son calculados por la expresión:

$$\eta_t = \frac{\dot{m} C_p (T_s - T_e)}{A_c G_T}$$

Siendo \dot{m} flujo de agua (Kg/s), C_p calor específico del agua (J/Kg°C), $(T_s - T_e)$ diferencia de temperaturas de salida y entrada, A_c área del colector (m^2) y G_T radiación global (W/m^2).

En función a las consideraciones de la Norma peruana para determinar el rendimiento térmico de un colector solar, se estableció el método para determinar en forma experimental el rendimiento térmico de un solo tubo de vacío solar en la ciudad de Puno.

La metodología está sintetizada en la siguiente expresión matemática:

$$\eta_t = \frac{Q_A}{Q_s} \times 100 \quad (\%)$$

Expresión donde Q_A es la energía solar que incide sobre la superficie exterior del tubo de vacío durante el intervalo horario de 8 am hasta las 13 pm y la energía térmica útil (Q_a) que absorbe el agua dentro del tubo de vacío.

3.2.3.1. Método para determinar la energía térmica útil (Q_a) ganada por el agua dentro el tubo de vacío

La expresión para calcularla es aplicando la teoría de calorimetría de física:

$$Q_A = m_a \cdot C_{e_a}(T_f - T_i)$$

Donde:

m_a : masa del agua dentro del tubo de vacío

C_{e_a} : calor específico del agua

T_f : Temperatura final del agua a las 13 pm

T_i : Temperatura inicial del agua a las 8 am

La metodología experimental para el registro de datos es la siguiente:

1. Se realizó el montaje del tubo de vacío en el módulo experimental diseñado.
2. Se llenó el tubo de vacío con agua.
3. Se orienta el módulo hacia el norte geográfico con una brújula.
4. Se le dio al tubo de vacío una inclinación de 20° .
5. Se procedió a medir la temperatura del agua con la termocupla desde las 8 am hasta las 13 pm durante siete días.

Los datos experimentales sobre temperaturas se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 8

Datos experimentales de las temperaturas medidas

Setiembre 2023	18	19	20	21	22	23	24
Día							
Temperatura 8 am ($^\circ\text{C}$)	12	12	11	13	13	14	13
Temperatura 13 pm ($^\circ\text{C}$)	82	83	82	83	82	84	83

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.2. Método para determinar la energía solar (Q_s) que incide sobre el tubo de vacío en la ciudad de Puno

La metodología para calcular Q_s es la siguiente:

1. Determinar experimentalmente la radiación solar horaria diaria



promedio (R_p) en W/m^2 de los siete días considerados en los ensayos experimentales; radiaciones registradas por el SENAMHI – Puno.

2. Calcular el área de la superficie exterior del tubo de vacío (A_{st}) considerando un diámetro exterior de 58 mm y una longitud útil del tubo de vacío de 800 mm.
3. Considerar que la radiación solar solo incide sobre la mitad del área de la superficie exterior del tubo de vacío A_{st} , cálculo que implica darnos un factor de seguridad.
4. En la determinación Q_s , es necesario tener en cuenta el tiempo de radiación solar (t_{rs}) de 5 horas.
5. Calcular el coeficiente de pérdida solar (C_p), teniendo en cuenta que no toda la radiación solar es absorbida por el tubo de vacío, pérdidas producidas por las propiedades ópticas del material del tubo, el coeficiente de pérdida se calcula por la expresión:

$$C_p = \frac{\tau \cdot \alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d}$$

Donde:

τ : transmisibilidad del borosilicato = 0,64

α : Absortividad de nitrito de aluminio = 0,99

ρ_d : reflectancia difusa de los tubos = 0,16

6. Calcular la energía solar (Q_s) que incide sobre el tubo de vacío por la expresión:

$$Q_s = R_p \cdot \frac{A_{st}}{2} \cdot t_{rs} \cdot C_p \quad (KJ)$$



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Resultados de análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío

Los resultados del primer objetivo de la investigación el análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío, se obtuvieron a través de un análisis comparativo entre el funcionamiento de un colector de placa plana y un tubo de vacío solar elemento unitario de un colector solar de tubos de vacío.

Su funcionamiento térmico en base a todo el conocimiento teórico y experimental e investigaciones a lo largo de muchos años del colector solar de placa plana; diseño óptimo realizado en la Universidad de Beij de China, es decir un resultado importante sobre el comportamiento térmico de un tubo de vacío es que es igual al de un colector solar de placa plana, pero con un rendimiento térmico superior al 80% en comparación al 40% que aproximadamente tiene uno de placa plana en nuestro medio.

El comportamiento térmico de un tubo de vacío considerando desde el momento en que el sol emite energía solar sobre la atmósfera terrestre en forma de radiación de ondas electromagnéticas de longitud de onda corta en el rango ultravioleta, visible y el infrarrojo cercano cuyas ondas tienen longitudes de 0,2 a 3,0 micrómetros; esta radiación solar incide sobre la superficie exterior del tubo de vacío que por un diseño optimizado está fabricado de vidrio específicamente borosilicato, material que tiene la propiedad óptica de transmisibilidad ($\tau =$



0,64) elevada para que deje pasar la mayor cantidad de radiación solar al interior del tubo de vacío acorde a un funcionamiento óptimo; al atravesar la radiación solar el primer tubo concéntrico, continua su desplazamiento a lo largo del espacio entre los dos tubos concéntricos, que por un mejor diseño se evacuó el aire y es un espacio que está al vacío; que en ingeniería es el aislante más perfecto; al estar al vacío el espacio libre entre los dos tubos concéntricos del tubo de vacío no existe materia que pueda interactuar con la materia de la radiación solar que se desplaza en el espacio al vacío, diseño inteligente que casi elimina todas las pérdidas por los procesos de transferencia de calor de conducción y convección, lo que permite elevar significativamente el rendimiento térmico; el desplazamiento de la radiación solar en el espacio al vacío continua hasta incidir en la superficie exterior del tubo concéntrico interior el cual está cubierto de una superficie selectiva de nitrato de aluminio con una propiedad óptica de absorber casi perfecta de $\alpha = 0,99$ que permite absorber la mayor cantidad de energía solar térmica y la radiación solar que se refleja en la cubierta selectiva con una reflectancia difusa de solo $\rho_d = 0,16$ donde se produce un cambio de su longitud de onda de corta a larga y vuelven a incidir en la superficie interior del tubo concéntrico exterior de borosilicato que no le permite atravesar su superficie hacia el ambiente exterior, por lo que es forzada a la radiación a incidir sobre la cubierta selectiva de nitrato de aluminio que vuelve a absorber el remanente de energía térmica, volviendo los rayos solares hacia la superficie del tubo concéntrico exterior, proceso iterativo repetitivo que se produce en el espacio al vacío del tubo de vacío, conocido como “efecto invernadero” fenómeno físico que es fundamental a una especie de motor térmico que determina el comportamiento óptimo de un tubo de vacío, que se ve reflejado en su rendimiento térmico elevado

con respecto a otros dispositivos térmicos.

4.1.2. Resultados de la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno

Los resultados de la caracterización solar experimental en la ciudad de Puno se obtuvieron en base a mediciones reales por una institución de investigación del medio ambiente el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la ciudad de Puno, datos climatológicos monitoreados por instituciones meteorológicas de todo el mundo como la NASA, se recabó información real de la radiación solar horaria en W/m^2 desde enero a setiembre del año 2023, el análisis de caracterización se refirió a los días 18 al 24 de setiembre, días en que se realizaron los ensayos técnicos.

En la tabla siguiente se obtienen los resultados de los promedios diarios de las radiaciones solares horarias correspondientes a los siete días.

Tabla 9

Promedio de radiaciones solares horarias (W/m^2)

Setiembre – 2023							
Día Hora	18	19	20	21	22	23	24
8:00	136	162	149	204	198	195	201
9:00	464	317	446	457	466	409	470
10:00	708	718	705	717	689	715	682
11:00	905	936	908	917	930	903	901
12:00	1032	1075	1037	1045	1045	1042	952
13:00	1083	844	1089	1098	1088	1089	1098
Promedio	721,33	675,33	722,33	739,67	736,00	725,50	717,33

Fuente: Elaboración propia

Para establecer confiabilidad del resultado a obtener en la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno, obtenidos las radiaciones solares horarias promedios, de los días de la investigación experimental, a su vez obtenemos el promedio de las siete radiaciones promedio correspondientes al periodo de investigación experimental.

Tabla 10

Determinación del promedio de radiación solar 18-24 set.

Setiembre – 2023							
Día \ Hora	18	19	20	21	22	23	24
Promedio Radiación solar (W/m ²)	721,33	675,33	722,33	739,67	736,00	725,50	717,33
PROMEDIO DE RADIACIÓN SOLAR: 18-24 SET-2023: 719,64 W/m²							

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el resultado de la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno es de $R_P = 719,64 \text{ W/m}^2$, que será la que incide en la superficie exterior del tubo de vacío en la determinación del rendimiento térmico.

4.1.3. Resultados de la determinación experimental del rendimiento térmico del tubo de vacío

4.1.3.1. Cálculo de la energía térmica útil (Q_A) ganada por el agua dentro del tubo de vacío

La calculamos por la expresión de calorimetría de física:

$$Q_A = m_a \cdot C e_a \cdot (T_f - T_i)$$

a) **Cálculo de la masa del agua dentro del tubo de vacío (m_a)**

En el módulo experimental diseñado que se muestra en la siguiente figura se calculó el volumen de agua contenido en el tubo de vacío.

Figura 32

Medición de medidas necesarias para cálculo del volumen de agua.



Fuente: Imagen propia

Considerando que:

$$\delta_{H_2O} = \frac{m_a}{V_a}$$



Entonces:

$$m_a = \delta_{H_2O} \cdot V_a$$

$$\delta_{H_2O} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

Para el volumen de agua (V_a):

$$V_a = \frac{\pi}{4} d_{it}^2 \cdot L_t$$

Donde:

d_{it} : diámetro interior del tubo de vacío: 48 mm

L_t : Longitud útil del tubo de vacío = 800 mm

$$V_a = \frac{\pi}{4} (0,048 \text{ m})^2 (0,800 \text{ m})$$

$$V_a = 1,45 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Por consiguiente:

$$m_a = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (1,45 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$m_a = 1,45 \text{ Kg}$$

b) **Medición experimental de las temperaturas T_f y T_i**

En base a los ensayos experimentales realizados del 18 al 24 de setiembre del 2023:

Tabla 11*Registro de temperaturas experimentales*

Setiembre - 2023		
Día	T_i (°C) 8 am	T_f (°C) 13 pm
18	12	82
19	12	83
20	11	82
21	13	83
22	13	82
23	14	84
24	13	83
Promedio	12,57	82,71

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del calor ganado por el agua dentro del tubo de vacío, consideramos:

$$T_i = 12,57 \text{ °C}$$

$$T_f = 82,71 \text{ °C}$$

Para el cálculo del calor (Q_A):

$$Q_A = m_a \cdot C e_a \cdot (T_f - T_i)$$

El calor específico se considerará igual a 4,18 KJ/Kg-°C.

Operando:

$$Q_A = 1,45 \text{ Kg} \cdot 4,18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{°C}} (82,71 \text{ °C} - 12,57 \text{ °C})$$

$$Q_A = 425,12 \text{ KJ}$$



4.1.3.2. Cálculo de la energía Solar (Q_s) que incide sobre el tubo de vacío en la ciudad de Puno

La energía solar (Q_s) la calcularemos por la expresión deducida en la metodología:

$$Q_s = R_p \cdot \frac{A_{st}}{2} \cdot t_{rs} \cdot Cp$$

Donde:

R_p : radiación solar característica en Puno = 719, 84 W/m²

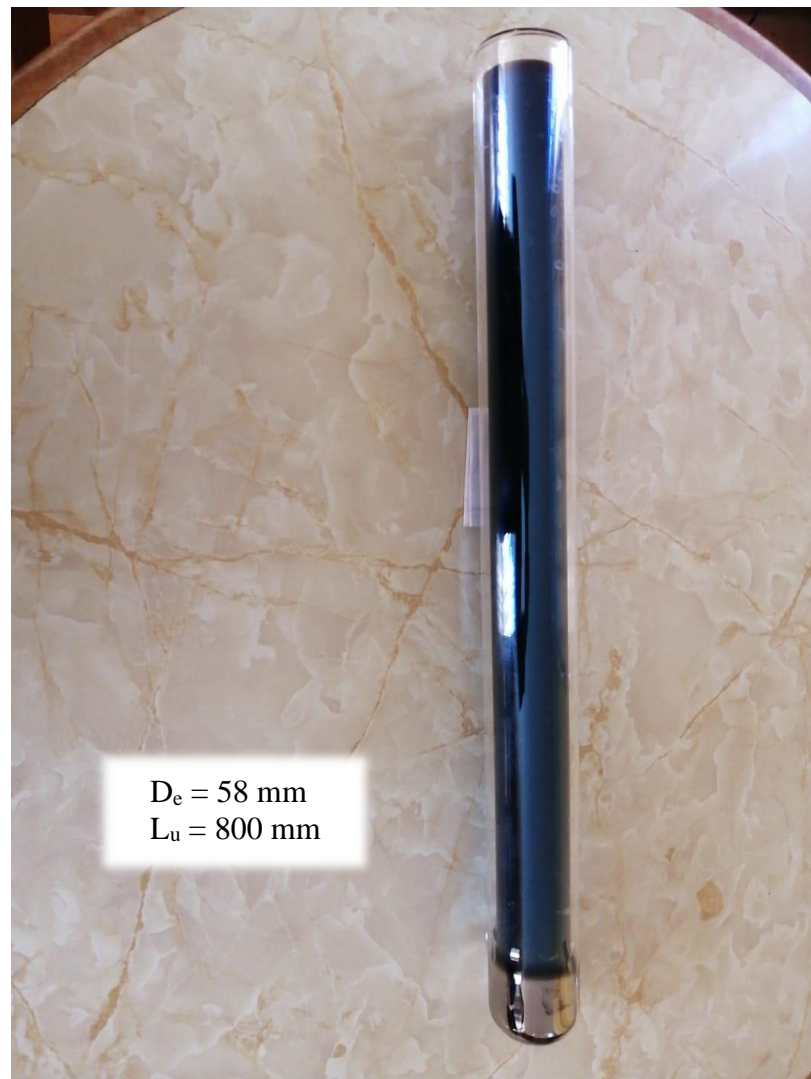
t_{rs} : tiempo de exposición a la radiación solar del tubo de vacío = 5 h

a) Cálculo del área superficial exterior del tubo de vacío (A_{st})

En la figura siguiente del tubo de vacío de la investigación experimental realizada su diámetro exterior es de 58 mm y una longitud útil de 800 mm.

Figura 33

Tubo de vacío



Fuente: Imagen propia

Entonces:

$$D_e = 0,058 \text{ m}$$

$$L_u = 0,800 \text{ m}$$

Pero la superficie exterior del tubo de vacío lo calculamos por la expresión matemática:

$$A_{st} = (\pi D_e) \cdot L_u$$



Operando:

$$A_{st} = \pi (0,058 m) \cdot 0,800 m$$

$$A_{st} = 0,146 m^2$$

b) **Cálculo del coeficiente de pérdida solar (C_p)**

Empleando la expresión de la metodología

$$C_p = \frac{\tau \cdot \alpha}{1 - (1 - \alpha) \cdot \rho_d}$$

Donde las especificaciones técnicas de las propiedades ópticas del tubo de vacío:

$$\tau = 0,64$$

$$\alpha = 0,99$$

$$\rho = 0,16$$

Operando:

$$C_p = \frac{0,64(0,99)}{1 - (1 - 0,99)(0,16)}$$

$$C_p = 0,6346$$

Finalmente:

$$Q_s = R_p \cdot \frac{A_{st}}{2} \cdot t_{rs} \cdot C_p$$

Operando:

$$Q_s = \left(719,64 \frac{W}{m^2}\right) \left(\frac{0,146 m^2}{2}\right) (5 \times 3600 s)(0,6346)$$

$$Q_s = 600082,1765 J$$

$$Q_s = 600,08 \text{ KJ}$$

4.1.3.3. Cálculo del rendimiento térmico del tubo de vacío en la ciudad de Puno

Finalmente, el rendimiento térmico del tubo de vacío en la ciudad de Puno, la calcularemos a través de la expresión matemática de la metodología:

$$\eta_t = \frac{Q_A}{Q_s} \times 100 \quad (\%)$$

Donde los valores experimentados calculados son:

$$Q_A = 425,12 \text{ KJ}$$

$$Q_s = 600,08 \text{ KJ}$$

Operando:

$$\eta_t = \frac{425,12 \text{ KJ}}{600,08 \text{ KJ}} \times 100$$

$$\eta_t = 70,84\%$$

Rendimiento térmico de un tubo de vacío en la ciudad de Puno, rendimiento que probablemente duplica a un colector de placa plana funcionando en la ciudad de Puno.



4.2. DISCUSIÓN

En la determinación experimental del rendimiento térmico de un tubo de vacío en la ciudad de Puno, se tomaron muchas decisiones en base a la teoría y los ensayos experimentales preliminares para la preparación y ejecución de la investigación experimental realizada y que sustentan y dan confiabilidad al rendimiento térmico obtenido de 70,84%.

Es importante expresar que, en los antecedentes de investigación consultados, la determinación de la eficiencia térmica experimentalmente es realizado al colector solar de tubos de vacío parte fundamental de una terma solar que proporciona agua caliente sanitaria, que está constituida por varios tubos de vacío y; en la investigación desarrollada se determina la eficiencia térmica de un solo tubo de vacío que es un aporte significativo a la investigación experimental de la tecnología solar porque en la información técnica de las diferentes marcas de tubos de vacío de flujo continuo fabricados en países del exterior como China, no se especifica su eficiencia térmica; por lo expuesto es lógico que las comparaciones de las eficiencias térmicas de termas solares de tubos de vacío determinadas por diferentes investigadores: 68% (Ríos), 81,8% (Salcedo), 73% (Porrás), 77% (Quispe), 69,98% (Colque), 69,97% (Montoya, 74% (Juantorena); en comparación a la eficiencia térmica determinada en la investigación de 70,84% cuya diferencia con respecto a los colectores solares de varios tubos de vacío está en el rango de 2,84% a 10,96% que es aceptable en ingeniería; pero con respecto a la eficiencia de colectores solares de placa plana (38%) tienen una eficiencia térmica elevada, que han revolucionado la tecnología solar actual.

Para la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno, se empleó información confiable del SENAMHI – Puno de la estación Meteorológica situada en la



Avenida Floral frente a la UNA, radiaciones solares registradas cada hora durante las 24 horas del día.

En el montaje del tubo de vacío en el módulo diseñado y con el objetivo de que se absorba o aproveche la mayor energía solar que incide sobre la superficie del tubo, éste se orientó geográficamente hacia el norte, se le dio una inclinación de 19° con respecto a la horizontal unos grados más que la latitud aproximada de 16° de Puno para una mejor manipulación experimental, pese a que el módulo se ubicó en una mesa de trabajo de una altura aproximada de un metro.

Se decidió por el uso de un tubo de vacío 850 mm de longitud, por su adecuada manipulación durante el llenado y retiro del agua del tubo de vacío y, un registro más preciso de las temperaturas experimentales del agua. Para que el rendimiento térmico calculado tenga precisión y confiabilidad realista, se consideró en su determinación que la radiación solar solo incide sobre la mitad de la superficie o área exterior del tubo de vacío, criterio técnico experimental por el movimiento de traslación del sol durante el día y que en realidad la radiación solar solo incide aproximadamente en todo momento sobre la mitad de la superficie exterior del tubo de vacío.

La radiación solar caracterizada para la ciudad de Puno, al incidir sobre la superficie exterior del tubo de vacío está sujeta a pérdidas de su energía generadas por las propiedades ópticas de material con que se fabrica el tubo de vacío, como los procesos de reflexión, absorción, transmisibilidad de los rayos del sol que son ondas electromagnéticas, procesos ópticos causantes de las pérdidas de energía que para una precisión del rendimiento térmico del tubo de vacío son considerados o asumidos en el coeficiente de pérdida solar (C_p) que nos da un margen de seguridad en los cálculos para la determinación del rendimiento térmico.



La realización del trabajo de campo experimental en la investigación se decidió hacerlo en el mes de setiembre por la estabilidad de las condiciones ambientales referente a la radiación solar en Puno y considerando que influiría positivamente en la determinación del rendimiento térmico y, también el periodo horario de 8 am a 13 pm en el que se registraron las radiaciones solares y temperaturas fue en base al análisis de la información recabada del SENAMHI – Puno en el que se observó que la radiación solar horaria es máxima a las 13 pm y a partir de esta hora comienza a disminuir.



V. CONCLUSIONES

En el Proyecto desarrollado en forma óptima se obtuvieron importantes conclusiones con respecto a los objetivos propuestos en este trabajo de investigación experimental.

- En el análisis técnico del comportamiento térmico de un tubo de vacío se obtuvo después de un estudio analítico comparativo entre un colector solar de placa plana y un tubo de vacío la conclusión que el comportamiento térmico de un tubo de vacío es igual al de un colector de placa plana, pero con un rendimiento térmico mucho mayor que está alrededor del 80%, lo cual es producto de un diseño mejorado del tubo de vacío considerando la disminución de pérdidas de energía térmica que se producen en el colector de placa plana por fenómenos de transferencia de calor y ópticos, lo cual se logró a través del avance de la tecnología en la ciencia de materiales al fabricar el tubo de vacío de borosilicato con propiedades ópticas casi perfectas para su comportamiento de absorber lo máximo posible de la energía solar a través del fenómeno del “efecto invernadero” que se genera en el espacio al vacío entre los dos tubos concéntricos del tubo de vacío, espacio al vacío, diseño inteligente, que casi disminuye en su totalidad las pérdidas de energía térmica solar por los procesos de transferencia de calor de conducción y convección lo que influye en forma significativa en su alto rendimiento térmico.
- En la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno se realizó un trabajo de estudio analítico en función a la investigación realizada que implicaba obtener un valor cuantitativo de la radiación solar representativa para los siete días de setiembre del 2023 periodo en que se realizó la investigación experimental. En



función a la información de las radiaciones solares horarias del año 2023 recabadas del SENAMHI – Puno, Institución respetable por su confiabilidad, se realizó un trabajo de gabinete en base a criterios técnicos de ingeniería que concluyó que la caracterización de la radiación solar en la ciudad de Puno para el periodo del 18 al 24 de setiembre del 2023 es de $719,64 \text{ W/m}^2$, radiación solar promedio representativa que se utilizó en los cálculos para la determinación experimental del rendimiento térmico del tubo de vacío en la ciudad de Puno.

- En el trabajo de investigación experimental se concluyó que para determinar experimentalmente el rendimiento térmico de un tubo de vacío solar en Puno debía establecerse una relación el calor o energía ganado por el agua (Q_A) en el interior del tubo de vacío entre la energía térmica solar (Q_s) que incide en la superficie exterior del tubo de vacío, durante el periodo de tiempo de 5 horas (8 – 13 horas) y en condiciones ambientales de radiación solar estables por lo que se concluyó realizar la investigación en el mes de setiembre del 2023 y, para el cálculo de Q_s un análisis riguroso de la información del SENAMHI – Puno nos permitió concluir que los ensayos experimentales deberían tener como límite de realización las 13 horas del día, más allá de esta hora la radiación solar horaria va disminuyendo lo que influiría negativamente en el rendimiento térmico del tubo de vacío solar. El rendimiento térmico obtenido fue de 70,84% aceptable por las limitaciones de investigación que se presentaron en el desarrollo de la investigación.



VI. RECOMENDACIONES

- Respecto al comportamiento térmico de un tubo de vacío solar en las conclusiones se determinó que su comportamiento es igual al de un colector solar de placa plana pero con un diseño mejorado que casi disminuye todas las pérdidas de energía térmica solar, lo cual elevó su rendimiento térmico alrededor del 80%, por lo que se recomienda tener en cuenta esta consideración técnica importante en el diseño de sistemas térmicos solares y no sobre diseñar el número de tubos de vacío porque este error implica que su funcionamiento sería a temperaturas superiores a 80°C lo cual influiría en la disminución de su vida útil.
- Se recomienda que en trabajos de investigación de caracterización solar necesaria para una finalidad específica es importante que se realice en base a información técnica confiable del SENAMHI de la Estación Meteorológica más cercana al lugar donde se realizará la investigación lo cual repercutirá en resultados óptimos, porque muchos trabajos de investigación en el área de la energía solar se realizan con información de radiaciones solares registradas por la NASA y recabados del INTERNET información que no es precisa por los fenómenos meteorológicos que se presentan en las condiciones ambientales y que afectan la precisión del registro de parámetros de los instrumentos de medición.
- Se recomienda realizar trabajos de investigación similares al realizado pero en meses donde la temperatura ambiental desciende ostensiblemente como en los meses de junio, julio y agosto, temporadas de heladas en Puno y también en los meses de temporada de lluvias con el objetivo de determinar si la variación en la intensidad de la radiación solar en la ciudad de Puno a consecuencia de lluvias y nubes en la atmósfera cómo influye en la determinación del rendimiento térmico



del tubo de vacío solar, porque se puede pensar con cierta lógica que el cálculo de la energía que gana el agua disminuiría en la misma proporción que la energía proporcionada por la radiación solar al tubo de vacío, lo que implicaría que el rendimiento térmico no variaría significativamente.

- Se recomienda también realizar la investigación experimental de la determinación del rendimiento térmico del tubo de vacío cada hora conforme avanza el día desde las 8 am hasta las 13 pm, para determinar en qué intervalo horario el rendimiento térmico es mayor.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becerra, A. et al (2010). *Construcción y evaluación de un colector solar con tubos de calor y efecto doble ventana*. Revista Bistua volumen 8 (1), Universidad de Pamplona, Colombia.
- Cengel, Y. y Ghajar, A. (2012). *Transferencia de calor y masa*, México, Editorial McGraw Hill.
- Colque, O. y Condori, A. (2019). *Determinación de la eficiencia térmica de una terma solar de tubos de vacío en Puno*. Tesis de Ingeniería Mecánica Electricista de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Espinoza, F. y Barrena, A. (2019). *Eficiencia energética de colectores solares con tubos verticales de PVC en termas solares, Amazonas*. Artículo, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Flores, J. y Rodríguez, J. (2013). *Implementación de un sistema de adquisición de datos de temperatura, radiación y humedad de un panel solar de tubos de vacío para el estudio de la energía solar en Riobamba*, Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador.
- Haim, P. et al. (2020). *Análisis comparativo de rendimiento colectores solares térmicos en la República Argentina mediante sistemas de información geográfico*. Artículo científico RIIYM-ISSN-Volumen V, número 8.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*, Editorial McGraw Hill, México.
- Holman, J. (2011). *Métodos experimentales para ingenieros*, México, Editorial McGraw Hill.
- Juantorena, A. et al. (2019). *Evaluación experimental de un calentador solar de agua de tubos evacuados*. Revista de Aplicación Científica y Técnica, Junio 2019 vol. 3, Nº 8, pp. 24-34.
- Mercado, C. (2015). *Evaluación de parámetros de operación de colector solar de tubos de vacío para generación de agua caliente en Huancayo*. Tesis para optar el título de Magíster en Tecnología Energética, Universidad Nacional del Centro del Perú.



- Montoya, A. et al. (2021). *Estudio de evaluación de eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío con tanque acumulador de la Empresa D'Sol*. Investigación de la Escuela Profesional de Física de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Oyarzun, H; y Álvarez, L. (2020). *Características de la radiación solar en un bosque de Pinus radiata, en Valdivia, Chile*. Artículo de Bosque 9(2), pp. 115-121, 2020.
- Pujol, R. (2012). *Comportamiento óptico y térmico de un concentrador solar lineal con reflector estacionario y foco móvil*. Tesis para optar el título de Doctor en física, Universidad de les Illes Balears.
- Quispe, L. y Sotomayor, G. (2022). *Determinación y análisis temporal de la radiación solar global en el Altiplano de Puno*. Artículo Revista Chilena de Ingeniería, Vol. 30, N° 1, 2022.
- Quispe, S. (2021). *Análisis comparativo de la eficiencia térmica en termas solares de colectores de vacío, para dos ángulos de inclinación de 25° y 35° en Juliaca*. Tesis de Ingeniería en Energías Renovables, Universidad Nacional de Juliaca.
- Recalde, C. et al (2015). *Influencia del ángulo de inclinación de los tubos solares evacuados sobre la temperatura del agua*. Información Tecnológica, Vol. 26(4), 89-96 (2015).
- Rondan, I. y Rebaza, R. (2018). *Determinación de la eficiencia de un tubo de vacío de baja presión y alta presión de un colector solar*. Tesis de Ingeniería en Energía, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote.
- Rondan, I. y Rebaza, R. (2016). *Determinación de la eficiencia de un tubo de vacío de baja presión y alta presión de un colector solar*, Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía, Universidad Nacional del Santa, Chimbote.
- Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*, Editorial Panapa, Caracas.
- Salcedo, V. (2011). *Influencia del estudio de la tecnología de vacío en tubos sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando la energía solar*. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.



- Salcedo, V. (2020). *Influencia del estudio de la tecnología de vacío en tubos sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando la energía solar*. Tesis Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica de Ambato.
- Sánchez, L. (2010). *Análisis y diseño de un sistema de calefacción solar para agua caliente sanitaria*, tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador.
- Vanegas, M. et al. (2019). *Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de la Guajira – Colombia*. Artículo Prospect, Vol.13, N°2, 2019.
- Vargas, J. et al (2016). *Implementación de un sistema de calefacción solar térmico: análisis energético y económico*. Artículo de la Revista Investigación & Desarrollo. Vol. 1 N° 16, Cochabamba – Bolivia.



ANEXOS



ANEXO 1. Croquis del trabajo de investigación.



ANEXO 2. Tubo de vacío solar



ANEXO 3. Especificaciones técnicas de un tubo de vacío solar

Especificaciones		
	Estructura del tubo	Todo - vidrio en doble tubo co-axial estructura.
	Medidor del vidrio	Vidrio borosilicato 3.3
	Diámetro del tubo exterior y espesor del vidrio	$\Phi = 58 \pm 0.7 \text{ mm} \ \& \ 1.6 \text{ mm} \ \pm 0.15 \text{ mm}$ $\Phi = 70 \pm 0.7 \text{ mm} \ \& \ 2.0 \text{ mm} \ \pm 0.15 \text{ mm}$
	Diámetro del tubo interior y espesor del vidrio	$\Phi = 47 \pm 0.7 \text{ mm} \ \& \ 1.6 \text{ mm} \ \pm 0.15 \text{ mm}$ $\Phi = 58 \pm 0.7 \text{ mm} \ \& \ 1.6 \text{ mm} \ \pm 0.15 \text{ mm}$
	Longitud del tubo	1800 mm
	Material del recubrimiento	Cu/ SS-AIN
	Método de sedimento	Pulverización catódica de magnetrón Triple capa.
	Absortividad	$a: \geq 0.93 \text{ (AM1.5)}$
	Emisividad	$\epsilon \leq 6.5\% \text{ (} 80^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C)}$
	Grado de vacío	$P \leq 5.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}$
	Transmitancia del tubo de vidrio	$T: \geq 0.89 \text{ (AM1.5 ISO9806-1:1994)}$
	Parámetro de estancamiento	$Y: 200 \sim 240 \text{ m}^2 \text{ C/kw}$
	Perdida media de calor	$ULT \leq 0.65 \text{ W/ (m}^2, ^\circ\text{C)}$
	Resistencia de granizo	$\Phi 25 \text{ mm}$
	Presión máx. soporta	0.6 Mpa
	Temperatura de trabajo	$-25 \text{ }^\circ\text{C} / 300 \text{ }^\circ\text{C}$
	Coefficiente de pérdida de calor	$\leq 0.6 \text{ w/ (m}^2 * ^\circ\text{C)}$
	Diámetro de granizo soportado	$\Phi 25 \text{ mm}$

ANEXO 4. Módulo diseñado para los ensayos experimentales





ANEXO 5. Instrumentos de medición utilizados en los ensayos experimentales



Termocupla



Transportador, escuadras, reglas, wincha

ANEXO 6. Módulo experimental con el montaje del tubo de vacío orientado al norte geográfico





HORAS	ENE Radiación Solar Horaria (w/m2)	FEB Radiación Solar Horaria (w/m2)	MAR Radiación Solar Horaria (w/m2)	ABR Radiación Solar Horaria (w/m2)	MAY Radiación Solar Horaria (w/m2)	JUN Radiación Solar Horaria (w/m2)	JUL Radiación Solar Horaria (w/m2)	AGO Radiación Solar Horaria (w/m2)	SEP Radiación Solar Horaria (w/m2)
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	5	2	2	0	0	0	0	0	3
8:00	48	48	159	44	55	67	52	72	170
9:00	101	179	434	251	147	298	273	306	437
10:00	493	420	694	634	291	517	497	543	696
11:00	849	557	697	709	524	706	689	729	908
12:00	1169	928	699	945	679	820	814	876	1028
13:00	609	870	989	1136	534	875	876	941	1072
14:00	1022	1214	1028	951	579	846	857	886	1052
15:00	951	669	710	142	328	745	756	650	944
16:00	498	579	188	207	278	581	600	595	749
17:00	349	421	16	246	64	374	392	450	517
18:00	73	61	14	66	24	115	141	233	241
19:00	0	8	9	4	1	1	0	10	17
20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	37	7	2	3	1	0	0	0	4
8:00	253	143	61	95	67	67	52	76	174
9:00	525	131	247	249	326	297	275	312	438
10:00	777	216	488	184	515	519	503	552	699
11:00	859	906	589	238	553	706	694	753	909
12:00	1183	829	746	424	505	823	817	882	1028
13:00	916	899	1153	680	598	873	876	946	1081
14:00	904	925	1027	778	463	852	859	935	1056
15:00	1058	894	824	938	265	750	760	839	949
16:00	792	917	604	717	94	588	603	674	753
17:00	489	693	624	450	141	381	382	453	525
18:00	138	358	259	61	88	118	135	154	250
19:00	7	66	55	0	3	1	3	5	17
20:00	7	2	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	23	4	2	2	10	10	10	10	4
8:00	234	141	69	132	49	66	51	80	160
9:00	517	393	115	393	220	299	270	324	417
10:00	760	804	504	651	365	517	491	566	681
11:00	854	447	657	897	783	701	687	772	892
12:00	1105	168	647	1003	880	818	814	910	1000
13:00	1118	397	1065	940	952	866	874	971	1074
14:00	1158	334	1142	879	924	844	855	940	1069
15:00	1066	826	1038	635	815	753	758	848	954
16:00	892	934	859	730	555	583	595	679	758
17:00	305	517	505	505	318	376	378	452	527
18:00	214	268	322	229	140	113	134	205	250
19:00	15	54	41	6	2	1	3	10	18
20:00	0	1	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	28	3	4	2	1	0	0	0	5
8:00	188	148	77	131	97	64	49	67	172
9:00	456	307	112	261	316	293	260	317	430
10:00	730	370	131	634	437	507	483	552	690
11:00	857	715	249	869	449	691	673	751	898
12:00	831	303	774	735	619	805	801	889	1020
13:00	913	943	945	877	453	857	858	953	1078
14:00	1213	1181	1005	653	553	831	839	937	1053
15:00	1074	1081	1044	936	876	733	742	754	945
16:00	649	905	817	509	632	568	587	616	755
17:00	411	670	633	468	142	359	376	270	523
18:00	162	387	362	157	58	109	139	108	245



HORAS	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP	
	Día	Radiación Solar Horaria (w/m2)	Día	Radiación Solar Horaria (w/m2)	Día	Radiación Solar Horaria (w/m2)	Día	Radiación Solar Horaria (w/m2)	Día	Radiación Solar Horaria (w/m2)	Día	Radiación Solar Horaria (w/m2)	Día	Radiación Solar Horaria (w/m2)	Día	Radiación Solar Horaria (w/m2)	Día	Radiación Solar Horaria (w/m2)
17:00	29	329			29	531	29	448	29	369	29	382	29	306	29	505		
18:00	29	223			29	100	29	185	29	73	29	127	29	100	29	228		
19:00	29	44			29	8	29	0	29	3	29	3	29	1	29	15		
20:00	29	3			29	0	29	0	29	0	29	0	29	0	29	0		
21:00	29	0			29	0	29	0	29	0	29	0	29	0	29	0		
22:00	29	0			29	0	29	0	29	0	29	0	29	0	29	0		
23:00	29	0			29	0	29	0	29	0	29	0	29	0	29	0		
0:00	30	0			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
1:00	30	0			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
2:00	30	0			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
3:00	30	0			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
4:00	30	0			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
5:00	30	0			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
6:00	30	0			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
7:00	30	8			30	1	30	1	30	0	30	0	30	0	30	2		
8:00	30	59			30	161	30	113	30	80	30	52	30	22	30	124		
9:00	30	151			30	384	30	363	30	320	30	272	30	96	30	371		
10:00	30	158			30	359	30	602	30	546	30	486	30	492	30	615		
11:00	30	678			30	419	30	792	30	737	30	629	30	655	30	819		
12:00	30	812			30	679	30	916	30	855	30	788	30	773	30	948		
13:00	30	959			30	1021	30	969	30	912	30	846	30	760	30	1005		
14:00	30	1057			30	963	30	938	30	879	30	817	30	657	30	981		
15:00	30	983			30	987	30	832	30	776	30	733	30	701	30	844		
16:00	30	799			30	790	30	660	30	602	30	594	30	588	30	692		
17:00	30	585			30	553	30	439	30	386	30	386	30	348	30	466		
18:00	30	355			30	284	30	179	30	121	30	128	30	148	30	179		
19:00	30	90			30	34	30	3	30	1	30	2	30	0	30	8		
20:00	30	2			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
21:00	30	0			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
22:00	30	0			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
23:00	30	0			30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0		
0:00	31	0			31	0			31	0			31	0	31	0		
1:00	31	0			31	0			31	0			31	0	31	0		
2:00	31	0			31	0			31	0			31	0	31	0		
3:00	31	0			31	0			31	0			31	0	31	0		
4:00	31	0			31	0			31	0			31	0	31	0		
5:00	31	0			31	0			31	0			31	0	31	0		
6:00	31	0			31	0			31	0			31	0	31	0		
7:00	31	7			31	1			31	0			31	0	31	2		
8:00	31	104			31	57			31	79			31	71	31	120		
9:00	31	531			31	84			31	318			31	292	31	363		
10:00	31	655			31	164			31	540			31	521	31	610		
11:00	31	726			31	174			31	731			31	688	31	808		
12:00	31	745			31	219			31	845			31	446	31	951		
13:00	31	1004			31	490			31	899			31	777	31	981		
14:00	31	797			31	1094			31	879			31	918	31	759		
15:00	31	701			31	818			31	776			31	830	31	628		
16:00	31	655			31	715			31	605			31	663	31	571		
17:00	31	215			31	515			31	388			31	444	31	314		
18:00	31	184			31	218			31	117			31	186	31	96		
19:00	31	69			31	16			31	0			31	4	31	8		
20:00	31	1			31	0			31	0			31	0	31	0		
21:00	31	0			31	0			31	0			31	0	31	0		
22:00	31	0			31	0			31	0			31	0	31	0		
23:00	31	0			31	0			31	0			31	0	31	0		



ANEXO 8. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo William Paul Tipula Mamari,
identificado con DNI 72884733 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"Análisis del Comportamiento Térmico de un tubo de acero
Solar y caracterización de la radiación Solar en Puno
para la determinación Experimental de su rendimiento Térmico"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 25 de NOVIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 9. Autorización para el depósito de tesis de investigación en el repositorio institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo William Paul Tipula Mamari,
identificado con DNI 72884733 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Mecánica Eléctrica,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“Análisis del Comportamiento Térmico de un tubo de Vacío Solar y caracterización de la radiación solar en Puno para la determinación Experimental de su rendimiento Térmico”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 25 de NOVIEMBRE del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 10. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Winder Naidoo Torres Quispe,
identificado con DNI 70612474 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Análisis del Comportamiento Térmico de un tubo de
vacío solar y caracterización de la radiación solar en puno
para la determinación experimental de su rendimiento Térmico "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcance del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 25 de noviembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 11. Autorización para el depósito de tesis de investigación en el repositorio institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Winder Naidoo Torres Quispe
identificado con DNI 70612474 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Mecánica Eléctrica,
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Análisis del Comportamiento Térmico de un tubo de vacío solar y caracterización de la radiación solar en puno para la determinación experimental de su rendimiento Térmico"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 25 de noviembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella