

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



**“CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN PUNO
PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA TÉRMICO SOLAR DE AGUA
CALIENTE SANITARIA PARA UN HOTEL DE 50 PERSONAS”**

TESIS

PRESENTADA POR:
ISMAEL ARHUIRE MOLINA
LUIS CLEUFER HANCO MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2020

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

**CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN PUNO PARA EL
DISEÑO DE UN SISTEMA TÉRMICO SOLAR DE AGUA CALIENTE
SANITARIA PARA UN HOTEL DE 50 PERSONAS**

TESIS PRESENTADA POR:

ISMAEL ARHUIRE MOLINA

LUIS CLEUFER HANCO MAMANI


PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE:


.....
M.Sc. ANGEL MARIO HURTADO CHAVEZ


PRIMER MIEMBRO:


.....
D.Sc. LEONIDAS VILCA CALLATA

SEGUNDO MIEMBRO:


.....
Ing. FELIPE CONDORI CHAMBILLA

DIRECTOR / ASESOR:


.....
M.Sc. JULIO FREDY CHURA ACERO

TEMA: Caracterización de la radiación solar, diseño de terma solar.

ÁREA: Energías Renovables.

FECHA DE SUSTENTACIÓN 07 DE ENERO DEL 2020

DEDICATORIA

A mi Madre, Sebastiana porque siempre estuvo brindándome su cariño, confianza y apoyo incondicional permitiéndome concluir satisfactoriamente esta etapa de mi vida. A mis hermanos Alejandro, Juan, Isabel y Dionicia quienes siempre han estado brindándome su apoyo a si mismo fortalecieron las ganas de seguir adelante, a mi pareja Ximena por el apoyo incondicional en todo momento.

ISMAEL ARHUIRE MOLINA

A mi madre Salome por darme todo su apoyo durante mis estudios y compartir conmigo momentos tanto alegres como tristes, A mis hermanos y a mis hermanas, personas que han colaborado y brindado su apoyo incondicional en mi formación académica, profesional para lograr una de mis metas.

A mi difunto padre San Diego que desde el cielo me brinda luz y fuerzas para seguir adelante, Gracias por darme tantas lecciones de vida. Prometo que seguiré tus enseñanzas, y al verme te sentirás orgulloso de mí.

LUIS CLEUFER HANCO MAMANI

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A la Universidad Nacional Del Altiplano Puno, A la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica mi alma mater, por la formación y la oportunidad que me dio en la culminación de mis estudios, a los docentes que supieron guiarme en la realización de esta tesis, a mis compañeros de ingeniería mecánica eléctrica por compartir momentos de estudio y me impulsan en lograr mi proyecto de vida.

ISMAEL ARHUIRE MOLINA

A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir, por permitirme disfrutar cada momento de mi vida y guiarme por el camino que ha trazado para mí. A la Universidad Nacional del Altiplano y la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por haberme brindado la oportunidad de educarme en tan noble y prestigiosa institución. Porque pase momentos gratos de alegría que nunca los olvidare que se quedan impregnados en mi corazón.

LUIS CLEUFER HANCO MAMANI

ÍNDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	10
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
CAPITULO I	13
INTRODUCCIÓN	13
1.1. Planteamiento del Problema De Investigación	14
1.2. Justificación	14
1.3. Hipótesis	15
1.4. Hipótesis Específicas	16
1.5. Objetivo General.....	16
1.6. Objetivos Específicos	16
CAPITULO II.....	17
REVISIÓN DE LITERATURA	17
2.1. Antecedentes del Proyecto.....	17
2.2. Marco Teórico	19
2.2.1. Energías renovables.....	19
2.2.1.1. Situación actual de las energías renovables	19
2.2.2. El Sol	20
2.2.2.1. Radiación solar	23
2.2.2.2. Tipos de Radiación Solar	24
2.2.2.3. Movimiento del Sol.....	26
2.2.3. Hora Solar Pico	28
2.2.4. Sistemas Solares Térmicos.....	29
2.2.4.1. Funcionamiento de un Sistema Solar Térmico	30
2.2.4.2. Tipos de Sistemas Térmicos.....	30
2.2.4.3. Sistema Solar Térmico de baja temperatura.....	31
2.2.5. Tipos de Colectores Solares	34
2.2.5.1. Colector solar de placa plana	34

2.2.5.1.1. Principios físicos del funcionamiento del colector solar plano ...	36
2.2.5.1.2. Partes de un colector solar plano	37
2.2.5.2. Colector solar de tubos de vacío	39
2.2.6. Mecánica de Transferencia de Calor	44
2.2.6.1. Transferencia de calor por conducción	45
2.2.6.2. Transferencia de calor por convección	46
2.2.6.3. Transferencia de calor por radiación	46
CAPITULO III	48
MATERIALES Y MÉTODOS	48
3.1. Materiales	48
3.1.1. Hotel – Edificio	49
3.1.2. Orientación e Inclinación	50
3.2. Métodos	50
3.2.1. Radiación Solar	50
3.2.1.1. Descripción de la medición de irradiancia solar.	50
3.2.1.2. Metodología para la caracterización de la radiación solar en Puno .	51
3.2.1.3. Inclinación y orientación del colector solar	61
3.2.1.4. diseño de un colector solar de tubos de vacío.	61
3.2.1.5. Norte geográfico.....	66
3.2.1.6. Aplicación del Software a las radiaciones solares promedio mensual de Puno.....	68
3.2.1.7. Radiación solar de diseño.....	70
3.2.1.8. Selección del tipo de colector solar.....	71
3.2.2. Demanda Energética	72
3.2.3. Volumen	74
3.2.4. Densidad.....	74
3.2.5. Número de Colectores	75
3.2.6. Volumen y aislamiento del tanque	77
3.2.7. Beneficios económicos de los calentadores solares de agua respecto otros tipos de calentadores.	78
CAPITULO IV	79
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	79
4.1. Selección del Colector Solar.....	79
4.1.1. Orientación e inclinación de los colectores solares.....	80
4.2. Radiación Solar.....	81

4.3. Demanda energética.....	85
4.3.1. Cálculo de la demanda de ACS.....	85
4.3.2. Cálculo de la masa de agua a calentar en un día (M).....	86
4.3.3. Cálculo de la demanda energética (D_e)	87
4.4. Número de Colectores	88
4.4.1. Cálculo del área de captación.....	88
4.4.2. Cálculo del área superficial de cada tubo de vacío	89
4.4.3. Cálculo del número de tubos de vacío	90
4.5. Rediseño Técnico – Económico	91
4.5.1. Demanda de agua caliente sanitaria (ACS).....	91
4.5.2. Cálculo de la demanda energética (D_e)	91
4.5.3. Cálculo del Área de Captación.....	92
4.5.4. Cálculo del Área Superficial de cada tubo de vacío.....	93
4.5.5. Cálculo del Número de tubos de vacío.....	93
4.5.6. Cálculo del volumen del termotanque.....	94
4.5.7. Dimensionamiento del termotanque.....	96
4.5.8. Determinación del espesor del aislante del termotanque	97
4.6. Discusión	102
4.7. Costos.	103
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES.....	107
REFERENCIAS.....	108
ANEXOS	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Vista del sol desde el límite superior de la atmósfera terrestre.....	21
Figura 2.2: Radiación solar que llega a la tierra.....	23
Figura 2.3: Radiación solar recibida por los sistemas de aprovechamiento de energía.25	
Figura 2.4: Movimientos del sol.....	27
Figura 2.5: Determinación de la posición del sol.....	27
Figura 2.6: Altura solar (α) y Acimut solar (ψ).....	28
Figura 2.7: Hora Solar.....	29
Figura 2.8: Sistema de circulación forzada.....	32
Figura 2.9: Sistema termosifón con circuito abierto.....	33
Figura 2.10: Sistema termosifón con circuito cerrado.....	33
Figura 2.11: Colector Solar de tubos de vacío.....	39
Figura 2.12: Tubo de vacío termosifón o evacuado simple.....	41
Figura 2.13: Tubo de vacío de flujo directo o U-pipe.....	42
Figura 2.14: Tubo de vacío Head Pipe.....	44
Figura 2.15: Transferencia de calor por conducción.....	45
Figura 2.16: Transferencia de calor por convección.....	46
Figura 2.17: Transferencia de calor por radiación.....	47
Figura 3.1: Sistema de monitoreo de irradiación solar.....	51
Figura 3.2: Curva de irradiancia con respecto a tiempo.....	53
Figura 3.3: Curva de irradiancia con respecto a tiempo.....	55
Figura 3.4: Captación solar.....	62
Figura 3.5: Radiación directa que incide sobre una superficie.....	64
Figura 3.6: Radiación directa sobre el colector de 45° y 20° de inclinación.....	65
Figura 4.1: Tubos de vacío termosifónicos SOLARQRO.....	80
Figura 4.2: Radiación promedio diario mensual para puno.....	82
Figura 4.3: Vista frontal del volumen interior del termotanque.....	96
Figura 4.4: Pérdidas de calor por conducción y convección.....	97
Figura 4.5: Diseño de termotanque, tubos al vacío y estructura del soporte.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Distribución de energía según longitudes de onda.	26
Tabla 3.1: Irradiancia registrada manualmente en un tiempo.....	52
Tabla 3.2: Datos registrados por el software	54
Tabla 3.3: Valores promedios de radiación solar horaria W/m ² para Puno en el año 2016.....	57
Tabla 3.4: Valores promedios de radiación solar horaria W/m ² para Puno en el año 2017.....	58
Tabla 3.5: Promedio mensual de la radiación solar para Puno de los años 2016 y 2017	59
Tabla 3.6: Radiación Solar del Perú (kWh/m ² /día).....	60
Tabla 3.7: Determinación del norte geográfico	67
Tabla 3.8: Formato de Cálculo de la radiación media mensual sobre superficie arbitrariamente orientadas e inclinadas	69
Tabla 3.9: Consumos de agua caliente sanitaria (ACS).	73
Tabla 3.10: Consumos típicos de agua caliente.....	73
Tabla 3.11: Densidad de aire libre de agua como función de la temperatura.....	75
Tabla 3.12: Tipo de aislamiento y espesor recomendado.....	78
Tabla 3.13: Beneficios económicos de los calentadores solares de agua respecto otros tipos de calentadores.	78
Tabla 4.1: Radiaciones promedio diario mensual para puno.....	82
Tabla 4.2: Cálculo de la radiación media mensual sobre la superficie del colector.....	84
Tabla 4.3: Coeficientes conductividad térmica (K).....	98
Tabla 4.4: Valores típicos de coeficiente de transferencia para convección.	100
Tabla 4.5: Especificaciones técnicas termas solares LUXXOL.	103
Tabla 4.6: Costo en el mercado y Costo de diseño.....	103

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

UV	Ultra Violeta
I	Irradiancia
UJAEN	Universidad de Jaén España
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
ITINTEC	Instituto De Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas
ACS	Agua Caliente Sanitaria

RESUMEN

El uso de la energía del sol para solucionar problemas energéticas en la región sur del Perú es una de las prioridades de la Ingeniería Mecánica Eléctrica, en ese contexto la producción de agua caliente sanitaria (ACS) para uso industrial o doméstico actualmente se debe hacer utilizando la energía del sol para salvaguardar y mitigar el calentamiento global del planeta; en ese marco referencial desarrollamos una tesis cuyo objetivo es caracterizar la radiación de Puno para diseñar un sistema térmico solar para la producción de agua caliente de un hotel de 50 personas en Salcedo Puno. La metodología empleada es la teoría del diseño en ingeniería mecánica aplicada a sistemas térmicos solares donde los conocimientos sobre caracterización de la energía del sol, termodinámica, transferencia de calor son fundamentales. El resultado de la caracterización solar de Puno es de 4434 Wh/m^2 , el sistema térmico del hotel estará formado por cuatro sistemas térmicos independientes con un colector de 16 tubos de vacío termosifónicos, un termotanque de 1,40 m de longitud y 0,60 m de diámetro con un aislamiento de fibra de vidrio de 30 mm y una capacidad de 400 litros de ACS. Concluyéndose que desde el punto de vista técnico económico estos sistemas térmicos se deben comprar a las industrias del rubro de la región, los cuales diseñan la estructura de soporte del tanque y tubos de vacío, como el diseño del sistema hidráulica independiente para cada sistema en función del modelo solicitado. El costo es relativamente barato por la exportación de China de todos los elementos que conforman el sistema térmico solar y que estas industrias solo realizan el montaje.

Palabras clave: Diseño, sistema térmico, radiación solar, tubos termosifónicos, agua caliente.

ABSTRACT

The use of energy alone to solve energy problems in the southern region of Peru is one of the priorities of Electrical Mechanical Engineering, in that context the production of sanitary hot water (ACS) for industrial or domestic use must currently be done using the sun's energy to safeguard and mitigate global warming of the planet; In that framework we developed a thesis whose objective is to characterize Puno's radiation to design a solar thermal system for the production of hot water from a 50-person hotel in Salcedo Puno. The methodology used is the theory of mechanical engineering design applied to solar thermal systems where knowledge about the characterization of the sun's energy, thermodynamics, heat transfer is fundamental. The result of the solar characterization of Puno is $4434 \text{ Wh} / \text{m}^2$, the thermal system of the hotel will consist of four independent thermal systems with a collector of 16 thermosiphon vacuum tubes, a water tank of 1.40 m in length and 0.60 m in diameter with a 30 mm fiberglass insulation and a capacity of 400 liters of DHW. Concluding that from the economic technical point of view these thermal systems must be purchased from the industries of the region, which design the support structure of the tank and vacuum tubes, as the design of the independent hydraulic system for each system in function of the requested model. The cost is relatively cheap for China's export of all the elements that make up the solar thermal system and that these industries only assemble.

Keywords: Design, thermal system, solar radiation, thermosiphon tubes, hot water.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Una de las formas de aprovechamiento directo de la energía solar es la que se consigue empleando un sistema térmico solar donde la energía solar se transforma en calor, es decir energía térmica para producir agua caliente sanitaria (ACS) destinada al consumo humana. El agua caliente se emplea en viviendas, edificios, hoteles, hospitales, comedores, restaurantes para usos sanitarios: baños, duchas, etc. y para usos de limpieza: fregado de platos lavadoras, lavavajillas, fregado de suelos, etc. El modelo energético a adoptar en el futuro es utilizando las energías renovables, como la del sol, que es fuente inagotable de energía limpia; considerando los cambios climáticos que afronta el mundo por el problema del calentamiento global de la tierra como consecuencia del uso de energías de origen fósil. El diseño de sistemas térmicos solares, tema del proyecto de investigación, contribuirá a disminuir las emisiones de CO₂; gases que contaminan el ambiente y que producen el efecto invernadero, causante del cambio climático en nuestra región y en el mundo. Y se debe aprovechar la ventaja competitiva que tiene Puno en cuanto a ser uno de los tres departamentos con mayor radiación solar del Perú.

En el Encuentro y Exposición Mundial de Energías Renovables ISA – Perú – LAC (SUN WORLD 2019) desarrollado en Lima del 12 al 14 de noviembre de 2019, permitió al Perú convertirse en un país referente en la atracción de las inversiones en energía solar y promover en Latinoamérica el desarrollo de las energías renovables y contribuir a que el Estado llegue con la provisión de energía a las zonas más alejadas del país. La Alianza Solar Internacional (ISA) busca desplegar más de 1000 Gigavatios de energía solar e invertir más de 1000 millones de dólares para la inversión en energía solar hacia el 2030.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El consumo de energía en el mundo no ha dejado de crecer, el uso de la energía forma parte de nuestra vida y no se puede concebir un mundo sin el empleo de éstas. La fuente de energía más importante fue el carbón a ella se unieron la electricidad y el petróleo; hoy tenemos a nuestra disposición formas de energía alternativas o renovables como la energía solar. Pero la mayor parte del consumo mundial de energía sigue cubriéndose por medio de combustibles fósiles que son perjudiciales para el medio ambiente, los cuales han provocado que el CO₂ ha aumentado casi un 150% desde la revolución industrial; en consecuencia, el implementar y fomentar este tipo de tecnologías limpias y renovables debe ser tarea de gobernantes, pero todos debemos aportar nuestro granito de arena para tener una tierra limpia y sostenible.

Considerando los fundamentos anteriores y propulsar el desarrollo del proyecto de diseños térmicos solares, nos planteamos y formulamos preguntas que serán las guías de trabajo a desarrollar.

- ¿Es posible caracterizar la radiación solar en Puno?
- ¿Es posible determinar el volumen de agua sanitaria que requiere el hotel?
- ¿Es posible determinar la demanda energética que requiere el sistema térmico solar?
- ¿Es posible diseñar las dimensiones del sistema térmico solar?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El modelo energético a adoptar en el futuro es uno de los desafíos más importantes que deberá afrontar la humanidad en los próximos años, el modelo actual basado en el uso intensivo de recursos energéticos de origen fósil es insostenible e

indudablemente el modelo energético a adoptar es el de las energías renovables, como la energía solar, tema de nuestra tesis, considerando la ventaja competitiva que tiene Puno en cuanto a radiación solar y, que es imperiosa la necesidad el desarrollo de una tecnología solar que ayude a mitigar las condiciones climáticas adversas del altiplano puneño que ayudará a mejorar las condiciones de nivel de vida con la producción de agua caliente sanitaria para las necesidades domésticas de la población.

El proyecto de tesis motivará investigaciones en el área de la energía solar por ser una energía inagotable y gratuito, que contribuirá a desarrollar una tecnología solar similar a la que se desarrolló en Arequipa.

Por estadísticas de OSINERGMIN el costo de la electricidad comercial en el Perú es de 16,47 dólares por Kwh mayor que Venezuela, Argentina (\$ 5,82); Paraguay, Ecuador, Bolivia (\$ 12,08); Uruguay, Costa Rica, El Salvador, Colombia (\$ 10,50). Según el diario Expreso las Tarifas residenciales de electricidad del 2010 a 2018 han subido hasta casi un 60% y la generación de energía con combustibles fósiles oscila entre 5 a 17 dólares por Kwh. En contra posición la generación de energía solar es de 10 centavos de dólar por Kwh y, según la IRENA de los Emiratos Árabes Unidos para 2020 la energía solar y eólica generarán electricidad a 3 centavos de dólar por Kwh; son argumentos económicos que justifican la realización de proyectos energéticos solares.

1.3. HIPÓTESIS

La aplicación de los conocimientos de diseño mecánico, termodinámico, transferencia de calor y energía heliotérmica nos permitirán diseñar un sistema térmico solar de agua caliente sanitaria para un hotel de 50 personas en Puno.

1.4. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La aplicación de los conocimientos de la energía solar y los datos experimentales de la radiación solar en Puno nos permitirán caracterizar la radiación solar de diseño en Puno.
- Las informaciones técnicas de consumos L/día de agua caliente sanitaria por persona de instituciones de investigación nos permitirán determinar el volumen de agua caliente sanitaria que requiere el hotel.
- Los conocimientos de termodinámica y calorimetría nos permitirán calcular la demanda energética que requiere el sistema térmico solar.
- Los conocimientos del diseño en ingeniería y de sistemas térmicos solares nos permitirán diseñar las dimensiones del sistema térmico.

1.5. OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar la radiación solar en Puno para diseñar un sistema térmico solar de agua caliente sanitaria para un hotel de 50 personas.

1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización de la radiación solar en Puno.
- Determinar el volumen de agua caliente sanitaria que requiere el hotel.
- Determinar la demanda energética que requiere el sistema térmico solar.
- Diseñar las dimensiones del sistema térmico solar.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Calle, J. & Fajardo, J. (2011). Agua Caliente sanitaria de uso doméstico con energía solar. Artículo científico. Revista de Ciencia y Tecnología: Ingenius. Ecuador. En el resumen informan que el agua caliente sanitaria (ACS) de uso doméstico es una necesidad imperante debido a las condiciones de temperatura bajas en la ciudad de Cuenca, para suplir esta necesidad actualmente se utilizan sistemas eléctricos y a base de GLP (gas licuado de petróleo, los mismos que en su producción y uso emanan dióxido de carbono (CO₂) el cual se constituye en el primer factor de contaminación. La energía solar utilizada a través de colectores solares de tubos de vacío para la obtención de ACS es una tecnología que aporta significativamente a disminuir la utilización de combustibles fósiles, actualmente en el Ecuador se comercializa colectores de este tipo que han sido copiados o importados de países europeos y norteamericanos.

Flores, C. (2014). Evaluación técnica y económica de sistemas de calentamiento solar de agua para servicios comerciales en la ciudad de México. Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería de Procesos y uso eficiente de Energía. Universidad Nacional Autónoma de México. El propósito de este trabajo consiste en analizar un sistema de calentamiento solar de agua caliente de un restaurante ubicado en la ciudad de México y compararlo con una propuesta desarrollada con base a la metodología aquí descrita. El trabajo presenta un marco de referencia del uso de las energías renovables en especial la solar, el estado del arte del calentamiento solar de agua a baja temperatura y los programas de promoción que se han llevado a cabo en México. También brinda una descripción de

las tecnologías actuales más comerciales de calentamiento solar de agua. Se describen los métodos de dimensionamiento y el cálculo de la fracción solar con el método de la Carta-f. Pese a que el calentamiento solar de agua es una de las aplicaciones de la energía solar más conocidas, probados y rentables tanto para la aplicación residencial y comercial aún no son sistemas de aplicación general en México por lo que es pertinente demostrando las bondades técnicas y económicas de estos proyectos.

Vivar, E. & Prado, R. (2014). Estudio energético de los colectores solares para el calentamiento de agua en el servicio hotelero, Chimbote – Perú. Tesis para optar el título de Ingeniero en Energía Universidad Nacional del Santa. Facultad de Ingeniería en Energía. El objetivo general es realizar el análisis de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores de placa plana, para cubrir la necesidad de agua caliente del servicio hotelero.

El colector solar de placa plana es una alternativa económica y eficaz para el calentamiento del agua que elimina los altos costos por consumo de energía eléctrica, en los diferentes lugares que requieren el servicio de calentamiento de agua.

Al mismo tiempo se busca incentivar el uso de energías renovables y que no causen impacto en el medio ambiente en la ciudad de Chimbote.

Flores, C. (2018). Diseño de una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de Puno. Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista. Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica – UNA. Resumen que Puno es uno de los tres departamentos con mayor radiación solar en el Perú. Considerar que las termas solares de tubos de vacío que se venden actualmente en la región sur no han sido diseñadas para las condiciones ambientales de Puno, desarrollan la metodología para diseñar una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de Puno.

En los resultados especifican que para 150 litros de agua caliente el colector solar de tubos de vacío es necesario solo ocho tubos, como que la inclinación óptima del colector debe ser de aproximadamente de 15° que coincide con la latitud de Puno. Sugieren importar de China con las especificaciones técnicas del diseño realizado, por ser su costo económico.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Energías renovables

Las energías renovables se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles que existen unas determinadas cantidades o reservas, agotables en un plazo más o menos determinado.

Las principales formas de energías renovables que existen son: la biomasa, hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas.

Las energías renovables provienen de forma directa o indirecta, de la energía del Sol; con excepción de la energía geotérmica y la de las mareas.

2.2.1.1. Situación actual de las energías renovables

En la actualidad, la contribución de las energías renovables (con respecto al consumo total de energía primaria) a nivel mundial ronda el 8% y en Europa es del 6%; estos porcentajes corresponden casi exclusivamente a energía hidráulica y biomasa.

Existe una creciente concienciación a nivel mundial en lo que se refiere a la problemática energética, debido fundamentalmente a:

- La gran dependencia energética del exterior de los países industrializados.

- El agotamiento y encarecimiento de los recursos energéticos fósiles.
- Los recientes descubrimientos sobre el origen antropogénico (causado por el hombre) del cambio climático.

La energía procedente del Sol que llega a la Tierra en un año es mayor que toda la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo. Si tan solo se aprovecharía el 0,002% de dicha radiación solar, se abastecería toda la demanda energética mundial y todavía sobraría energía.

2.2.2. El Sol

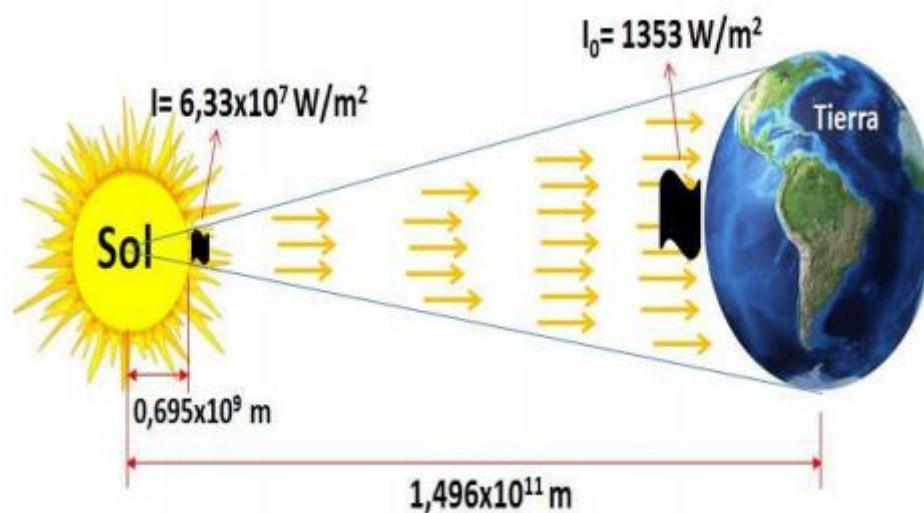
Es una masa de materia gaseosa caliente que irradia a una temperatura efectiva de unos 6000°C, en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía esta energía liberada del sol se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar. La distribución espectral de la radiación de esta fuente de energía medida fuera de la atmósfera terrestre, aproximadamente la mitad está en la región visible del espectro, cerca de la otra región infrarroja y un pequeño porcentaje de la región ultravioleta.

La radiación del sol es de 63,450,720 w/m². si se supone que el sol emite en todas direcciones y se construye una esfera que llegue hasta la atmósfera terrestre, es decir que tenga un radio de distancia de 149.5 millones de km, se podrá determinar cual es la radiación en ese punto.

Como se dijo anteriormente, el sol está a una distancia de 149,490,000 kilómetros de la Tierra, y la constante solar, esto es, la intensidad media de radiación medida fuera de la atmósfera en un plano normal a la radiación es aproximadamente 1.94 cal/min.cm³.

o lo que es lo mismo 1.353 w/m^2 . variable durante el año un 13% a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. (Figura 2.1)

Figura 2.1: Vista del sol desde el límite superior de la atmósfera terrestre.



Fuente: (Fernández, Guzmán, & Giménez)

La energía solar

La energía solar directa es la energía del sol sin transformar, que calienta e ilumina. Necesita sistemas de captación y de almacenamiento y aprovecha la radiación del sol de maneras diferentes:

Utilización directa: Mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la llamada “energía solar térmica pasiva”, se utiliza para acondicionamiento térmico de un edificio aprovechando la energía solar para disminuir sus necesidades de calefacción y refrigeración.

Transformación en calor: es la llamada “energía solar térmica activa”, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos. Este fluido se puede destinar

para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a la calefacción para atemperar piscinas, etc.

Transformación en electricidad: es la llamada “energía solar fotovoltaica” que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

La energía solar es una de las energías renovables con mayores posibilidades.

Ventajas de la utilización de la energía solar:

- Escaso impacto ambiental.
- No produce residuos perjudiciales para el medio ambiente.
- Distribuida por todo el mundo.
- No tiene más costes una vez instalada que el mantenimiento el cual es sencillo
- No hay dependencia de las compañías suministradoras de electricidad.

Inconvenientes de la utilización de la energía solar:

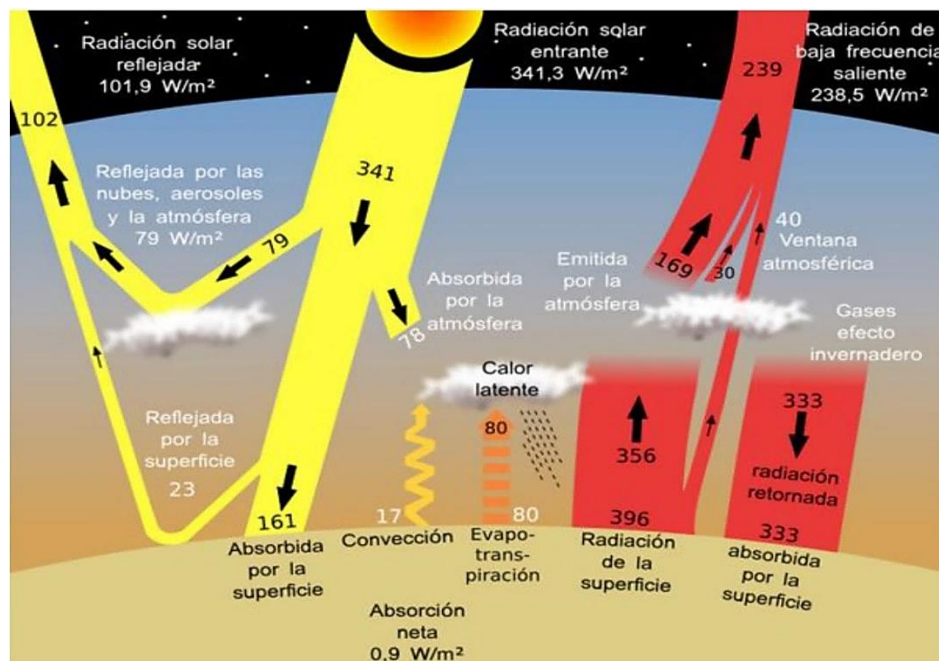
- Se precisan sistemas de acumulación, que muchas veces contienen agentes químicos peligrosos (el caso de baterías para almacenar energía eléctrica), los depósitos de agua caliente deben protegerse contra la legionela.
- Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso de grandes instalaciones.
- Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno.

2.2.2.1. Radiación solar

La radiación en el sol es de $63,450,720 \text{ W/m}^2$ y la constante solar representa la energía media que llega a la capa más externa de la atmósfera terrestre y cuyo valor es igual a 1353 W/m^2 , pero este valor no es el que precisamente llega a la superficie del suelo, debido a que hay un sin número de factores que afectan la captación del 100 % de la energía radiante que proviene del sol

A la tierra solo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la atmósfera, y de ella el 70% cae en el mar. Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial.

Figura 2.2: Radiación solar que llega a la tierra



Fuente: Méndez, J. & Cuervo, I. (2011). Energía Solar Térmica. (pp. 63-91). España. Editorial Fundación Confermotal.

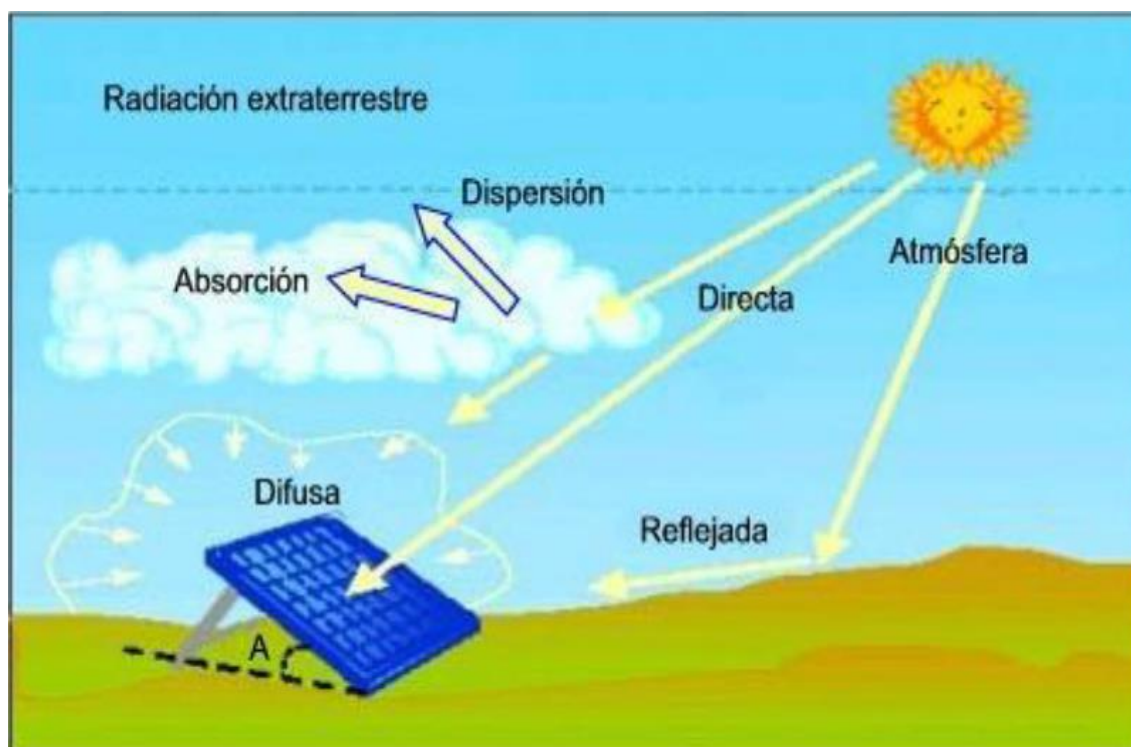
2.2.2.2. Tipos de Radiación Solar

En 2008 Schallenberg *et al.*, mencionan que la energía del Sol se desplaza a través del espacio en forma de radiación electromagnética, una parte de esta energía llega a la atmósfera, una parte de esta energía es absorbida por la atmósfera y por el suelo, y otra parte es reflejada directamente al espacio desde el suelo. Es por esto por lo que menos de la mitad de la radiación solar llega efectivamente a la superficie terrestre, siendo esta parte la que podemos utilizar con fines energéticos en nuestro planeta.

La radiación solar llega a nuestro planeta de tres formas distintas:

- **Radiación directa:** es la radiación que nos llega directamente del Sol; sin haber incidido con nada en su camino y, por tanto, sin haberse desviado ni cambiado de dirección. Esta radiación produce las sombras. Este tipo de radiación se da en un día soleado.
- **Radiación difusa:** es la radiación que nos llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera (polvo, nubes, contaminantes, etc.), por lo que ha cambiado de dirección. Generalmente se da en días nublados.
- **Radiación reflejada o albedo:** es la radiación reflejada por la superficie terrestre; específicamente en zonas con nieve, agua o cualquier otra zona donde la reflexión sea importante.

Figura 2.3: Radiación solar recibida por los sistemas de aprovechamiento de energía.



Fuente: (López, 2013).

La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra se reduce por varios factores variables, entre ellos, la absorción de la radiación, en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera, dióxido de carbono, ozono, etc., por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por la partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación.

El total de la energía solar que llega a la Tierra es enorme. Algunos países, por ejemplo, reciben anualmente alrededor de 1500 veces sus demandas de energía total. En un día de sol de verano, la energía que llega al tejado de una casa de tipo medio sería más que suficiente para satisfacer las necesidades de energía de esa casa por 24 horas.

La distribución espectral de la radiación en la superficie de la tierra ha sido extensamente estudiada y se ha propuesto una serie de curvas a modo de patrón, para

diferentes masas de aire, la masa de aire m , se define como la radiación y el espesor cuando el sol está en el cénit y el observador a nivel del mar.

La tabla 2.1. indica la distribución de energía transmitida en tres intervalos de longitud de onda, para diversas masas de aire m , y se basa en la constante solar de 1.896 cal/min. cm.

Tabla 2.1: Distribución de energía según longitudes de onda.

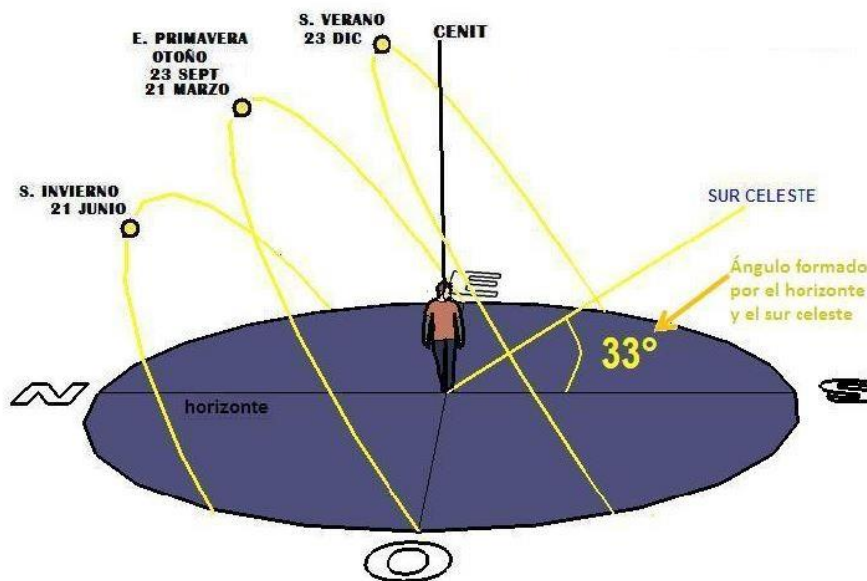
Intervalo de longitud de onda, m	Energía transmitida, cal./(min.)(cm ²)					
	m =0	1	2	3	4	5
Ultravioleta, 0.29-0.40	0.136	0.057	0.029	0.014	0.008	0.004
Visible, 0.40-0.70	0.774	0.601	0.470	0.371	0.295	0.235
Infrarrojo, por encima de 0.70	0.986	0.672	0.561	0.486	0.427	0.377
Totales Calorías por minuto, por cm ²	1.896	1.330	1.060	0.871	0.730	0.616

Fuente: Méndez, J. & Cuervo, I. (2011). Energía Solar Térmica. (pp. 63-91). España. Editorial Fundación Confermotal.

2.2.2.3. Movimiento del Sol

El sol dibuja trayectorias diferentes según la estación del año. en invierno sube poco y en verano mucho, lo que hace que las sombras sean diferentes en unas estaciones y en otras. (Figura 2.4)

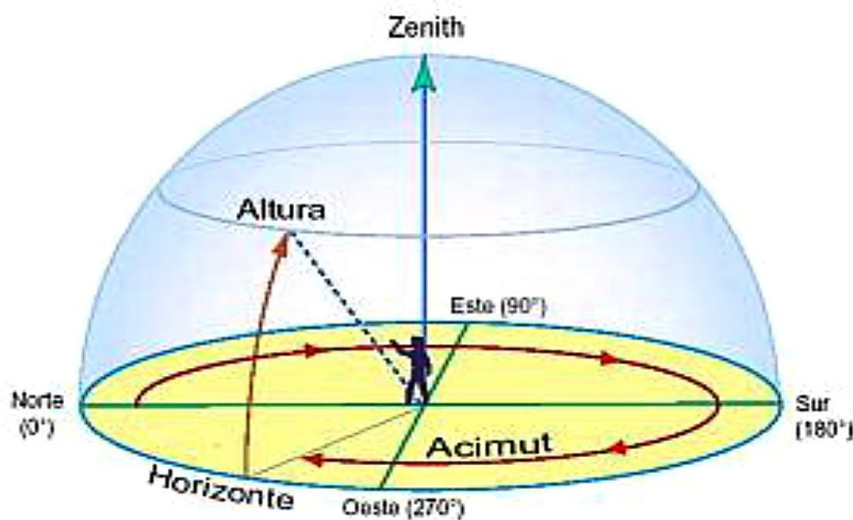
Figura 2.4: Movimientos del sol



Fuente: (“Taller: Modelo para representar la trayectoria del sol sobre el globo terrestre Ilce Tlanezi Lara Montiel y Julieta Fierro,” n.d.)

Para conocer el movimiento del sol se utilizará un sistema de coordenadas con dos ángulos, que permite saber en cada momento donde se encuentran. (Figura 2.5).

Figura 2.5: Determinación de la posición del sol



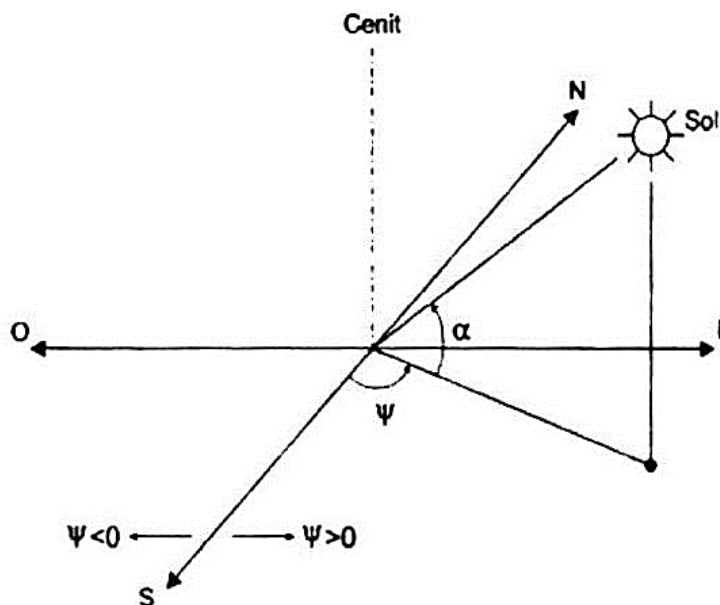
Fuente: Méndez, J. & Cuervo, I. (2011). Energía Solar Térmica. (pp. 63-91). España. Editorial Fundación Confermotal.

Las coordenadas solares son:

Altura solar (α): Es el ángulo formado por la posición aparente del sol en el cielo con la horizontal del lugar (Figura 2.6)

Acimut solar (ψ): Es el ángulo horizontal formado por la posición del sol y la dirección del verdadero norte. (Figura 2.6)

Figura 2.6: Altura solar (α) y Acimut solar (ψ)

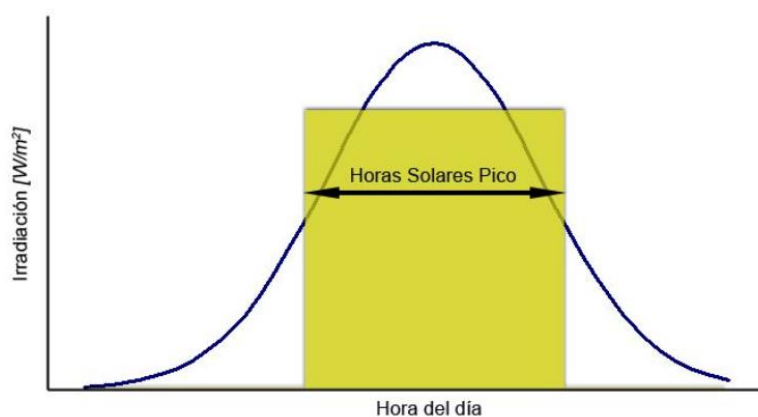


Elaborado por el equipo de trabajo

2.2.3. Hora Solar Pico

Para casos de los diversos trabajos, proyectos, ejecuciones de instalación de energía solar, los técnicos e ingenieros vienen utilizando bastante esta expresión de Hora Solar Pico dando a entender la Mayor Insolación en un área o ciudad y en un tiempo o período de tiempo conocido.

Si consideramos que un panel fotovoltaico horizontal puede recibir una irradiancia directa aproximada de 1000 W/m^2 en condiciones de buen día claro, al nivel del mar, con un sol radiante en el Cenit del panel, por convención se considera llamar esto un pico de la irradiancia al valor de $1,000 \text{ W/m}^2$.

Figura 2.7: Hora Solar

Fuente: (Salvador, 2017)

2.2.4. Sistemas Solares Térmicos

Un sistema solar térmico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que permite captar la energía solar disponible y transformarla en calor de forma que se pueda utilizar en diferentes necesidades.

En general, es necesario acumular esta energía para cuando se requiera su consumo, mediante un fluido contenido en depósitos. La principal aplicación para la que se utiliza es la obtención de **agua caliente sanitaria** (ACS), en general, el consumo de agua caliente no está influido por la estación del año y la temperatura que se requiere para la utilización del agua no es muy elevada (60°C por ejemplo).

Otras aplicaciones como por ejemplo su uso en calefacción son más problemáticas, ya que la estacionalidad del sol y la del uso de calefacción son opuestas por lo que en verano se tendría una producción energética que no se podría utilizar. Además, los sistemas convencionales de calefacción por radiadores precisan de unas temperaturas del agua elevadas (90°C) lo que disminuye el rendimiento del sistema solar, en estos casos, la presencia de otro consumo de calor en época de verano puede resolver el problema, como por ejemplo el calentamiento de una piscina.

Actualmente se desarrollan maquinas frigoríficas con ciclos de absorción que permiten, a partir de la energía solar, aire acondicionado.

Es necesario señalar que la característica de estacionalidad del sol implica que a fin de optimizar la inversión, las instalaciones solares se diseñan de modo que produzcan la energía necesaria en los meses de verano, por lo que en invierno, que hay menor radiación no se cubren las necesidades y no se debe prescindir del sistema de producción térmica convencional de la instalación.

2.2.4.1. Funcionamiento de un Sistema Solar Térmico

El principio básico de funcionamiento de los sistemas solares es sencillo: la radiación solar se capta y el calor se transfiere a un fluido (generalmente agua o aire). Para aprovechar la energía solar térmica se usa el captador solar. El fluido calentado se puede usar directamente (para calentar agua en piscinas) o indirectamente mediante un intercambiador de calor (calefacción de habitaciones).

La energía solar que se capta durante el día tiene que ser almacenada en forma de energía térmica, para muchos sistemas térmicos solares el agua es la sustancia perfecta para almacenar la energía térmica. Se puede hacer uso de un intercambiador de calor, pero para aplicaciones simples solo se utiliza un colector solar de agua acoplado y se utiliza el mismo como almacenaje.

2.2.4.2. Tipos de Sistemas Térmicos

La energía solar térmica es utilizada principalmente en fluidos, que dependiendo de la temperatura final alcanzada por el fluido, los sistemas térmicos se dividen de:

- a) **Baja temperatura:** Son las más frecuentes y se destinan a aquellas aplicaciones que no exigen temperaturas del agua superiores a los 90 °C, como por ejemplo, producción de agua caliente sanitaria (ACS) para viviendas, calefacción de viviendas, calentamiento de agua para piscinas, etc.

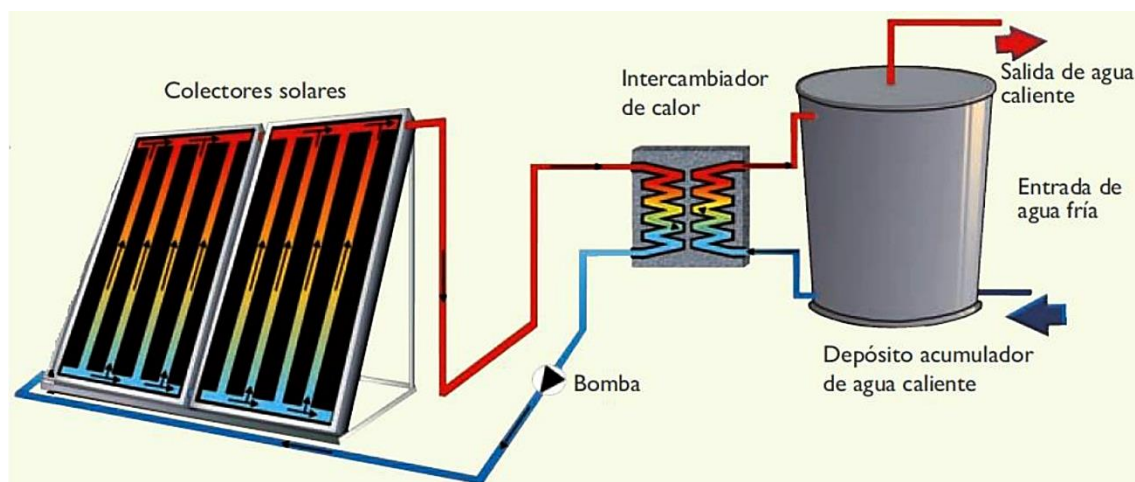
- b) **Media temperatura:** Destinada a aquellas aplicaciones que exigen temperaturas del agua comprendidas entre 80 °C y 250 °C, como, por ejemplo, calentamiento de fluidos para procesos industriales y la desalinización de agua de mar.

- c) **Alta temperatura:** Destinada a aquellas aplicaciones que requieran temperaturas del agua superiores a los 250 °C, como es el caso de la generación de vapor para la producción de electricidad.

2.2.4.3. Sistema Solar Térmico de baja temperatura

Los colectores que se utilizan en estas aplicaciones son colectores planos.

- a) **Sistemas de circulación forzada:** En este tipo de sistemas para hacer circular el agua entre el colector y el acumulador se utiliza una bomba, por lo que se hace necesario un aporte externo de energía.

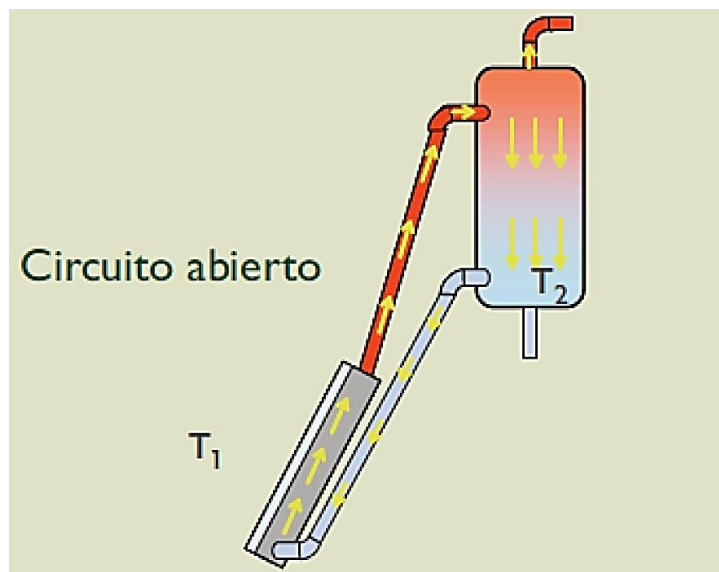
Figura 2.8: Sistema de circulación forzada

Fuente: (Schallenberg et al., n.d.)

Sistemas termosifón: Schallenberg et al. (2008) menciona que este tipo de sistemas funcionan sin aporte externo de energía, ya que aprovechan el efecto termosifón, el movimiento del agua se produce por diferencia de temperaturas entre el agua fría del depósito de acumulación y la caliente del captador, el agua que está dentro del colector se calienta por el Sol, disminuyendo su densidad y, por tanto, su peso específico. Al disminuir su peso específico, el agua más caliente se sitúa en la parte superior del captador. Este hecho hace que el agua fría del depósito caiga por el conducto que une la parte inferior del depósito con la parte inferior del captador, provocando así que el agua caliente del captador ascienda hasta el tanque. En este tipo de sistemas el tanque se suele situar por encima del captador. De esta forma se crea el movimiento del agua del colector al depósito, el cual se mantendrá mientras haya suficiente diferencia de temperatura entre el colector y el depósito. Una vez calentada el agua de éste, las temperaturas se igualan y el movimiento cesa.

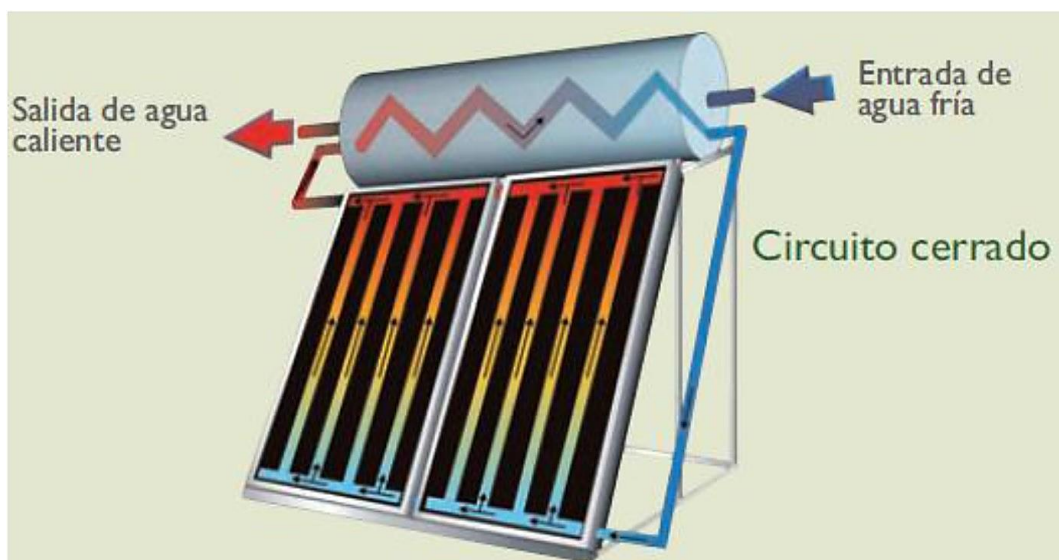
Los Sistemas de Termosifón pueden ser:

- a) **Instalaciones de circuito abierto:** “El agua que circula por el colector es la misma que se utiliza como agua caliente. El agua entra en el colector, se calienta, pasa al tanque y se usa directamente.”

Figura 2.9: Sistema termosifón con circuito abierto

Fuente: (Schallenberg et al., n.d.)

- b) **Instalaciones de circuito cerrado:** En este tipo de instalaciones Schallenberg et al. mencionan que: “Por el colector circula un fluido (en circuito cerrado) que se calienta y cede su calor al agua de abasto a través de un intercambiador de calor.

Figura 2.10: Sistema termosifón con circuito cerrado.

Fuente: (Schallenberg et al., n.d.)

2.2.5. Tipos de Colectores Solares

Los tipos de colectores solares existen en el mercado mundial actual son los colectores solares de placa plana y los de tubos de vacío. Existiendo entre estos dos tipos diferentes marcas de colectores solares.

2.2.5.1. Colector solar de placa plana

El colector solar de placa plana es un tipo de panel solar térmico cuyo objetivo es transformar la radiación solar en energía térmica. Este tipo de captador solar tiene una buena relación coste / efectividad en climas moderados y se adapta correctamente a un gran número de aplicaciones de energía solar térmica (el calentamiento de agua sanitaria, la climatización de piscinas, el apoyo a calefacción, el precalentamiento fluidos industriales, etc.)

Podemos distinguir dos tipos básicos de colectores solares de placa plana, en función de la configuración del absorbedor: el paralelo de “tipo parrilla”, en las versiones vertical y horizontal y la serie de “tipo serpiente”. Básicamente, la diferencia que hay entre ambos es:

- La configuración en paralelo favorece que se pueda estratificar la temperatura del colector solar con mayor volumen de circulación del agua por las ramificaciones del interior del captador y obtener un salto termodinámico de aproximadamente 10°C con un buen rendimiento.
- La configuración en serie está compuesta por un único circuito continuo con poco volumen de agua de circulación y un salto térmico superior, con un buen rendimiento.

Otra forma de clasificar los colectores solares planos es si son vidriados o no vidriados:

El colector solar plano vidriado se usa generalmente en sistemas de calefacción de agua domésticos o en instalaciones. La temperatura de funcionamiento es generalmente entre 30 °C y 60 °C. Consiste en una caja aislada cubierta por acristalamiento. En el interior, hay un absorbente en el que circula el fluido de transferencia de calor. El acristalamiento bloquea la radiación infrarroja y aísla el espacio de aire por encima del absorbente para mantener el calor.

El colector solar plano no vidriado es mucho más económico, pero menos extendido. Dependiendo de la temperatura exterior, generalmente se usa en sistemas de calefacción de piscinas, pero a veces se puede usar como sistema de calefacción de agua caliente en países cálidos. En zonas templadas, la temperatura de funcionamiento es generalmente inferior a 30 grados centígrados. Se compone únicamente de un absorbente en el que circula el refrigerante.

El funcionamiento de un colector solar térmico para el aprovechamiento de la energía solar térmica es muy básico. De hecho, cualquier cuerpo expuesto a la radiación solar recibe un flujo energético que lo calienta y, por tanto, hace que aumente la temperatura. Este aumento de la temperatura implica un aumento de la energía interna.

Un cuerpo a una temperatura dada emite energía a su alrededor gracias a sus propiedades termodinámicas, en forma de radiación, y ésta depende directamente de la diferencia de temperaturas entre la temperatura del cuerpo y la temperatura ambiente.

Si refrigeramos el captador solar haciéndole pasar un fluido por el interior, se aprovecha este calor, con lo que se consigue que una parte de la energía captada se

transmita hacia este fluido como energía útil. El resto de energía se sigue perdiendo en forma de radiación desde el colector solar térmico hacia el ambiente exterior. En este caso, la temperatura de trabajo es siempre inferior a la de equilibrio.

2.2.5.1.1. Principios físicos del funcionamiento del colector solar plano

El captador solar plano funciona a partir de la aplicación de los principios físicos siguientes:

- **El cuerpo negro (el absorbedor)**

La radiación solar incidente es parcialmente absorbida por los cuerpos. El resto es reflejada o los atraviesa.

La relación entre estos efectos depende de:

- La naturaleza del cuerpo.
- El estado de la superficie.
- El grueso del cuerpo.
- El tipo de radiación. La longitud de onda.
- El ángulo de incidencia de los rayos solares.

Los cuerpos oscuros y mates captan mejor la radiación solar que cualquier otro color; por eso el absorbedor del captador solar suele ser de colores oscuros, para aprovechar al máximo la radiación solar.

- **El efecto invernadero**

El efecto invernadero se genera en algunos cuerpos transparentes, que normalmente sólo son atravesados por radiaciones con longitud de onda entre 0,3 y 3 micras. Dado que la mayor parte de la radiación solar está comprendida entre

0,3 y 2,4 micras, la luz solar puede atravesar un vidrio. Una vez atravesado, la radiación encuentra el absorbedor, que se calienta por la radiación solar y emite radiaciones comprendidas entre las 4,5 y 7,2 micras para las que el vidrio es opaco.

Esta radiación solar que no puede salir es reflejada hacia el interior de nuevo. Una parte de esta energía calienta el vidrio y el cristal la remite hacia dentro y hacia fuera.

Algunos plásticos (como el policarbonato) tienen un comportamiento similar al vidrio (dejan pasar las radiaciones de onda corta procedente del Sol y detienen las emisiones de onda larga que proceden de la placa absorbidora).

- **El aislamiento**

El tercero de los principios físicos que intervienen en el funcionamiento de los colectores solares es el aislamiento del conjunto respecto del exterior, formado normalmente por un revestimiento interno de la caja contenedor. Un buen aislamiento mejora el aprovechamiento de la energía solar térmica.

2.2.5.1.2. Partes de un colector solar plano

El colector solar plano puede ser con cubierta vidriada o no vidriada. El colector con cubierta vidriada es el más empleado para instalaciones de producción de agua caliente sanitaria. Este equipo está formado por los siguientes elementos:

Absorbedor

El absorbedor es el elemento que intercepta la radiación solar en el interior del captador y es el encargado de transformar la energía solar en energía térmica.

El absorbedor está formado, habitualmente, por una lámina metálica, normalmente de cobre (buen conductor térmico) que se oscurece básicamente con:

1. Una fina película de pintura negra calórica, que resiste temperaturas de trabajo superiores a los 100 grados Celsius.
2. Un tratamiento selectivo, basado en deposiciones electroquímicas o pinturas con óxidos metálicos que tienen una alta absorción de la radiación solar (onda corta) y una baja emisividad del calor (onda larga).

El absorbedor incorpora una parrilla de conducciones por donde circulará el fluido caloportador.

Cubierta transparente

La cubierta transparente tiene la función de aislar el colector solar de las condiciones ambientales exteriores -aunque deja pasar la radiación solar- que provocan el efecto invernadero. Normalmente está formada por una sola lámina de vidrio templado (resistente) con bajo contenido en hierro (muy transparente) de 4 mm de espesor aproximadamente.

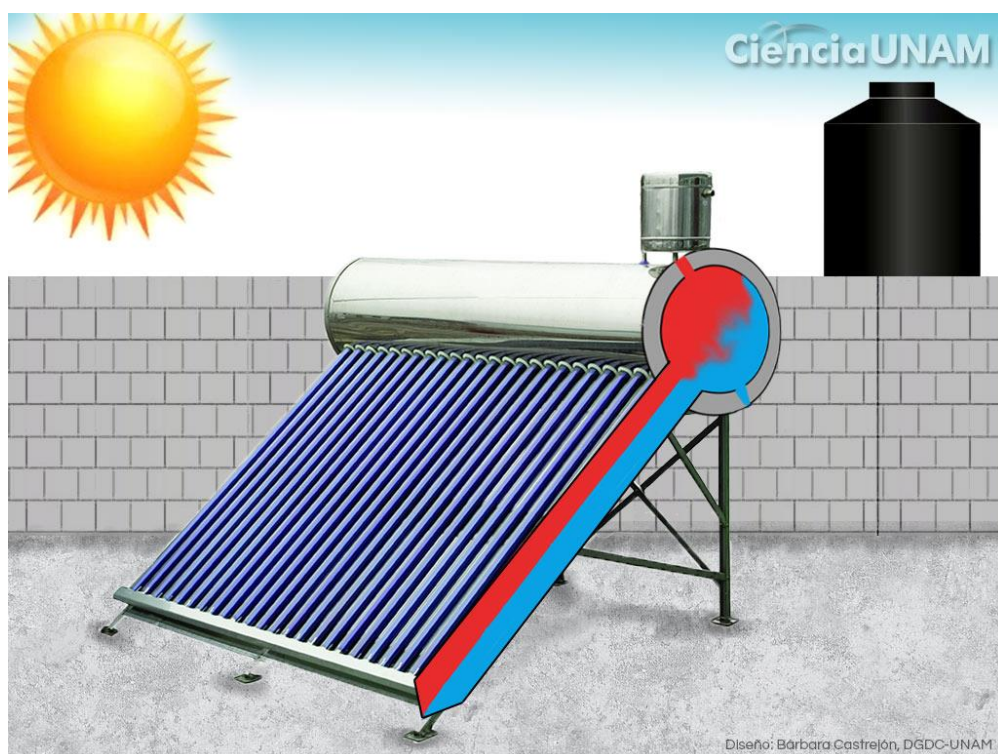
Aislamiento

El aislamiento es el elemento, tal como ocurre en el resto de aplicaciones, cumple la función de evitar las pérdidas de calor del interior del captador -concretamente del absorbedor- hacia el exterior y está formado normalmente por planchas de espumas sintéticas (poliuretano, cianurados, fibra de vidrio, etc.) ubicadas a los lados y en la parte posterior del panel solar.

Carcasa

La carcasa del colector solar plano tiene la función de alojar el resto de componentes. Este cierre normalmente está formado por un perfilado de aluminio anodizado que garantizará una resistencia del conjunto, incluso, en las condiciones extremas de trabajo. Asimismo, la carcasa, dispondrá de unas perforaciones de desagüe de condensados, en la parte inferior.

Figura 2.11: Colector Solar de tubos de vacío



Fuente: Jensen, T. (2009). Tecnología de la Energía Solar (pp. 92-121) New York. Editorial Production Supervision.

2.2.5.2. Colector solar de tubos de vacío

La tecnología de tubos de vacío es actualmente la más eficaz de las empleadas en los sistemas solares térmicos. Los sistemas de agua caliente por termosifón con tubos de vacío en los últimos años han invadido mercados en varios países.

Como se vio al analizar los colectores planos, la conversión de la energía radiante del sol en energía térmica lleva asociadas unas pérdidas por radiación, conducción y convección que disminuyen progresivamente el rendimiento a medida que aumenta la diferencia de temperatura entre el colector y el ambiente.

La mejora que aportan los colectores de tubo de vacío consiste en evitar las pérdidas por conducción y convección.

Si se pierde menos calor, obtendremos en la mayoría de los casos más rendimiento para la misma cantidad de energía del Sol.

Veremos que esto no es siempre así y que depende de la temperatura de utilización.

Los colectores de vacío encuentran su principal aplicación en los sistemas de temperaturas intermedias (calefacción, acondicionamiento de aire, procesos industriales, etc.) y en lugares fríos con diferencias elevadas entre la temperatura del colector y la del ambiente.

La técnica de vacío utilizada por los fabricantes de tubos fluorescentes se ha desarrollado y es la utilizada por los fabricantes de colectores de tubo de vacío.

Los sistemas de colectores de tubo de vacío termosifónicos se basan en los tubos evacuados.

Estos están conformados por dos tubos concéntricos entre los cuales se ha aspirado el aire produciéndose un vacío. En uno de los extremos, ambos tubos se unen sellándose el vacío. Dentro de ambos tubos se sitúan los distintos tipos de absorbedores que determinan los distintos sistemas.

Los tubos evacuados simples o termosifónicos son tubos evacuados ensamblados directamente con el depósito acumulador o de manera independiente que pueden contener solo agua o agua más anticongelante.

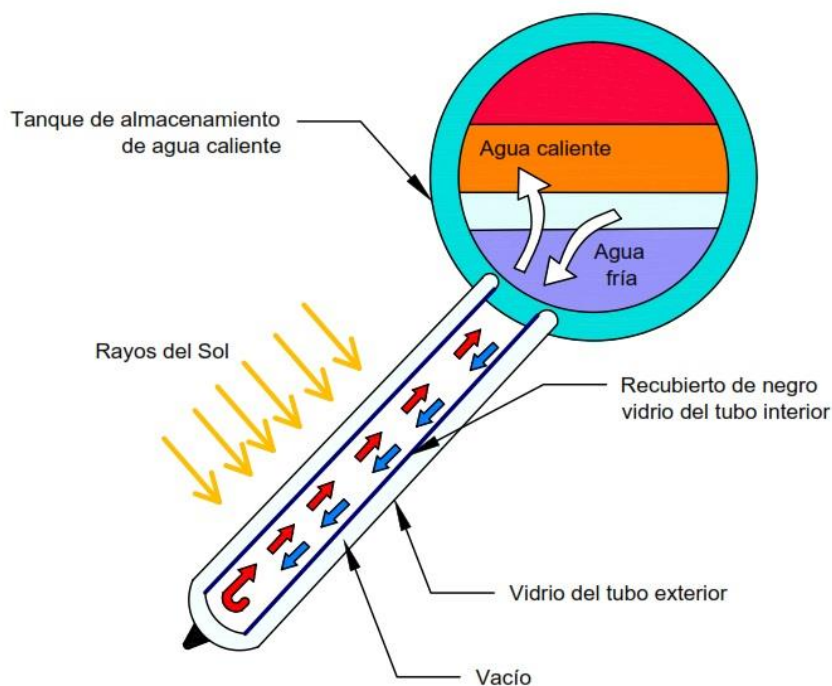
En la pared interior del tubo evacuado se sitúa una capa de color oscuro de material absorbente.

Cuando la radiación solar incide sobre la capa de material absorbente se transforma en calor y eleva la temperatura del fluido que está en contacto con él.

El fluido se calienta por convección y comienza a ascender a través del tubo siendo reemplazado por fluido frío que a su vez se calienta y reinicia el proceso.

Este tipo de tubo de vacío ofrece la ventaja de tener las ya comentadas escasas pérdidas de calor y los inconvenientes de ser muy sensible a la presión.

Figura 2.12: Tubo de vacío termosifón o evacuado simple.



Fuente: Jensen, T. (2009). Tecnología de la Energía Solar (pp. 92-121) New York. Editorial Production Supervision.

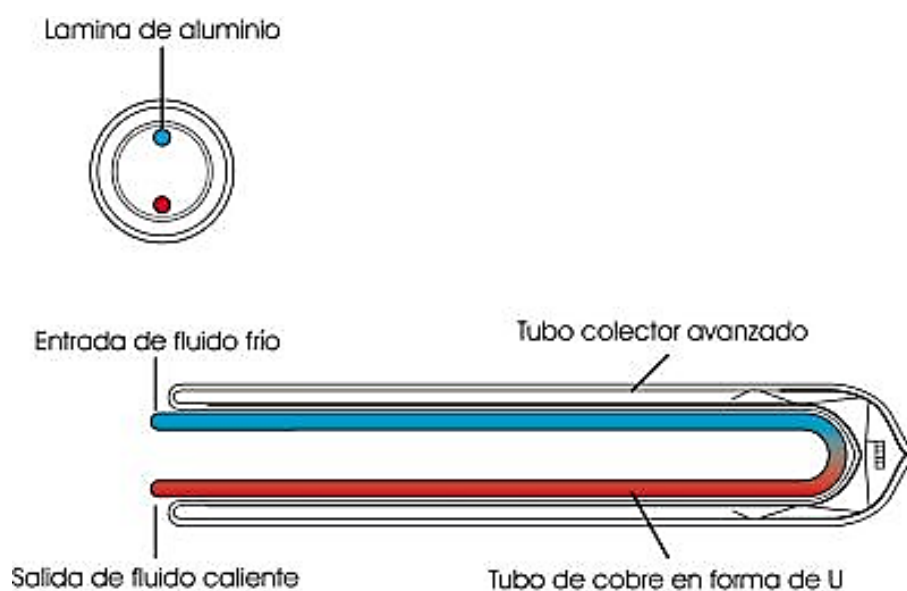
Los colectores de vacío de **flujo directo o U-Pipe** se emplean tanto en colectores individuales como en sistemas solares compactos con depósito integrado.

El absorbedor puede situarse en la pared del tubo como en el caso del tubo evacuado o en una plancha de material absorbente.

En cualquier caso, el absorbedor es recorrido en su superficie por una tubería (preferiblemente de cobre) por la que circula el fluido que eleva su temperatura en contacto con él.

Los colectores de tubo de vacío de flujo directo tienen la ventaja de poder adoptar una posición tanto horizontal como vertical sin mermar su rendimiento ya que el tubo puede rotar sobre su eje inclinándose el absorbedor de la manera más adecuada en el caso de que el absorbedor tenga la forma de plancha.

Figura 2.13: Tubo de vacío de flujo directo o U-pipe.



Fuente: Jensen, T. (2009). Tecnología de la Energía Solar (pp. 92-121) New York. Editorial Production Supervision.

Por último, dentro de la tecnología de tubo de vacío encontramos los colectores **heat pipe**.

Emplean un mecanismo denominado tubo de calor que consiste en un tubo cerrado en el cual se introduce un fluido vaporizante (mezcla de alcohol) de propiedades específicas.

Cuando el Sol incide sobre el absorbedor adosado al tubo, el fluido se evapora y absorbe calor (calor latente). Como gas asciende sobre el líquido hasta lo alto del tubo donde se sitúa el foco frío. Allí se licúa (se condensa) y cede su calor latente al fluido que nos interesa calentar volviendo a caer al fondo del tubo por capilaridad o gravedad.

Este proceso (evaporación - condensación) se repite mientras dure la radiación del Sol o hasta que el colector haya alcanzado una temperatura muy alta (en torno a los 130° C o más).

Tienen la ventaja de que cada tubo es independiente pudiéndose cambiar en pleno funcionamiento del sistema. Es altamente resistente a las heladas.

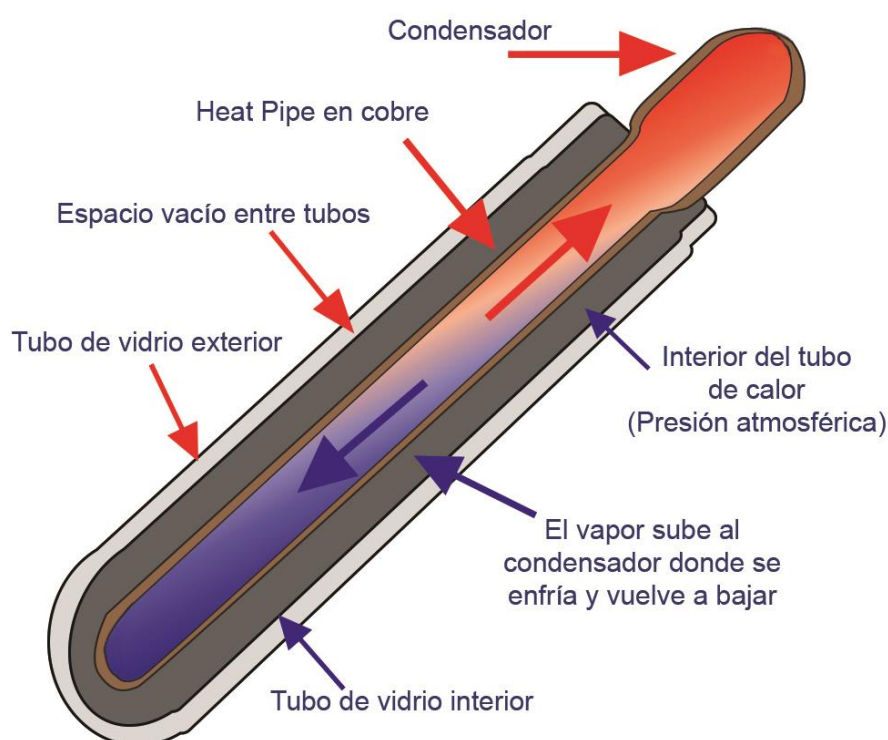
Dado que los tubos también pueden girar sobre su eje, existe la posibilidad de que adopten posiciones verticales y horizontales al igual que ocurre en los sistemas de flujo directo aunque en este caso generalmente habrá que respetar una inclinación mínima del tubo (entre 15° y 20° según el fabricante) para permitir que el fluido, una vez licuado, pueda descender por gravedad.

Cabe destacar 3 cualidades de estos colectores:

- Unión seca: el intercambio de calor se produce sin contacto directo entre el fluido caloportador y el tubo, lo que los hace muy adecuados en áreas con condiciones desfavorables del agua.
- Función diodo, la transferencia de calor se realiza siempre en un solo sentido, desde el absorbedor hacia el fluido caloportador, y nunca al revés.

- Limitación de temperatura: el ciclo de evaporación - condensación tiene lugar mientras no se alcance la temperatura crítica del fluido vaporizante, evitando así los riesgos de un aumento incontrolado de la temperatura en el interior de los tubos.

Figura 2.14: Tubo de vacío Head Pipe.



Fuente: Jensen, T. (2009). Tecnología de la Energía Solar (pp. 92-121) New York. Editorial Production Supervision.

2.2.6. Mecánica de Transferencia de Calor

La transferencia de calor es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor.

La ciencia de la transferencia de calor no sólo explica cómo la energía térmica puede ser transferida, sino también predice la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones

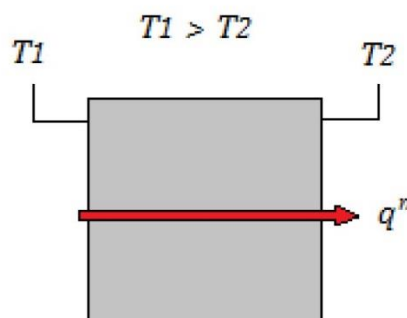
específicas, tendrá lugar esa transferencia. El hecho de que el objetivo deseado del análisis sea la rapidez de la transferencia de calor, señala la diferencia entre la transferencia de calor y la termodinámica. La termodinámica trata sistemas en equilibrio; puede usarse para predecir la cantidad de energía requerida para llevar un sistema desde un estado de equilibrio a otro; no puede usarse, en cambio, para predecir lo rápido que será el cambio, ya que el sistema no está en equilibrio durante el proceso. Existen tres modos de transferir calor: conducción, convección y radiación.

2.2.6.1. Transferencia de calor por conducción

La conducción es un proceso en el que el calor cruza las paredes de un cuerpo entre los que existe una diferencia de temperatura (ΔT).

Cuando en un cuerpo existe un gradiente de temperatura, la experiencia muestra que hay una transferencia de energía desde la región de alta temperatura hacia la región de baja temperatura. Se dice que la energía se ha transferido por conducción y que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura.

Figura 2.15: Transferencia de calor por conducción



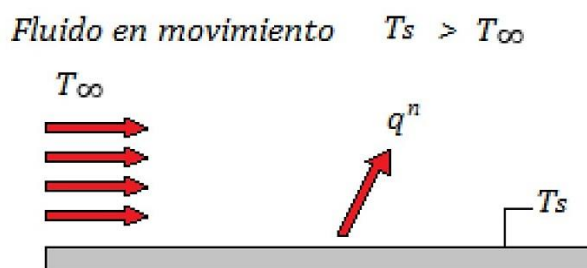
Fuente: Cengel, Y. (2013). Transferencia de calor y masa (pp. 683-708). México. Editorial McGraw Hill.

2.2.6.2. Transferencia de calor por convección

La convección es un proceso de transporte de energía debido a la acción de la conducción de calor, almacenamiento de energía y movimiento de mezcla.

Holman (1998) menciona que una placa de metal caliente se enfriará más rápidamente cuando se coloca detente de un ventilador que cuando se expone al aire en calma. Se dice que el calor se ha cedido hacia fuera de la placa y al proceso se le llama transferencia de calor por convección.

Figura 2.16: Transferencia de calor por convección



Fuente: Cengel, Y. (2013). Transferencia de calor y masa (pp. 683-708). México. Editorial McGraw Hill.

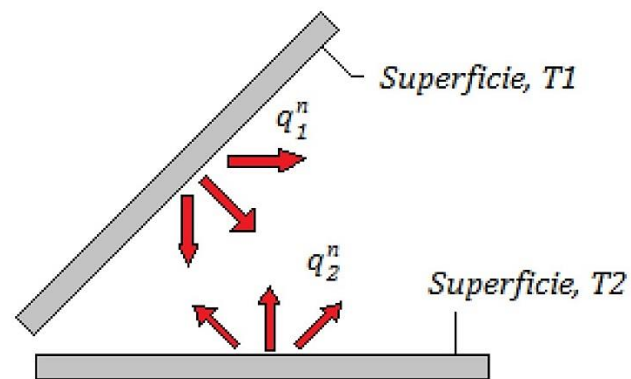
La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la forma de inducir el flujo, convección libre y convección forzada, para Incropera (1999) en la convección libre el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidades que son ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido. En la convección forzada el flujo es causado por medios externos como un ventilador, vientos atmosféricos o bomba.

2.2.6.3. Transferencia de calor por radiación

En contraposición a los mecanismos de la conducción y la convección, donde la transferencia de energía involucra un medio material, Holman (1998) menciona que el

calor también transferirse a través de zonas en las que exista un vacío perfecto. En este caso el mecanismo es la radiación electromagnética. Se limitará el análisis a la radiación electromagnética que se propaga como resultado de una diferencia de temperaturas; este fenómeno se llama radiación térmica.

Figura 2.17: Transferencia de calor por radiación



Fuente: Cengel, Y. (2013). Transferencia de calor y masa (pp. 683-708). México. Editorial McGraw Hill.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

En el éxito del diseño de sistemas térmicos solares influye dos factores. El primer factor es el nivel de radiación solar en el lugar de instalación del sistema solar y el segundo factor es la selección adecuada del colector solar. La combinación de ambos factores determina el diseño óptimo del sistema, que es expectante en zonas de alta incidencia solar como es la ciudad de Puno.¹

En el diseño es importante el régimen de uso del agua caliente, en una familia, el uso del agua caliente se hace al empezar el día o al terminar el mismo; sin embargo, en un hotel, el uso del agua caliente se realiza durante todo el día, es decir conforme se produce el agua caliente, ésta se consume. Estas dos formas del uso del agua caliente se denominan sistema puntual y sistema continuo respectivamente. El sistema continuo es más eficiente, menos costoso que el sistema puntual porque se utiliza un depósito de almacenamiento de menor capacidad, y la temperatura del agua almacenada es menor, por lo que las pérdidas de calor se reducen notablemente.

La metodología para el diseño del sistema térmico conlleva los siguientes aspectos:

- Radiación Solar
- Demanda energética
- Número de colectores

¹ Guevara, S. (2013). Diseño del Sistema de Calentamiento Solar de agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

- Volumen y aislamiento del depósito de almacenamiento.

3.1.1. Hotel – Edificio

La localización geográfica del edificio del hotel que se construirá en la Manzana P, lote 7 de la Urbanización Agricultura en Salcedo – Puno. El lote cuenta con una superficie de 300 m² aproximadamente, se ubica en la esquina de la Avenida Don Bosco con el Jirón Los Álamos.

Cuenta con los servicios de agua, desagüe y electricidad, por la ubicación del lote en una esquina el entorno que rodeará al edificio estará totalmente libre de elementos que puedan sombrear la instalación; su entorno está rodeado de casas de material noble (ladrillos y cemento).

Por consideraciones de diseño, el hotel será de dos estrellas con un aforo de 50 personas, las habitaciones serán bipersonales; el proyecto del hotel es de cuatro pisos con proyección para seis pisos. La producción de agua caliente sanitaria será para las 50 personas y solamente para una cafetería para los huéspedes en el primer piso.

Las coordenadas geográficas de Salcedo – Puno son:

- Latitud : 15,8422°
- Longitud : 70,0199°
- Radiación Solar promedio diario de 6,27 Kwh/m²/día
- Altitud : 3825 m.s.n.m.

3.1.2. Orientación e Inclinación

Los colectores solares de tubos de vacío deben estar orientados hacia el norte y la inclinación coincidirá aproximadamente con la latitud del lugar más unos grados para operación y mantenimiento.

Estructura del Soporte

El edificio del hotel proyectado dispondrá la azotea del cuarto piso para la localización de los colectores solares con las estructuras necesarias para realizar el montaje de la instalación de los colectores y los termotanques para el almacenamiento del agua caliente sanitario. Los soportes deben proveer un adecuado paso y sujeción de las tuberías.

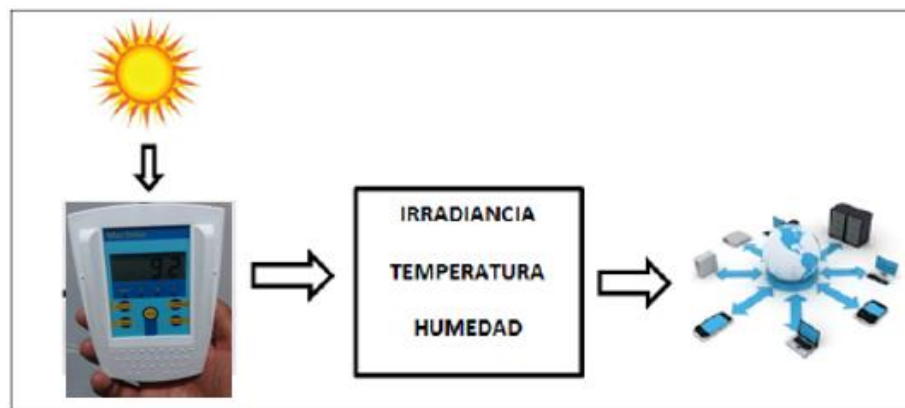
3.2. MÉTODOS

3.2.1. Radiación Solar

3.2.1.1. Descripción de la medición de irradiancia solar.

Un sistema diseñado para ejercer como una pequeña estación meteorológica con variables a medir irradiancia solar. Con el fin de utilizarlo en aplicaciones fotovoltaicas y fototérmicas y poder realizar diagnósticos del potencial solar en una determinada zona.

El dispositivo puede conectarse a un sitio web, donde se pueden descargar los datos medidos en un periodo de tiempo determinado. Tomando en cuenta que es de fácil instalación y que los datos de cada uno son almacenados en un servidor donde los datos obtenidos son representados en gráficas para una mejor interpretación de usuario en la figura 3.1 se muestra esquemáticamente como funciona este sistema de monitoreo.

Figura 3.1: Sistema de monitoreo de irradiación solar

Elaborado por el Equipo de trabajo.

3.2.1.2. Metodología para la caracterización de la radiación solar en Puno

Para la caracterización de la radiación solar, se procederá a medir mediante el instrumento piranómetro digital, y de los cuales se tomarán los datos a un intervalo de un segundo. Durante todo el día, para luego por un procedimiento estadístico de reducirán la cantidad de datos almacenada en el dispositivo.

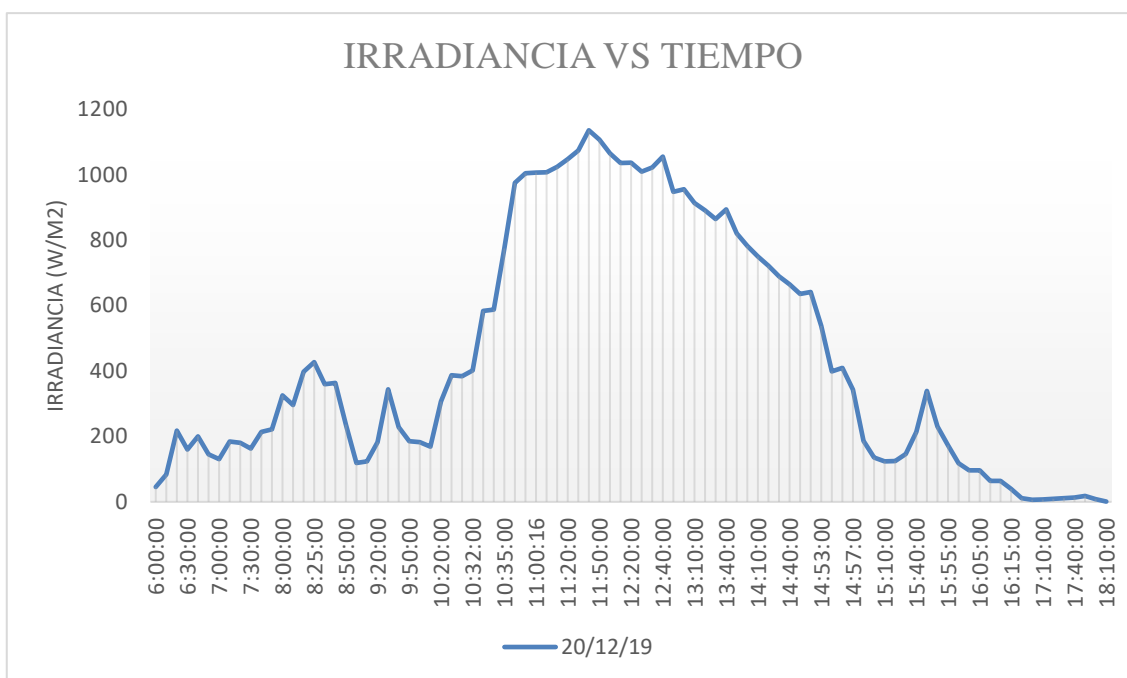
En la siguiente tabla se muestra los datos tomados de irradiancia de un día en intervalo de 5 a 10 minutos, dichos datos se tomaron manualmente.

Tabla 3.1: Irradiancia registrada manualmente en un tiempo

IRRADIANCIA(W/m ²)								
FECHA	HORA	W/m ²	FECHA	HORA	W/m ²	FECHA	HORA	W/m ²
20/12/2019	06:00:00	45.33793	20/12/2019	10:40:00	968.8151	20/12/2019	15:00:00	135.86
20/12/2019	06:10:00	83.49919	20/12/2019	10:45:00	1105.232	20/12/2019	15:10:00	123.94251
20/12/2019	06:20:00	218.0145	20/12/2019	11:00:13	1005.138	20/12/2019	15:20:00	124.19608
20/12/2019	06:30:00	159.9485	20/12/2019	11:00:16	1006.3424	20/12/2019	15:30:00	146.1293
20/12/2019	06:40:00	200.4552	20/12/2019	11:05:00	1007.9906	20/12/2019	15:40:00	214.1476
20/12/2019	06:50:00	145.3052	20/12/2019	11:10:00	1024.345	20/12/2019	15:45:00	338.7106
20/12/2019	07:00:00	130.2182	20/12/2019	11:20:00	1047.547	20/12/2019	15:49:50	229.9953
20/12/2019	07:10:00	184.2906	20/12/2019	11:30:00	1074.678	20/12/2019	15:55:00	172.3731
20/12/2019	07:20:00	180.3603	20/12/2019	11:40:00	1136.167	20/12/2019	16:01:00	118.17395
20/12/2019	07:30:00	163.2448	20/12/2019	11:50:00	1107.768	20/12/2019	16:04:59	96.17735
20/12/2019	07:40:01	214.1476	20/12/2019	12:00:00	1065.676	20/12/2019	16:05:00	96.17735
20/12/2019	07:51:00	222.0715	20/12/2019	12:11:00	1036.58	20/12/2019	16:10:00	64.22839
20/12/2019	08:00:00	325.8422	20/12/2019	12:20:00	1037.087	20/12/2019	16:10:01	64.22839
20/12/2019	08:10:00	296.3021	20/12/2019	12:25:00	1009.8923	20/12/2019	16:15:00	39.63275
20/12/2019	08:20:00	398.0443	20/12/2019	12:30:00	1022.3803	20/12/2019	16:15:01	39.63275
20/12/2019	08:25:00	427.3309	20/12/2019	12:40:00	1056.041	20/12/2019	16:20:00	11.043501
20/12/2019	08:30:00	359.9465	20/12/2019	12:50:00	948.2764	20/12/2019	16:25:00	2.16879
20/12/2019	08:40:00	363.3695	20/12/2019	13:00:00	955.503	20/12/2019	16:25:01	2.23218
20/12/2019	08:50:00	235.8273	20/12/2019	13:10:00	913.5383	20/12/2019	16:40:00	6.262187
20/12/2019	09:00:00	118.74447	20/12/2019	13:20:00	891.6685	20/12/2019	16:40:01	6.325578
20/12/2019	09:10:00	123.30861	20/12/2019	13:30:00	865.1077	20/12/2019	16:50:00	2.52213
20/12/2019	09:20:00	182.579	20/12/2019	13:40:00	894.3943	20/12/2019	16:50:01	2.395348
20/12/2019	09:30:00	343.7184	20/12/2019	13:50:00	821.2413	20/12/2019	16:55:00	3.436606
20/12/2019	09:40:00	228.157	20/12/2019	14:00:00	782.3194	20/12/2019	17:00:00	6.352583
20/12/2019	09:50:00	185.8119	20/12/2019	14:10:00	750.0534	20/12/2019	17:10:00	6.859709
20/12/2019	10:00:00	182.7058	20/12/2019	14:20:00	722.3516	20/12/2019	17:20:00	9.141777
20/12/2019	10:10:00	168.3161	20/12/2019	14:30:00	689.9589	20/12/2019	17:30:00	11.550628
20/12/2019	10:20:00	306.4446	20/12/2019	14:40:00	664.666	20/12/2019	17:40:00	12.691662
20/12/2019	10:30:00	386.9509	20/12/2019	14:50:00	635.5063	20/12/2019	17:50:00	17.57275
20/12/2019	10:31:00	383.6546	20/12/2019	14:51:00	641.4016	20/12/2019	18:00:01	7.937353
20/12/2019	10:32:00	401.5308	20/12/2019	14:53:00	538.0112	20/12/2019	18:10:00	0.7741921
20/12/2019	10:34:00	583.6526	20/12/2019	14:54:00	398.5515	20/12/2019	18:10:01	0.8375829
20/12/2019	10:34:01	587.5194	20/12/2019	14:55:00	409.5815	20/12/2019	18:21:00	0.0768932
20/12/2019	10:35:00	774.6491	20/12/2019	14:57:00	343.4015	20/12/2019	18:21:01	0.0768932
20/12/2019	10:38:00	975.3443	20/12/2019	14:58:00	186.0655			

Elaborado por el Equipo de trabajo.

Figura 3.2: Curva de irradiancia con respecto a tiempo



Elaborado por el Equipo de trabajo.

En la siguiente tabla se muestra datos registrados por el software con registro de datos a cada segundo y almacenados en una computadora

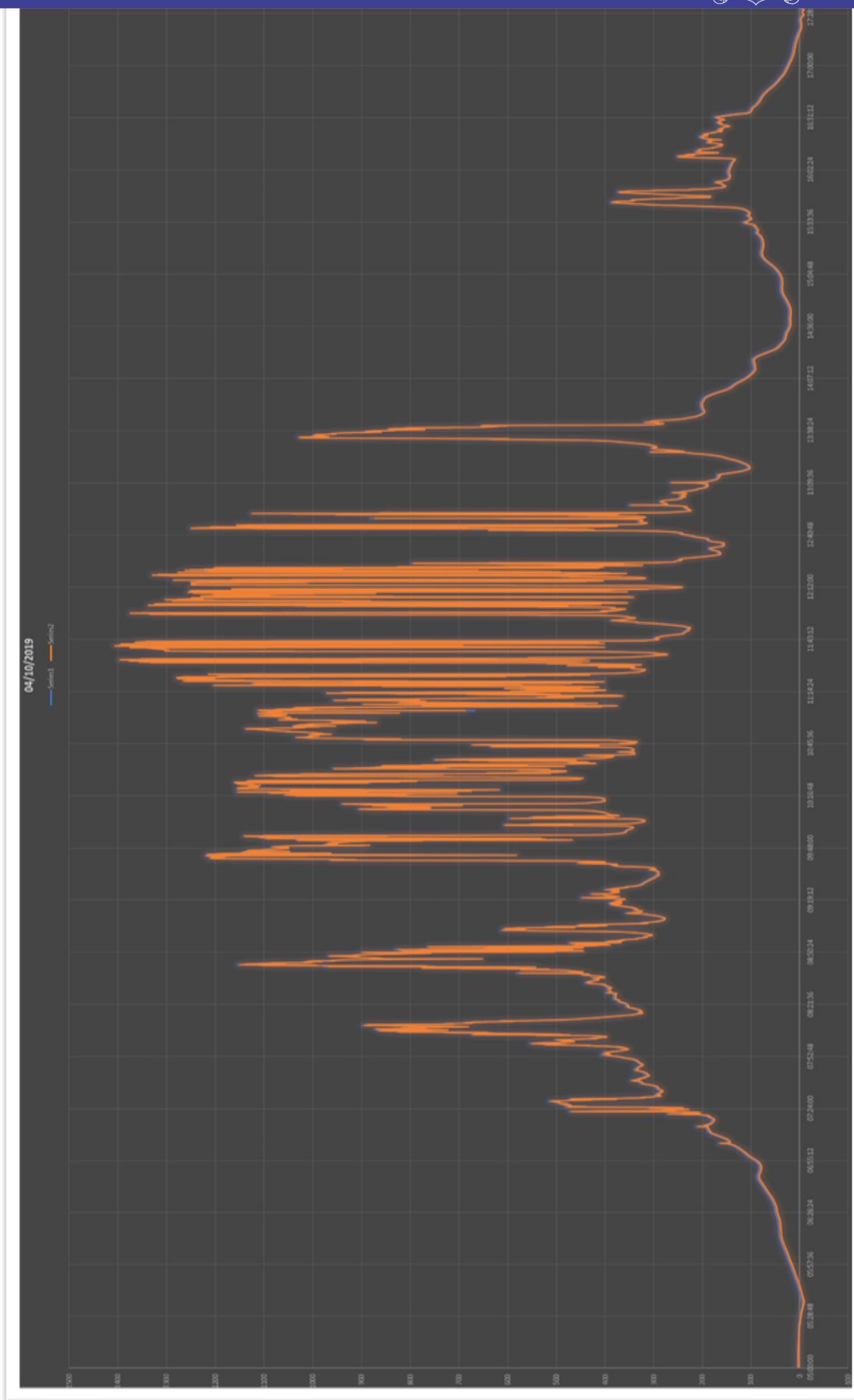
Tabla 3.2: Datos registrados por el software

hora	w/m2	DIA	hora	w/m2	DIA	hora	w/m2	DIA	hora	w/m2
06:00:00	23.91183	04/10/2019	10:00:00	355.9528	04/10/2019	11:00:00	1059.908	04/10/2019	12:01:53	944.6631
06:00:01	23.91183	04/10/2019	10:00:01	356.9037	04/10/2019	11:00:01	1060.985	04/10/2019	12:01:54	908.5938
06:00:02	23.91183	04/10/2019	10:00:02	357.6644	04/10/2019	11:00:02	1060.922	04/10/2019	12:01:55	997.9749
06:00:03	23.91183	04/10/2019	10:00:03	358.9956	04/10/2019	11:00:03	1059.844	04/10/2019	12:01:56	1148.211
06:00:04	23.72166	04/10/2019	10:00:04	360.8973	04/10/2019	11:00:04	1058.893	04/10/2019	12:01:57	1323.297
06:00:05	23.97522	04/10/2019	10:00:05	363.1794	04/10/2019	11:00:05	1058.133	04/10/2019	12:01:58	1337.179
06:00:06	24.03862	04/10/2019	10:00:06	367.0462	04/10/2019	11:00:06	1057.689	04/10/2019	12:01:59	1250.524
06:00:07	24.10201	04/10/2019	10:00:07	373.7023	04/10/2019	11:00:07	1056.485	04/10/2019	12:02:00	1191.507
06:00:08	23.97522	04/10/2019	10:00:08	384.6055	04/10/2019	11:00:08	1054.583	04/10/2019	12:02:01	1272.14
06:00:09	24.10201	04/10/2019	10:00:09	398.5515	04/10/2019	11:00:09	1053.315	04/10/2019	12:02:02	1321.141
06:00:10	24.22879	04/10/2019	10:00:10	409.835	04/10/2019	11:00:10	1052.428	04/10/2019	12:02:03	1225.801
06:00:11	24.03862	04/10/2019	10:00:11	418.8365	04/10/2019	11:00:11	1053.062	04/10/2019	12:02:04	1195.818
06:00:12	24.1654	04/10/2019	10:00:12	428.6621	04/10/2019	11:00:12	1052.935	04/10/2019	12:02:05	1250.144
06:00:13	24.35557	04/10/2019	10:00:13	443.4322	04/10/2019	11:00:13	1049.765	04/10/2019	12:02:06	1206.277
06:00:14	24.22879	04/10/2019	10:00:14	463.527	04/10/2019	11:00:14	1056.041	04/10/2019	12:02:07	1273.788
06:00:15	24.29218	04/10/2019	10:00:15	485.0165	04/10/2019	11:00:15	1062.76	04/10/2019	12:02:08	1328.304
06:00:16	24.54574	04/10/2019	10:00:16	501.9419	04/10/2019	11:00:16	1065.676	04/10/2019	12:02:09	1292.552
06:00:17	24.22879	04/10/2019	10:00:17	514.5566	04/10/2019	11:00:17	1065.486	04/10/2019	12:02:10	1227.703
06:00:18	24.35557	04/10/2019	10:00:18	524.6358	04/10/2019	11:00:18	1064.789	04/10/2019	12:02:11	1207.355
06:00:19	24.10201	04/10/2019	10:00:19	532.5596	04/10/2019	11:00:19	1067.388	04/10/2019	12:02:12	1059.844
06:00:20	24.29218	04/10/2019	10:00:20	538.9621	04/10/2019	11:00:20	1067.134	04/10/2019	12:02:13	712.2091
06:00:21	24.48235	04/10/2019	10:00:21	542.7655	04/10/2019	11:00:21	1067.198	04/10/2019	12:02:14	559.3739
06:00:22	24.35557	04/10/2019	10:00:22	544.0968	04/10/2019	11:00:22	1068.149	04/10/2019	12:02:15	468.0278
06:00:23	24.48235	04/10/2019	10:00:23	545.5547	04/10/2019	11:00:23	1069.86	04/10/2019	12:02:16	433.2896
06:00:24	24.41896	04/10/2019	10:00:24	550.4358	04/10/2019	11:00:24	1070.494	04/10/2019	12:02:17	428.2818
06:00:25	24.48235	04/10/2019	10:00:25	559.3105	04/10/2019	11:00:25	1071.445	04/10/2019	12:02:18	425.5559
06:00:26	24.48235	04/10/2019	10:00:26	568.9459	04/10/2019	11:00:26	1073.03	04/10/2019	12:02:19	422.8935
06:00:27	24.54574	04/10/2019	10:00:27	577.3769	04/10/2019	11:00:27	1074.741	04/10/2019	12:02:20	420.4213
06:00:28	24.48235	04/10/2019	10:00:28	584.0963	04/10/2019	11:00:28	1077.657	04/10/2019	12:02:21	418.3928
06:00:29	24.79931	04/10/2019	10:00:29	592.2738	04/10/2019	11:00:29	1080.003	04/10/2019	12:02:22	416.7446
06:00:30	24.67252	04/10/2019	10:00:30	600.261	04/10/2019	11:00:30	1081.651	04/10/2019	12:02:23	415.35
06:00:31	24.67252	04/10/2019	10:00:31	604.8251	04/10/2019	11:00:31	1082.285	04/10/2019	12:02:24	413.9554
06:00:32	24.73592	04/10/2019	10:00:32	607.234	04/10/2019	11:00:32	1083.996	04/10/2019	12:02:25	413.2581
06:00:33	24.60913	04/10/2019	10:00:33	608.692	04/10/2019	11:00:33	1086.722	04/10/2019	12:02:26	412.9412
06:00:34	24.60913	04/10/2019	10:00:34	608.375	04/10/2019	11:00:34	1088.18	04/10/2019	12:02:27	413.1313
06:00:35	24.54574	04/10/2019	10:00:35	607.5509	04/10/2019	11:00:35	1090.589	04/10/2019	12:02:28	413.1313
06:00:36	24.60913	04/10/2019	10:00:36	606.7268	04/10/2019	11:00:36	1092.047	04/10/2019	12:02:29	413.7019
06:00:37	24.79931	04/10/2019	10:00:37	605.5858	04/10/2019	11:00:37	1092.871	04/10/2019	12:02:30	415.2232
06:00:38	24.98948	04/10/2019	10:00:38	605.7126	04/10/2019	11:00:38	1094.709	04/10/2019	12:02:31	416.7446
06:00:39	24.79931	04/10/2019	10:00:39	607.1072	04/10/2019	11:00:39	1097.055	04/10/2019	12:02:32	419.4704
06:00:40	24.8627	04/10/2019	10:00:40	608.5018	04/10/2019	11:00:40	1100.605	04/10/2019	12:02:33	420.9918
06:00:41	24.8627	04/10/2019	10:00:41	609.0089	04/10/2019	11:00:41	1104.091	04/10/2019	12:02:34	424.4783
06:00:42	24.79931	04/10/2019	10:00:42	606.9804	04/10/2019	11:00:42	1107.388	04/10/2019	12:02:35	436.5859
06:00:43	24.8627	04/10/2019	10:00:43	602.6698	04/10/2019	11:00:43	1110.303	04/10/2019	12:02:36	450.0882
06:00:44	24.79931	04/10/2019	10:00:44	595.063	04/10/2019	11:00:44	1111.761	04/10/2019	12:02:37	454.5255
06:00:45	24.98948	04/10/2019	10:00:45	582.575	04/10/2019	11:00:45	1111.445	04/10/2019	12:02:38	460.9914

maximo	1195.691
minimo	0
kW-H/m2	6.25

Elaborado por el Equipo de trabajo.

Figura 3.3: Curva de irradiancia con respecto a tiempo



Elaborado por el Equipo de trabajo.

La radiación solar en puno, aspecto fundamental en el diseño del sistema solar térmico, se utilizó información disponible y confiable como la del SENAMHI – Puno; considerando que el Atlas de Energía Solar del Perú la tabla 5 de la Word Solar Irradiation Database. Para el diseño se trabajó en base a datos registrados por el SENAMHI durante los años 2016 y 2017 de valores promedios de radiación solar horaria W/m^2 de sus diferentes estaciones meteorológicas del departamento se muestran en las tablas 3.3 y 3.4, en base a los cuales multiplicando la radiación promedio por el número de horas del día (24 horas) obtendremos el promedio mensual de radiación en $KWh/m^2/día$ unidad usual, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.5 Se muestra como referencia la tabla 3.6 de radiaciones solares para el Perú de la Word Solar Irradiation Database.

Tabla 3.3: Valores promedios de radiación solar horaria W/m² para Puno en el año

Hora/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	11,65	4,36	2,61	1,53	0,32	0,00	0,00	0,35	13,27	36,31	46,15	25,42	11,83
7	120,23	111,46	108,84	98,97	85,19	27,43	48,39	89,03	192,03	229,55	299,35	169,71	131,68
8	313,39	322,04	358,39	326,10	122,94	49,43	71,23	330,48	462,30	490,62	534,08	356,74	311,48
9	510,71	568,82	601,65	568,60	324,10	58,47	153,03	543,61	676,47	694,79	712,19	576,84	499,11
10	693,03	781,04	768,13	763,23	698,87	635,70	576,13	723,77	888,43	868,72	883,62	780,35	755,09
11	813,32	939,86	867,52	860,13	813,55	782,97	783,35	848,03	1026,77	978,45	1026,38	820,77	880,09
12	935,90	1044,54	923,94	877,53	825,00	838,17	827,97	872,90	1080,07	958,00	1013,96	898,26	924,69
13	850,55	920,61	822,48	807,37	762,10	790,03	764,68	769,90	973,43	894,72	967,69	849,84	847,78
14	811,84	938,75	686,71	699,10	665,29	653,60	651,74	678,77	832,80	732,14	879,54	728,61	746,57
15	659,26	719,68	587,84	550,33	547,06	548,20	565,29	553,45	651,63	552,90	693,96	598,29	602,32
16	408,97	486,07	352,65	318,93	329,42	338,97	324,42	350,26	401,20	368,07	435,77	326,87	370,13
17	221,06	250,43	153,65	121,30	125,00	120,20	135,58	157,77	176,37	148,41	207,00	148,65	163,78
18	58,00	59,79	26,94	8,53	3,77	3,73	9,03	13,42	20,17	19,86	37,00	36,48	24,73
19	1,61	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,45	0,23
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	267,06	297,83	260,89	250,07	220,94	201,95	204,62	247,16	308,12	290,52	322,36	263,22	261,23
Maximo	935,90	1044,54	923,94	877,53	825,00	838,17	827,97	872,90	1080,07	978,45	1026,38	898,26	927,43

Fuente: SENAMHI – Puno.

Tabla 3.4: Valores promedios de radiación solar horaria W/m² para

Hora/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	15,72	6,22	2,42	1,42	0,35	0,00	0,00	1,02	12,65	42,34	40,56	35,18	13,16
7	118,45	110,20	102,49	93,39	87,27	36,42	50,50	120,46	178,62	248,44	287,99	215,56	137,48
8	332,12	320,56	342,18	298,17	126,36	91,56	145,28	373,55	447,36	508,75	522,13	462,44	330,87
9	543,89	557,43	586,51	512,43	368,20	290,10	320,15	590,68	651,24	710,84	671,30	602,62	533,78
10	640,22	773,28	783,42	784,25	695,21	621,19	652,46	806,17	842,35	865,37	879,55	824,71	764,02
11	798,54	892,29	869,45	843,19	818,64	788,34	792,60	881,51	975,40	982,79	1012,40	1002,45	888,13
12	990,12	981,61	901,34	865,41	834,29	809,85	831,50	924,32	982,33	960,64	998,57	974,26	921,19
13	910,67	910,12	838,12	793,62	780,43	782,10	760,23	811,10	854,41	860,30	883,44	879,37	838,66
14	843,45	820,24	673,29	702,38	683,15	661,45	654,28	685,20	700,12	735,67	801,25	812,20	731,06
15	651,12	685,34	571,22	552,82	550,45	551,12	552,48	565,18	551,58	560,45	632,00	593,41	584,76
16	320,55	423,19	361,38	331,52	334,20	337,28	538,69	422,52	395,16	354,17	415,52	375,11	384,11
17	201,78	172,58	142,11	135,14	126,18	122,34	133,56	149,56	152,40	152,18	203,23	169,42	155,04
18	43,32	41,28	19,15	7,68	5,75	4,65	8,84	14,30	19,98	28,61	35,67	38,60	22,32
19	0,72	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,51	0,16
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	267,11	278,95	258,05	246,73	225,44	212,35	226,69	264,40	281,82	292,11	307,66	291,08	262,70
Maximo	990,12	981,61	901,34	865,41	834,29	809,85	831,50	924,32	982,33	982,79	1012,40	1002,45	926,53

Fuente: SENAMHI – Puno.

Tabla 3.5: Promedio mensual de la radiación solar para Puno de los años 2016 y 2017

MES	2016	2017	PROMEDIO
Enero	6.41	6.41	6.41
Febrero	7.15	6.69	6.92
Marzo	6.26	6.19	6.23
Abril	6.00	5.92	5.96
Mayo	5.30	5.41	5.36
Junio	4.85	5.10	4.98
Julio	4.91	5.44	5.18
Agosto	5.93	6.35	6.14
Setiembre	7.39	6.76	7.08
Octubre	6.97	7.01	6.99
Noviembre	7.74	7.38	7.56
Diciembre	6.32	6.99	6.66
PROMEDIO	6.27	6.30	6.29

Elaborado por el Equipo de trabajo.

Tabla 3.6: Radiación Solar del Perú (kWh/m2/día)

Site	Lat	Long	Ele	Yr	I	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Avg	Sr
Abancay	13,63 S	72,88	2398	2	I	5,42	4,89	5,03	4,94	4,72	4,56	4,81	5,11	5,08	5,86	5,97	5,33	5,14	H
Angostura	15,17 S	71,63	4155	3	I	5,47	4,92	4,89	4,97	4,83	4,78	4,89	5,36	5,42	6,86	6,14	5,64	5,38	H
Alacocha	10,58 S	76,22	4023	2	I	4,78	4,44	4,75	5,08	5,00	4,94	5,11	5,28	4,94	5,53	5,44	5,11	5,03	H
Bambamarca	6,58 S	78,52	2600	3	I	4,75	4,67	4,64	4,69	4,56	4,94	5,11	5,17	5,17	5,17	5,53	5,39	4,96	H
Cajamarca	7,17 S	78,52	2750	1	I	4,56	4,89	4,25	4,44	4,58	4,38	4,44	5,08	4,72	4,75	5,11	5,08	4,68	H
Calaña	17,93 S	70,18	590	3	I	6,44	6,19	5,72	5,11	4,33	4,03	4,11	4,69	5,28	6,39	6,44	6,42	5,43	P
Campo de Marte	12,07 S	77,03	137	1	I	4,94	5,38	5,17	5,39	4,06	2,89	2,56	2,83	3,56	3,3	5,38	5,06	4,34	H
Capachica	15,63 S	69,83	3868	3	I	5,47	5,44	5,19	5,3	4,89	4,83	5,03	5,44	5,78	6,17	6,38	5,64	5,46	H
Cañete	13,10 S	76,30	36	3	I	5,19	5,19	5,14	4,97	3,92	2,97	2,92	3,17	3,36	4,35	4,75	5,32	4,27	H
Cartavio	7,92 S	79,17	51	3	I	5,53	5,44	5,3	5,0	4,89	4,06	4,14	4,08	4,5	5,06	5,67	5,67	4,96	H
Casa Grande	7,77 S	79,17	158	3	I	5,39	5,33	5,39	5,0	5,19	3,92	4,06	4,28	4,42	4,97	5,14	5,53	4,88	H
Caylloma	15,18 S	71,77	4320	2	I	5,36	4,92	4,78	4,86	4,75	4,78	4,97	5,44	5,31	6,06	6,14	5,86	5,38	H
Cayalli	6,88 S	79,37	150	2	I	5,36	5,81	5,3	5,39	5,25	4,44	4,72	5,08	5,32	5,78	5,86	6,03	5,37	H
Characato	16,47 S	71,45	2461	3	I	6,14	5,33	6,56	5,30	5,22	4,81	5,19	5,64	6,11	6,92	7,06	6,58	5,84	H
Conococha	10,12 S	77,33	4020	3	I	4,86	4,33	4,44	4,72	4,78	4,89	5,17	5,42	5,25	4,69	5,33	3,08	4,95	H
Cuenca Rio Verde	15,48 S	70,67	4260	3	I	5,47	4,81	5,00	5,14	4,89	4,83	4,97	5,36	5,42	5,94	5,92	5,53	5,27	H
Cuzco	13,52 S	71,95	3365	3	I	5,19	4,69	4,92	5,03	4,81	4,78	5,06	5,11	5,17	5,64	5,75	5,32	5,11	K
Desaguadero	16,65 S	69,00	3850	3	I	5,72	5,56	5,58	5,53	4,92	4,67	4,81	5,39	5,47	6,17	6,06	5,67	5,46	H
Don Martín	11,03 S	77,68	50	3	I	5,33	5,06	5,06	4,86	4,0	3,35	3,36	3,58	3,97	4,36	5,03	5,44	4,44	H
El Fraile	16,15 S	71,18	4015	2	I	5,39	4,39	4,47	4,56	4,75	4,67	4,81	5,22	5,67	6,06	5,94	5,67	5,13	H
Fundo Iberia	11,35 S	69,57	180	3	I	4,81	4,67	4,64	4,31	4,25	4,31	4,69	5,25	5,03	5,0	5,06	4,61	4,72	Vi
Granja M. Sassape	6,52 S	79,92	45	1	I	5,75	5,81	6,22	6,28	5,83	5,0	4,86	5,31	5,81	6,0	5,94	5,89	5,72	H
Hacienda Majoro	14,83 S	74,97	620	3	I	5,56	5,72	5,81	5,06	5,03	4,38	4,53	5,06	5,81	6,58	6,36	5,94	5,48	H
Haciendita	17,02 S	71,62	450	2	I	6,42	5,58	5,92	5,33	4,3^	4,06	3,94	4,5	4,78	6,08	6,42	5,56	5,25	H
Huaraz	9,53 S	77,52	3207	2	I	5,06	4,83	5,08	5,11	5,35	5,11	5,39	5,72	5,47	5,38	5,72	5,5	5,39	H
Huancayo	12,05 S	75,18	3350	3	I	5,25	4,86	4,94	4,64	4,92	4,83	5,0	5,11	5,11	5,33	5,83	5,39	5,1	H
Huancayo	12,12 S	75,33	3380	3	I	7,38	6,71	6,34	6,54	6,18	6,38	6,3	6,75	7,18	7,47	7,75	7,31	6,86	P
Huánuco	9,90 S	75,75	1912	2	I	4,67	4,53	4,64	4,64	4,78	4,58	4,81	5,14	4,86	5,08	5,33	4,89	4,83	H
Huraya-Moho	15,35 S	69,50	3890	3	I	5,35	4,69	5,0	5,31	4,83	4,83	5,14	5,56	5,69	5,86	6,03	5,31	5,29	H
Ica	14,08 S	75,73	398	2	I	5,86	5,0	5,42	5,11	4,78	5,75	4,17	4,81	5,35	6,17	6,44	6,14	5,41	H
Imata	15,82 S	71,07	4405	3	I	5,35	4,81	4,78	4,94	4,81	4,72	5,0	5,33	5,31	5,86	5,94	5,53	5,19	H
Juli	16,20 S	69,43	3862	2	I	5,5	4,81	4,47	5,25	5,11	4,78	4,97	4,97	5,47	6,06	6,06	5,33	5,33	H
Kayra	13,55 S	71,88	3219	2	I	5,0	4,47	4,61	4,86	4,64	4,78	4,97	5,03	5,08	5,33	5,56	4,89	4,93	H
Lagunillas	15,58 S	70,92	4280	3	I	5,67	5,22	5,11	5,03	4,67	4,53	4,89	5,53	5,58	6,38	6,39	5,75	5,39	H
Lambayeque	6,70 S	79,90	18	3	I	5,17	5,61	5,3	5,31	5,08	4,64	4,39	4,72	5,03	5,47	5,64	5,81	5,2	H
La Molina	12,08 S	76,95	251	3	I	5,03	5,17	5,25	5,0	3,97	3,33	3,31	3,56	3,75	4,36	4,83	5,08	4,39	H
Lampas Alto	10,08 S	77,28	4030	3	I	4,78	4,11	4,36	4,56	4,78	4,72	5,35	5,42	5,35	4,67	5,44	4,97	4,38	H
Lampas Bajo	10,07 S	77,37	3950	3	I	4,86	4,44	4,36	4,64	4,81	4,92	5,36	5,42	4,19	4,97	5,64	5,53	4,94	H
La Punta	12,07 S	77,17	13	2	I	4,3	5,08	4,94	4,72	3,89	2,94	2,89	3,0	3,17	3,61	4,38	4,86	3,99	H
La Salle	16,40 S	71,53	2330	3	I	6,14	5,33	5,58	5,33	5,22	4,72	5,11	5,64	5,94	6,58	7,06	6,58	5,77	H
Llaucan	6,65 S	75,32	2600	1	I	4,64	4,89	4,36	4,55	4,14	4,47	4,39	4,72	5,03	5,38	5,53	5,69	4,78	H
Los Cedros	3,13 S	80,67	5	3	I	4,78	5,39	5,44	5,25	5,28	4,53	4,61	4,67	4,39	4,58	4,86	5,39	4,93	H
Moquegua	17,20 S	70,93	1420	2	I	7,67	5,19	5,89	5,92	5,14	4,92	5,0	5,75	6,5	7,03	7,33	7,28	6,13	H
Neshuya	8,63 S	74,92	340	1	I	4,81	4,72	4,14	3,75	3,78	3,33	4,38	5,03	5,17	5,08	5,17	5,67	4,59	H
Pampa Blanca	17,10 S	71,75	455	2	I	5,28	4,75	5,19	4,76	3,67	3,11	3,42	3,42	3,28	4,42	4,66	5,11	4,37	H
Pampa De Majes	16,35 S	72,17	1433	3	I	6,55	5,97	6,08	5,69	5,32	4,86	5,36	5,81	6,22	7,03^	7,31	6,92	6,09	H
Pane	15,42 S	71,07	4524	3	I	5,03	4,69	4,58	4,67	4,33	4,61	4,64	4,83	4,83	5,22	5,72	5,31	4,87	H
Puno	15,83 S	70,03	3875	2	I	5,69	5,22	5,28	5,28	4,97	4,78	5,0	5,61	5,78	6,39	6,61	5,67	5,52	H
Punta de Cotes	17,68 S	71,38	15	2	I	6,67	6,36	6,61	5,19	4,14	3,25	3,0	3,67	3,42	4,58	6,36	6,28	4,96	P
Querococha	9,68 S	77,35	3935	1	I	4,33	4,22	4,36	4,83	4,72	4,61	5,0	5,25	5,17	4,67	5,31	4,64	4,78	H
Quillabamba	12,83 S	72,72	1660	2	I	4,44	4,33	4,72	4,25	4,33	4,32	4,44	4,44	4,5	4,89	4,97	4,36	4,51	H
Salcedo	15,32 S	70,02	3852	3	I	5,47	5,11	5,11	5,14	4,83	4,61	4,69	5,38	5,5	6,17	5,36	5,64	5,34	H
San Jacinto	9,17 S	78,32	283	3	I	5,06	4,33	5,17	4,94	4,75	4,0	4,33	4,3	4,97	5,72	5,83	5,83	4,95	H
San Jorge	8,53 S	74,87	270	2	I	4,81	4,61	4,67	4,5	4,42	4,36	4,92	5,39	5,0	5,19	4,53	4,61	4,75	H
San Lorenzo	9,75 S	77,47	3750	1	I	4,86	4,44	4,56	4,92	4,72	4,75	5,28	5,42	5,36	5,19	5,75	5,19	5,04	H
San Ramón	11,15 S	75,38	800	3	I	4,3	4,33	4,44	4,3	4,33	4,35	4,64	4,69	4,72	5,19	5,14	5,14	4,67	H
Sibayo	15,48 S	71,45	3847	3	I	5,36	4,69	4,69	4,94	4,81	4,75	4,89	5,0	5,22	5,86	5,94	5,33	5,14	H
Tablazo	5,37 S	81,78	147	3	I	4,19	5,28	5,61	5,17	5,33	4,64	4,83	5,44	5,64	5,89	5,78	6,14	5,33	H
Tarapoto	6,58 S	76,32	356	3	I	4,75	4,67	4,46	4,28	4,17	4,06	4,58	4,83	4,72	4,72	4,69	4,83	4,57	H
Tejedores	4,75 S	80,23	2500	3	I	4,47	4,75	5,08	4,81	5,38	4,86	5,05	5,39	5,64	5,75	5,78	5,58	5,2	H
Tinajones	6,67 S	79,47	220	3	I	5,44	5,61	5,39	5,38	5,72	5,06	5,75	5,86	6,0	6,22	6,3	6,64	5,81	H
Tunelcero	13,12 S	75,07	4600	3	I	4,97	4,67	5,14	4,97	4,67	4,81	5,08	5,42	5,38	5,66	6,97	5,44	5,19	H
Yurac	9,00 S	75,67	420	3	I	4,31	4,0	4,14	4,11	3,94	3,67	4,17	4,72	4,69	4,67	4,64	4,31	4,38	H
Zorritos	3,67 S	80,67	5	2	I	5,03	5,33	5,08	5,42	5,25	5,11	4,75	4,25	4,56	5,11	5,42	5,33	5,07	H

Fuente: World Solar Irradiation Database

3.2.1.3. Inclinación y orientación del colector solar

La radiación solar obtenida de la tabla 3.5 supone que los rayos solares inciden perpendicularmente a la superficie del colector, lo cual no es así por el movimiento constante del sol en el transcurso del día, lo cual implica determinar la posición del sol a través de sus coordenadas solares:

- Altura solar
- Azimut solar

De la misma manera la ubicación del colector solar en Puno estará determinado por sus coordenadas terrestres de Puno:

- Latitud
- Longitud

Entonces para que el colector solar capte la mayor radiación solar en el transcurso del día, este debe estar orientado hacia el norte (azimut) y su inclinación debe ser aproximadamente 16° (latitud).

3.2.1.4. diseño de un colector solar de tubos de vacío.

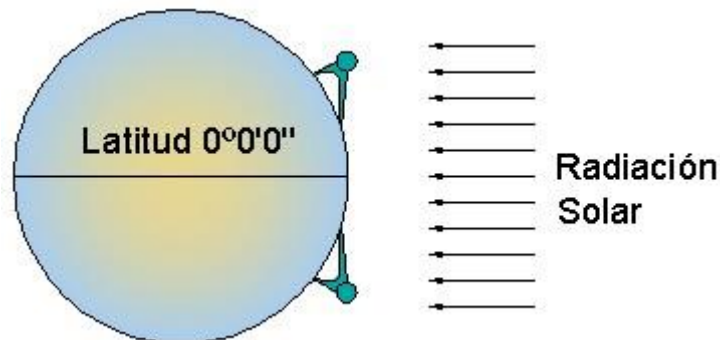
Para un mejor funcionamiento del calentador, es decir, alcanzar la máxima captación solar, sería necesario que los tubos colectores se ubiquen de tal manera que los rayos solares incidan perpendicularmente sobre ellos (Figura 3.4).

Sin embargo, como el colector va a estar fijo a una estructura, y la inclinación de los rayos varía en el transcurso del día y con el cambio de las estaciones, entonces es imposible que el colector esté siempre perpendicular a los rayos solares. Para maximizar la radiación se

debe conocer la geometría del movimiento solar, y estimar la localización promedio del sol según el tiempo del día y del año en que se utilizará el colector.

Como ya se observó en el capítulo II, los colectores solares deben estar ubicados según la latitud en donde se quiera emplazar el sistema, si se está en el norte, el colector tiene que estar orientado hacia el sur y si se está en el sur orientado hacia el norte (Figura 3.4).

Figura 3.4: Captación solar



Fuente: Departamento de Física. Universidad Nacional Heredia. Costa Rica.

Para una captación total de la radiación solar, el colector debería estar en posición horizontal, pero se tendría dificultad con el efecto termosifón, que nos permite la circulación natural dentro del colector. El ángulo correcto para una mejor captación y para poder mejorar el efecto termosifón, determinado mediante pruebas, es de 15 a 20 grados, con respecto a la horizontal, pero tomando en cuenta la corrección por la latitud de ubicación, es decir, se debe sumar el ángulo de latitud*

*Documento del seminario "Las aplicaciones productivas y sustentables de la energía solar" Laboratorio de Energía Solar. Departamento de Física. Universidad Nacional Heredia. Costa Rica.

La ciudad de Puno se encuentra a una latitud de 15.8422° sur, por lo tanto, ***el colector debe estar orientado hacia el norte y su ángulo de inclinación con respecto a la horizontal es de 20°*** (tomando el valor de 15.8422° como referencia).

Los tubos de vacío, por los que circula el agua, se colocan de manera que el agua fría, la cual proviene del tanque de almacenamiento, entre por la parte superior y una vez que se calienta por la radiación solar, regresa al tanque debido a su menor densidad. Otra vez ingresa a los tubos agua fría del tanque, pero esta vez más caliente que en el ciclo anterior, por la mezcla que ya se dio en el interior del tanque; se vuelve a calentar por la radiación solar y sube otra vez al tanque. Dicho proceso de entrada de agua fría y salida del agua caliente en los tubos de vacío, continúa hasta que se logra un equilibrio térmico, cesando el movimiento, siendo éste el ***efecto termosifón***. De esta manera el agua caliente se acumula en el tanque, la cual puede ser utilizada cuando exista necesidad.

Una vez utilizada una cantidad de agua caliente, se llena con agua fría de la red, reiniciándose el movimiento. Para poder contar con agua caliente para consumo en la noche, es necesario que el tanque de almacenamiento tenga un mínimo de pérdidas y pueda mantener el agua caliente cuando no existe radiación solar.

Otro dato muy importante es el consumo diario que se va a tener, debido que, el colector tiene que ser capaz de abastecer las necesidades de agua caliente en todo el día.

Hay que tomar en cuenta que la radiación en la ciudad de Puno es muy variable, es decir, unos días puede presentarse una buena radiación en todo el día, así como también puede ser sólo por unas horas o tener un día totalmente nublado sin presencia de radiación directa. Por ese motivo el tanque de almacenamiento del sistema va a ser de 400 litros, para evitar la carencia de agua caliente por consumo y/o por falta de radiación solar. Además el tiempo que tarda en llegar a un equilibrio térmico el calentador que se está estudiando es de

aproximadamente 2 horas con una radiación solar alta (396 a 1184 W/m²), pudiendo tardar más en ausencia de radiación solar directa.

Entonces, si el consumo diario en el hotel es de 25 litros por persona, el calentador que se está diseñando va a solventar sin problemas la demanda de agua caliente.

El objetivo de reducir el ángulo de inclinación lo más posible es para aumentar la capacidad de captación solar, esto se explica con la siguiente ecuación:

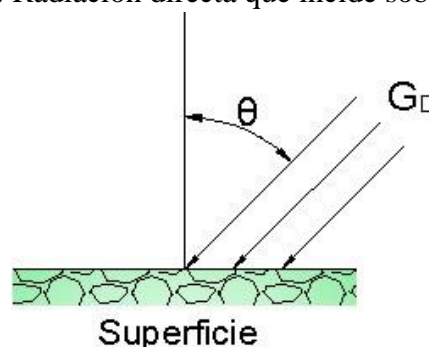
$$G_{solar} = G_D * \cos \theta \quad (3.1)$$

donde, G_{solar} es la energía solar que incide sobre una superficie, G_D es la radiación solar directa (Figura 3.5) y θ es el ángulo de incidencia de la radiación solar directa.

Se puede deducir entonces que, mientras más pequeño sea el ángulo θ , mayor será la energía total que incide sobre una superficie.

Se tiene que tomar en cuenta que las mediciones de radiación solar tomadas en el proyecto de investigación y de las cuales se ha tomado el valor medio, fueron realizadas en el mismo ángulo en que se encuentran los tubos, es decir 45° aproximadamente.

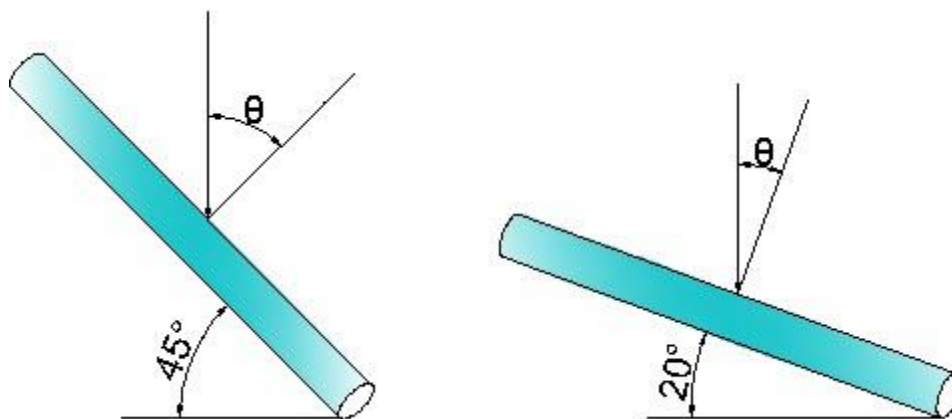
Figura 3.5: Radiación directa que incide sobre una superficie



Fuente: Departamento de Física. Universidad Nacional Heredia. Costa Rica.

La representación esquemática de esta situación en un colector solar se representa en la figura 3.6.

Figura 3.6: Radiación directa sobre el colector de 45° y 20° de inclinación



Fuente: Departamento de Física. Universidad Nacional Heredia. Costa Rica.

Para demostrar esto analíticamente, primero se tiene que calcular el valor de la radiación solar directa, para lo cual se despeja de la ecuación anterior, entonces:

$$G_{solar} = G_D * \cos \theta$$

$$G_D = \frac{G_{solar}}{\cos \theta}$$

$$G_D = \frac{261.97}{\cos 45^\circ}$$

$$G_D = 370.48 \text{ W/m}^2$$

Entonces, el valor de radiación solar directa promedio ha sido 498.68 W/m^2 .

Ahora se determina cuánto por ciento de la radiación directa al ángulo de 45° se está aprovechando:

$$\frac{261.96}{370.48} = 0.707 = 70.7\%$$

Ahora con el ángulo de 20° en la ecuación 3.1:

$$G_{solar} = G_D * \cos \theta$$

$$G_{solar} = 370.48 * (20)$$

$$G_{solar} = 348.14 \text{ W/m}^2$$

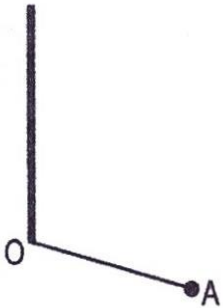
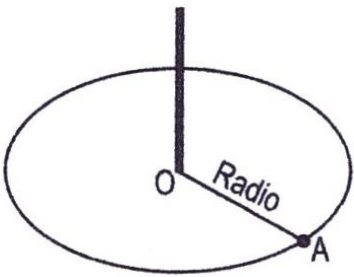
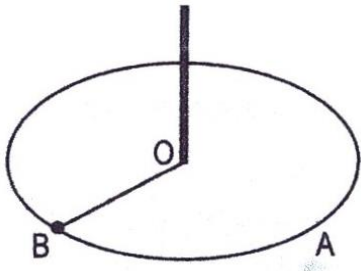
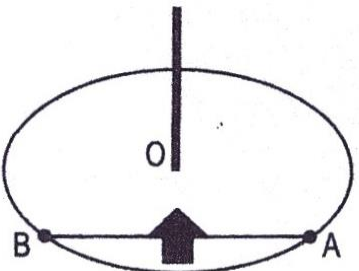
$$\frac{348.14}{370.48} = 0.939 = 94\%$$

Como se puede demostrar analíticamente, al reducir el ángulo de inclinación de los tubos de vacío con respecto a la horizontal de 45° a 20° , va a aumentar en un 23.3% la capacidad de captación solar, lo que obviamente va a mejorar la eficiencia del colector

3.2.1.5. Norte geográfico

La determinación o ubicación del norte geográfico es muy importante, porque de él dependerá que la radiación solar captada por el colector sea la máxima. Porque el norte magnético no coincide con el norte geográfico, y la brújula u otros dispositivos que señalan los puntos cardinales, en este caso determina el norte magnético. Por lo que la metodología para determinar el norte geográfico se determina a continuación en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Determinación del norte geográfico

Trazado	Método a Seguir
	<p>En torno a 2 o 3 horas antes del mediodía (12 h), clavar en la tierra una estaca o una varilla, tubo o similar, de unos 2,5 m de largo.</p> <p>La varilla o similar proporcionará una sombra.</p> <p>En el momento <i>en que se considere oportuno</i>, marcar el extremo de la sombra. Punto A.</p>
	<p>Haciendo centro en O (varilla o similar), trazar una circunferencia con radio O-A.</p> <p>La sombra se irá recogiendo hasta ser nula y empezar a proyectarse en sentido contrario.</p>
	<p>Esperar a la tarde y a que la sombra que hace la varilla o similar se vaya prolongando dentro de la circunferencia.</p> <p>Cuando el extremo de la sombra toque la circunferencia, marcar el punto de contacto. Punto B.</p>
	<p>Unir el punto A con el B. La recta trazada será perpendicular a la orientación NORTE.</p> <p>El NORTE geográfico estará orientado mirando desde la recta A-B hacia la varilla, tal como se representa en la figura.</p>

Fuente: Roldan, J. (2017). Fuentes de energía (pp.22). España. Editorial Paraninfo.

3.2.1.6. Aplicación del Software a las radiaciones solares promedio mensual de Puno

El Sun World 2019 realizado en Lima del 12 al 14 de noviembre sobre la importancia del uso de Energías Renovables y analizar las actuales aplicaciones de la energía solar, nos dan una idea de las diferentes investigaciones en energía solar y de los diferentes softwares que se aplican en función al área de investigación, en el diseño de Sistemas solares térmicos inciden en la determinación de la radiación solar de diseño y la simulación es aplicada a otras áreas de investigación. Por ejemplo, el Software Riunet nos permite obtener la curva diaria de variación de radiación solar incidentes sobre una superficie de pendiente variable en función de la ubicación geográfica para cada día del año. Riunet: <https://riunet.upv.es/handle/1025/30864>. El software que se adapta al problema de investigación que se desarrolló en la tesis es el de la Universidad de Jaen de España, que nos permite determinar la radiación solar que incidirá en el colector solar, considerando los aspectos de orientación, inclinación, latitud, azimut, reflexividad del entorno donde estarán ubicados los colectores en Salcedo – Puno. Se muestra en la tabla 3.8 el formato de aplicación del software de cálculo de la radiación media mensual sobre superficie arbitrariamente orientadas e inclinadas.

Tabla 3.8: Formato de Cálculo de la radiación media mensual sobre superficie arbitrariamente orientadas e inclinadas

CÁLCULO DE LA RADIACIÓN MEDIA MENSUAL SOBRE SUPERFICIE ARBITRARIAMENTE ORIENTADAS E INCLINADAS.

INSTRUCCIONES:

1. En este apartado se puede calcular el valor de la irradiación diaria media mensual a cualquier inclinación de los paneles y con cualquier orientación de estos. Para ello es preciso tener en cuenta las siguientes instrucciones: En la tabla de abajo en las celdas correspondientes a los meses se ha de introducir el valor de la irradiación diaria media mensual, medido en Wh/m².
2. En la celda de latitud, se deberá introducir esta expresada en grados.
3. En el apartado de inclinación se introducirá esta expresada en grados teniendo en cuenta que cero grados es una superficie horizontal.
4. En Reflexividad, se debe introducir un valor de entre cero y uno, ya que este valor expresa la cantidad de radiación que llega al entorno del panel y es reflejada por el suelo paredes, etc. Si no se conoce con exactitud se puede considerar cero. Un valor orientativo puede ser 0.2
5. En el apartado acimut se introducirá la orientación del panel, sabiendo que un acimut de ce grados es una orientación al sur, un acimut de +90° es una inclinación al oeste y un valor de -90° nos indica una orientación al este.
6. Todas las medidas calculadas vienen expresadas en Wh/m².

1

ENERO	2600	FEBRERO	3300
MARZO	4700	ABRIL	5400
MAYO	6700	JUNIO	7400
JULIO	7600	AGOSTO	7000
SEPTIEMBRE	57000	OCTUBRE	4000
NOVIEMBRE	2900	DICIEMBRE	2100

Inclinación de los paneles (B)

Considerar como LATITUD del Lugar **CALCULAR**

Ejemplo: Latitud de Jaén = 37.5°

REFLEXIVIDAD

ACIMUT(a) **RESET**

2

IRRADIACIÓN DIARIA MEDIA ANUAL

	R. DIRECTA	R. DIFUSA	R. ALBEDO	G. GLOBAL
ENERO				
FEBRERO				
MARZO				
ABRIL				
MAYO				
JUNIO				
JULIO				
AGOSTO				
SEPTIEMBRE				
OCTUBRE				
NOVIEMBRE				
DICIEMBRE				

GRUPO IDEA © 2004 — I+D en Energía Solar y Automática.

Fuente: www.ujaen.es/investiga/solar

3.2.1.7. Radiación solar de diseño

En el diseño de un sistema térmico solar la determinación de la radiación es fundamental, para lo cual se tomará los siguientes criterios, considerando que se tiene información de la radiación para cada mes:

- **Baja radiación:** se aplica cuando se desea cubrir durante todo el año la demanda de agua caliente con energía solar. En meses de alta radiación el sistema es ineficiente, porque al incrementarse la radiación se produce un exceso de agua caliente.
- **Alta radiación:** Se considera esta radiación cuando se cuenta con un sistema auxiliar para el calentamiento del agua, como electricidad, gas, leña, etc. Son los sistemas térmicos más eficientes, pero el inconveniente de que se tiene que tener un sistema auxiliar.
- **Valor promedio de radiación:** La radiación promedio anual satisface parcialmente la demanda de agua caliente durante los meses de baja radiación y se tiene más agua caliente durante los meses de alta radiación, podría ser complementado con un sistema auxiliar para los meses fríos.

Considerando estos criterios de diseño la radiación que se considerará en el sistema térmico será la radiación correspondiente al mes que tenga menor valor, es decir asumiremos el criterio de baja radiación, asegurando que tendremos agua caliente sanitaria (ACS) durante todo el año y nos dará un factor de seguridad en el diseño del sistema y, es más es antieconómico contar con un sistema auxiliar eléctrico o a gas complementario para el calentamiento del agua en el hotel.

Al analizar el proceso que se produce al incidir la radiación en el colector solar, esta puede ser total o parcialmente absorbida, otra parte ser reflejada y una última atraviesan la superficie. El valor de la energía incidente total sobre el colector P_t , será igual a la intensidad de radiación por la superficie de exposición considerando la transmitancia de la misma τ , que dejará pasar solamente una parte de dicha energía, y por el coeficiente de absorción α de la superficie absorbadora, es decir:

$$P_t = I_d \cdot A \cdot \tau \cdot \alpha \quad (3.2)$$

Donde: I_d : es la radiación de diseño (W/m^2)

A : área del colector (m^2)

τ : Transmitancia de la superficie transparente.

α : Absortancia de la superficie absorbadora.

3.2.1.8. Selección del tipo de colector solar

En el ámbito de la región sur del Perú, la disponibilidad de colectores de tubo de vacío por su alta eficiencia entre 70-80% respecto a los colectores de placa plana que aproximadamente tenían de 40%. La tecnología de los colectores de placa plana se desarrolló en Arequipa, pero desde el punto de vista técnico no se tenía referencia de ensayos de sus colectores como en Europa más precisamente España, donde actualmente son diseñados y ensayados tecnológicamente, obteniéndose altas eficiencias. Actualmente los colectores solares que ofrece la industria solar arequipeña es la de tubos de vacío, tecnología desarrollada en China.

Considerando estos aspectos y la ventaja competitiva que tiene Puno en cuanto a la radiación solar (ser uno de los tres departamentos con mayor radiación del Perú) el proyecto se utilizará colectores solares de tubos de vacío termosifónicos que son

económicos y su funcionamiento están basados en la convección natural del agua que hace que disminuya la densidad produciéndose un circuito de circulación natural del agua: termosifón.

3.2.2. Demanda Energética

La demanda energética es la energía necesaria para elevar la temperatura de un volumen determinado de agua, desde una temperatura inicial (t_i) hasta una temperatura de consumo (t_f).

$$D_e = MC_e(t_f - t_i) \quad (3.3)$$

Donde: D_e : Demanda energética (KJ/día)

M : Masa de agua a calentar en un día (KJ/día)

C_e : Calor específico del agua (4,18 KJ/Kg°C)

t_i : Temperatura inicial del agua (°C)

t_f : temperatura de consumo del agua (°C)

Para diseñar la cantidad total de agua caliente sanitaria necesaria para el hotel ; para las 50 personas y para uso de la cafetería requerimiento especificado por el proyecto del hotel, se utilizará tablas que nos determinarán la cantidad de litros por día que consume una persona. La experiencia de instituciones de investigación en energía solar como las españolas, especifican los consumos en función del tipo de vivienda; pero para la aplicación en nuestro país y región se debe considerar nuestra realidad. En ese sentido se buscó información apropiada a nuestra región y realidad. El ITINTEC y algunas universidades nacionales recogieron la larga experiencia para desarrollar sistemas solares en Arequipa de la empresa Energías Renovables Solartec S.R.L. que establece en base a sus proyectos desarrollados los siguientes consumos de agua caliente sanitaria (ACS):

Tabla 3.9:Consumos de agua caliente sanitaria (ACS).

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Fuente: Grupo Formadores Andalucía – CTE-CSCAE. España.

Tabla 3.10: Consumos típicos de agua caliente.

Consumos típicos de agua caliente	
▪ Hotel – Alojamiento	: 50 litros por habitación por día
▪ Lavandería	: 60 litros por 10 Kg de lavado
▪ Restaurante	: 10 litros por mesa

Fuente: Energías Renovables Solartec S.R.L.

El hotel para el cual se diseñará el sistema térmico, considera 25 habitaciones dobles en su proyecto de funcionamiento. Considerando esta fuente de información más real y

que se adecúa a nuestro medio, el consumo de agua caliente por habitación por día que se considerará será de 50 L/día.

Entonces la masa de agua M está dada por la siguiente ecuación:

$$M = n_p \cdot V_p \quad (3.4)$$

Donde: n_p : Número de personas (personas/día)

V_p : Volumen de agua per cápita (L/persona)

3.2.3. Volumen

La unidad del SI para volumen es el metro cúbico, símbolo: m³. En laboratorios químicos y en transacciones al por menor la unidad que se utiliza usualmente es el litro, símbolo l o L. La 12 Conferencia General de Pesos y Medidas en 1964 decidió abolir una definición anterior de litro y definir que 1 litro es exactamente 1 dm³.

Por lo tanto:

$$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3.$$

$$1000 \text{ l} = 1 \text{ m}^3.$$

$$1 \text{ ml} = 1 \text{ cm}^3.$$

Las unidades decilitro (dl) y centilitro (cl), por tradición, se admiten como unidades legales en algunos países. Sin embargo, para evitar posibles confusiones con el decímetro cúbico y el centímetro cúbico, respectivamente, no se recomienda su uso en la industria y la ciencia.

El mililitro (símbolo: ml o mL) es, sin embargo, usado comúnmente en laboratorios y para declarar la cantidad de producto en preenvases. También es usado en los cálculos de este folleto.

3.2.4. Densidad

La densidad se define como la relación de la masa de un producto (por ejemplo, como si fuera pesado en el vacío) con su volumen. La unidad coherente del SI para la densidad es kg/m³ y se debería utilizar normalmente para informar los valores de densidad de

productos. Dado que las mediciones de masa en este folleto se dan en gramos (g) y las mediciones de volumen en mililitros (ml), las fórmulas y cálculos excepcionalmente utilizan la unidad g/ml, la cual no debe confundirse con la unidad de concentración.(Organización internacional de metrología legal., 2011)

$$1 \text{ g/ml} = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 3.11: Densidad de aire libre de agua como función de la temperatura

Los valores se expresan en kg/m³ Para obtener valores en g/ml, dividir por 1000.

t (°C)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	999,8396	999,8463	999,9528	999,8591	999,8653	999,8713	999,8771	999,8827	999,8882	999,8934
1	999,8985	999,9035	999,9082	999,9128	999,9172	999,9214	999,9254	999,9293	999,9330	999,9365
2	999,9399	999,9431	999,9461	999,9489	999,9516	999,9541	999,9565	999,9587	999,9607	999,9625
3	999,9642	999,9657	999,9670	999,9682	999,9692	999,9701	999,9708	999,9713	999,9717	999,9717
4	999,9720	999,9718	999,9716	999,9711	999,9705	999,9698	999,9689	999,9678	999,9666	999,9652
5	999,9637	999,9620	999,9602	999,9582	999,9560	999,9537	999,9513	999,9487	999,9459	999,9430
6	999,9399	999,9367	999,9334	999,9299	999,9262	999,9224	999,9184	999,9143	999,9101	999,9057
7	999,9011	999,8964	999,8916	999,8866	999,8815	999,8762	999,8708	999,8652	999,8595	999,8537
8	999,8477	999,8416	999,8353	999,8289	999,8223	999,8157	999,8088	999,8019	999,7947	999,7875
9	999,7801	999,7726	999,7649	999,7571	999,7492	999,7411	999,7329	999,7246	999,7161	999,7075
10	999,6987	999,6898	999,6808	999,6717	999,6624	999,6530	999,6434	999,6337	999,6239	999,6140
11	999,6039	999,5937	999,5834	999,5729	999,5623	999,5516	999,5408	999,5298	999,5187	999,5074
12	999,4961	999,4846	999,4730	999,4612	999,4494	999,4374	999,4253	999,4130	999,4007	999,3882
13	999,3756	999,3628	999,3500	999,3370	999,3239	999,3106	999,2973	999,2838	999,2702	999,2565
14	999,2427	999,2287	999,2146	999,2004	999,1861	999,1717	999,1570	999,1424	999,1276	999,1127
15	999,0977	999,0826	999,0673	999,0519	999,0364	999,0208	999,0051	998,9892	998,9733	998,9572
16	998,940	998,9247	998,9083	998,8917	998,8751	998,8583	998,8414	998,8244	998,8073	998,7901
17	998,7728	998,7553	998,7378	998,7201	998,7023	998,6845	998,6665	998,6483	998,6301	998,6118
18	998,5934	998,5748	998,5562	998,5374	998,5185	998,4995	998,4804	998,4612	998,4419	998,4225
19	998,4030	998,3833	998,3636	998,3438	998,3238	998,3037	998,2836	998,2633	998,2429	998,2224
20	998,2019	998,1812	998,1604	998,1395	998,1185	998,0973	998,0761	998,0548	998,0334	998,0119
21	998,9902	997,9685	997,9467	997,9247	997,9027	997,8805	997,8583	997,8360	997,8135	997,7910
22	997,7683	997,7456	997,7227	997,6998	997,6767	997,6536	997,6303	997+6070	997,5838	997,5600
23	99735363	997,5126	997,4887	997,4648	997,4408	997,4166	997,3924	997,3670	997,3436	997,3191
24	997,2944	997,2697	997,2449	997,2200	997,1950	997,1699	997,1446	997,1193	997,0939	997,0685
25	997,0429	997,072	996,9914	996,9655	996,9396	996,9135	996,8873	996,8611	996,8347	996,8083
26	996,7818	886,7551	996,7284	996,7016	996,6747	996,6477	996,6206	996,5935	996,5661	996,5388
27	996,5113	996,4837	996,4561	996,4284	996,4003	996,3726	996,3446	996,3165	996,2883	996,2600
28	996,2316	996,2032	996,1746	996,1460	996,1172	996,0884	996,0595	996,0305	996,0014	995,9722
29	995,9430	995,9136	995,8842	995,8546	995,8250	995,7953	995,7655	994,7356	995,7056	995,6756
30	995,6465	996,6152	995,5848	995,5544	995,5239	995,4934	995,4627	995,4319	995,4011	995,3701
31	995,3391	995,3080	995,2768	995,2456	995,2142	995,1828	995,1512	995,1196	995,0879	995,0561
32	995,0243	994,9923	994,9603	994,9282	994,8960	994,8637	994,8313	994,7988	994,7663	994,7337
33	994,7010	994,6682	994,6353	994,6024	994,5693	994,5362	994,5030	994,4697	994,4364	994,4029
34	994,3694	994,3358	994,3021	994,2683	994,2345	994,2005	994,1665	994,1324	994,0982	994,0640
35	994,0296	993,9952	993,9607	993,9261	993,8915	993,8567	993,8219	993,7870	993,7521	99,7070
36	993,6819	993,6467	993,6114	993,5760	993,5406	993,5050	993,4694	993,4338	993,3980	993,3622
37	993,3263	993,2903	993,2542	993,2181	993,1818	993,1455	993,1092	993,0727	993,0362	992,9996
38	992,9629	992,9261	992,8893	992,8524	992,8154	992,7784	992,7412	992,7040	992,6668	992,6294
39	992,5920	992,5545	992,5169	992,4792	992,4415	992,4037	992,3658	992,3279	992,2899	992,2518
40	992,3126									

Fuente: (H. Wagenbreth yW. Blanke, publicado en PTB-Mitteilungen, No. 6, 1971, p.412- 415)

3.2.5. Número de Colectores

En la determinación del número de colector del sistema térmico solar es necesario conocer el área de captación y la eficiencia global del sistema térmico del colector de tubos de vacío.

El área de captación es el área necesaria para captar la energía solar que pueda satisfacer la demanda energética. El área depende de la radiación solar de diseño y de la eficiencia global del sistema térmico del colector de tubos de vacío.

$$A_{cap} = \frac{D_e}{I_d \cdot \eta_g} \quad (3.5)$$

Donde: A_{cap} : Área de captación (m^2)
 I_d : Radiación solar de diseño (KJ/m^2)
 D_e : Demanda energética (KJ)
 η_g : Eficiencia global del sistema (%)

Donde la eficiencia global del sistema de calentamiento es la relación entre la cantidad de energía empleada para elevar la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento (Q_U) y la energía solar que incide sobre un área determinada. (I_d)

$$\eta_g = \frac{Q_u}{I_d} \quad (3.6)$$

Por consiguiente, el número de colectores (N_c) para satisfacer la demanda energética está determinada por la ecuación:

$$N_c = \frac{A_{cap} \cdot F.S}{A_c} \quad (3.7)$$

Donde: N_c : Número de colectores
 A_{cap} : Área de captación (m^2)
 A_c = Área de un colector (m^2)
 $F.S.$: Factor de seguridad o de proyección de demanda (1-5).

En esta metodología, para el caso de la tesis el número de colectores realmente será el número de tubos de vacío, considerando el área de un colector (A_c) igual al área de

incidencia solar de un tubo de vacío.

3.2.6. Volumen y aislamiento del tanque

La temperatura a la que se almacena el agua, se denomina temperatura equivalente (t_{eq}), la cual varía en función de la temperatura del agua fría. Sin embargo, el incremento de temperatura, es decir la temperatura equivalente menos la temperatura del agua fría, es un valor aproximadamente constante para cada sistema, 30°C en el sistema continuo y 20°C en el sistema puntual.

Con el valor de la temperatura equivalente se recalcula la demanda energética, y se obtiene otro valor de la masa de agua, que se denomina masa de agua a almacenar.

Al calcular se reemplaza el valor de la temperatura de consumo por el de la temperatura equivalente, y el valor de la masa a calentar por el de masa a almacenar.

El volumen del depósito está determinado por la masa de agua a almacenar y por el tipo de uso, ya sea un sistema puntual o un sistema continuo.

En el sistema continuo, el volumen se calcula 15% más que la masa de agua a almacenar en un día:

$$V_{dep} = 1,15M$$

Donde: V_{dep} : Volumen del depósito de almacenamiento (L)

M : Masa de agua a almacenar (Kg/día)

En el sistema puntual, el volumen se calcula 20% de la masa de agua a almacenar.

La selección del tipo y espesor del aislamiento se presenta en la tabla 3.12:

Tabla 3.12: Tipo de aislamiento y espesor recomendado

Tipo de aislamiento	Espesor recomendado (mm)		Conductividad Térmica (W/m-°C)
	Sistema puntual	Sistema continuo	
Algodón	50	75	0,059
Asbesto	75	125	0,174
Lana de vidrio	25	30	0,038
Paja	50	100	0,090

Fuente: Guevara S. (2009) Diseño del sistema de calentamiento solar de agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

3.2.7. Beneficios económicos de los calentadores solares de agua respecto otros tipos de calentadores.

Tabla 3.13: Beneficios económicos de los calentadores solares de agua respecto otros tipos de calentadores.

Calentador	Terma Solar	Terma Eléctrica	Ducha Eléctrica	Termas Gas (GLP)
Descripción	130 lt	100lt	-	6 lt
				
Inversión inicial del equipo	S/. 1,500	S/. 1,200	S/. 50	S/. 650
Tiempo de vida (años)	15	10	2	3
Salida de agua caliente diaria 60 °C	130 litros	100 litros	-	100 litros
Número de días usados anualmente	365 días	365 días	365 días	365 días
Costo de energía	S/. 0.00	S/. 0.402/kWh	S/. 0.402/kWh	S/. 0.0575/MJ
Costo de energía por año	0	S/. 902	S/. 665	S/. 383
Costo de Mantenimiento por año	S/. 75	S/. 150	-	S/. 150
Inversión en equipos en 15 años	S/. 1,500	S/. 2,400	S/. 375	S/. 3,250
Total de gastos en 15 años S/.	S/. 2,625	S/. 18,180	S/. 10,350	S/. 11,245
Riesgo	no	tiene	tiene	tiene
polucion	no	tiene	tiene	tiene

Fuente: (Exclusivo,America & Solares, n.d.)

CAPITULO IV

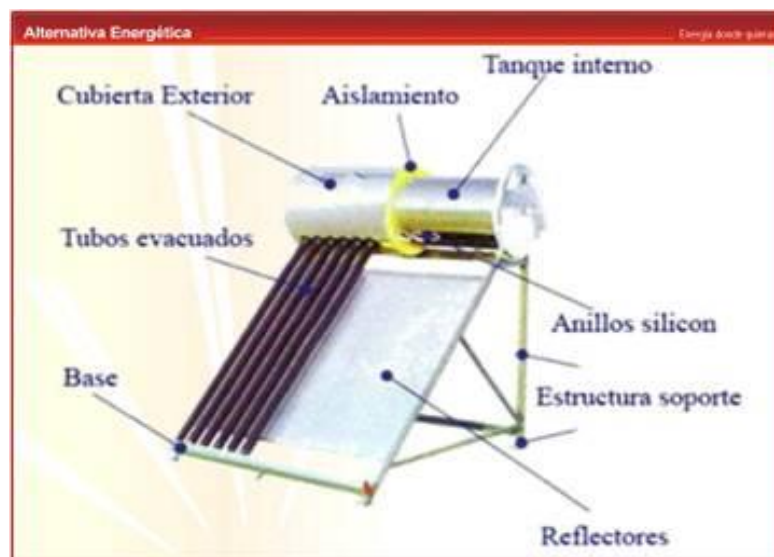
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. SELECCIÓN DEL COLECTOR SOLAR

Por las consideraciones del capítulo III, se empleará colectores solares de tubos de vacío termosifónicos, por su mayor eficiencia (70%) respecto a los colectores de placa plana (40%) aspecto fundamental en el diseño y, además su disponibilidad económica en el mercado regional. Sus características técnicas son:

- Diámetro del tubo : 0.058 m
- Longitud del tubo : 1.80 m
- Presión máxima de operación : 5 Kgf/cm²

Donde el fluido de trabajo es el agua, que aprovechando una propiedad física del agua, la cual se expande por el calentamiento y por tanto hace que la densidad del agua caliente sea menor que la fría. Por lo tanto, el agua caliente subirá naturalmente en el termo-tanque situado en la parte alta del colector mientras que el agua fría bajará al colector.

Figura 4.1: Tubos de vacío termosifónicos SOLARQRO

Fuente: Méndez, J. & Cuervo, I. (2011). Energía Solar Térmica. (pp. 63-91). España. Editorial Fundación Confermotal.

4.1.1. Orientación e inclinación de los colectores solares

Aspectos fundamentales para que los rayos solares incidan sobre la superficie de los colectores solares (tubos de vacío) y la captación de la energía solar sea la más óptima o eficiente.

- **Orientación**

Siempre y cuando las condiciones existentes lo permitan se orientarán los colectores solares hacia el norte geográfico. En nuestro caso la ubicación del hotel futuro nos permite sin ningún problema ubicar los colectores hacia el norte (azimut 0°) y así se procederá.

- **Inclinación**

Respecto a la inclinación de los colectores solares, los fundamentos teóricos nos recomiendan que para la inclinación óptima es importante el periodo de utilización del sistema térmico, uno de los valores siguientes:

- a) Demanda constante anual: la latitud geográfica.
- b) Demanda preferente en invierno: la latitud geográfica $+10^{\circ}$.
Las radiaciones promedio diario mensual para Puno en $\text{Kwh/m}^2/\text{día}$ son:

- c) Demanda preferente en verano: la latitud geográfica -10°C .

La inclinación óptima según la recomendación es una inclinación de 16° (la latitud geográfica del hotel es $15,88^{\circ}$), sin embargo, se va a tomar la decisión de instalar los colectores con una inclinación de 20° como se aprecia en los cálculos realizados en el capítulo III, para obtener una producción de agua caliente más homogénea durante todo el año (cuando más horizontal se instalen los colectores más producción se tendrá en verano) y para un mantenimiento más óptimo. Es importante tener presente que el dimensionado del sistema será tal que en ningún mes del año la producción de agua caliente sea excesiva ni menor que la demanda de agua.

4.2. Radiación Solar

La determinación y cálculo de la radiación incidente sobre los colectores solares con la precisión necesaria es fundamental para el diseño del sistema térmico solar.

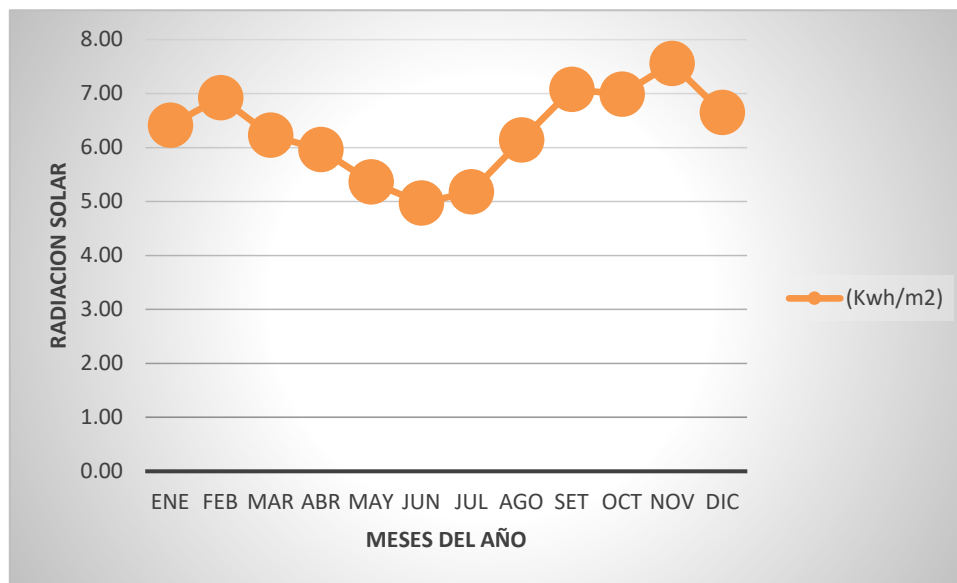
Se considerará según los criterios de diseño la baja radiación establecida en la tabla de radiación solar para Puno. Para asegurar una producción de agua durante todo el año, porque es antieconómico para el proyecto del hotel contar con un sistema auxiliar de calentamiento del agua.

Tabla 4.1: Radiaciones promedio diario mensual para puno.

Radiaciones promedio diario mensual (Kwh/m ²)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
6,41	6,92	6,23	5,96	5,36	4,97	5,18	6,14	7,08	6,99	7,56	6,65

Fuente: SENAMHI – Puno.

Figura 4.2: Radiación promedio diario mensual para puno



Fuente: SENAMHI – Puno.

Estas radiaciones inciden en forma normal o perpendicular a la superficie de captación solar. La posición del sol varía continuamente durante el día, por lo tanto la incidencia de los rayos solares sobre la superficie del colector no será perpendicular para que la captación de energía sea la máxima. Para salvar este inconveniente se considerará las coordenadas solares (altura solar y azimut) y las coordenadas terrestres (latitud y longitud); a través de la aplicación de un software de la Universidad de Jaen de España, que considera estos factores para determinar la radiación solar real que incidirá sobre el colector solar.

En la tabla 4.2 se puede analizar las correcciones que efectúa este programa computacional a las radiaciones para Puno. La aplicación para el cálculo de la radiación

media mensual sobre superficie arbitrariamente orientadas e inclinadas, considera la inclinación del colector, la latitud del lugar, la reflexividad de los rayos solares por el entorno donde estarán ubicados los colectores solares y el azimut.

Tabla 4.2: Cálculo de la radiación media mensual sobre la superficie del colector

18/11/2019

RADIACIÓN SOLAR

CÁLCULO DE LA RADIACIÓN MEDIA MENSUAL SOBRE SUPERFICIE ARBITRARIAMENTE ORIENTADAS E INCLINADAS.

INSTRUCCIONES:

- En este apartado se puede calcular el valor de la irradiación diaria media mensual a cualquier inclinación de los paneles y con cualquier orientación de estos. Para ello es preciso tener en cuenta las siguientes instrucciones: En la tabla de abajo en las celdas correspondientes a los meses se ha de introducir el valor de la irradiación diaria media mensual, medido en Wh/m².
- En la celda de latitud, se deberá introducir esta expresada en grados.
- En el apartado de inclinación se introducirá esta expresada en grados teniendo en cuenta que cero grados es una superficie horizontal.
- En Reflexividad, se debe introducir un valor de entre cero y uno, ya que este valor expresa la cantidad de radiación que llega al entorno del panel y es reflejada por el suelo paredes, etc. Si no se conoce con exactitud se puede considerar cero. Un valor orientativo puede ser 0.2
- En el apartado acimut se introducirá la orientación del panel, sabiendo que un acimut de ce grados es una orientación al sur, un acimut de +90° es una inclinación al oeste y un valor de -90° nos indica una orientación al este.
- Todas las medidas calculadas vienen expresadas en Wh/m².

1

ENERO	6410	FEBRERO	6920
MARZO	6230	ABRIL	5960
MAYO	5360	JUNIO	4970
JULIO	5180	AGOSTO	6140
SEPTIEMBRE	7080	OCTUBRE	6990
NOVIEMBRE	7560	DICIEMBRE	6650

Inclinación de los paneles (B)

Considerar como LATITUD del Lugar CALCULAR

REFLEXIVIDAD

ACIMUT(a) RESET

2

IRRADIACIÓN DIARIA MEDIA ANUAL

	R. DIRECTA	R. DIFUSA	R. ALBEDO	G. GLOBAL
ENERO	7174	809	38	8021
FEBRERO	6972	994	41	8007
MARZO	4488	1774	36	6298
ABRIL	3568	2088	36	5692
MAYO	2619	2216	32	4867
JUNIO	2173	2231	30	4434
JULIO	2412	2208	31	4651
AGOSTO	3671	2005	37	5713
SEPTIEMBRE	5640	1457	42	7139
OCTUBRE	6706	1073	42	7821
NOVIEMBRE	9091	0	43	9134
DICIEMBRE	8267	292	40	8598

GRUPO IDEA © 2004 — I+D en Energía Solar y Automática.

Fuente: www.ujaen.es/investig/solar

De la tabla 4.2. extraemos la radiación de diseño, la correspondiente al mes de Junio.

$$I_d = 4434 \text{ Wh/m}^2$$

4.3. Demanda energética

Se calculó por la ecuación 3.3:

$$D_e = MC_e(t_f - t_i)$$

El calor específico es aproximadamente constante, el valor en los cálculos del diseño será:

$$C_e = 4,18 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

La temperatura final (t_f) es la temperatura hasta la cual se calentará el agua, es la temperatura de consumo del ACS, que para el diseño será de 40°C , que es una temperatura aceptable que se utiliza en los proyectos de producción de agua caliente desde el punto de vista técnico económico.

Para darnos un margen o factor de seguridad con respecto a la temperatura de ingreso del agua fría, se tomará datos estadísticos del Senamhi respecto a la temperatura mínima durante el año, que según reportes de su página web es de 11°C considerando además que en el tanque o depósito de almacenamiento el agua caliente se mantiene durante la noche anterior.

4.3.1. Cálculo de la demanda de ACS

Por las consideraciones metodológicas expuestas en el capítulo III, para el cálculo de la demanda asumiremos que la ocupación del hotel es constante durante todo el año,

supondremos que cualquier mes la ocupación puede ser de 100%. El hotel en su proyecto especifica que tendrá una capacidad máxima de 50 personas que serán alojados en habitación dobles, lo cual no implica que en la habitación sea ocupada solo por una persona.

Como se refirió por experiencia en el diseño de sistemas térmicos, se consideró por habitación doble 50 L/día, cantidad asumida y recomendada por el ITINTEC, lo que implica que el volumen de agua per cápita que se asumió para el diseño es de 25 L/persona.

El funcionamiento futuro del hotel sus expectativas son de un hotel dos estrellas, exclusivamente para alojamiento, por lo que proyectará el funcionamiento de una cafetería en el primer piso, por lo que se añadirán 50 litros adicionales, siguiendo criterios de demanda que especifican 1 litro por día para cada persona.

4.3.2. Cálculo de la masa de agua a calentar en un día (M)

La masa de agua M se calcula por la ecuación 3.4:

$$M = n_p V_p$$

Donde: n_p : 50 personas

V_p : volumen per cápita (L/persona)

Entonces, considerando que 1 L = 1 Kg; por consiguiente:

$$M = 50 \text{ personas} \cdot 25 \frac{\text{L}}{\text{persona}}$$

$$M = 1250L$$

Por tanto:

$$M = 1250L + 50 L$$

$$M = 1300 L = 1300Kg$$

$$\rho = m/v$$

$$m = \rho * v$$

$$1L_{agua} = 0.001m^3$$

$$1300L_{agua} = 1.3m^3$$

$$\rho_{agua} = 1000kg/m^3$$

$$m_{1300L} = \frac{1000kg}{m^3} * 1.3m^3$$

$$M = 1300 Kg = 1300L$$

Los 50 L adicionales son por la cafetería que se dispondrá.

4.3.3. Cálculo de la demanda energética (D_e)

Para el cálculo de la demanda energética utilizaremos la ecuación 3.3:

$$D_e = MC_e(t_f - t_i)$$

Donde:

$$M : 1300 Kg$$

$$C_e : 4,18 KJ/Kg^{\circ}C$$

$$t_f : 40^{\circ}C$$

$$t_i : 11^{\circ}C$$

Reemplazando valores:

$$D_e = 1300\text{Kg} \cdot 4,18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (40 - 11)^\circ\text{C}$$

$$D_e = 157586\text{KJ}$$

El calor específico varía con la temperatura, pero el rango de temperaturas en el que funciona el sistema térmico solar es relativamente pequeño, por lo que es aceptable considerarlo como constante y no nos conducirá a errores apreciables en los cálculos de ingeniería.

4.4. Número de Colectores

Según la metodología empleada se considera el número de colectores, pero en nuestro proyecto el objetivo es calcular el número de tubos de vacío termosifónicos que es equivalente desde el punto de vista del diseño mecánico.

4.4.1. Cálculo del área de captación

Se empleará la ecuación 3.5:

$$A_{cap} = \frac{D_e}{I_d \cdot \eta_g}$$

Donde:

$$D_e : 157586 \text{ KJ}$$

$$I_d : 4434 \text{ Wh/m}^2$$

$$I_d : 15962,4 \text{ KJ/m}^2$$

$$\eta_g^* : 68,72\%$$

* Colque, O. & Condori, A. (2017). Determinación de la Eficiencia de una terma solar de tubos de vacío en Puno. Tesis EPIME-UNA.

Entonces:

$$A_{cap} = \frac{157586KJ}{15962,4KJ/m^2 \cdot 0,6872}$$

$$A_{cap} = 14.366 \text{ m}^2$$

4.4.2. Cálculo del área superficial de cada tubo de vacío

Por especificaciones técnicas del colector seleccionado:

- Diámetro exterior : 0.058 m
- Diámetro interior : 0.042 m
- Longitud : 1.80 m
- Longitud útil : 1.75 m

En el proceso de montaje de los tubos de vacío, 0.05 m son introducidos en el termotanque.

La superficie lateral cilíndrica del tubo de vacío, lo calculamos por la ecuación:

$$A_{tv} = \pi \cdot D \cdot L \quad (4.1)$$

Donde: D : Diámetro exterior: 0.058 m

L : Longitud útil: 1.750 m

Reemplazando:

$$A_{tv} = \pi(0,058m)1,750m$$

$$A_{tv} = 0,32m^2$$

4.4.3. Cálculo del número de tubos de vacío

La cantidad de tubos de vacío necesarios para satisfacer la demanda energética la calcularemos por la ecuación:

$$N_{tv} = \frac{A_{cap} \cdot F.S}{A_{tv}} \quad (4.2)$$

Donde:

$$A_{cap} : 14.366 \text{ m}^2$$

$$A_{tv} : 0,32 \text{ m}^2$$

$$F.S : 1$$

El factor de seguridad lo consideramos 1 porque la proyección de demanda del hotel, no implica el aumento de personas a hospedar porque siempre se mantendrá en 50 personas en habitaciones dobles.

Por consideraciones de diseño y dándonos un margen de seguridad con respecto al área superficial de captación de la energía solar de cada tubo de vacío, para el cálculo del número de tubos el área de diseño solo será el 75%; es decir:

$$A_{tv} = 0,75 \times 0,32$$

$$A_{tv} = 0,24 \text{ m}^2$$

Entonces:

$$N_{tv} = \frac{14,36(1)}{0,24} = 59,833$$

$$N_{tv} = 60 \text{ tubos de vacío.}$$

4.5. Rediseño Técnico – Económico

Desde el punto de vista técnico-económico en los diseños de sistemas térmicos, es necesario recalculer el diseño considerando que el sistema no solamente empleará un colector de tubos de vacío, sino cuatro como se aprecia en sistemas térmicos de hoteles, lo anterior se sustenta porque en el mercado regional la disponibilidad de sistemas solares de tubos de vacío termosifónicos es amplia, los tubos de vacío y los termotanques es ofrecido a precios económicos porque son exportados de China.

Por lo argumentado rediseñaremos el sistema térmico considerando la capacidad del termotanque existente en el mercado regional. La demanda de agua caliente sanitaria es de 1300 L, dándonos un factor de seguridad adicional de diseño, consideremos cuatro sistemas térmicos solares con una demanda de ACS de 350 L.

4.5.1. Demanda de agua caliente sanitaria (ACS)

La demanda del agua se calculó en:

$$M = 350 \text{ L} = 350 \text{ Kg}$$

4.5.2. Cálculo de la demanda energética (D_e)

Por la ecuación 3.3:

$$D_e = M \cdot C_e(t_f - t_i)$$

Donde:

$$M = 350 \text{ Kg}$$

$$C_e = 4,18 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$t_f = 40^\circ\text{C}$$

$$t_i = 11^\circ\text{C}$$

Reemplazando valores:

$$D_e = 350\text{Kg} \cdot 4.18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (40 - 11)^\circ\text{C}$$

$$D_e = 42427\text{KJ}$$

4.5.3. Cálculo del Área de Captación

Empleando la ecuación 3.5:

$$A_{cap} = \frac{D_e}{I_d \cdot \eta_g}$$

Donde:

$$D_e = 42427 \text{ KJ}$$

$$I_d = 4434 \text{ Wh/m}^2$$

$$I_d = 15962,4 \text{ KJ/m}^2$$

$$\eta_g = 68,72\%$$

Reemplazando valores:

$$A_{cap} = \frac{42427\text{KJ}}{15962,4\text{KJ/m}^2 \cdot 0,6872}$$

$$A_{cap} = 3,87\text{m}^2$$

4.5.4. Cálculo del Área Superficial de cada tubo de vacío

Calculado en la ecuación 4.2:

$$A_{tv} = 0,32m^2$$

Se consideró que de la superficie de captación de cada tubo de vacío, solo el 75% capta la radiación solar, entonces:

$$A_{tv} = 0,32 \times 0,75$$

$$A_{tv} = 0,24m^2$$

4.5.5. Cálculo del Número de tubos de vacío

La calcularemos por la ecuación:

$$N_{tv} = \frac{A_{cap} \cdot (F \cdot s)}{A_{tv}}$$

Donde:

$$A_{cap} = 3,87 m^2$$

$$A_{tv} = 0,24 m^2$$

$$F \cdot s = 1$$

Reemplazando:

$$N_{tv} = \frac{3,87m^2(1)}{0,24m^2}$$

$$N_{tv} = 16,125 \text{ tubos}$$

Por consiguiente, el número de tubos para satisfacer la demanda energética sin problemas, considerando los factores de seguridad en los cálculos realizados es de:

$$N_{tv} = 16 \text{ tubos}$$

4.5.6. Cálculo del volumen del termotanque

El cálculo se realiza según la metodología referida en el acápite 3.2.

El sistema térmico solar es continuo, por la temperatura equivalente será igual a la temperatura de ingreso del agua fría más 30°C.

$$T_{eq} = t_i + 30^\circ\text{C}$$

Donde:

$$t_i = 11^\circ\text{C}$$

Entonces: $T_{eq} = 11 + 30^\circ = 41^\circ\text{C}$

Recálculo de la demanda energética que podrá satisfacer este sistema con 16 tubos de vacío, cada uno con una superficie de captación de energía solar de 0,24 m².

$$D_e = N_{tv} \cdot A_{tv} \cdot I_d \cdot \eta_g \quad (4.3)$$

Donde:

$$N_{tv} = 16 \text{ tubos de vacío}$$

$$A_{tv} = 0,24 \text{ m}^2$$

$$I_d = 15962,40 \text{ KJ/m}^2$$

$$\eta_g = 68,72\%$$

Reemplazando:

$$D_e = 16(0,24\text{m}^2) \cdot 15962,40 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2} \cdot (0,6872)$$

$$D_e = 42122,35\text{KJ}$$

Luego la masa a almacenar es, despejando la ecuación 3.3:

$$M = \frac{D_e}{C_e(T_{eq} - t_i)}$$

Reemplazando:

$$M = \frac{42122,35\text{KJ}}{4,18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (41 - 11)^\circ\text{C}}$$

$$M = 335,90\text{Kg} = 335,90 \text{ L}$$

Por lo que el volumen del termotanque de almacenamiento es:

$$V_{dep} = 1,15 \times 335,90$$

$$V_{dep} = 386,29 \text{ L}$$

Entonces el volumen del termotanque del sistema térmico será de:

$$V_{dep} = 387 \text{ L}$$

En el mercado regional existen termotanques con esta capacidad de volumen, utilizando tubos de vacío termosifónicos. Los cuales son económicos, respecto a mandarlos a fabricar en cantidad de cuatro que resultará muy caro.

4.5.7. Dimensionamiento del termotanque

Considerando que el termotanque se seleccionará de los que ofrece el mercado regional, dimensionaremos un tanque de capacidad de 400 L.

$$D_i = 0,60 \text{ m}$$

$$V_i = 0,400 \text{ m}^3 = 400 \text{ L}$$

$$L_i = \text{Longitud interior}$$

Reemplazando en la fórmula del volumen de un cilindro:

$$0,400 \text{ m}^3 = \frac{\pi(0,6 \text{ m})^2}{4} \cdot L_i \quad (4.4)$$

Operando:

$$L_i = 1,40 \text{ m}$$

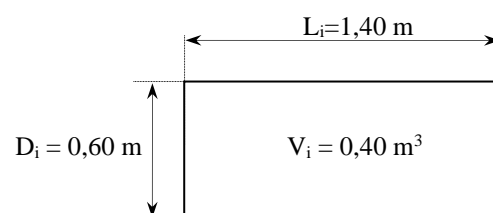
Las dimensiones del volumen interior del termotanque serán:

$$D_i = 0,60 \text{ m}$$

$$L_i = 1,40 \text{ m}$$

$$V_i = 0,4 \text{ m}^3$$

Figura 4.3: Vista frontal del volumen interior del termotanque

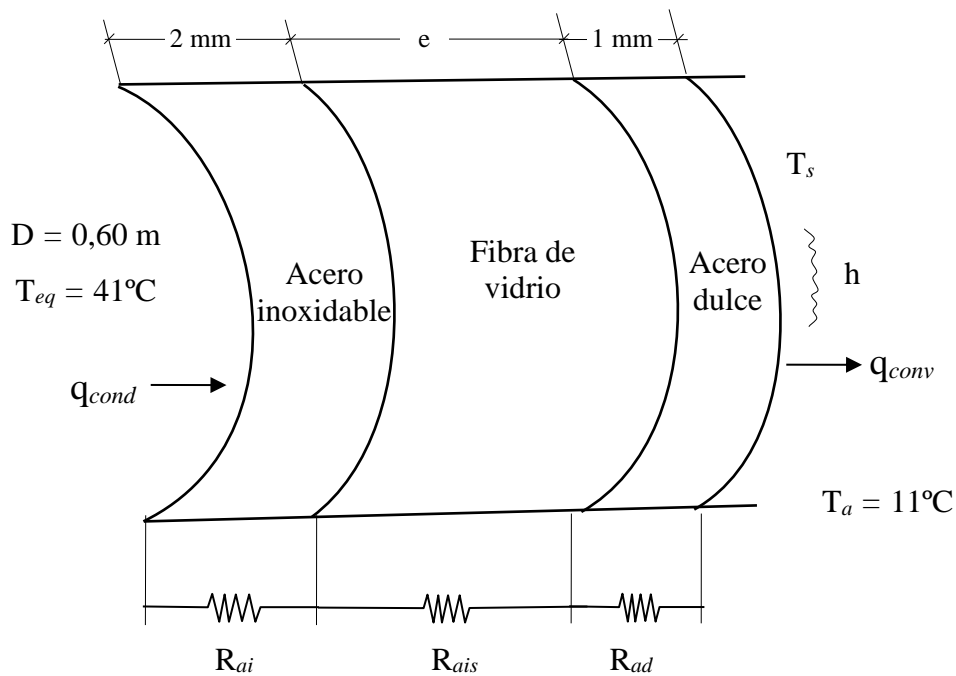


Elaborado por el Equipo de trabajo.

4.5.8. Determinación del espesor del aislante del termotanque

El aislante del termotanque es fundamental para mantener el agua caliente sanitaria, por consideraciones de diseño las pérdidas de calor por las tapas es insignificante respecto a las pérdidas de calor por la superficie cilíndrica del termotanque. En el esquema de la pared cilíndrica de la figura 4.4, se observa los procesos de transferencia de calor:

Figura 4.4: Pérdidas de calor por conducción y convección



$$R_{cond} = R_{ai} + R_{ais} + R_{ad}$$

Elaborado por el Equipo de trabajo.

Donde la pérdida por conducción:

$$q_{cond} = \frac{t_{eq} - t_a}{R_{cond}} \tag{4.5}$$

Las resistencias térmicas para conducción de paredes cilíndricas, se calcula por la ecuación:

$$R_c = \frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2L \cdot K} \quad (4.6)$$

Donde:

D = Diámetro mayor de la plancha

d = diámetro menor de la plancha

K = Coeficiente de conducción térmica

L = Longitud del tanque

Considerando los coeficientes de conductividad térmica para conducción:

Tabla 4.3: Coeficientes conductividad térmica (K)

Material	Coeficiente de Conductividad
Plancha de acero inoxidable	15,750
Aislante fibra de vidrio	0,038
Plancha acero dulce	58,600

Fuente: Kreith, F. (2011). Principios de transferencia de calor (pp. 295-320). Editorial McGraw Hill.

Para el cálculo de la longitud del espesor necesario del aislante de fibra de fibra de vidrio (e) lo haremos por un proceso de iteración, dando valores convenientes para “ e ”, hasta que se cumpla el principio de conservación de la energía, la pérdida de calor por conducción, debe ser igual a la pérdida por convección:

$$q_{cond} = q_{conv}$$

Donde:

$$q_{cond} = \frac{t_{eq} - t_a}{R_{cond}} \quad (4.7)$$

También:

$$R_{ai} = \frac{\ln\left(\frac{0,602}{0,600}\right)}{2 \times 1,40 \times 15,75} = 0,00007546^\circ\text{C/W}$$

$$R_{ais} = \frac{\ln\left(\frac{0,632}{0,602}\right)}{2 \times 1,40 \times 0,038} = 0,457067188^\circ\text{C/W}$$

$$R_{ad} = \frac{\ln\left(\frac{0,633}{0,632}\right)}{2 \times 1,40 \times 58,6} = 0,000009635^\circ\text{C/W}$$

Entonces, la resistencia total por conducción es igual a:

$$R_{cond} = R_{ai} + R_{ais} + R_{ad}$$

$$R_{cond} = 0,45715^\circ\text{C/W}$$

Reemplazando en la ecuación (4.7)

$$q_{cond} = \frac{(41 - 11)^\circ\text{C}}{0,45715^\circ\text{C/W}}$$

$$q_{cond} = 65,62\text{W}$$

El cálculo de la pérdida de calor por el mecanismo de transferencia de calor de conducción por la plancha interior de acero inoxidable de 2 mm de espesor, un espesor (e) de 30 mm de fibra de vidrio y una plancha de acero dulce de 1 mm, fue de 65,62 W; este flujo de calor debe ser igual a la pérdida de calor por convección en la superficie exterior del termotanque, si el espesor del aislante de fibra de vidrio es de e = 30 mm, a cuyo valor se

llegó por un proceso de iteraciones hasta llegar a este valor.

La pérdida de calor por convección se calcula por la siguiente ecuación:

$$q_{conv} = A_e \cdot h(t_s - t_a) \quad (4.8)$$

- Cálculo de la superficie exterior del termotanque:

$$A_e = 2\pi Re \cdot L \quad (4.9)$$

Donde:

$$Re = 0,333 \text{ m}$$

$$L = 1,40 \text{ m}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.9:

$$A_e = 2\pi(0,333\text{m}) \cdot 1.40 \text{ m}$$

$$A_e = 2,93 \text{ m}^2$$

- Determinación del coeficiente de transferencia por convección (h).

De la tabla 4.4:

Tabla 4.4: Valores típicos de coeficiente de transferencia para convección.

CONVECCIÓN NATURAL		CONVECCIÓN FORZADA	
Sustancia	h (W/m ² .°C)	Sustancia	h (W/m ² .°C)
Gases	2 – 25	Gases	25 – 250
Líquidos	50 – 1000	Líquidos	50 – 20000

Fuente: Kreith, J. (2007). Principios de transferencia de calor (pp. 112-120). México. Editorial John Wiley.

El proceso de transferencia de calor es convección natural, en base a la tabla con criterio conservador consideramos para el diseño un valor intermedio del rango entre 2-25, asumimos: $h = 11 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$.

- Temperaturas del proceso de convección:

t_s : Temperatura de la superficie exterior del termotanque: 13°C .

t_a : temperatura del ambiente: 11°C .

Reemplazando valores en la ecuación 4.8:

$$q_{conv} = 2,93\text{m}^2 \frac{W}{11\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}} (13 - 11)^\circ\text{C}_{conv}$$

$$q_{conv} = 64,46W_{conv}$$

Igualando los dos flujos de calor de pérdida:

$$q_{cond} = q_{conv}$$

$$65,62 \text{ W} \equiv 64,46W$$

Es una igualdad aceptable, que nos verifica que el termotanque tendrá un aislante de fibra de vidrio cuyo espesor será de 30 mm (e) que se acondicionará entre una plancha de acero inoxidable interior de 2 mm de espesor y una plancha de acero dulce exterior de 1 mm de espesor. Las dimensiones del volumen interior del termotanque son de un diámetro interior de 0,60 m y una longitud de 1,40 m; con una capacidad volumétrica de 400 L o $0,40 \text{ m}^3$; un termotanque de dimensiones aceptables desde el punto de vista del diseño.

4.6. Discusión

En el mercado regional existen industrias de termos solares en Arequipa, Cusco, cuyos sistemas solares térmico, utilizan en el colector tubos de vacío termosifónicos, actualmente estas industrias exportan de China los tubos de vacío, termotanques y la estructura de montaje porque los precios no tienen competencia en el mercado, pero las exportan sin especificar las dimensiones del sistema térmico para los lugares donde se localizarán o usarán; de ahí la discusión sobre el número de 36 tubos de vacío que utiliza una terma solar LUXXOL para una capacidad de 400 Litros respecto a los 16 tubos de vacío que utilizará nuestro sistema solar térmico para la misma capacidad de 400 Litros. La explicación estaría en que se dan un factor de seguridad de diseño considerando que satisfaga la producción de agua caliente sanitaria para cualquier radiación solar del lugar donde sean utilizados y su funcionamiento es óptimo. Por eso en el proyecto desarrollado necesariamente se debe seleccionar los sistemas térmicos que oferta el mercado y realizar las adaptaciones respectivas en el montaje respecto a la inclinación y orientación del colector solar y, el diseño del dimensionamiento del número de tubos de vacío termosifónicos. El precio de los tubos de vacío en el mercado regional es de 50 soles, frente al precio que tiene en China que su costo es de 3 dólares, aproximadamente la cuarta parte del precio que venden en el Perú.

Las especificaciones técnicas de la terma solar Luxxol de 400 L, que muestran en la tabla siguiente son importantes para obtener comparaciones y conclusiones sobre su diseño.

Tabla 4.5: Especificaciones técnicas termas solares LUXXOL.

Capacidad	Tubos		Estructura			N° de duchas /persona
	Largo (cm)	Cant.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (m ²)	
135 L	180	12	200	130	2.60	4 – 6
200 L	180	18	202	175	3.54	6 – 10
300 L	180	27	203	255	5.18	20 – 15
400 L	180	36	204	312	6.36	13 – 20

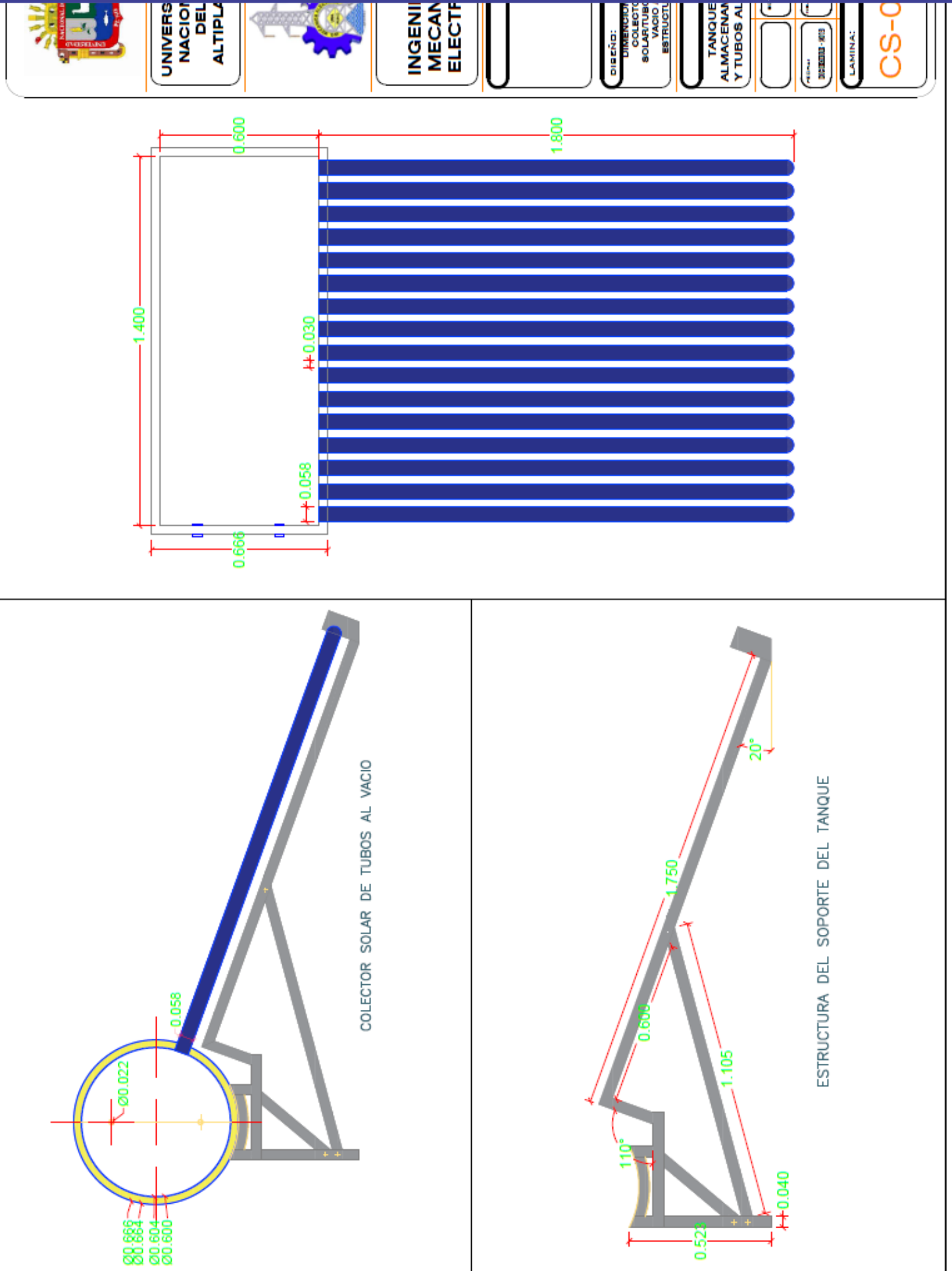
Fuente: www.termassolares.com

4.7. Costos.

Tabla 4.6: Costo en el mercado y Costo de diseño

COMPARACION DE COSTOS TUBOS AL VACIO 400 LITROS					
	MERCADO			DISEÑO	
DESCRIPCION	PRECIO UNIT	CANTIDAD	COSTO SUB TO	CANTIDAD	COSTO SUB TOTAL
Tubos	S/50.00	36	S/1,800.00	16	S/800.00
Soporte	S/400.00	1	S/400.00	1	S/400.00
Termotanque	S/1,400.00	1	S/1,400.00	1	S/1,400.00
	COSTO TOTAL		S/3,600.00		S/2,600.00
			DIFERENCIA		S/1,000.00

Elaborado por el Equipo de trabajo.



Elaborado por el Equipo de trabajo.

CONCLUSIONES

Los objetivos que se plantearon en el proyecto de investigación desarrollado se cumplieron óptimamente.

Se caracterizó el nivel de radiación solar en Puno eficientemente, lo cual determinó el éxito del diseño del sistema térmico solar para el proyecto de un hotel de dos estrellas para 50 personas en Salcedo – Puno. A través de información de las radiaciones promedio diario mensual para Puno de $6,29 \text{ Kwh/m}^2/\text{día}$ de una institución confiable como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Puno (SENAMHI); se precisó a través de un Software computacional el nivel de radiación incidente en la superficie del colector solar de tubos de vacío, considerando la ubicación del sol como de Puno a través de los parámetros como la inclinación del colector (20°), Latitud ($15,88^\circ$), azimut solar (0°), reflexividad (0,2; concreto) de los rayos solares en el entorno de la ubicación del hotel en Salcedo. Obteniéndose una radiación solar de diseño de $4434 \text{ W/m}^2/\text{día}$ correspondiente al mes de junio por los criterios de diseño que se asumió.

Se determinó la demanda o volumen de agua caliente sanitaria que requiere el hotel, en base a informaciones reales que una empresa de la región con bastante experiencia en el diseño de sistemas térmicos de producción de agua caliente, las utiliza en sus proyectos; información técnica que lo recomienda el ITINTEC. Se asumió para el diseño que cada habitación doble consume 50 L/día , por las 50 personas la demanda de agua es de 1250 litros a los que se agregó 50 litros para el funcionamiento de una cafetería, considerando 1 L/persona por informaciones técnicas españolas referentes al tema. Determinándose una demanda o volumen de agua caliente sanitaria de 1300 litros que requiere el hotel suponiendo un funcionamiento siempre al 100%.

La demanda energética que requiere el sistema térmico solar para satisfacer de agua caliente sanitaria (ACS) al hotel es de 157586 KJ de energía, demanda validada por las condiciones de diseño ambientales que se utilizaron en su cálculo como la temperatura de consumo del agua caliente (40°C) y la temperatura de ingreso del agua mínima (11°C) en base a temperaturas mínimas del ambiente registradas por el SENAMHI.

Finalmente, la determinación del número de tubos de vacío termosifónicos que requieren los colectores solares del sistema térmico diseñado es de 60 tubos, número que nos da una idea que las termas solares existentes en el medio están sobre dimensionados, los que podrían producir agua caliente con menor número de tubos, si se toman como referencia las consideraciones de diseño considerados en el trabajo de tesis. Rediseñando el sistema térmico solar por cuestiones técnicas de mantenimiento y operación, el sistema térmico solar del hotel que satisficará la producción de agua sanitaria de 1300 litros estará constituido por cuatro termas solares, cada una de 400 litros de capacidad con un colector solar de 16 tubos de vacío.

Cada sistema térmico solar de 400 litros y 16 tubos de vacío termosifónicos, se comprará a Empresas dedicadas al diseño y montaje de sistemas solares, los cuales ya tienen diseñado el sistema estructural de soporte del termotanque y tubos, como así el sistema hidráulico independiente para cada una en función del modelo solicitado.

RECOMENDACIONES

El proyecto de investigación desarrollado en el panorama tecnológico actual contribuye a la reducción en el consumo de combustibles fósiles y por ende a la reducción en emisiones del gas invernadero CO₂; por lo tanto se hace prioritario impulsar el diseño de sistemas solares térmicos para el calentamiento de agua caliente sanitaria (ACS) a través de tesis y proyectos de investigación en aspectos fundamentales como precisan la eficiencia térmica de los colectores de tubos de vacío, sus características técnicas en cuanto a sus propiedades ópticas de transmisitividad, absoritividad y reflexitividad parámetros fundamentales en el diseño de sistemas térmicos solares de tubos de vacío, porque la disponibilidad de esta información técnica no se tiene, más teniendo en cuenta que a la altitud a la que se encuentra la ciudad de Puno, las máquinas y en general los sistemas mecánicos eléctricos se ven afectados en su funcionamiento por la altitud sobre el nivel del mar.

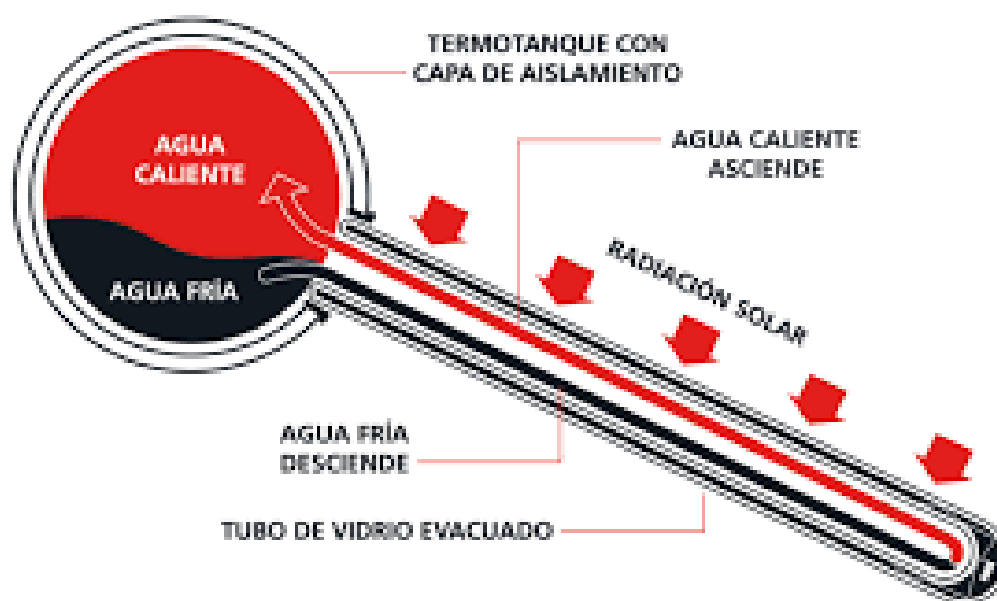
Los resultados nos han permitido llegar a conclusiones importantes referente a que en nuestro medio por las condiciones geográficas y ambientales de Puno, que para lograr el calentamiento de agua de 1300 litros, son necesarios utilizar un colector solar de 60 tubos de vacío, lo que servirá como marco referencial para comprar y seleccionar una terma solar acorde a las necesidades de agua caliente para una familia de cierto número de miembros.

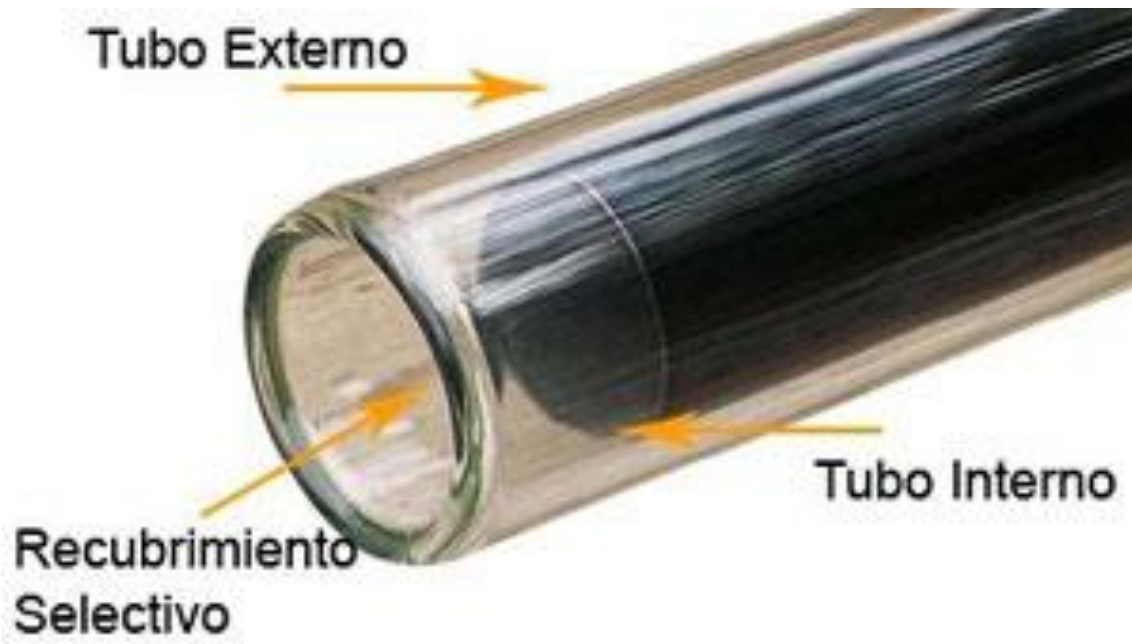
REFERENCIAS

- Cengel, Y. (2013). *Transferencia del calor y masa*. México: Editorial McGraw hill. .
- Colque, O. &. (2017). *Determinación de la eficiencia térmica de una terma solar de tubos de vacío. Tesis Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.* puno: Universidad Nacional del Altiplano. .
- De Juana, J. (2007). *Energías Renovables para el desarrollo*. España.: UTELIA.
- Densidad., O. i. (s.f.).
- Duffie, A. &. (2010). *Solar engineering of Thermal procesos*. EE.UU.: Jhohn Wiley. .
- Energética., P. –B. (2006). *Sistemas solares para el calentamiento del agua*. Bolivia: Proper Bolivia. GTZ. .
- Exclusivo, R. A. (s.f.). *Solares, D. E. T. (n.d.)*. . Jesús Beoutis Ledesma Gerente General.
- Fernández, H. G. (2008). *Modelo genérico de celdas fotovoltaicas*.
- Florez, C. (2017). *Diseño de una terma solar de tubos de vacío para las condiciones ambientales de Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Guevara, S. .. (2013). *Diseño del Sistema de Calentamiento Solar de agua*. . Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Hernández, R. (. (2017). *Metodología de la Investigación*. México : McGraw Hill.
- Jensen, T. (2009). *Tecnología de la Ingeniería Solar*. . New York.: Production supervision. .
- López Velázquez, J. E. (2013). *Modelos empíricos para la estimación de la radiación solar difusa en Xalapa*. Veracruz. : Universidad de Veracruz. .
- Méndez, J. &. (2011). *Energía Solar Térmica*. . España. : Fundación Confermotal. .
- O., L. (1997). *Fundamentos de termodinámica*. México: Prentice Hall, Hispanoamericana S.A.
- Orbegozo, C. (2012). *Calentamiento de agua mediante el uso de termas solares*. Lima.: Toolconsult.
- Orthwein, W. (2016). *Diseño de Componentes de Máquinas*. México.: Continental, S.A. Compañía .
- Roldan, J. (2017). *Fuentes de energía*. España: Paraninfo.
- Shigley, J. &. (2015). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México: McGraw Hill.
- Valera, A. (2011). *Energía Solar*. Lima.: Hazlo S.C.R.L. .

ANEXOS

Anexo A. Colectores de tubo al vacío

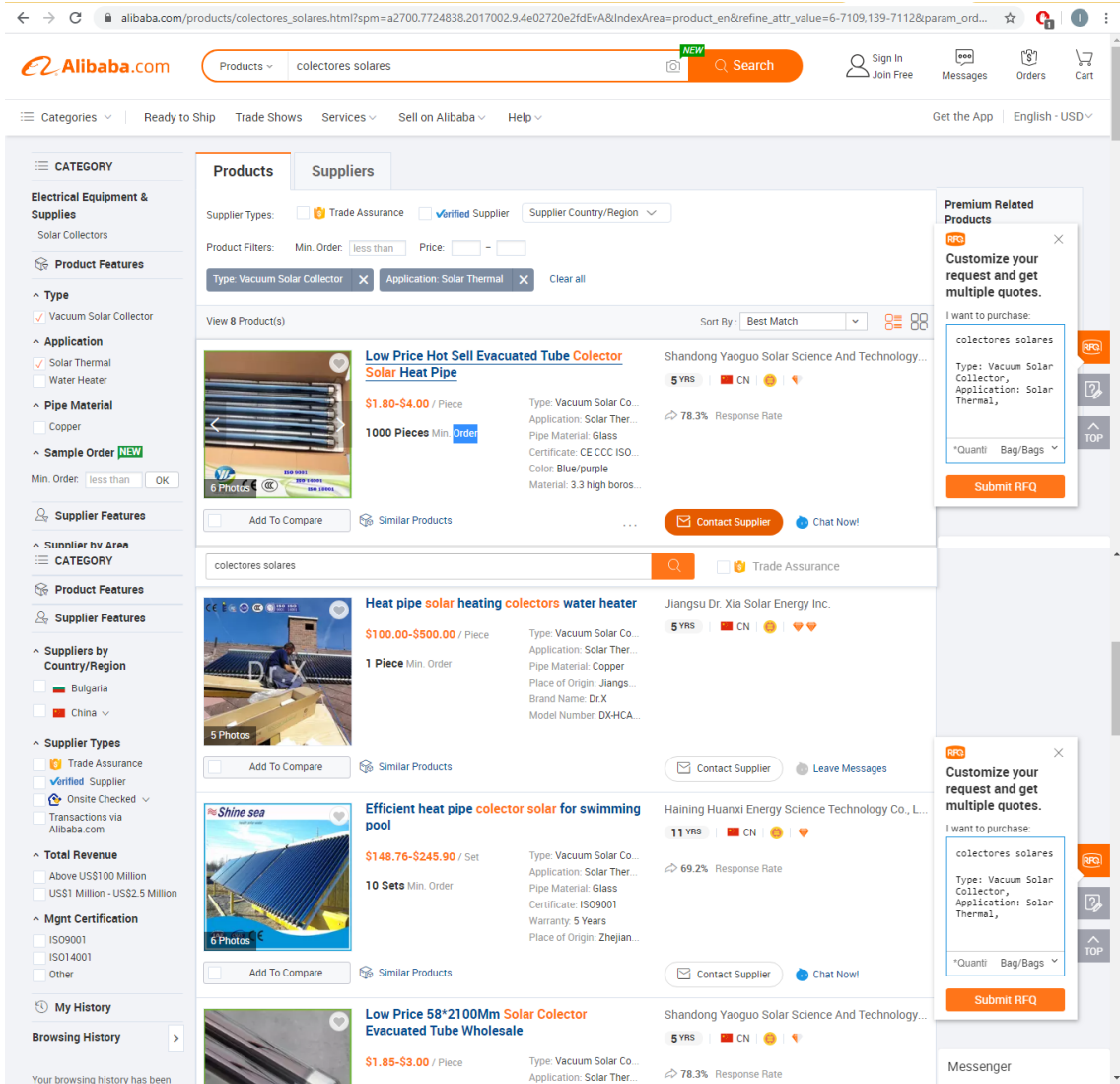




Anexo B. Termotanques



Anexo C: Precios de Tubos de Vacío en China



The screenshot displays the Alibaba.com search results for 'colectores solares'. The page is organized into several sections:

- Header:** Includes the Alibaba.com logo, search bar with 'colectores solares', and navigation links like 'Sign In', 'Messages', 'Orders', and 'Cart'.
- Filters:** A left sidebar contains filters for 'CATEGORY', 'Type' (Vacuum Solar Collector), 'Application' (Solar Thermal, Water Heater), 'Pipe Material' (Copper), 'Supplier Features', and 'Total Revenue'.
- Product Listings:**
 - Product 1:** 'Low Price Hot Sell Evacuated Tube Collector Solar Heat Pipe' by Shandong Yaoguo Solar Science And Technology. Price: \$1.80-\$4.00 / Piece. 1000 Pieces Min. Order. Response Rate: 78.3%.
 - Product 2:** 'Heat pipe solar heating collectors water heater' by Jiangsu Dr. Xia Solar Energy Inc. Price: \$100.00-\$500.00 / Piece. 1 Piece Min. Order. Response Rate: 78.3%.
 - Product 3:** 'Efficient heat pipe collector solar for swimming pool' by Haining Huanxi Energy Science Technology Co., L... Price: \$148.76-\$245.90 / Set. 10 Sets Min. Order. Response Rate: 69.2%.
 - Product 4:** 'Low Price 58*2100Mm Solar Collector Evacuated Tube Wholesale' by Shandong Yaoguo Solar Science And Technology. Price: \$1.85-\$3.00 / Piece. Response Rate: 78.3%.
- Right Side:** Features 'Premium Related Products' and 'Customize your request and get multiple quotes.' pop-ups, along with a 'Submit RFQ' button.

Anexo D: Localización del Proyecto

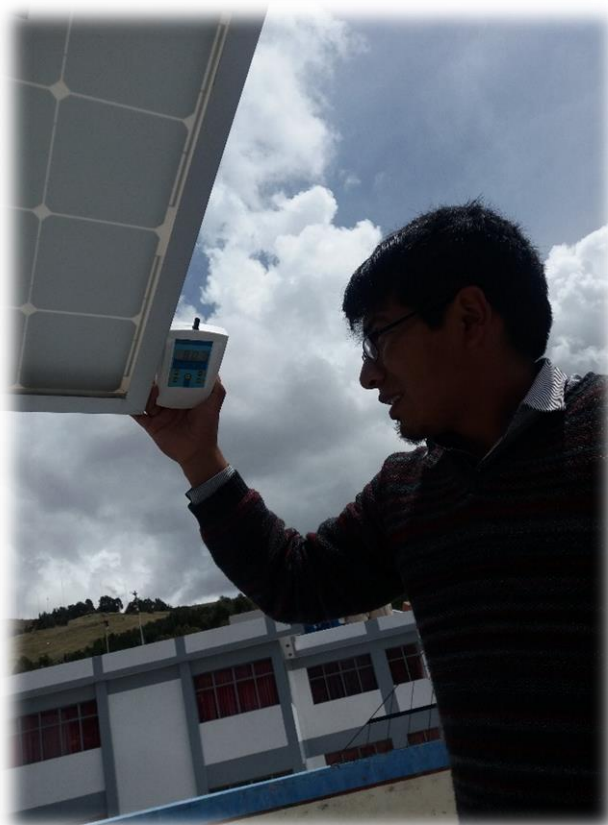




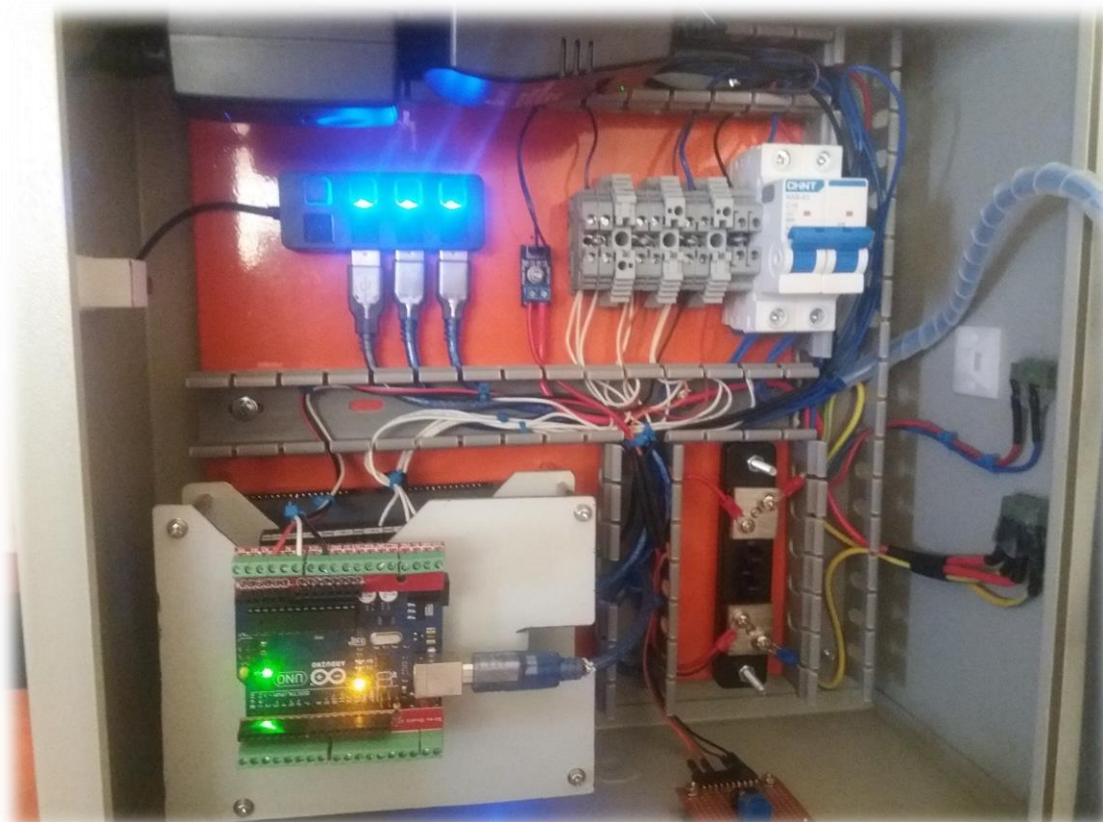
Anexo E: Toma de Datos Experimental.



Anexo F: Toma de datos de irradiancia



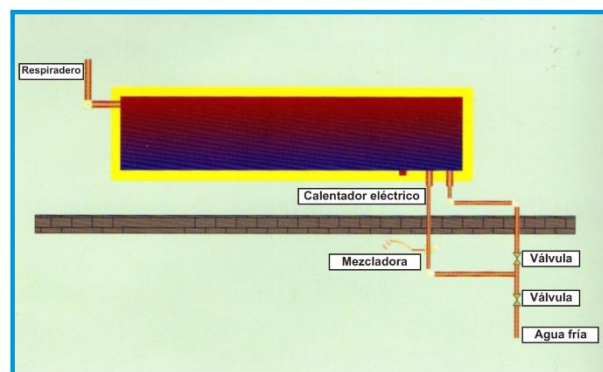
W/m ²	A DAQ	A Pinza	W/m ²	ADAQ	A Pinza
4.33		2.39	395		2.32
876		4.54	552		3.04
885		4.85	1199		6.48
958		5.15	1193		6.92
987		5.32	1204		6.57
997		5.41	346		2.04
1013		5.44	352		2.14
1026		5.56	344		2.11
1058		5.67	372		2.23
1089		5.88	464		2.68
1093		5.92	556		3.18
1101		6.03	1109		6.03
1119		6.06	1108		5.92
1105		6.04	1027		5.51
1117		6.11	1087		5.92
1134		6.14	1108		5.94
1144		6.26	1122		6.13
1152		6.31	1134		6.16
1173		6.35	1109		6.11
1213		2.17			
372					



Anexo G: Especificaciones técnicas de termas solares y planchas de acero inoxidable.

Terma Solar

GARANTÍA 5 AÑOS



CAPACIDAD	TUBOS		ESTRUCTURA			N° de Duchas / Personas
	Largo (cm)	Cant.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (m2)	
135 L	180	12	200	130	2.60	4 - 6
200 L	180	18	202	175	3.54	6 - 10
300 L	180	27	203	255	5.18	10 - 15
400 L	180	36	204	312	6.36	13 - 20

* Cantidades aproximadas de acuerdo al consumo de 20 a 30 Litros en promedio por persona por ducha

NUEVOS TAMAÑOS

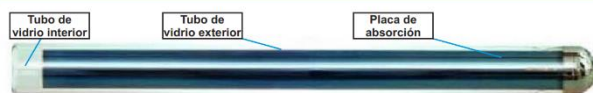
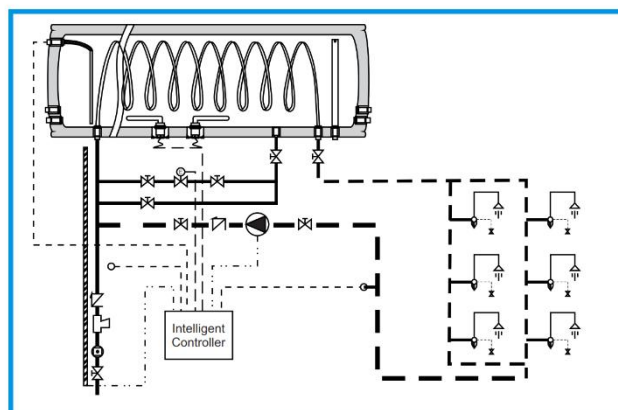
Medidas y Conexiones	
Diámetro de tanque de almacenamiento (mm)	460
Espesor, aislante (mm)	55
Conexión ventilación (pulgadas)	1/2 - 3/4
Conexión resistencia eléctrica (pulgadas)	1
Conexión de agua (pulgadas)	3/4
Ángulo de colector (grado)	30/45

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

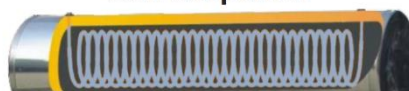
- Tanque interior: Acero inoxidable SUS316 grado Quirúgico - Grosor 0.5mm
- Tanque exterior: Acero galvanizado pintado al horno - Grosor 0.31mm
- Estructura: Acero galvanizado - Grosor 1.5mm
- Aislante térmico: Poliuretano inyectado de alta densidad libre de gas Freón - Grosor 55mm
- Tubo al vacío: Tubo triple capa, lleva una capa de Aluminio Nitrogenado, Cobre y Acero Inoxidable todo esto va entre los dos tubos concéntricos, haciendo que el tubo sea más eficiente para calentar agua.

Terma Solar

GARANTÍA 5 AÑOS



Con serpentín



CAPACIDAD	TUBOS		ESTRUCTURA			N° de Serpentes	N° de Duchas / Personas
	Largo (cm)	Cant.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (m ²)		
500 L	160	70	205	330	6.80	1	16 - 24
1000 L	160	140	205	680	13.62	2	30 - 50

* Cantidades aproximadas de acuerdo al consumo de 20 a 30 Litros en promedio por persona por ducha

Medidas	
Preservación del calor (hrs)	72
Resistencia al viento (km/h)	120

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- Tanque interior: Acero inoxidable SUS304 grado Alimentos - Grosor 0.5mm
- Tanque exterior: Acero galvanizado pintado al horno - Grosor 0.31mm
- Estructura: Acero galvanizado - Grosor 1.5mm
- Aislante térmico: Poliuretano inyectado de alta densidad libre de gas Freón - Grosor 55mm
- Tubo al vacío: Tubo triple capa, lleva una capa de Aluminio Nitrogenado, Cobre y Acero Inoxidable todo esto va entre los dos tubos concéntricos, haciendo que el tubo sea más eficiente para calentar agua.

Tubo de Borosilicato

CARACTERÍSTICAS:

- El componente clave de nuestras termas solares es el tubo al vacío de vidrio de Borosilicato con gran transparencia y resistencia al impacto, que absorben no solamente los rayos solares (radiación solar directa), sino también, el calor del medio ambiente aún cuando está nublado (radiación solar difusa). La captación de la energía solar se realiza por medio de los tubos de borosilicato, que están cerrados al vacío, produciendo un aislamiento térmico muy eficiente. Al ser transparente, los rayos inciden en el tubo interior. Los tubos llegan a obtener una absorbencia del 94% y una reflexión de solo el 6%.

TUBOS DE VIDRIO DE BOROSILICATO

Conocido también como Pyrex, estos pueden ser comparados a un termo para conservar agua. El termo está hecho de vidrio aislado al vacío, lo que permite que el café permanezca caliente durante varios días.

RESISTENCIAS CLIMATOLÓGICAS

Resiste vientos hasta 120 km/h. Resiste el granizo de 25mm. Rango de temperatura de trabajo -20°C/99°C

FORMA DE LOS TUBOS

La forma cilíndrica de los tubos y la separación entre ellos, permite que el viento pueda circular libremente entre los tubos. Este hecho, hace que estos colectores sean más resistentes a los vientos fuertes. Además el granizo no se acumula como en los planos y son más limpios por acumular menos polvo y suciedad.



Fabricados según procesos aprobados con la norma de calidad ISO 9001.

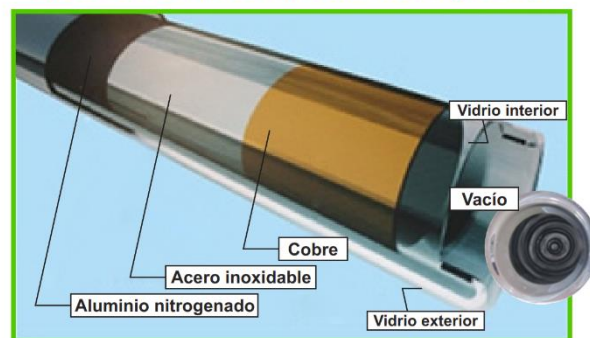
ALUMINIO NITROGENADO

Tubo interno de aluminio nitrogenado de color azul oscuro, con mínimas propiedades refractivas que maximizan la absorción de la radiación solar.

TECNOLOGÍA AL VACÍO

El vacío provee mayor eficiencia de la captación solar, debido al vacío de los tubos evitan la pérdida del calor conductivo, al estar sellados al vacío solo absorben el calor y preservan el agua caliente por varios días, esto los hace duraderos y fiables, requiriendo un mantenimiento mínimo.

Tubos concéntricos al vacío con triple capa



Observación	
Material del tubo	Vidrio de Borosilicato
Diámetro exterior (mm)	58
Longitud del vidrio (mm)	1800
Resistencia al viento (Km/h)	120
Resistencia al granizo (mm)	25
Rango de temperatura de trabajo (°C)	- 20/99

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Estos pueden ser comparados a un termo para conservar agua.
- Los tubos están hechos sellados al vacío, lo que permite que conserve el agua caliente durante varios días

DIMENSIONES DE PLANCHAS ACEROS AREQUIPA

**Planchas de Acero Inoxidable (Sheets and Plates)
ASTM A240 / ASME SA240**

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Tipo de Producto	Norma	Aplicación según la norma	Acabado	Grado	Espesor (mm)	Formato						
						1219 mm X 2438 mm (4' x 8')	1500 mm X 3000 mm	1524 mm X 3048 mm (5' x 10')	1500 mm X 6000 mm	1524 mm X 6095 mm (5' x 20')	1800 mm X 6000 mm	
Planchas	A-240	Industria Petroquímica, tanques, etc.	NO. 1	304/304 L	3.0-50.0	*	*	*	*	*		
				316/316 L	4.5-50.0	*	*	*	*	*		
				310 S	3.0-25.0	*	*	*	*	*		
				253MA	6.0-20.0	*	*	*	*	*		
				DUPLEX 2304S	6.0-32.0						*	
				41003 (CROMGARD®)	3.0-12.0				*	*		
			2B	201	0.4-3.0	*						
				304/304 L	0.4-0.5	*						
					0.6	*	*	*				
					0.7	*						
					0.8-2.5	*	*	*				
					3.0-6.0	*	*	*	*	*		
				316/316 L	0.4-0.9	*						
					1.0	*	*	*				
					12	*						
					1.5-2.5	*	*	*				
				3.0-6.0	*	*	*	*	*			
				430	0.4 -3.0	*						
			BA	430	0.4-2.0	*						
				BA-PVC	430	0.4-0.6	*					
			0.8		*							
			N4-PVC	201	0.5 -1.5	*						
				304/304 L	0.4-0.7	*						
					0.8-2.0	*	*	*				
				430	0.4-0.9	*						
					1.0-1.2	*	*	*				
			1.5-2.0		*							