



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño y dimensionamiento de una terma solar de tubos al vacío de 150 litros de capacidad para la zona norte del Perú

Trabajo de Investigación para optar el Grado de
Máster en Ingeniería Mecánico-Eléctrica con mención en Sistemas Energéticos y
Mantenimiento

Carlos Pablo Aguilar Narvaez
Jorge Luis Bautista Tang
Héctor Andrés Chinguel Rodríguez

Asesor:
Dr. Ing. Mario Daniel Marcelo Aldana

Piura, marzo de 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

TI Diseño y dimensionamiento de una ter
ma solar de tubos al vacio de 150 litros d
e capacidad para l

RECUENTO DE PALABRAS

12837 Words

RECUENTO DE PÁGINAS

74 Pages

FECHA DE ENTREGA

Mar 22, 2023 11:14 PM GMT-5

RECUENTO DE CARACTERES

67674 Characters

TAMAÑO DEL ARCHIVO

6.4MB

FECHA DEL INFORME

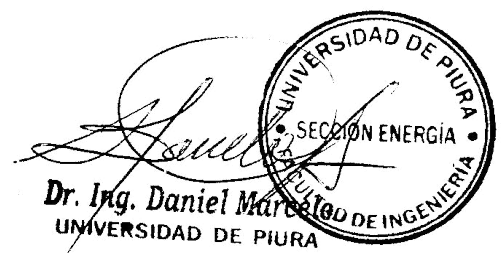
Mar 22, 2023 11:16 PM GMT-5**● 25% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 25% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados



Dr. Ing. Daniel Marcelino
UNIVERSIDAD DE PIURA

Dedicatoria

A mi familia por ser el motivo y soporte para mejorar como persona y profesional cada día. De manera especial mi hijo Carlos Adrián.

Dedicatoria de Carlos Pablo

A Daysi y Adriana por su amor y soporte incondicional.

A Marín e Isabel, por hacer de mí una persona que busca día a día ser mejor.

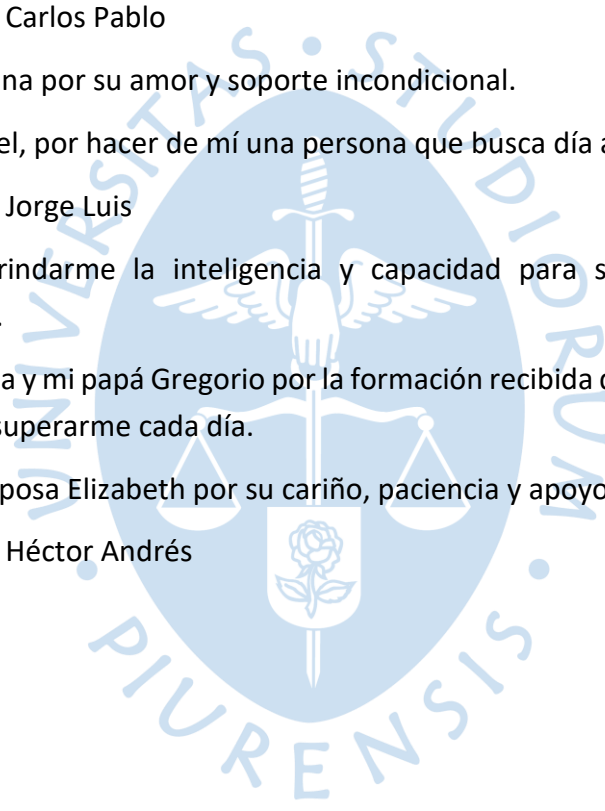
Dedicatoria de Jorge Luis

A Dios por brindarme la inteligencia y capacidad para seguir mejorando como profesional y persona.

A mi mamá Julia y mi papá Gregorio por la formación recibida de ellos, por sus consejos y su motivación para superarme cada día.

A mi amada esposa Elizabeth por su cariño, paciencia y apoyo en cada momento.

Dedicatoria de Héctor Andrés





Agradecimientos

Agradezco a la Universidad de Piura por la oportunidad de desarrollar el nivel de estudios de maestría, tomando ahora conciencia y los alcances específicos de conocimientos necesarios que permiten abordar la búsqueda de soluciones a problemáticas de carácter técnico en ingeniería o también de la sociedad.

Al mismo tiempo destacar la preocupación e interés al promover la implementación del programa de titulación al partir del cual y gracias a la participación del Mgtr .Ing. Jorge Yaksetig Castillo como coordinador y al Dr. Ing Daniel Marcelo como asesor, nos hemos permitido presentar como aporte el trabajo de investigación. Dicho trabajo busca contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas, buscando la eficiencia, rentabilidad y respetando el medio ambiente.

Agradecimiento Carlos Pablo

Agradezco A Dios por iluminar y protegerme en mi camino, a la Universidad de Piura, por la formación recibida en la maestría en ingeniería mecánica eléctrica con mención en Sistemas energéticos y mantenimiento, permitiendo actualizar mis conocimientos.

A nuestro asesor Dr. Ing. Daniel Marcelo por trasladarnos su experiencia y conocimiento en la realización de nuestro trabajo de investigación.

Agradecimiento Jorge Luis

Agradezco a la Universidad de Piura UDEP por brindarme la oportunidad de incrementar mis conocimientos profesionales, a los docentes que nos brindaron su conocimiento y experiencias, enriqueciendo nuestra formación académica.

A nuestro asesor Dr. Ing. Daniel Marcelo y Mgtr. Ing. Jorge Yaksetig Castillo quienes nos brindaron su apoyo para poder culminar esta etapa de nuestra vida profesional.

El presente estudio se realizó como parte del proyecto de investigación aplicada “Desarrollo de metodología para el diseño térmico de termas solares de tubos al vacío de alta eficiencia bajo restricciones climáticas y latitudinales del Perú”, financiado por PROCENCIA - Contrato N° PE501078609-2022, esquema financiero E041-2022-02.

Agradecimiento Héctor Andrés



Resumen

El presente trabajo de investigación aplicada se suma en los esfuerzos en el desarrollo sostenible, mediante el aprovechamiento de las energías renovables, contribuyendo a la conservación del medio ambiente y a hacer más eficientes y rentable su utilización.

El propósito fundamental, es buscar potenciar los diseños de termas tradicionales por sistemas solares más eficientes, utilizando las tecnologías de tubos al vacío los cuales permiten una más eficiente transferencia y acumulación de calor, lográndose tener la mayor energía térmica en comparación a los sistemas convencionales.

El desarrollo se focaliza en el estudio y aplicación para la ciudad de Piura con una capacidad de 150 litros. Se toma en cuenta la base de datos según la NASA para una ubicación geográfica de: latitud -5.1716 y longitud -80.639

Teniendo en cuenta el requerimiento de la instalación, así como los recursos disponibles de la zona seleccionada, se puede obtener las características de diseño de la terma como son 12 tubos al vacío, tanque de almacenamiento con 150 litros, y se instalará teniendo en cuenta un ángulo de inclinación de 5° y con orientación al norte.

Para la fase constructiva, se considera un tanque de acero inoxidable, para el cual se calcula un espesor de 2mm. Para brindar el aislamiento térmico correspondiente se considera un recubrimiento de fibra de vidrio cuyo espesor estimado será de 1 pulgada. Para proteger el aislamiento se colocará una chapa de acero inoxidable de 1mm de espesor.

Además, para las ocasiones en que no se pueda trabajar con la radiación solar, se está considerando incorporar una resistencia eléctrica de respaldo de 2.1kW.

Finalmente se plantea una evaluación económica financiera, en un periodo de 5 años, en la cual se puede evidenciar que, a pesar de tener un retorno en la inversión de 3 años y 11 meses, el ahorro que representa en la economía de los hogares es bastante favorable.



Tabla de contenido

Introducción	17
Capítulo 1 Marco teórico.....	19
1.1 La energía solar.....	19
1.2 La energía solar térmica	19
1.3 Instalación solar térmica	20
1.3.1 <i>Colector solar térmico</i>	21
1.3.2 <i>Funcionamiento de una instalación solar térmica</i>	23
1.3.3 <i>Clasificación de paneles solares térmicos</i>	24
1.3.4 <i>Paneles solares térmicos planos</i>	25
1.3.5 <i>Paneles solares térmicos de tubos de vacío</i>	27
1.3.6 <i>Depósitos acumuladores solares</i>	27
1.3.7 <i>Otros componentes de las instalaciones solares térmicas</i>	32
1.3.8 <i>Instalaciones solares térmicas con paneles termodinámicos</i>	33
1.3.9 <i>Clasificación de las instalaciones solares térmicas según temperatura</i>	35
1.3.10 <i>Instalaciones solares termoeléctricas o de concentración</i>	35
1.4 Transferencia de calor	36
1.4.1 <i>Transmisión</i>	36
1.4.2 <i>Conducción</i>	36
1.4.3 <i>Convección forzada dentro de tubos y conductos</i>	37
1.4.4 <i>Radiación</i>	38
Capítulo 2 Descripción del problema	41
2.1 Descripción de la situación	41
2.2 Definición del problema	43

2.3	Objetivo general y objetivos específicos	43
2.3.1	<i>Objetivo general</i>	43
2.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	43
2.4	Justificación	44
2.5	Antecedentes.....	45
Capítulo 3 Diseño de terma solar de tubos al vacío.....		47
3.1	Análisis del recurso energético.....	47
3.1.1	<i>Ubicación</i>	47
3.1.2	<i>Clima de Piura</i>	47
3.1.3	<i>Radiación promedio de Piura</i>	48
3.2	Análisis de la demanda	50
3.2.1	<i>Consumo de agua requerido</i>	50
3.3	Modelo matemático	50
3.3.1	<i>Cálculo de la demanda energética</i>	50
3.4	Sistema de captación solar de tubos al vacío.....	51
3.4.1	<i>Cálculo del área de captación</i>	51
3.4.2	<i>Factor de corrección de los tubos al vacío</i>	52
3.4.3	<i>Cantidad requerida de tubos al vacío</i>	52
3.4.4	<i>Volumen del tanque de almacenamiento de agua caliente</i>	52
3.4.5	<i>Aislamiento térmico</i>	53
3.4.6	<i>Resistencias para termas eléctricas</i>	54
3.5	Diseño	54
3.5.1	<i>Determinación de la demanda energética</i>	54
3.5.2	<i>Cálculo de la cantidad de tubos al vacío</i>	55
3.5.3	<i>Tanque de almacenamiento</i>	58
3.5.4	<i>Aislamiento térmico</i>	59
3.5.5	<i>Resistencia eléctrica de respaldo</i>	61
Capítulo 4 Análisis energético		63
4.1	Análisis energético sistema de captación por tubos al vacío	63
4.2	Análisis energético sistema de calentamiento con resistencias eléctricas.....	63

4.3	Análisis energético del sistema integrado.....	64
Capítulo 5 Presupuesto		65
5.1	Valorización económica del proyecto	65
5.2	Evaluación económica financiera del proyecto.....	66
Capítulo 6 Resultados.....		69
Conclusiones.....		71
Recomendaciones		73
Referencias bibliográficas		75
Anexos		77
Anexo A Dotación de agua por persona según el reglamento nacional de edificaciones ...		79





Lista de tablas

Tabla 1 Demanda de agua caliente sanitaria a la temperatura de referencia de 60°C. Código Técnico de la Edificación	32
Tabla 2 Radiación promedio del mes de enero a junio en el departamento de Piura según las coordenadas (Latitud: -5.1716, Longitud: -80.6394)	49
Tabla 3 Radiación promedio del mes de julio a diciembre en el departamento de Piura según las coordenadas (Latitud: -5.1716, Longitud: -80.6394)	49
Tabla 4 Dotación de agua para viviendas unifamiliares o multifamiliares	50
Tabla 5 Presupuesto para fabricación de terma solar con tubos al vacío	65
Tabla 6 Flujo de capital.....	66
Tabla 7 Flujo proyectado del sistema.....	66
Tabla 8 Flujo de caja	67
Tabla 9 Resultados.....	69



Lista de figuras

Figura 1 Instalación solar térmica	20
Figura 2 Instalación solar térmica con caldera auxiliar	21
Figura 3 Componentes de un panel solar térmica	22
Figura 4 Panel solar térmico de tubos de vacío	22
Figura 5 Captador solar	24
Figura 6 Paneles solares térmicos colocados en la cubierta de un edificio	26
Figura 7 Características y componentes de un panel solar térmico plano	26
Figura 8 Panel solar térmico de tubos de vacío	28
Figura 9 Instalación solar térmica mostrando sus componentes principales.....	28
Figura 10 Depósito acumulador de una instalación solar térmica para agua caliente sanitaria y de calefacción.....	29
Figura 11 Principio de funcionamiento de un captador solar con depósito incorporado (efecto termosifón).....	30
Figura 12 Panel solar con depósito incorporado	30
Figura 13 Principio de funcionamiento del ciclo de Carnot.....	34
Figura 14 Formas de transferencia de calor.....	36
Figura 15 Conducción	37
Figura 16 Convección	37
Figura 17 Diámetro hidráulico.....	38
Figura 18 Radiación	39
Figura 19 Matriz energética mundial	42
Figura 20 Producción de energía por Tipo de Generación	42
Figura 21 Radiación solar del departamento de Piura.....	47
Figura 22 Clima de Piura.....	48

Figura 23 Gráfico de Sankey del flujo de energía termosolar con tubos al vacío	63
Figura 24 Gráfico de Sankey del flujo de energía termo eléctrica	64
Figura 25 Gráfico de Sankey del flujo de energía termo solar con tubos al vacío con resistencia de respaldo.....	64



Introducción

Problemas actuales identificados como cambio climático, efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono o lluvia ácida; en gran medida atribuidos a la permanente utilización de los combustibles fósiles como el gas, carbón y petróleo. Todo ello suma a la preocupación por el cuidado y uso responsable del medio ambiente de factores nocivos como las emisiones de CO₂, metales pesados, azufre, ácidos y otros que dan lugar a los problemas arriba mencionados.

Todo lo expuesto nos conduce a tomar conciencia y sobre todo a actuar a nivel global a partir de decisiones que hagan más pronunciada la tendencia al cambio de las fuentes de energía tradicionales por aquellas que a pesar de que ya se tienen encaminadas, por falta de dichas decisiones y compromiso de la sociedad y entidades gubernamentales no adquiere las dimensiones necesarias para que estas puedan hacerse más económicas gracias a su producción masiva.

Así se viene propiciando partir del desarrollo de tecnologías cada vez más eficaces y económicas para aprovechar más eficientemente las fuentes de energía renovable como la solar, eólica, biomasa, geotérmica e hidráulica. Los esfuerzos invertidos en la utilización de manera general de las energías renovables permitirían resolver gran parte de los problemas medioambientales en el planeta para poder así hacer más sostenible la vida y garantizar la subsistencia de las futuras generaciones.

Una de las formas de obtención de energía, donde se viene desarrollando tecnología es para la forma de captar de manera eficiente la radiación solar para convertirla en energía eléctrica y energía térmica, buscando así hacer masivo su consumo y con ello abaratar los costos para su fabricación, lo que permitiría su uso masivo y así sustituir significativamente las fuentes de generación que derivan en contaminación.

El trabajo de investigación desarrollado propone la fabricación de termas solares cuya característica tecnológica de utilizar los tubos al vacío la hacen más eficiente, con la característica de poder alcanzar hasta 110°C, frente a las diseñadas tradicionalmente paneles solares térmicos planos; de uso generalizado y donde la obtención de temperaturas mayores a 70 °C a 100°C no es requisito, por lo que su uso se destina sobre todo a consumo en edificios y viviendas. El diseño considerado, incluye además el uso de un sistema energético auxiliar para la generación de calor para el calentamiento del agua utilizando una resistencia eléctrica,

lo que permitirá hacer continuo el uso de la terma durante las 24 horas del día aun cuando no se tiene al sol como fuente de radiación solar.



Capítulo 1

Marco teórico

1.1 La energía solar

El sol es una fuente de energía que produce hasta 89 000 TW frente a los 370 TW que se produce como energía eólica en tanto el consumo mundial de energía de 15TW. (Fuente: ecoesfera.es)

Conformada como una masa incandescente de plasma que alcanza hasta unos 6 000°C en la superficie. En tanto que la tierra cuenta con una temperatura superficial media de 10 a 20°C.

Además, el sol cuenta con el 98 – 99 % de materia de todo el sistema solar siendo fuente de luz y calor para todos los planetas que lo conforman. La gravedad en el planeta tierra es de 9,78 m/s²; mientras que en la superficie solar es de 274m/s².

1.2 La energía solar térmica

Los cambios climáticos producidos por actividades humanas derivan de la utilización de los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), los cuales emiten gases de efecto contaminante (CO₂, NO₂, CO, etc.). Los gases que se forman en la atmósfera terrestre pueden retener hasta el 47% de la energía solar que llega hasta la superficie de la tierra, en donde las plantas captan la luz solar y absorben el CO₂ de la atmósfera mientras que el agua y sales son absorbidas del suelo, produciendo así la materia orgánica. De esta forma la energía solar garantiza la vida en nuestro planeta.

Actualmente se hace necesario reemplazar los combustibles como medios de obtención de energía, por otros que sean limpios y renovables. La energía solar se maneja como una de esas alternativas más significativa. El sol como fuente de energía limpia e inagotable es capaz de proporcionar diversas manifestaciones de energía si se sabe captarlas.

El viento fuente de energía eólica generado por el calentamiento discontinuo de la tierra por la radiación del sol: y que por acción de los aerogeneradores la convierte en energía.

Las olas y las mareas también producto de la energía solar: y de ellas también se puede obtener energía. Además, se tienen diseñadas formas para aprovechar esas manifestaciones de energía limpia y renovable:

Tenemos las siguientes instalaciones para captar la energía solar:

- Instalación solar térmica: aprovechan la energía solar para generar calor.
- Instalación solar fotovoltaica: Convierte en electricidad la radiación captada del sol.
- Instalación solar termoeléctrica: Una combinación de los efectos de las anteriores formas, para producir tanto energía térmica como eléctrica.

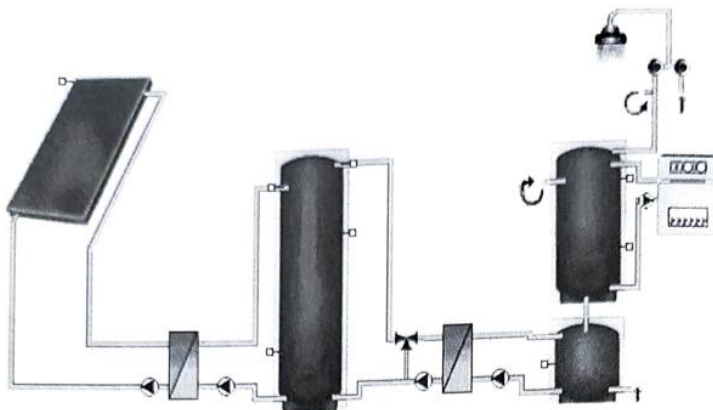
1.3 Instalación solar térmica

Según el Código Técnico de la Edificación (España) se tiene como componentes para instalaciones solares térmicas para calentamiento de agua para edificios y viviendas:

- Sistema de captación; formado por los paneles solares que transforman la radiación proveniente del sol, en energía térmica y así calentar el agua (fluido de trabajo) la que circulará a través de los mencionados paneles.
- Sistema de acumulación; integrado por uno o varios depósitos, sirven para el almacenamiento del agua caliente y a su vez mantenerla en reserva para su utilización.
- Circuito hidráulico; conformado por tuberías, bombas, válvulas, etc. Establecen el desplazamiento del fluido caliente hacia el sistema de captación.
- Sistema de intercambio; aquí se realiza la transferencia de energía térmica proveniente desde los captadores (circuito primario), al agua para su consecuente calentamiento.
- Sistema de regulación y control; aseguran el correcto funcionamiento al proporcionando la máxima energía térmica posible, sirviendo de protección de los sobrecalentamientos del sistema y riesgos de congelaciones.

Figura 1

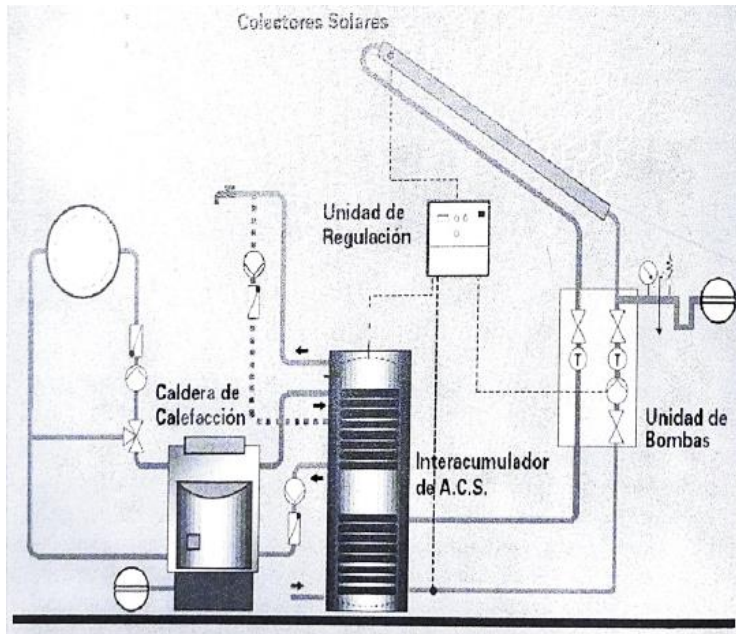
Instalación solar térmica



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

Figura 2

Instalación solar térmica con caldera auxiliar



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

1.3.1 Colector solar térmico

Estructuralmente diseñado para absorber la radiación solar y transformarla en energía calorífica. El calor obtenido es transferido al fluido de trabajo (agua, aire, fluidos especiales) con la finalidad de elevar su temperatura.

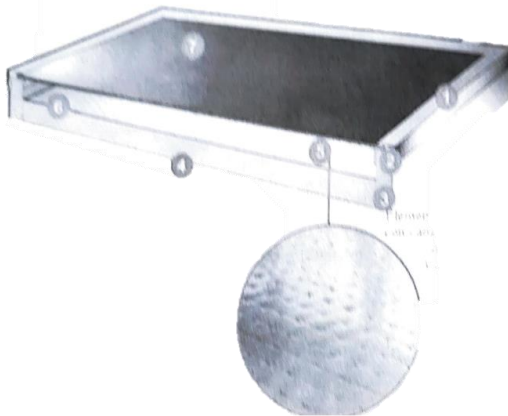
Caliente el fluido se puede emplear en calentar una vivienda o edificio, en calentar agua para las necesidades de una vivienda (duchas, lavabos, piscina, etc.)

El panel solar se conforma estructuralmente por:

- Un protector de cristal de seguridad y protección. No debe bloquear el paso del paso de la radiación solar.
- Un elemento absorbedor de la energía solar a base de aluminio. Importante porque dado que allí se absorbe las radiaciones solares, sin apenas reflexión, se calienta y calentando al mismo tiempo al fluido de trabajo al interior de los tubos del colector.
- Tubos de vacío del panel que permite circular por convección el fluido de trabajo (portador de la energía en forma de calor).
- Un material de separación.
- Componente aislante de fibra de vidrio en la parte inferior del panel.
- Caja del panel en acero laminado (galvanizado en caliente).
- Bastidor de ensamblaje.

Figura 3

Componentes de un panel solar térmica

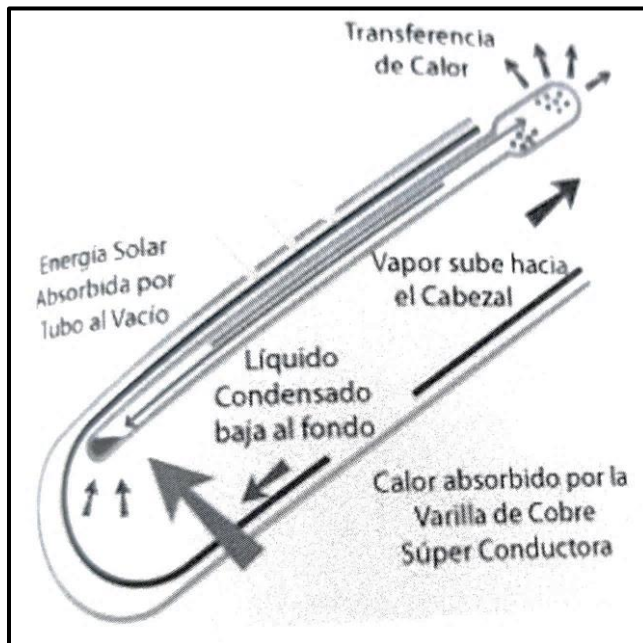


Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

Las referencias técnicas de los fabricantes sobre la superficie necesaria de paneles solares para calentamiento de una vivienda. Se tiene que la capacidad para un área habitable de 60 m² se puede utilizar una superficie de paneles de 6m², ya que, de esta forma, se consigue mejor calentamiento y una ventilación adecuada.

Figura 4

Panel solar térmico de tubos de vacío



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

En la figura 4 nos muestra otro tipo de panel solar térmico compuesto por tubos al vacío; de esta manera se consigue una buena transferencia de calor al fluido térmico sin que se caliente demasiado el panel.

1.3.2 Funcionamiento de una instalación solar térmica

Las instalaciones solares térmicas, aparte de los paneles, cuentan con otros componentes.

Entre ellos tenemos:

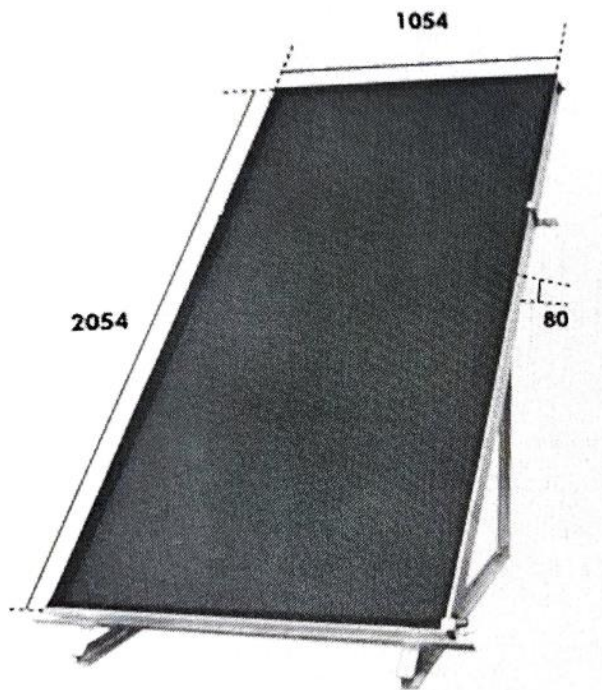
- Colector solar.
- Depósitos de fluido térmico solar (almacenaje).
- Dispositivo de circulación (bomba).
- Instrumentos y/o componentes de regulación y control.
- Generadores de energía auxiliares para producir calor (cuando no se tiene sol).
- Equipos accesorios (tuberías, válvulas, manómetros, vaso de expansión, etc.).

Los colectores solares cuentan con una capa absorbente que permiten la transformación de las radiaciones solares en calor. Dentro de estos colectores solares se puede llegar a tener temperaturas altas (más de 200°C por ello deben estar bien aislados térmicamente, principalmente en las zonas laterales y en la cubierta posterior. Ese calor es transferido al fluido que circula dentro de ellos. El fluido se parece al anticongelante de los carros, puede resistir temperaturas bajas, en el caso de heladas, nevadas, etc. Mediante una bomba se encarga de enviar el fluido caliente hasta acumulador. Dicha bomba cuenta con un sistema de control que lo pone en marcha cuando la temperatura del panel sea mayor que la del acumulador (así comienza el aporte de calor). En el depósito (acumulador), el fluido caliente ya impulsado circula por unas tuberías circulares y calienta el agua que contiene el acumulador. Esta puede ser utilizada en duchas, lavabos, lavadoras, etc. El fluido calefactor que ha cedido calor al agua se retorna al sistema de captación (panel) para reiniciar el ciclo.

Importante en la instalación es también el vaso de expansión, será quien absorba los cambios de volumen del fluido de trabajo (fluido caloportador), provocado por las oscilaciones de temperatura.

Dado que no siempre se dispone de energía solar, y si se tiene la necesidad de contar con el agua caliente o dicha fuente energía; no entregue lo suficiente para la demanda; Así en cada situación debe evaluarse la capacidad del depósito para que se ajuste a las necesidades. De manera que tenemos tres tipos de acumuladores:

- De agua caliente para lavabos, cocinas, duchas, etc.
- De inercia para calefacción y combinados con agua para la calefacción como para duchas, lavabos, etc.

Figura 5*Captador solar*

Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

1.3.3 Clasificación de paneles solares térmicos

Conocidos como captadores solares térmicos también son los que captan la radiación solar y la transforman en calor. Formas de clasificar:

- a. Por el fluido portador de calor:
 - De agua, cuando el agua circula por los tubos (sin aditivos).
 - De aire, aquí el aire circula por los tubos del panel, movido por un ventilador.
 - De agua con aditivos (anticongelantes, caso, solución de agua con glicol). Evita que el fluido de trabajo se congele en los periodos de baja temperatura. Los aditivos usados tienen la capacidad de disminuir la temperatura de solidificación normal del agua (0 °C), hasta -18°C o hasta -37°C.
- b. Por la forma de los tubos:
 - De tubos en forma de serpentín.
 - De tubos en forma rectos y verticales (respecto a la colocación de los paneles).
 - La clasificación más generalizada que tenemos es:
 - Captadores planos.
 - De tubos de vacío.

- Captadores termodinámicos.
- Tipo cilíndricos parabólicos para concentración solar.
- De tipo discos (disco Stirling) para concentración solar.
- Tipo torres solares.

1.3.4 Paneles solares térmicos planos

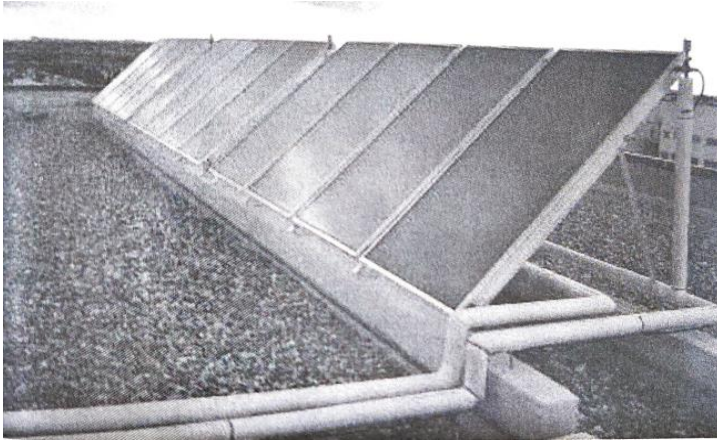
Son los que más se ven en instalaciones térmicas solares. Conforman casi el 90% del total de paneles térmicos que vemos instalados. Otros tipos de paneles (cilindro-parabólicos, de tubos de vacío, de discos) van aumentando en aplicación. Los paneles planos tienen aplicación en edificios y viviendas (calefacción, duchas, lavabos, cocinas, agua caliente para piscinas, etc. donde la temperatura no tiene que ser necesariamente mayor a 70-100 °C. El rendimiento que alcanzan es alto (70-80 %). Son los más utilizados, son fabricados en grandes cantidades haciéndose de esta manera más baratos.

Cada uno de sus componentes cumple una función:

- La cubierta de cristal templado podría también ser fabricada de plástico. Protege al absorbedor de las inclemencias externas, también reduciendo las pérdidas de calor logrando en el panel una especie de invernadero.
- El absorbedor o placa absorbente, fabricado de metal (cromo, níquel, cobre, acero inoxidable), posee un tratamiento superficial para aumentar la capacidad de absorción de las radiaciones solares, aumentando el rendimiento del panel.
- Aislamiento térmico, permite disminuir las pérdidas de calor, la parte trasera de la placa de absorción lleva un aislamiento de tipo plástico (poliuretano, fibra de vidrio), reforzado en algunos casos puede ser con una capa de aluminio.
- Conductores de fluido portador del calor, usualmente fabricados de cobre, bien en forma lineal o de serpentín, por su interior circula el fluido portador de calor (aire, agua, solución de agua con glicol). Este se encuentra en contacto con la placa de absorción para recibir el calor absorbido y transferirlo al fluido.
- Carcasa metálica, la que sujeta todos los componentes del panel.
- Aislamiento lateral y sellado con juntas de goma, a fin de lograr un rendimiento térmico más eficiente, reduciendo así las pérdidas de calor.

Figura 6

Paneles solares térmicos colocados en la cubierta de un edificio



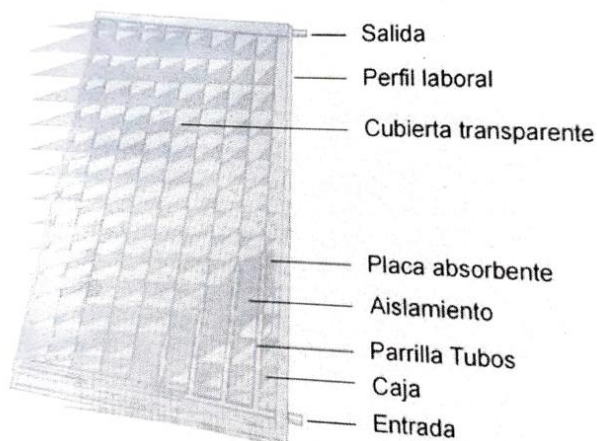
Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

Características que posee el fluido portador de calor. Formado en su totalidad con polialcoholes no tóxicos y con aditivos para asegurar así una mayor duración a la instalación térmica. Son características más destacadas:

- Ser un líquido no corrosivo, desde el punto de vista del desgaste químico como galvánico.
- Servir de protección contra microorganismos indeseables (especialmente en el caso de la legionella).
- Ayudar a la eliminación de depósitos.
- Reduciendo al mínimo el oxígeno ambiental y la formación de burbujas.
- Se tiene en bidones de 10, 25 y 60 litros.

Figura 7

Características y componentes de un panel solar térmico plano



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

1.3.5 Paneles solares térmicos de tubos de vacío

Paneles que disponen de tubos de vidrio transparente. A diferencia del sistema anterior con placa de absorción, para este caso cada tubo de vidrio lleva en su interior un tubo concéntrico de absorción, de menor diámetro, recubierta de una película selectiva (para mejorar la absorción), por aquí circula el fluido portador del calor. Se les denomina tubos de vacío, dado que, al fabricarlo, se extrae el aire contenido entre los dos tubos concéntricos. Al estar “vacío” dicho espacio, las pérdidas de calor resultan menores. La radiación solar atraviesa el tubo exterior transparente de vidrio, e incidiendo sobre el tubo interior de absorción, que se calienta. Dicho calor es transferido al fluido circulante al interior de este tubo.

Con paneles de tubos de vacío es posible calentar agua hasta unos 110°C, por lo que se pueden emplear para calefacción, lavabos, piscinas, etc.

El rendimiento de paneles con tubos de vacío es superior al de los que tienen placa de absorción. Debido a ese mayor rendimiento, son utilizados en climas fríos. Su inconveniente es que son muy caros.

1.3.6 Depósitos acumuladores solares

Dado que los paneles solares trabajan mientras se tiene radiación solar, se hace necesario satisfacer la demanda de calefacción durante la noche o en los periodos de tiempo nublados.

Por ello se requiere tener un depósito de almacenaje del agua caliente para dichos momentos de demanda. Los mencionados depósitos pueden ser para periodos cortos (horas) o periodos largos (de más de un día).

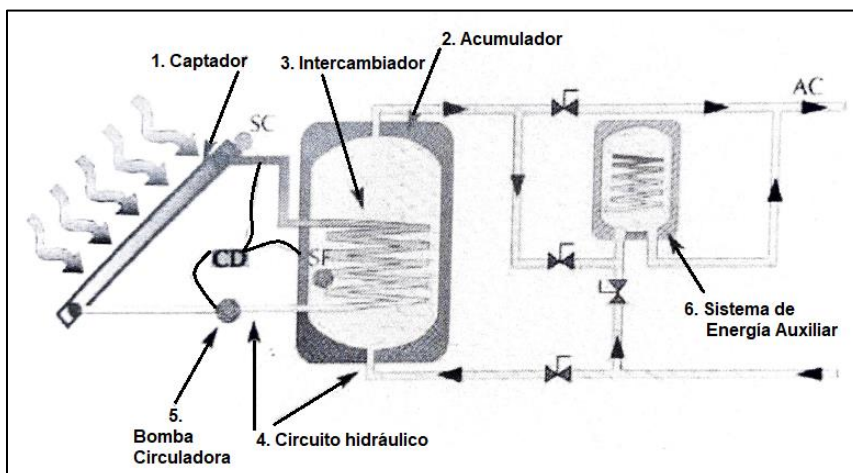
Se pueden clasificar en:

- Depósitos acumuladores de agua caliente sanitaria (ACS), para duchas, lavabos, baños, etc. Su capacidad oscila entre 100 y 400 litros para una vivienda, según el número de ocupantes. Hay que tener en cuenta que el consumo de ACS es de unos 40 litros a 45°C por persona y día.
- Acumuladores de inercia (para calefacción). Suelen ser de mayor capacidad (700 a 1 000 litros).
- Acumuladores multiuso (para calefacción y ACS).

Como vemos en las figuras 2, 5 y 9 el fluido que se calienta en los paneles solares pasa mediante unos serpentines al interior de un depósito para calentar agua que se puede utilizar para calefacción, ducha, lavabos, cocinas, etc.

Figura 8*Panel solar térmico de tubos de vacío*

Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

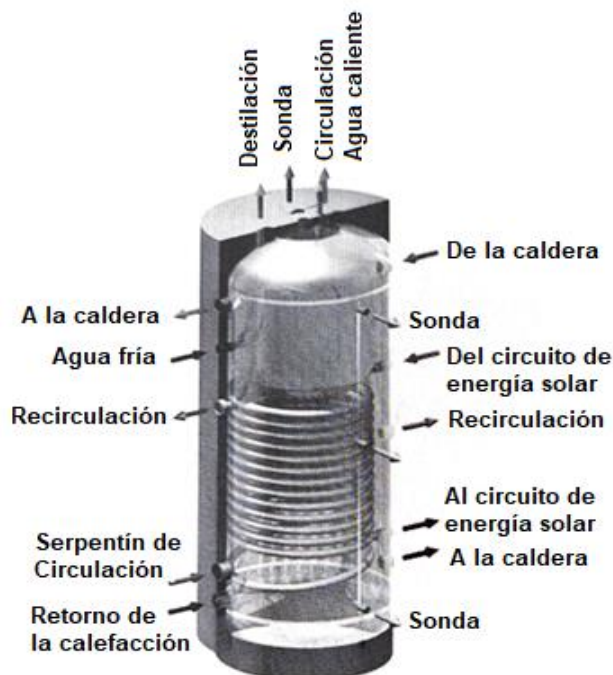
Figura 9*Instalación solar térmica mostrando sus componentes principales*

Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

La figura 10 representa un depósito acumulador separado del panel, y que se suele poner en el interior de la vivienda, en un cuarto especial junto con el resto de los componentes de la instalación (bomba, equipos de control, etc.). Este depósito sirve tanto para agua caliente sanitaria (pequeño depósito superior integrado en el acumulador) como para la calefacción (serpentín de la parte inferior).

Figura 10

Depósito acumulador de una instalación solar térmica para agua caliente sanitaria y de calefacción



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

Las figuras 11 y 12 nos presentan un caso en que el depósito está en el exterior adosado al propio panel solar (para aprovechar el efecto de termosifón).

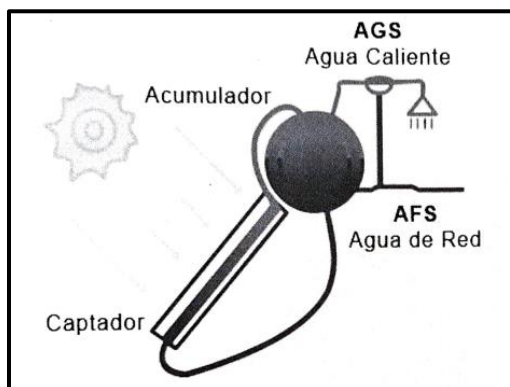
Estos depósitos son fundamentales para disponer de agua caliente cuando ya no tenemos sol. Gracias a su aislamiento el agua permanece caliente. Por ejemplo, se puede disponer de sensores y termostatos para mantener el agua a 42-45 °C (temperatura muy buena para duchas o aseo personal) en la parte superior del depósito. Si se pretende utilizar el agua para calefacción es mejor una temperatura más alta (60-65 °C) en esa parte superior del depósito. Hay que tener en cuenta que el agua fría entra por abajo. El agua caliente menos densa asciende a la parte superior del depósito, que es por donde sale para ser utilizada (duchas, baños, etc.). Es decir, en el depósito se produce un efecto térmico de estratificación de temperaturas. Este efecto resulta beneficioso, ya que, aunque el agua de la parte interior del depósito esté fría, la de la parte superior aún caliente se puede seguir utilizando.

Otro factor importante en estos depósitos es el tiempo que tardan en “cargarse”. Se llama así al periodo de tiempo soleado en que podemos tener el depósito totalmente lleno de agua caliente. Esto depende en gran medida de los paneles solares y de la climatología de la zona. Si tenemos varios paneles solares con una gran superficie, puede ser que el depósito lo tengamos lleno con agua caliente en 2-3 horas. Sin embargo, si tenemos poca superficie de paneles, puede ser que tardemos un día entero en tener el depósito lleno de agua caliente. La

economía entra en juego en estos casos. Puede que sea antieconómico poner muchos paneles para tener el agua caliente en dos horas. Si la zona es soleada y dispone de 6-8 horas de sol, quizás sea más económico poner menos paneles, y que el depósito se caliente en ese tiempo más largo (6 a 8 horas de sol).

Figura 11

Principio de funcionamiento de un captador solar con depósito incorporado (efecto termosifón)

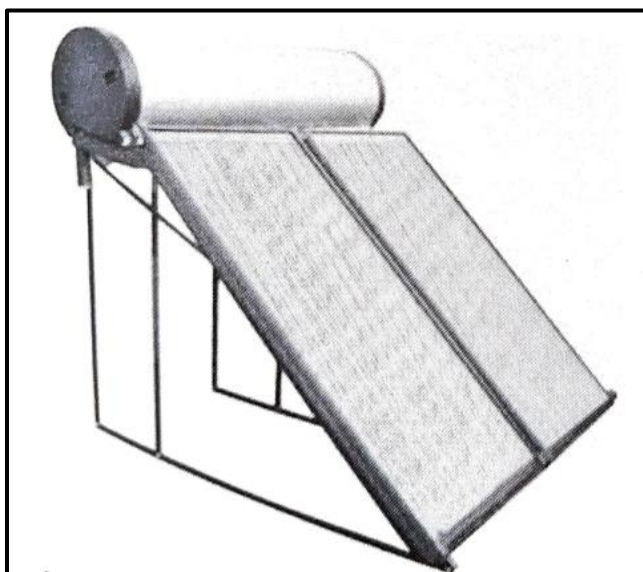


Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

Efectivamente, supongamos que ponemos una instalación que en tres horas se llena el depósito acumulador. El resto de las horas de sol habrá que desconectar los paneles y tenerlos improductivos. Por el contrario, en una zona con nubes abundantes y pocas horas de sol (menos de cuatro al día) entonces sí que es interesante poner más superficie de captación solar.

Figura 12

Panel solar con depósito incorporado



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

Las características de estos depósitos suelen ser las siguientes:

- Un buen aislamiento térmico para mantener el agua caliente el mayor tiempo posible. Se puede utilizar como aislante espuma inyectable de poliuretano de diferentes espesores (50, 80, 100, 120, 150 milímetros, por ejemplo).
- Protección contra la corrosión (revestimiento con pinturas anticorrosivas, esmaltes anticorrosivos, etc.).
- Uno o dos serpentinas interiores por donde circula el fluido portador del calor, procedente de los paneles solares, y cuya misión es calentar el agua que baña los serpentines por cuyo interior circula el citado fluido caloportador.
- Según las necesidades de agua caliente y calefacción, el depósito puede ser de distintas capacidades (150, 200, 250, 300, 400, 500 litros, etc.).
- Como material se suele utilizar mucho el acero inoxidable (resistente a la corrosión)
- La cara interior del depósito, así como la exterior de los serpentines, debe ser de ducha, baños, etc., que tiene que ser potable.
- El depósito debe llevar un sistema de tuberías para el retorno del agua de calefacción (si es el caso) para aprovechar el calor que aún contiene.
- Muchos depósitos llevan recipientes con tubos ondulados que ofrecen un mejor rendimiento en el intercambio térmico.
- Las temperaturas del agua en el interior del depósito pueden ser muy variables, desde la entrada de agua fría a 10-20° C hasta más de 90°C.
- La temperatura de salida debe ser regulable, según las aplicaciones que vaya a tener.
- La superficie de intercambio térmico de los serpentines es variable según las necesidades (de 1 a 3 m² en la mayoría de los casos).

(Esteire,E. ,Madrid,A.Madrid,A.,2010)

En el Código Técnico de Edificaciones se indica la demanda de agua caliente sanitaria en viviendas, hoteles, escuelas, cafeterías, restaurantes, etc. En la Tabla 1 vemos reflejados estos datos.

Tabla 1

Demanda de agua caliente sanitaria a la temperatura de referencia de 60°C. Código Técnico de la Edificación

Criterio de la demanda	Litros de ACS/día a 60 °C
Viviendas unifamiliares	30 por persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona
Hospitales y clínicas	55 por cama
Hoteles de 4 estrellas	70 por cama
Hoteles de 3 estrellas	55 por cama
Hoteles/hostal (2 estrellas)	40 por cama
Camping	40 por emplazamiento
Hostal /pensión (1 estrella)	35 por cama
Residencia (ancianos, estudiantes)	55 por servicio
Vestuarios/ Duchas colectivas	15 por servicio
Escuelas	3 por alumno
Cuarteles	20 por persona
Fábricas y talleres	15 por persona
Administrativos	3 por persona
Gimnasios	20 a 25 por usuario
Lavanderías	3 a 5 por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10 por comida
Cafeterías	1 por almuerzo

Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico

Estudiaremos otros elementos de las instalaciones solares térmicas.

1.3.7 Otros componentes de las instalaciones solares térmicas

Hemos estudiado los dos componentes principales de las instalaciones solares térmicas: los paneles solares y el depósito donde se acumula el agua caliente. Pero estas instalaciones tienen otros componentes tales como:

- Bomba del círculo solar, encargada de transportar el fluido portador del calor desde el colector al depósito acumulador.
- Regulador solar, que pone en marcha la bomba cuando la temperatura en el panel es superior a la del agua en el acumulador, con lo que puede empezar a calentar el agua y enviarla al depósito.
- Manómetro para conocer y poder regular la presión del sistema.

- Válvula mezcladora de agua. Por ejemplo, si tenemos el agua a 60 °C en el depósito y queremos utilizar para la ducha, hay que mezclarla con agua fría hasta que la temperatura sea de unos 40-43 °C.
- Válvulas de seguridad.
- Vaso de expansión, encargado de asumir los cambios de volumen del líquido portador del calor como consecuencia de las variaciones de temperatura.
- Caldera adicional, para disponer de agua caliente cuando no sea posible conseguirla con el sol (días nublados, por la noche). Esta caldera puede ser de varios tipos (gas, gasóleo, eléctrica, biomas, bomba de calor).
- Sistema de autoprotección contra temperaturas excesivas. Hay que tener en cuenta que en el interior de los paneles solares se pueden alcanzar temperaturas de 200 °C. Por ello, en caso de sobrecalentamiento se vacía automáticamente el colector.
- Sistema de ajuste del caudal según la intensidad de la radiación solar.

1.3.8 Instalaciones solares térmicas con paneles termodinámicos

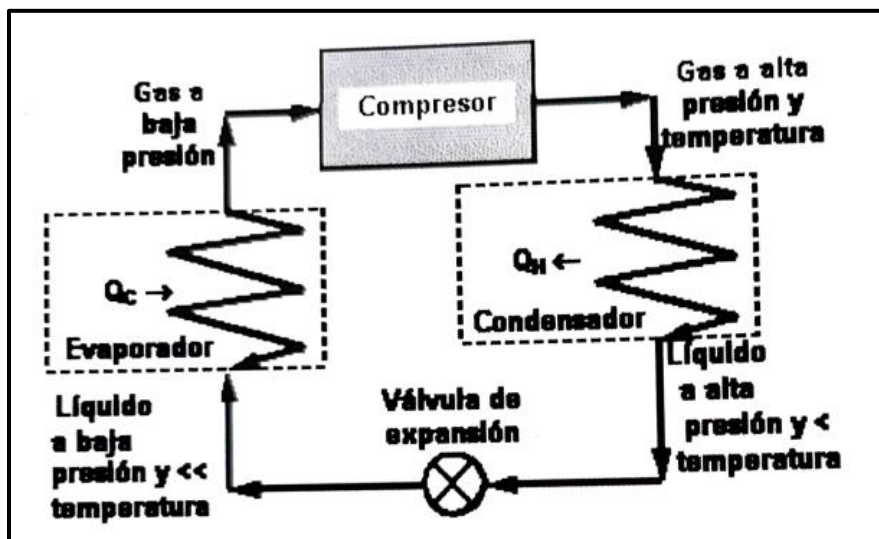
Las tecnologías de aprovechamiento de la energía solar están en constante evolución. Cerca de Oporto (Portugal) funciona una fábrica de paneles solares termodinámicos, cuya principal característica es que, por su interior, en vez de circular agua, lo hace un gas refrigerante (R134A, por ejemplo). La tecnología de este tipo de paneles es hispanoportuguesa, y son muchas las instalaciones (más de 2.000) que funcionan con este tipo de captadores en todo el mundo.

Su principio de funcionamiento se basa en el ciclo de Carnot (Ver Figura 13), donde se observa un circuito con cuatro componentes principales:

- La válvula de expansión (reguladora de la presión).
- El evaporador (que en este caso son los paneles termodinámicos como vemos más adelante).
- El compresor
- El condensador

Figura 13

Principio de funcionamiento del ciclo de Carnot



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

Todos estos elementos están unidos por tuberías de cobre deshidratado. A continuación, vamos a ver la secuencia de funcionamiento de una instalación solar térmica con paneles termodinámicos.

- a. Desde la válvula de expansión el flujo refrigerante inicialmente en estado líquido pasa a los paneles solares donde se calienta por la radiación solar, el calor ambiente, la lluvia o el viento.
- b. En los paneles termodinámicos, el refrigerante que entra procedente de la válvula de expansión se calienta y se expande (paso del estado líquido al gaseoso)
- c. En el compresor, el gas caliente se comprime por lo que según las leyes de las temperaturas del orden de 110 a 120 °C.
- d. El gas comprimido a 110 a 120 °C pasa a un intercambiador (el condensador) donde cede su calor al agua, de forma que ésta se caliente hasta unos 100 °C. Ya tenemos agua caliente para calefacción, piscinas, ACS, etc.

Estos paneles tienen unas dimensiones de 2 m de longitud por 0,8 m de anchura, es decir, tienen un área de 1,60 m². Pero como captan calor por las dos caras, la superficie aprovechable es de 3,20 m². Pesan 8 kilos por panel. Por ejemplo, para climatizar una piscina de 600 m³ se utilizaron 120 paneles que ocuparon 120 m² (se pueden poner solapados).

Por las muchas instalaciones que se realizaron, se observaron diversas ventajas de este tipo de tecnología:

- Funcionan, aunque esté nublado el día.
- Funcionan incluso de noche, si hay calor suficiente.

- Funcionan con lluvia y viento.
- Aprovechan el calor ambiental.
- No es necesario colocar los paneles en el tejado, se pueden colocar en las fachadas.
- Se pueden colocar solapados.
- No tienen forzosamente que estar orientados al sur.
- No se precisa fuente calórica de apoyo.
- No se congelan.
- No se saturan por calor.

1.3.9 Clasificación de las instalaciones solares térmicas según temperatura

Las instalaciones solares térmicas se pueden clasificar siguiendo el criterio de la temperatura final deseada, en tres grandes grupos:

- Instalaciones solares de baja temperatura. Se utilizan captadores solares planos para calentar el fluido a temperaturas interiores a 80 °C, adecuadas para ACS y calefacción.
- Instalaciones solares de media temperatura. Aquí es necesario recurrir a sistemas de concentración solar para conseguir temperaturas de hasta 350 °C. Se pueden usar en aplicaciones térmicas o en producción de electricidad.
- Instalaciones solares de alta temperatura (más de 350°C), donde se necesitan helióstatos y disco parabólicos para la concentración solar.

Hasta ahora hemos estudiado las dos primeras (baja y media temperatura). Vamos a ver ahora como se pueden conseguir temperaturas altas con instalaciones solares térmicas.

1.3.10 Instalaciones solares termoeléctricas o de concentración

Hasta ahora, hemos visto en este capítulo que la energía solar se aplica para obtener calor, que sirve para la calefacción, el agua caliente, etc. Se han desarrollado un tipo de instalaciones solares en las que utiliza la energía del sol para producir calor (temperaturas altas, de 200 a 1.000 °C). Este calor producido no se emplea en calefacción o para obtener agua caliente, sino que se transforma en vapor (de alta presión y temperatura), y ese vapor se emplea para producir electricidad. Como veremos a continuación, esta tecnología se basa en concentrar mediante fluido debido a las altas temperaturas alcanzadas por concentración solar, es también capaz de producir vapor a temperaturas altas. Básicamente, la tecnología termoeléctrica de concentración solar es de tres tipos:

- Concentración solar por captadores cilíndricos – parabólicos.

- Concentración solar por disco Stirling.
- Concentración solar en torres.

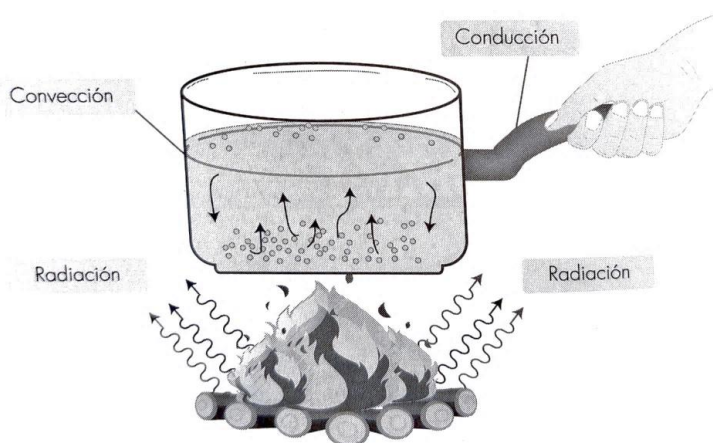
1.4 Transferencia de calor

1.4.1 Transmisión

En condiciones reales encontramos que las manifestaciones de energía calorífica se transportan desde una condición de alta temperatura hacia otra de baja temperatura. De dicha condición podemos establecer que el flujo de calor es mucho más contundente (significativo), en la medida que la diferencia de temperaturas entre las zonas en cuestión es también mayor.

Figura 14

Formas de transferencia de calor



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

1.4.2 Conducción

Este tipo de transmisión de calor se da al interior de un cuerpo o también entre cuerpos en contacto. Esta transmisión se manifiesta sin movimiento molecular de la materia. La energía calorífica fluye de un cuerpo sólido, que estando en una zona a mayor temperatura a otra de menor temperatura, el proceso es mecánico donde se generan choques o vibración entre átomos, se puede denominar difusión térmica o lo más utilizado, conductividad térmica.

La conducción, forma de transmisión que también se da a nivel de fluidos y gases, pero en estos casos cuando el calor empieza a fluir, se empiezan a establecer diferencias de densidad en las zonas de desplazamiento involucradas dando lugar así a corrientes de convección que se constituyen la forma macroscópica de transporte de energía térmica, a diferencia de la puramente microscópica que se da en el mecanismo de la conducción.

El flujo de calor cuando se da entre dos cuerpos dependerá así de dos factores:

- Diferencia de temperaturas.

- Tipo de material.

Figura 15

Conducción



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

1.4.3 Convección forzada dentro de tubos y conductos

Se denomina así al proceso de transferencia de calor que es generado por un gradiente de temperatura.

Figura 16

Convección



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

Transmisión de calor que se da mediante el desplazamiento de un punto a otro del fluido en movimiento. En el caso de fluidos y gases encontramos una mala conducción de calor, la transmisión se da con o sin cambio de estado, especialmente por convección.

La convección implica transferencia de calor por conducción, y acompañada con una transferencia macroscópica de energía térmica hacia o desde un fluido en movimiento.

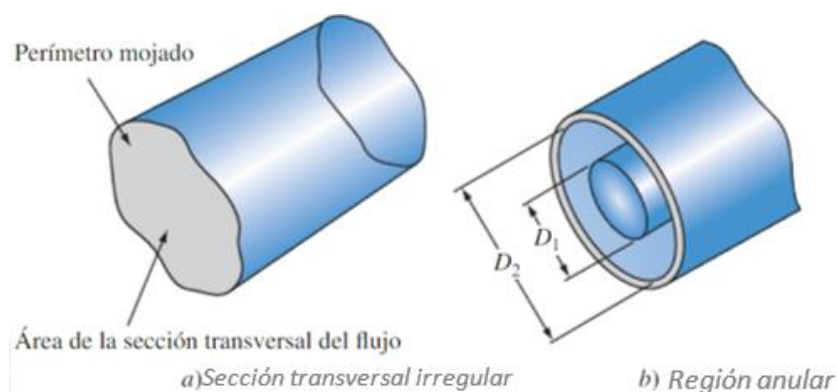
Así tenemos el caso del calentamiento de agua que se da en un colector solar.

El calentamiento y enfriamiento de fluidos circulando dentro de ductos, son de los más comunes procesos de transferencia de calor que se tienen en la ingeniería. Para el diseño y análisis de intercambiadores de calor, se requiere contar con el coeficiente de transferencia de calor entre la pared del conductor y el fluido que circula al interior. En el dimensionamiento de calderas, economizadores, sobre calentadores y precalentadores el diseño depende en gran parte del coeficiente de transferencia de calor entre la superficie interior de los tubos y el fluido. Conociendo dicho coeficiente para una geometría dada y en condiciones de flujo especificado.

Dicha relación permite determinar el área requerida para transferir calor a una tasa especificada correspondiente a un potencial de temperatura dado.

Figura 17

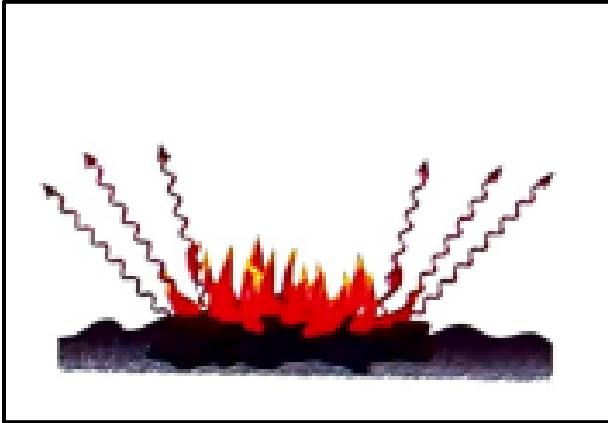
Diámetro hidráulico



Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones

1.4.4 Radiación

La cantidad de energía que se emite desde una superficie como una manifestación de calor radiante, depende de la Temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. Un radiador perfecto, una superficie de cuerpo negro con temperatura mayor a la temperatura absoluta irradia calor a razón de una tasa que es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta.

Figura 18*Radiación*

Nota. Tomado de Energías renovables manual técnico, 2010 AMV Ediciones



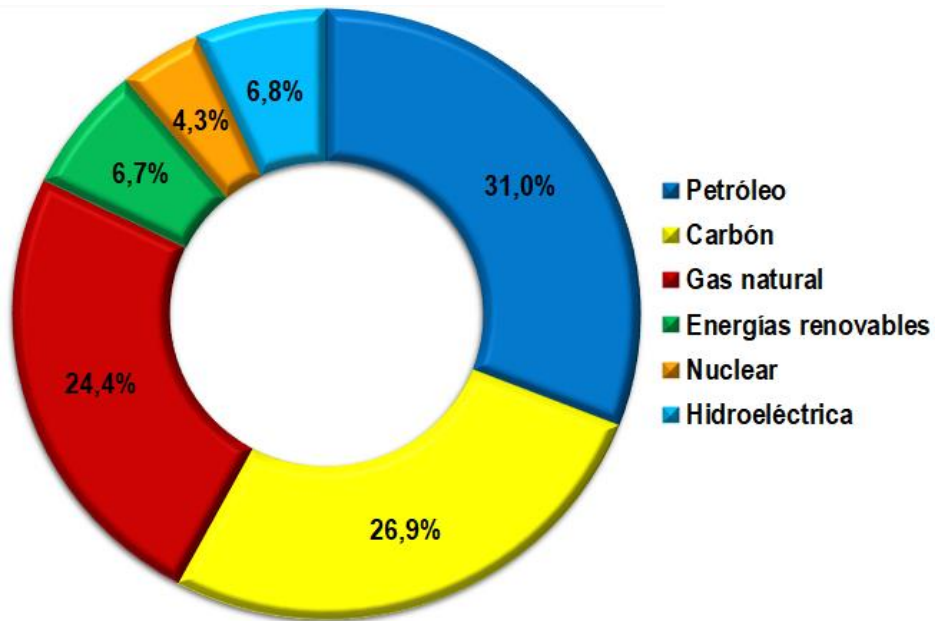
Capítulo 2

Descripción del problema

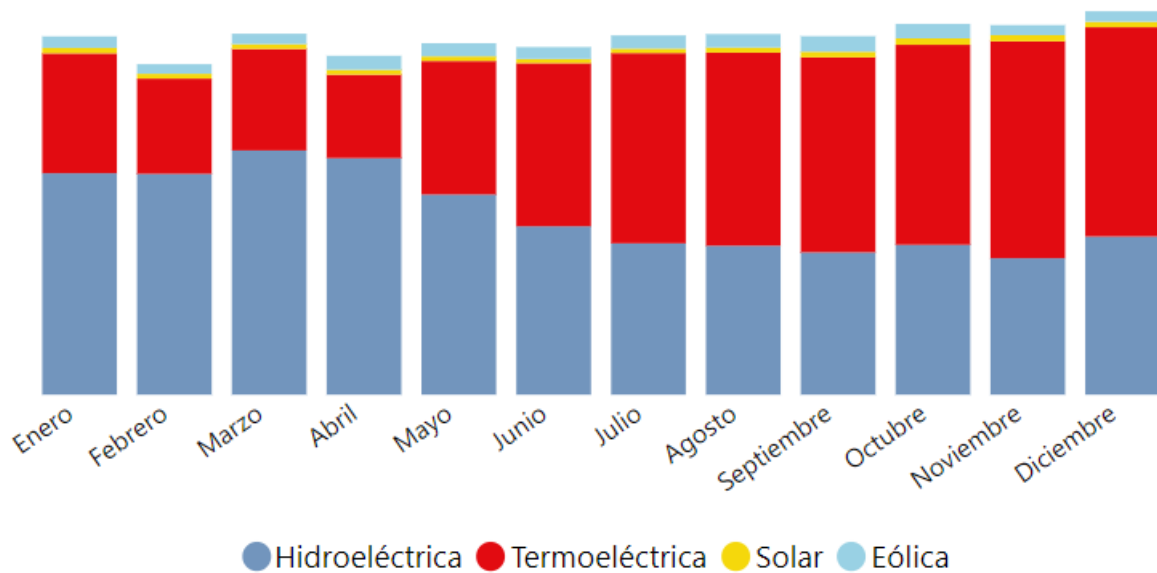
2.1 Descripción de la situación

La combustión de petróleo, gas natural y carbón para la generación de energía nos ha traído como resultado la generación de gases de efecto invernadero (GEI), tales como: Vapor de agua H₂O, dióxido de carbono CO₂, metano CH₄, ozono O₃ y óxido nitroso N₂O. Los GEI responsables del cambio climático, han generado deshielo de los glaciares, desertificación de tierras fértiles, aumento de fenómenos climáticos extremos (tormentas, inundaciones, olas de calor), enfermedades. Esta situación nos lleva a impulsar el uso de fuentes renovables (solar y eólica) con la finalidad de disminuir la generación de gases de efecto invernadero, teniendo en cuenta que el 82.3% (Figura 19) es generación térmica a nivel mundial y en el Perú en promedio anual el 43.99% (Figura 20) (COES, 2022) de generación térmica y por ende mayor generación de gases de efecto invernadero.

La necesidad de reducir los GEI, nos lleva a la reflexión y promoción de tecnologías limpias, que estén en consonancia con el equilibrio medio ambiental; en este sentido el presente estudio se enfoca en el aprovechamiento de la energía solar para el funcionamiento de una terma solar de tubos al vacío con capacidad de 150 litros para una familia de 5 habitantes.

Figura 19*Matriz energética mundial*

Nota. Elaborado por Clara Sánchez Guevara (2022) con datos BP Statistical Review of World Energy (2022)

Figura 20*Producción de energía por Tipo de Generación*

Nota. COES (2022)

2.2 Definición del problema

Con el pasar del tiempo el ser humano siempre busca mejorar su estilo de vida, lo que lleva a incrementar el consumo de energía, esa energía en la actualidad es energía eléctrica ya que en la mayoría de mejoras de estilo de vida están relacionados a equipos que consumen energía eléctrica tales como rasuradora, secadora de cabello, plancha, estufas eléctricas, termas eléctricas, lavadora, aire acondicionado y otros, Para generar la energía eléctrica se realiza a través de procesos hidráulicos, térmicos, solares y eólicos, teniendo en cuenta que en este proceso la generación de base es la generación hidráulica y cuando aumenta la demanda ingresan a funcionar la generación térmica (Gas y diésel), las cuales producen gases de efecto invernadero lo que provoca el cambio climático, además que este incremento de consumo de energía eléctrica también afecta a la economía de la persona.

En la actualidad el uso de una terma eléctrica para mayor comodidad de la higiene personal es común en los diversos hogares, estas termas a su vez son de varios modelos desde modelos básicos (Termas instantáneas, duchas eléctricas) hasta termas programadas, en las que definimos el tiempo y días de funcionamiento.

Las termas eléctricas por lo general son de 1kw a 2kw de potencia, funcionando 3 horas como mínimo al día para la atención de una familia de 5 integrantes, y produciendo un consumo mensual promedio de 180kw (S/. 190.44) lo que genera un costo elevado para una familia y generando una oportunidad a las termas solares ya que no generan gases de efecto invernadero y tampoco generan un costo mensual por consumo de energía, el único costo será el de implementación el cual se recuperará en un periodo de tiempo que lo definiremos en la evaluación de resultados en los capítulos siguientes.

2.3 Objetivo general y objetivos específicos

2.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema solar térmico con tubos de vacío de 150 litros de capacidad para las condiciones ambientales de la ciudad de Piura.

2.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la demanda de agua caliente para una familia de 5 habitantes.
- Calcular la demanda energética del sistema.
- Diseñar sistema solar por tubos al vacío para las condiciones climáticas de la región Piura.
- Diseñar el sistema de respaldo por resistencias eléctricas.
- Realizar el presupuesto.
- Realizar una evaluación económica del sistema.

2.4 Justificación

Se evidencia día a día que nuestra problemática ambiental se agrava principalmente debido a las actividades humanas que generan gases de efecto invernadero, que en gran cantidad producen el cambio climático, estos gases a su vez también ayudan a mantener la temperatura adecuada para mantener un equilibrio ecosistémico, si no tuviéramos este efecto invernadero la temperatura de la tierra sería aproximadamente de -18°C en lugar de los 15°C que necesitamos.

En materia de políticas ambientales a nivel mundial se está avanzando, pero sigue siendo muy poco como para solucionar nuestra problemática ambiental. El protocolo de Kioto planteó en un primer momento la reducción de los gases de efecto invernadero (GEI), entre los cuales reconocía al dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidroclorofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). El incremento de estos gases genera el calentamiento global y la destrucción de la capa de Ozono. En la actualidad el Protocolo de Kioto ha sido sustituido por el Acuerdo de París, que tiene como objetivo limitar el calentamiento global por debajo de 2 grados, preferiblemente a 1.5 grados centígrados en comparación a los niveles preindustriales. En la última Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 27), se aprobó crear un fondo destinado a financiar las pérdidas y daños climáticos de los países más vulnerables a los efectos del calentamiento global.

El Perú es un país altamente vulnerable al cambio climático, situación que nos lleva a plantearnos reducir el consumo de combustibles fósiles, reemplazando este consumo por el de energías renovables. Según define la Organización de las Naciones Unidas: "Las energías renovables son un tipo de energías derivadas de fuentes naturales que llegan a reponerse más rápido de lo que pueden consumirse. Un ejemplo de estas fuentes es, por ejemplo, la luz solar y el viento; estas fuentes se renuevan continuamente." En este sentido desarrollar proyectos que usen estas energías favorecerá la reducción de los GEI especialmente CO_2 y CH_4 .

Actualmente, en todas las zonas residenciales del litoral peruano, cada vez se hace más extensivo y necesario el uso de agua caliente en las viviendas, lo cual genera un alto impacto tanto en las emisiones en el planeta por el consumo de energía eléctrica que proviene principalmente de fuentes energéticas convencionales como gas - petróleo e incluso carbón.

Así mismo, ya se cuenta con tecnologías que permiten captar la energía del sol para poder generar energía solar, pero estas no tienen una buena eficiencia.

Por lo cual se plantea el diseño de un sistema de captación de energía solar para calentamiento de agua en uso doméstico por medio de tubos al vacío como fuente principal de calor y con un sistema eléctrico de respaldo.

2.5 Antecedentes

A lo largo de los años el aprovechamiento de la energía renovable, como reemplazo de las energías no-renovables ha tomado un gran impulso ya que los cambios climáticos por el consecuente impacto del uso de estos en nuestro planeta cada vez son mayores y evidentes, siendo la energía solar una de las principales.

Así mismo, la tecnología con mejor aprovechamiento de la energía solar es una de las que ha tenido un mayor avance y cada vez los costos son más accesibles.

Con el uso de energías renovables se trata de cambiar el modelo energético, mitigar la contaminación por la generación de energía, por lo que es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías o mejorar las tecnologías existentes en aprovechamiento de estas fuentes renovables.

Flores Zamalloa, Christian Joaquín (2018) desarrolla una tesis para el “Diseño de una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de Puno” elaborada en la Universidad del Altiplano, Facultad De Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica Y Sistemas, Escuela Profesional De Ingeniería Mecánica eléctrica. En este trabajo, se realiza el diseño de una terma solar de 153 litros de capacidad para una familia de 5 integrantes de la ciudad de Puno, lo cual nos permitirá evaluar los criterios seleccionados para el diseño.

Espinoza Cadenillas, Erico Mauro Elías (2022) en “Propuesta de diseño de un sistema termosolar para obtención de agua caliente en zona rural de Cajamarca” desarrollada en la Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, presenta un método de análisis de información y criterios que ayudará en el diseño de terma solar con tubos al vacío.

Urbano Ramos, Wilmer Eddy. (2020) en "Análisis, diseño energético y control de una terma solar de tubos al vacío de 150 litros del norte costero del Perú". Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ingeniería. Desarrolla una herramienta numérica basada en la Dinámica de fluidos computacional y utilizando trabajos experimentales encontrados en la literatura revisada, para evaluar el desempeño hidráulico y térmico de los calentadores de agua de vidrio de tubos de vacío solares en estado inestable. Concluye que el número de tubos y la longitud del tanque de almacenamiento no influyen en el flujo másico en el límite del extremo de los tubos de vacío y el tanque de almacenamiento.

Porras Prieto, Carlos Javier. (2015) en “Evaluación de un Sistema de Energía Solar Térmica basado en Colectores de Tubos de Vacío para suministro de Agua a alta Temperatura”, busca caracterizar un sistema térmico de tubos al vacío para producir altas temperaturas de los habituales, determinando la relación entre la temperatura del depósito sobre la eficiencia del sistema; cuantificando el volumen de agua caliente que es posible suministrar en función de esa temperatura evaluando la rentabilidad de este. Para ello, diseña, instala y pone a punto un sistema experimental de calentamiento de agua. Para monitorear sus parámetros de operación en condiciones reales. Concluyendo que la temperatura del

depósito disminuye la energía recibida por el mismo por disminución de eficiencia del captador y pérdidas en tuberías.

Gallo Zapata, Emilio Alberto. (2019) en “Climatización de piscinas y obtención de agua caliente sanitaria” elaborada en la Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, realiza un análisis sobre el uso de energías que generen menor contaminación ambiental y proveerá de información ambiental de la ciudad de Piura para el diseño de terma solar de tubos al vacío y la metodología utilizada será evaluar la demanda energética y la disponibilidad del recurso solar.

Choque Icarayme, Ever (2019) en “Diseño de la terma solar para el suministro de agua caliente para 80 usuarios en el colegio Javier Heraud Virundo Grau Apurímac 2019”. Determina que para una demanda de 502 litros se necesitan 27 tubos al vacío tipo termosifón, con las siguientes características: Diámetro exterior=58 mm, Diámetro interior = 50 mm, Espesor = 3 mm, Longitud = 1800 mm y Longitud útil = 1750 mm. La presente tesis facilita información para el marco teórico del diseño.

Se ha identificado que el Dr. Avadhesh Yadav, VK Bajpai en su artículo “An Experimental Study on Evacuated Tube Solar Collector for Heating of Air in India” de la World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering (Vol:5, No:7, 2011), hace referencia sobre la “Teoría del rendimiento del colector” donde indica la energía que se puede aprovechar al usar tubos al vacío ya que sus pérdidas térmicas son muy pocas debido a que no hay pérdida de calor por conducción y convección.

Capítulo 3

Diseño de terma solar de tubos al vacío

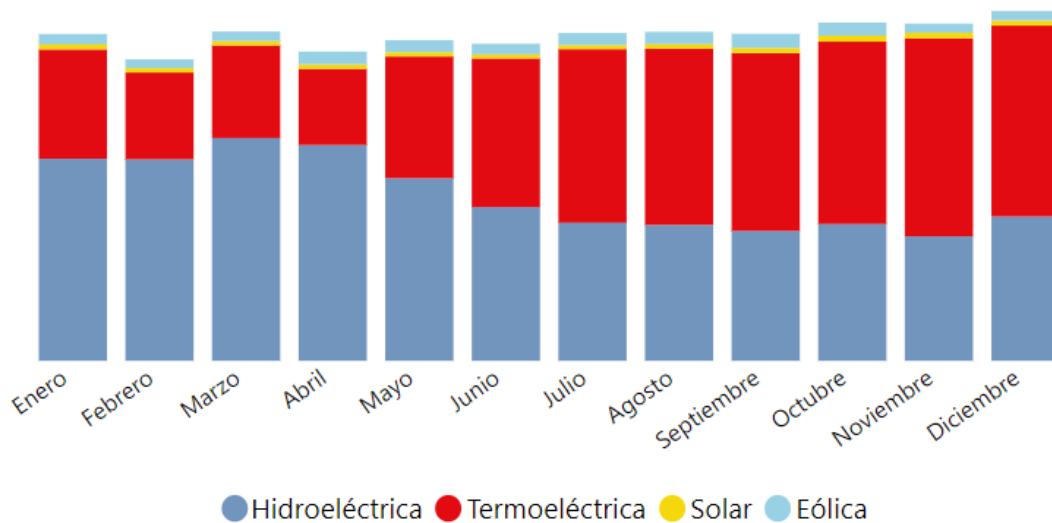
3.1 Análisis del recurso energético

3.1.1 Ubicación

Para el presente diseño, se tiene en cuenta la región Piura. La cuál presenta un alto potencial de ahorro energético tal como se muestra en el mapa solar del departamento.

Figura 21

Radiación solar del departamento de Piura



Nota. Tomado de Deltavolt

Como se puede observar, en promedio se tienen radiaciones desde 4.5 a 6.5 kW-h/m², y para el proyecto se han utilizado las coordenadas de la Universidad Privada de Piura

Latitud: -5.1716, Longitud -80.6394.

3.1.2 Clima de Piura

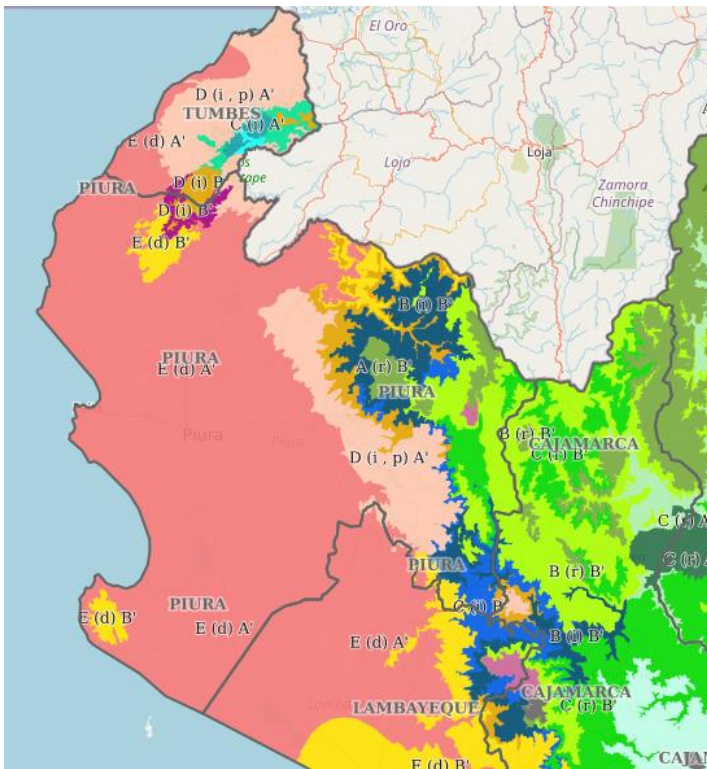
Clima de tipo árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año. Cálido. Ocupa 2% del área nacional y se encuentra en mayor proporción en Piura, seguido de Lambayeque y Tumbes.

En verano, el tiempo de esta área está determinado por la Alta de Bolivia, por la Zona de Convergencia Intertropical, por factores oceánicos como la TSM y locales. Teniendo en consideración el promedio histórico de 1981 hasta 2010.

- Altitud. Por debajo de la cota de 900 m. s. n. m.
- Temperatura máxima. Entre 15°C a 33°C
- Temperatura mínima. Entre 13°C a 23°C
- Precipitación anual. 20 mm a 50 mm en el desierto de Sechura y alcanzan valores entre los 700 mm a 900 mm al interior y zonas altas de Piura.

Figura 22

Clima de Piura



Nota. Tomado de Senamhi

3.1.3 Radiación promedio de Piura

Para el proyecto planteado, se tomarán los datos de la página de la nasa, en la cual acorde a las coordenadas definidas para la evaluación del proyecto; (Latitud: -5.1716, Longitud -80.6394). obteniendo la siguiente información:

Tabla 2

Radiación promedio del mes de enero a junio en el departamento de Piura según las coordenadas (Latitud: -5.1716, Longitud: -80.6394)

Parámetros/Mes	Ángulo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Prom.
Con sistema de captación horizontal	0	5.70	5.38	5.59	5.70	5.20	4.30	5.31
Con sistema de captación latitud menos 15°	-10°	5.39	5.22	5.56	5.90	5.48	4.94	5.42
Con sistema de captación latitud	5°	5.56	5.32	5.59	5.84	5.36	4.80	5.41
Con sistema de captación latitud más 15°	20°	4.97	4.95	5.40	5.91	5.63	5.14	5.33
Con sistema de captación vertical	90°	1.66	1.67	1.79	2.73	3.31	3.34	2.42
Con sistema de captación óptimo	Variable	5.70	5.38	5.60	5.92	5.66	5.22	5.58
Ángulo Óptimo		0.00	0.00	2.00	16.00	26.50	31.50	12.67
Orientación		Norte	Norte	Norte	Norte	Norte	Norte	

Nota. Tomado y adaptado de la página web de la NASA

Tabla 3

Radiación promedio del mes de julio a diciembre en el departamento de Piura según las coordenadas (Latitud: -5.1716, Longitud -80.6394)

Parámetros/Mes	Ángulo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Prom.
Con sistema de captación horizontal	0	4.90	5.20	5.92	0.07	0.15	6.03	3.71
Con sistema de captación latitud menos 15°	-10°	4.99	5.42	5.98	5.93	5.84	5.65	5.64
Con sistema de captación latitud	5°	4.85	5.32	5.97	6.02	6.02	5.85	5.67
Con sistema de captación latitud más 15°	20°	5.17	5.51	5.90	5.66	5.41	5.15	5.47
Con sistema de captación vertical	90°	3.22	2.86	2.13	1.57	1.60	1.62	2.17

Con sistema de captación óptimo	Variable	5.22	5.51	5.98	6.07	6.15	6.03	5.83
Ángulo Óptimo		30.00	22.00	9.00	0.00	0.00	0.00	10.17
Orientación		Norte	Norte	Norte	Norte	Norte	Norte	Norte

Nota. Tomado y adaptado de la página web de la NASA

3.2 Análisis de la demanda

3.2.1 Consumo de agua requerido

Para poder determinar el consumo de agua, se tiene en cuenta lo indicado por el reglamento nacional de edificaciones (DS N° 011-2006-VIVIENDA pág. 130). En el cual se detalla la necesidad de agua:

Tabla 4

Dotación de agua para viviendas unifamiliares o multifamiliares

Número de dormitorios por vivienda	Dotación en litros por vivienda diarios
1	120
2	250
3	390
4	420
5	450

Nota. DS N° 011-2006-VIVIENDA (pág. 130)

Para el proyecto se tiene en cuenta el caso de una residencia multifamiliar con dos dormitorios.

Según la tabla, para dos dormitorios se requiere un consumo de agua caliente (40°C) de 250 litros por día.

3.3 Modelo matemático

3.3.1 Cálculo de la demanda energética

En los sistemas de intercambio de calor, es indispensable primero calcular la energía necesaria para poder realizar el calentamiento o enfriamiento del fluido. Para lo cual se emplea la ecuación fundamental de la calorimetría:

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \quad (\text{Ec. 01})$$

Donde:

Q : Calor kJ.

m : Masa de agua en kg.

C_p : Calor específico del agua en kJ/kg°C.

T_i : Temperatura inicial en °C.

T_f : Temperatura final en °C.

Para el caso del diseño, se conoce como demanda energética a la cantidad de energía para cambio de la temperatura de una determinada masa de agua (m) al pasar de una temperatura inicial (T_i) a una temperatura final (T_f) y el calor ganado o cedido por el agua para dicho cambio de temperatura se calcula teniendo en cuenta:

$$Q = E \quad (\text{Ec. 02})$$

Reemplazando en la ecuación 01:

$$E = m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \quad (\text{Ec. 03})$$

Donde:

E : Demanda energética kJ/día

m : Masa de agua en kg/día.

C_p : Calor específico del agua en kJ/kg°C.

T_i : Temperatura inicial en °C.

T_f : Temperatura final en °C.

3.4 Sistema de captación solar de tubos al vacío

A continuación, se describe los pasos a seguir, y se define la metodología a emplear para dimensionar el sistema de captación solar de tubos al vacío para calentamiento y almacenamiento de agua en el departamento de Piura.

3.4.1 Cálculo del área de captación

Es el área requerida para poder captar la radiación solar y cubrir la demanda energética que requiere el sistema, la cual se obtiene al dividir la energía necesaria por el sistema (E) entre la radiación solar por el factor de corrección de los tubos de vacío según la ecuación:

$$A_{cap} = \frac{E}{H_p \cdot \alpha} \quad (\text{Ec. 04})$$

A_{cap} : Área de captación en m².

E : Energía en kJ/kg°C.

H_p : Radiación solar en kW-h/m².

α : Factor de corrección de los tubos al vacío.

3.4.2 Factor de corrección de los tubos al vacío

El factor de corrección es el porcentaje de la radiación que llega y es captada por los tubos de vacío, se determina mediante la ecuación:

$$\alpha_s = \frac{\tau \cdot \alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} \quad (\text{Ec. 05})$$

Donde:

τ : Transmisibilidad de los tubos al vacío.

α : Absortividad de los tubos al vacío.

ρ_d : Reflectancia difusa de los tubos al vacío.

3.4.3 Cantidad requerida de tubos al vacío

La cantidad de tubos al vacío se determina teniendo en cuenta el área de aprovechamiento de cada tubo al vacío

$$N_t = \frac{A_{cap} \cdot F_s}{A_t} \quad (\text{Ec. 06})$$

N_t : Número de tubos al vacío.

A_{cap} : Área de captación en m².

F_s : Factor de seguridad.

A_t : Área por tubo al vacío en m².

3.4.4 Volumen del tanque de almacenamiento de agua caliente

Para el caso del tanque de almacenamiento, se tiene en cuenta tanto el requerimiento de agua caliente, así como las temperaturas de almacenamiento y de agua caliente para uso, así como temperatura del agua de suministro.

Para dicho cálculo se tiene en cuenta la ecuación fundamental de la calorimetría igualando el calor cedido por la masa de agua caliente al calor ganado por la masa de agua fría.

3.4.4.1 Temperatura equivalente en el tanque de almacenamiento. Temperatura a la cual se almacena el agua en el tanque de almacenamiento, se considera como temperatura equivalente logrando un delta de 35°C para sistemas puntuales, y en sistemas continuos, deltas de temperatura de 20°C, pudiendo llegar en zonas con alta radiación a deltas de temperatura mayores.

3.4.5 Aislamiento térmico

Para poder calcular el aislamiento, es necesario poder primero determinar la pérdida de calor por convección y conducción, y para lograr tener un aislamiento adecuado, se debe cumplir el principio de la conservación de energía, es decir igualando ambas pérdidas:

$$Q_{conv.} = Q_{cond.} \quad (\text{Ec. 07})$$

Donde:

$Q_{conv.}$: Pérdida de calor por convección en W.

$Q_{cond.}$: Pérdida de calor por conducción en W.

3.4.5.1 Pérdidas de calor por convección. Para determinar las pérdidas por convección, utilizamos la expresión de la ecuación de Newton:

$$\frac{Q_{conv.}}{A_s} = h \cdot (T_s - T_\alpha) \quad (\text{Ec. 08})$$

Despejando

$$Q_{conv.} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\alpha) \quad (\text{Ec. 09})$$

Donde:

$Q_{conv.}$: Pérdida de calor por convección en W.

h : factor de convección o coeficiente de película en $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$.

A_s : Área de la superficie en m^2 .

T_s : Temperatura de la superficie en $^{\circ}\text{C}$.

T_α : Temperatura del aire en $^{\circ}\text{C}$.

3.4.5.2 Pérdidas de calor por conducción. Para determinar las pérdidas por conducción, se calculan mediante la fórmula:

$$Q_{cond.} = \frac{(T_{eq} - T_\alpha)}{R_t} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

$Q_{cond.}$: Pérdida de calor por conducción en W.

R_t : Resistencia térmica total de aislamiento en $^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

T_{eq} : Temperatura equivalente al interior del recipiente en $^{\circ}\text{C}$.

T_α : Temperatura del aire en $^{\circ}\text{C}$.

$$R_t = R_{tr1} + R_{tr2} + R_{tr3} + \dots + R_{trn} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

R_t : Resistencia térmica total de aislamiento en °C/W.

R_{tr1} : Resistencia térmica de aislamiento material 01 en °C/W.

R_{tr2} : Resistencia térmica de aislamiento material 02 en °C/W.

R_{tr3} : Resistencia térmica de aislamiento material 03 en °C/W.

R_{trn} : Resistencia térmica de aislamiento material "n" en °C/W (determinada por el número máximo de capas del sistema evaluado)

Para el cálculo de la resistencia térmica utilizamos la expresión:

$$R_{tr} = \frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2\pi LK} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

D : Diámetro mayor de la capa de aislamiento en m.

d : Diámetro menor de la capa de aislamiento en m.

L : Longitud del cilindro en m.

K : Coeficiente de conductividad térmica de los materiales en W/hm²°C.

3.4.6 Resistencias para termas eléctricas

Para poder evaluar la resistencia eléctrica, se tiene en cuenta las condiciones finales de diseño para poder primero evaluar la cantidad de energía necesaria a través de la ecuación fundamental de la calorimetría:

$$Q = M \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \quad (\text{Ec. 13})$$

Luego, por equivalencia de unidades y aplicando un factor de seguridad, se podrá determinar la potencia requerida para la resistencia eléctrica.

3.5 Diseño

3.5.1 Determinación de la demanda energética

Teniendo en cuenta las condiciones de demanda de agua caliente, y condiciones ambientales de la locación seleccionada para el diseño se tiene:

Volúmen = 250 litros de agua a 40°C /día.

Considerando una densidad de: 1000kg/m³, y una equivalencia 1 litro = 1dm³

m: 250 kg/día.

$$C_p: 4.18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}.$$

$$T_i: 21 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$T_f: 40 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Utilizando la ecuación 03:

$$E = 250 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * \frac{4.18 \text{kJ}}{\text{kg}} \text{ }^\circ\text{C} * (40^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})$$

Se requiere una demanda energética para poder generar 250 litros de agua caliente a 40°C / día de:

$$E = 19\,855 \text{ kJ/día}$$

3.5.2 Cálculo de la cantidad de tubos al vacío

Para poder estimar la cantidad de tubos al vacío, se va a realizar teniendo en cuenta la radiación en la zona seleccionada; y primero se debe determinar el factor de corrección:

Haciendo uso de la ecuación 05:

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

Donde:

τ : 0.74 Transmisibilidad de los tubos al vacío.

α : 0.99 Absortividad de los tubos al vacío.

ρ_d : 0.16 Reflectancia difusa de los tubos al vacío.

$$\alpha_s = \frac{0.74 * 0.99}{1 - (1 - 0.99) * 0.16}$$

$$\alpha_s = 0.734$$

Así mismo, se realiza el cálculo del área aprovechable de cada tubo, teniendo en cuenta la ecuación 14:

$$A_t = d_e \cdot \pi \cdot L / 2 \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

A_t : Área exterior del tubo de vacío en m².

d_e : diámetro exterior del tubo de vacío en m.

L : Longitud aprovechable del tubo de vacío en m.

Teniendo en cuenta la información de los tubos de vacío seleccionados se tiene:

- e : espesor del tubo de vacío 0.003 m.
 d_e : diámetro exterior del tubo de vacío 0.058 m.
 d_i : diámetro interior del tubo de vacío 0.052 m.
 L_i : Longitud total del tubo de vacío 1.800 m.
 L_t : Longitud dentro del tanque del tubo de vacío 0.050 m.
 L : Longitud aprovechable del tubo de vacío 1.750 m.

Reemplazando en la ecuación 14:

$$A_t = 0.058m * 3.1416 * 1.750m/2$$

A_t : Área exterior del tubo de vacío 0.16 m².

A continuación, evaluaremos la necesidad de tubos al vacío en tres escenarios:

Radiación mínima para una inclinación igual a la latitud 5° = 4.80 kW-h/m²

Radiación promedio para una inclinación igual a la latitud 5° = 5.54 kW-h/m²

Radiación máxima para una inclinación igual a la latitud 5° = 6.02 kW-h/m²

Para cada valor de radiación se procederá a calcular primero el área total necesaria de captación para la demanda energética requerida:

3.5.2.1 Para el valor de radiación mínima utilizando la ecuación 4

$$A_{cap} = \frac{E}{H_p \cdot \alpha}$$

E : 19 855 kJ

H_p : 4.80 kW-h/m²

α : 0.734 kJ/s/kW

$$A_{cap}(min) = \frac{19\,855\,kJ}{4.8K \frac{W-h}{m^2} * 0.734 \frac{\frac{kJ}{s}}{kW} \left(\frac{3600s}{h}\right)}$$

A_{cap} : 1.57 m²

Posteriormente, procedemos al cálculo del número de tubos al vacío para la radiación mínima haciendo uso de la fórmula 06:

$$N_t = \frac{A_{cap} \cdot F_s}{A_t} \quad (\text{Ec. 06})$$

Donde:

N_t : Número de tubos al vacío.

A_{cap} : 1.57n m².

F_s : 25%

A_t : 0.16 m².

$$N_t = \frac{1.57m^2 * 1.25}{0.16m^2}$$

N_t : 12 tubos para la radiación mínima

3.5.2.2 Para el valor de radiación mínima utilizando la ecuación 4

$$A_{cap} = \frac{E}{H_p \cdot \alpha} \quad (\text{Ec. 04})$$

E : 19 855 kJ

H_p : 5.54 kW-h/m²

α : 0.734 kJ/s/kW

$$A_{cap}(\text{prom}) = \frac{19\,855\text{ kJ}}{5.54k \frac{\text{W} \cdot \text{h}}{\text{m}^2} * 0.734 \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{\text{kW}} \left(\frac{3600\text{s}}{\text{h}}\right)}$$

$$A_{cap}(\text{prom}) = 1.36\text{ m}^2$$

Posteriormente, procedemos al cálculo del número de tubos al vacío para la radiación promedio haciendo uso de la fórmula 06

$$N_t = \frac{A_{cap} \cdot F_s}{A_t} \quad (\text{Ec. 06})$$

N_t : Número de tubos al vacío.

A_{cap} : 1.36 m².

F_s : 25%

A_t : 0.16 m².

$$N_t = \frac{1.36m^2 * 1.25}{0.16m^2}$$

N_t : 11 tubos para la radiación promedio.

3.5.2.3 Para el valor de radiación máxima utilizando la ecuación 4

$$A_{cap} = \frac{E}{H_p \cdot \alpha} \quad (\text{Ec. 04})$$

E : 19 855 kJ

H_p : 6.02 kW-h/m²

α : 0.734 kJ/s/kW

$$A_{cap}(\text{max}) = \frac{19\,855\text{ kJ}}{6.02\text{ k} \frac{\text{W} \cdot \text{h}}{\text{m}^2} * 0.734 \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{\text{kW}} \left(\frac{3600\text{s}}{\text{h}}\right)}$$

$$A_{cap}(\text{max}) = 1.25\text{ m}^2$$

Posteriormente, procedemos al cálculo del número de tubos al vacío para la radiación máxima haciendo uso de la fórmula 06

$$N_t = \frac{A_{cap} \cdot F_s}{A_t} \quad (\text{Ec. 06})$$

N_t : Número de tubos al vacío.

A_{cap} : 1.25 m².

F_s : 25%

A_t : 0.16 m².

$$N_t = \frac{1.25\text{m}^2 * 1.25}{0.16\text{m}^2}$$

N_t : 10 tubos para la radiación promedio.

Según los resultados se tendrá en cuenta para el diseño la condición de radiación mínima, por lo cual se utilizará en el diseño 12 tubos al vacío.

3.5.3 Tanque de almacenamiento

Para poder tener en cuenta el diseño del tanque de almacenamiento, se evalúa primero el volumen de agua a la temperatura de almacenamiento en el tanque 60°C.

Haciendo uso de la ecuación 01:

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \quad (\text{Ec. 01})$$

Para lo cual se tendrán en cuenta dos condiciones, es decir una con el volumen de agua fría y otra con el volumen de agua caliente:

Q_1 : Calor cedido por la masa de agua de mayor temperatura 60°C

Q_2 : Calor ganado por la masa de agua de menor temperatura 21°C

$$m_{tot} = m_1 + m_2 = 250kg$$

Donde:

m_{tot} : Masa de agua de total requerida a 40°C

m_1 : Masa de agua de mayor temperatura 60°C

m_2 : Masa de agua de menor temperatura 21°C

Despejando:

$$m_1 = 250kg - m_2$$

$$-Q_1 = Q_2$$

$$-m_1 \cdot C_e \cdot (T_{i1} - T_f) = m_2 \cdot C_e \cdot (T_f - T_{i2})$$

$$-m_1 \cdot (T_{i1} - T_f) = m_2 \cdot (T_f - T_{i2})$$

$$-(m_{tot} - m_2) \cdot (T_{i1} - T_f) = m_2 \cdot (T_f - T_{i2})$$

Despejando se obtiene:

m_2 : 128.2 kg de agua de menor temperatura 21°C

m_1 : 121.8 kg de agua de mayor temperatura 60°C

Por lo cual el volumen inicial para el agua a mayor temperatura es de 121.8 kg, aplicándole un factor de seguridad al volumen requerido del 25% se tendría:

m_1 : 152.2 kg de agua de mayor temperatura 60°C

Equivalente a 152.2 litros de agua de capacidad de almacenamiento.

Como se considera un recipiente cilíndrico se realiza el cálculo de sus dimensiones teniendo en cuenta:

N° de tubos al vacío teniendo en cuenta la radiación mínima es de 12

De diámetro exterior de los tubos al vacío 58mm

Separación entre tubos al vacío 25mm

Por lo que se procede a calcular el largo del cilindro teniendo 1044 mm, por un tema constructivo se selecciona un largo de 1.1m, lo que nos da un valor de 0.42m de diámetro para un volumen total de 0.152m³ que para el caso de la densidad del agua es 152litros.

3.5.4 Aislamiento térmico

En la fabricación del tanque de almacenamiento se consideran los siguientes materiales:

Tanque de almacenamiento:	Acero inoxidable 3mm de espesor
Aislamiento térmico:	Fibra de vidrio (por definir espesor)
Chapa exterior de recubrimiento:	Acero inoxidable 1mm de espesor.

Para poder determinar el correcto espesor de la fibra de vidrio, se tendrá en cuenta que las pérdidas por convección deben ser iguales a las pérdidas por conducción.

Primero calculamos las pérdidas por convección haciendo uso de la ecuación 09:

$$Q_{conv.} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\alpha) \quad (\text{Ec. 09})$$

Donde:

$Q_{conv.}$: Pérdida de calor por convección en W.

h : se define de 5 a 25 W/m²°C. con relación a la velocidad del aire, por lo cual se considera para el caso en evaluación 20 W/m²°C. como factor de convección o coeficiente de película.

A_s : 1.451 m².

T_s : 30 °C.

T_α : 25 °C, teniendo en cuenta la temperatura promedio en Piura

Reemplazando se obtiene:

$$Q_{conv.} = 20 \frac{W}{m^2} \cdot 1.452 m^2 \cdot (30^\circ C - 25^\circ C)$$

$Q_{conv.}$: 145.14 W.

Posteriormente encontramos el calor perdido por conducción, para lo cual utilizamos la ecuación 10:

$$Q_{cond.} = \frac{(T_{eq} - T_\alpha)}{R_t} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

$Q_{cond.}$: igual a las pérdidas por convección 142.14 W

R_t : valor a determinar °C/W.

T_{eq} : 60 °C.

T_α : 25 °C.

Despejando se tiene que:

$$R_t = \frac{T_{eq} - T_\alpha}{Q_{cond.}}$$

R_t : 0.24 °C/W.

Luego, calculamos los valores de las resistencias con material y espesor conocido haciendo uso de la ecuación 12:

$$R_{tr} = \frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2\pi LK} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde para el cuerpo del tanque R_{tr1} :

D : 0.424 m.

d : 0.420 m.

L : 1.1 m.

K : 15.75 W/hm²°C.

$$R_{tr1} = 0.000039 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Y, como se conoce el valor de la resistencia total, se tiene un valor de R_{tr2}

$$R_{tr2} = 0.4 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

Resolviendo por iteración se determina un espesor de 23.5 mm para el material aislante, por lo cual por temas de diseño se selecciona fibra de vidrio de 1"

3.5.5 Resistencia eléctrica de respaldo

Finalmente, en la etapa de diseño de la terma, para casos en los que se cuente con baja radiación solar u otra condición climatológica se instalará un sistema de respaldo por resistencias eléctricas, la cual se obtendrá teniendo en cuenta la ecuación 10:

Considerando una densidad de: 1000kg/m³, y una equivalencia 1 litros = 1m³

m : 152.4 kg/día.

C_p : 4.18 kJ/kg°C.

T_i : 30 °C, considerando que incluso a pesar de las condiciones ambientales se genera un delta de temperatura dentro del tanque.

T_f : 60 °C.

Utilizando la ecuación 03:

$$E = 152.4 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}^{\circ}\text{C} * (60^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C})$$

Se requiere una demanda energética para poder generar 152.4 litros de agua caliente a 60°C / día de:

$$E = 19\,110.8\text{kJ/día}$$

Y, teniendo un tiempo estimado de calentamiento de 3 horas al día. Se tendría un requerimiento de energía de:

$$E = 1.77\text{kJ/s}$$

Aplicando un 20% de factor de seguridad, finalmente se requeriría de unas resistencias con:

$$P = 2.1\text{ kW}$$



Capítulo 4

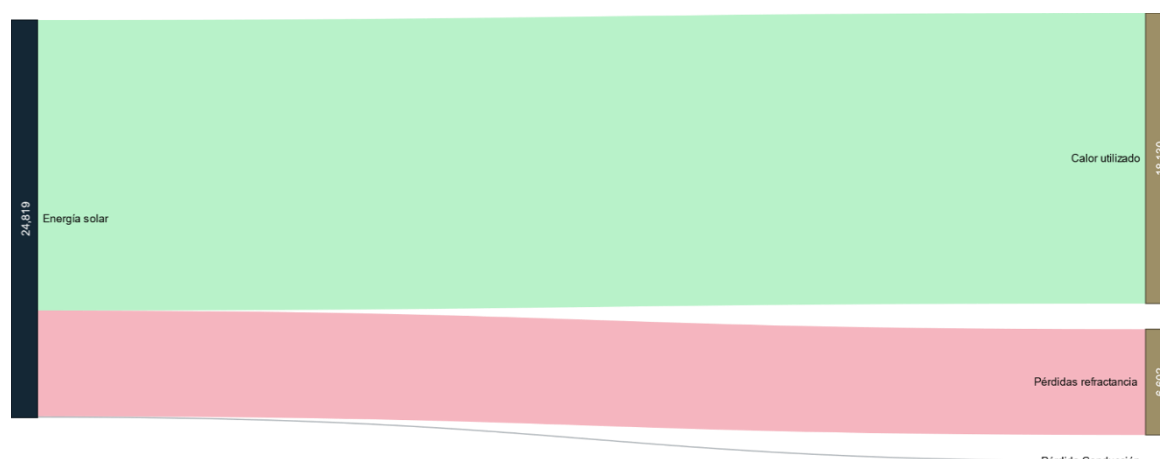
Análisis energético

4.1 Análisis energético sistema de captación por tubos al vacío

Para poder realizar una evaluación energética del sistema propuesto, se elabora el gráfico Sankey con las principales pérdidas del sistema:

Figura 23

Gráfico de Sankey del flujo de energía termosolar con tubos al vacío



Nota. Elaboración propia

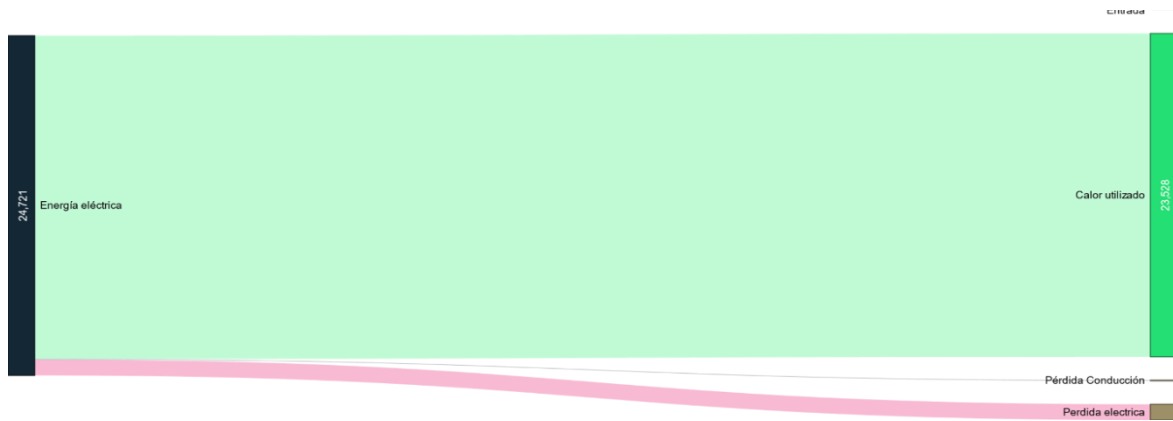
Del gráfico elaborado se puede ver que únicamente el 73% de la energía total solar disponible por el área de captación es aprovechado, ya que se tiene principalmente pérdidas por los tubos al vacío (reflectancia).

4.2 Análisis energético sistema de calentamiento con resistencias eléctricas

De igual manera, para realizar la evaluación energética del sistema de respaldo por calentamiento de resistencia eléctrica se ha elaborado el correspondiente gráfico de Sankey:

Figura 24

Gráfico de Sankey del flujo de energía termo eléctrica



Nota. Elaboración propia

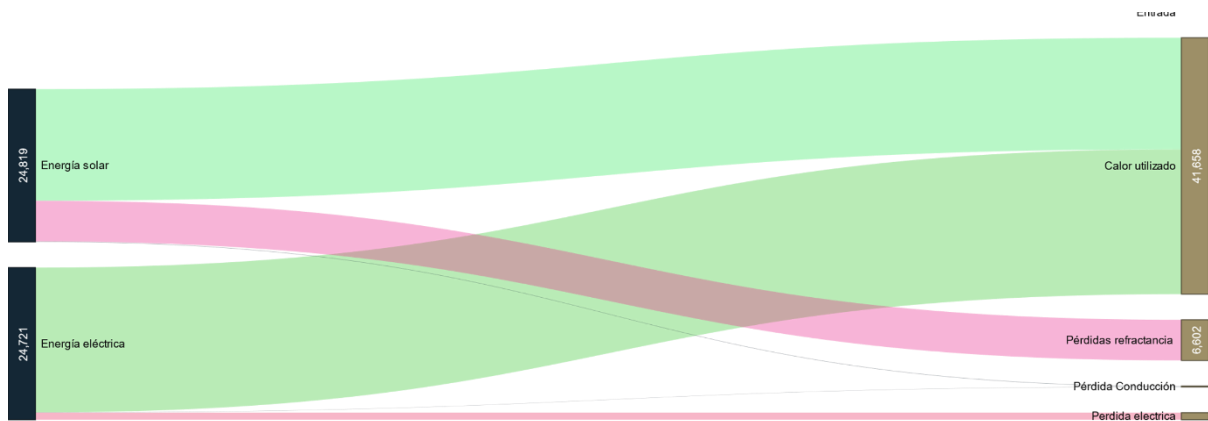
Del gráfico elaborado se puede ver que el 95% de la energía total eléctrica disponible es aprovechada, ya que se tiene principalmente pérdidas por la distribución eléctrica.

4.3 Análisis energético del sistema integrado

De igual manera, se ha elaborado el gráfico Sankey del sistema completo el cual se muestra a continuación:

Figura 25

Gráfico de Sankey del flujo de energía termo solar con tubos al vacío con resistencia de respaldo



Nota. Elaboración propia

Del gráfico elaborado se puede ver que el sistema tiene un 84% de eficiencia energética, Siendo la mayor eficiencia energética la suministrada por el sistema eléctrico, ya que las pérdidas son menores en relación con la energía solar térmica.

Capítulo 5

Presupuesto

5.1 Valorización económica del proyecto

Para el proyecto, se ha tenido en cuenta los costos de los materiales en Piura:

Tabla 5

Presupuesto para fabricación de terma solar con tubos al vacío

Item	Componente	Descripción	Unidad	Cantidad	V.U.	Sub. Total
1	Tubos al vacío	Tubos al vacío de 1800x58x52mm	und	12	S/ 200.00	S/ 2,400.00
2	Tanque de almacenamiento	Plancha inoxidable 3042x1200x2400mm espesor	und	1	S/ 850.00	S/ 850.00
3	Fibra de vidrio	1" de espesor	m ²	2	S/ 12.50	S/ 25.00
4	Plancha para aislamiento	Plancha inoxidable 3041x1200x2400mm	und	1	S/ 600.00	S/ 600.00
5	Soldadura inoxidable	Varilla de soldadura inoxidable 3/32"	kg	0.5	S/ 150.00	S/ 75.00
6	Niple hembra inoxidable	Niple de 1 ¼" inoxidable	und	1	S/ 15.00	S/ 15.00
7	Niple macho inoxidable	Niple de ¾" inoxidable	und	2	S/ 7.00	S/ 14.00
8	Niple macho inoxidable	Niple de ½" inoxidable	und	1	S/ 5.00	S/ 5.00
9	Empaque de silicona interno	Empaque de silicona con pestaña 58 mm	und	12	S/ 15.00	S/ 180.00
10	Empaque guardapolvo exterior	Empaque de nitrilo con labio interno 58mm	und	12	S/ 12.00	S/ 144.00
11	Resistencia eléctrica	Resistencia tubular de 80cm de largo 2.5 Kw 220 voltios monofásica	und	1	S/ 220.00	S/ 220.00
12	Tubo cuadrado 1"	Tubo inoxidable 1"x1.5mmx6 metros	und	2	S/ 60.00	S/ 120.00

13	Platina inoxidable 1"	Platina inoxidable 1"x6 metros	304	und	1	S/ 45.00	S/ 45.00	
14	Otros materiales	Argón, decapante, lijas, etc.		Global	1	S/ 350.00	S/ 350.00	
15	Mano de obra			Global	1	S/500.00	S/ 500.00	
Total							S/	5,543.00

Nota. Elaboración propia

5.2 Evaluación económica financiera del proyecto

Para la evaluación económica del proyecto se tiene en cuenta:

Tabla 6

Flujo de capital

	Flujo capital					
	0	1	2	3	4	5
Equipo	S/ 5,543.00					
Instalación	S/ 500.00					
Accesorios para instalación	S/ 200.00					
Venta al final del ciclo						S/ 554.30

Nota. Elaboración propia

Así mismo, para el cálculo del beneficio (ahorro) se tendrá en comparación con un equipo similar en el mercado, cuyo costo es mucho menor y su potencia en kW es de 3.0 así mismo se tiene en cuenta un uso promedio de 3 horas al día con 20 días al mes y un costo de 0.8667S./kW-h

Tabla 7

Flujo proyectado del sistema

Consumo E.E. con un sistema eléctrico 3kW	S/ 1,872.07	S/ 1,872.07	S/ 1,872.07	S/ 1,872.07	S/ 1,872.07
Mantenimiento Mano de Obra		S/ 250.00		S/ 250.00	
Materiales Mantenimiento kit empaques		S/ 324.00		S/ 324.00	
Depreciación	S/ 1,108.60	S/ 1,108.60	S/ 1,108.60	S/ 1,108.60	S/ 1,108.60
Total de egresos	S/ 1,108.60	S/ 1,682.60	S/ 1,108.60	S/ 1,682.60	S/ 1,108.60
Utilidad antes del impuesto a la renta	S/ 763.47	S/ 189.47	S/ 763.47	S/ 189.47	S/ 763.47
Flujo operativo					
Utilidad neta	S/ 763.47	S/ 189.47	S/ 763.47	S/ 189.47	S/ 763.47

Depreciación	S/ 1108.60	S/ 1108.60	S/ 1108.60	S/ 1108.60	S/ 1108.60
Total	S/ 1,872.07	S/ 1,298.07	S/ 1,872.07	S/ 1,298.07	S/ 1,872.07
Flujo de caja económico					
Flujo de capital	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ 554.30
Flujo operativo	S/ - 6,243.00	S/ 1,872.07	S/ 1,298.07	S/ S/1,872.07	S/ 1,298.07
Total	S/ - 6,243.00	S/ 1,872.07	S/ 1,298.07	S/ 1,872.07	S/ 1,298.07
					S/ 2,426.37

Nota. Elaboración propia

Finalmente, se tiene que para el flujo de caja se tendría.

Tabla 8

Flujo de caja

	0	1	2	3	4	5
Flujo de caja económico	S/ - 6,243.00	S/ 1,872.07	S/ 1,298.07	S/ 1,872.07	S/ 1,298.07	S/
Flujo acumulado		S/ 1,872.07	S/ 3,170.14	S/ 5,042.22	S/ 6,340.29	S/
COK	10%					

Nota. Elaboración propia

$$VAN = S/301.25.$$

$$TIR = 11.98\%.$$

$$B/C = 1.048.$$

	Años	Meses	Días
PR	3	11	4

Como se puede ver, con los principales indicadores económicos se tiene un VAN positivo en el periodo evaluado, así mismo una tasa de casi el 12% mayor a la esperada, así como un tiempo de retorno de capital de 3 años, 11 meses y 4 días.

Si bien, los indicadores son positivos, pero teniendo en cuenta el alto costo de inversión inicial en el caso de tecnologías convencionales (eléctrica) de más de 5 a 1, es que se sigue invirtiendo principalmente en equipos con menor costo de inversión así represente un alto costo de operación.



Capítulo 6 Resultados

Acorde a los cálculos realizados, y teniendo en cuenta el requerimiento y el recurso con el que se cuenta, se tiene como resultado final del diseño según se detalla en la tabla a continuación:

Tabla 9

Resultados

Tipo de Terma	Terma solar de tubos al vacío con resistencia eléctrica de respaldo.
Volumen de agua caliente	152 litros
Número de tubos al vacío	12 tubos al vacío de 1800mm de largo con 58mm de diámetro exterior y 3mm de espesor
Tanque de almacenamiento	1.1 metro de largo 0.42m de diámetro
Materiales del tanque	Tanque inoxidable 2mm de espesor. Aislante de fibra de vidrio de 1" de espesor. Chapa exterior de inoxidable de 1mm
Resistencia eléctrica	2.5kW 220 voltios monofásica
Inclinación de los tubos	5°
Orientación de los tubos	Norte

Nota. Elaboración propia



Conclusiones

Del diseño evaluado, se puede concluir que, con una terma de tubos al vacío con 12 tubos y una capacidad de 150 litros, cubre la demanda de agua caliente para una vivienda unifamiliar de 2 habitaciones acorde a lo establecido en el DS. Nº 011-2006-Vivienda por lo cual se concluye que el diseño es viable para cubrir dicha demanda en la región de Piura.

Teniendo en cuenta, tanto los recursos con los que se cuenta, así como con la demanda requerida, se ha diseñado un sistema solar por tubos al vacío que incluye sistema de respaldo por resistencias eléctricas. El cuál cumple con satisfacer el requerimiento de agua caliente y garantiza un suministro continuo se concluye que el sistema cumple técnicamente, y es adecuado para la región Piura.

El presupuesto estimado para la inversión en la fabricación de la terma solar con los requisitos de diseño propuesto, resulta de S/. 5 543,00 como costos de fabricación y un aproximado de S/. 700,00 en costos de instalación, teniendo un retorno de inversión de 3 años y 11 meses, por lo cual se concluye que es un proyecto viable ya que posterior al cuarto año después de su instalación, el costo será únicamente el costo de mantenimiento del sistema.

Del análisis energético realizado, se puede concluir que si bien, la energía solar es costo cero (del costo de la energía) es menos eficiente que la energía eléctrica solo teniendo en cuenta el punto de uso, ya que no toda la radiación emitida por el sol es aprovechada al 100% ya sea por la forma, los materiales de los componentes utilizados, inclinación del sol.

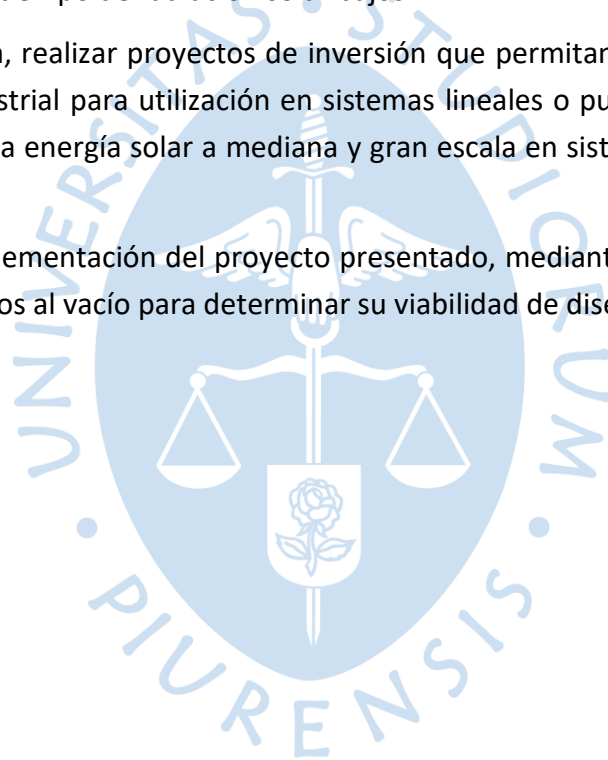


Recomendaciones

El diseño obtenido utilizando tubos al vacío por su eficacia se logra una mayor captación de la radiación solar en la generación de energía térmica. Por lo tanto, se debe realizar estudios específicos para su uso generalizado sobre todo en zonas donde se tiene valores y periodos de tiempo de radiación solar bajos.

Se recomienda, realizar proyectos de inversión que permitan aplicar sistemas termo solares al sector industrial para utilización en sistemas lineales o puntuales para mejorar el aprovechamiento de la energía solar a mediana y gran escala en sistemas semiindustriales e industriales.

Evaluar la implementación del proyecto presentado, mediante la implementación de la terma solar por tubos al vacío para determinar su viabilidad de diseño y economía.





Referencias bibliográficas

- Choque Icarayme, E.(2019) Diseño de la terma solar para el suministro de agua caliente para 80 usuarios en el colegio Javier Heraud Virundo Grau Apurímac 2019 [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur].
- Dr. Avadhesh Yadav, VK Bajpai, “An Experimental Study on Evacuated Tube Solar Collector for Heating of Air in India” de la World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering (Vol:5, No:7, 2011)
- Espinoza Cadenillas, E. M.E. (2022) Propuesta de diseño de un sistema termosolar para obtención de agua caliente en zona rural de Cajamarca [Tesis de ingeniería, Universidad de Piura].
- Esteire,E., Madrid, A. y Madrid, A. (2010).Energías renovables. Manual técnico. A. MADRID VICENTE., Ediciones. MUNDI PRENS
- Flores Zamalloa, C. J. (2018). Diseño de una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de Puno [Tesis de Ingeniería, Universidad del Altiplano].
- Frank, R. y Manlik, M. (2012). Principios de transferencia de calor. CENGAGE learning
- Gallo Zapata, E. A.. (2019) Climatización de piscinas y obtención de agua caliente sanitaria [Tesis de ingeniería, Universidad de Piura].
- Porras Prieto, C. J. (2015) Evaluación de un Sistema de Energía Solar Térmica basado en Colectores de Tubos de Vacío para suministro de Agua a alta Temperatura [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].
- Urbano Ramos, W. E. (2020) Análisis, diseño energético y control de una terma solar de tubos al vacío de 150 litros del norte costero del Perú [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo].



Anexos





Anexo A Dotación de agua por persona según el reglamento nacional de edificaciones

3.2. DOTACIONES

La dotación de agua caliente serán las que se establecen a continuación. Las cantidades que se fijan son parte de las dotaciones de agua establecidos en el ítem 7 de la presente norma.

- a) Residencias unifamiliares y multifamiliares, según la siguiente tabla.

Número de dormitorios por vivienda	Dotación diaria en litros
1	120
2	250
3	390
4	420
5	450

Más de 5, a razón de 80 l/d, por dormitorio adicional.

- b) Establecimientos de hospedaje, según la siguiente tabla

Hoteles, apart-hoteles, hostales.	150 L por dormitorio.
Albergues.	100 L por m ² .

Esta cifra no incluye las dotaciones para otros servicios anexos, tales como restaurantes, bares, salones de baile, peluquerías y lavanderías, que se calculará adicionalmente de acuerdo con lo establecido en esta Norma para cada caso.

- c) Restaurantes, según la siguiente tabla

Área útil de los comedores (m ²)	Dotación diaria
Hasta 40	900 L
41 a 100	15 L/m ²
Más de 100	12 L/m ²

En aquellos restaurantes donde se elaboran alimentos para ser consumidos fuera del local, se calculará una dotación complementaria a razón de 3 litros por cubierto preparado para este fin.

- d) Locales educacionales y residencias estudiantiles.

Dotación diaria	
Alumnado y personal residente.	50 L/persona

- e) Gimnasios.

Dotación diaria.
10 L/m ² área útil

- f) Hospitales, clínicas y similares, según la siguiente tabla

Hospitales y clínicas con hospitalización.	250 L/d x cama.
Consultorios médicos.	130 L/d x consultorio.
Clínicas dentales.	100 L/d x unidad dental.

Nota. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento