

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE LA TERMA SOLAR PARA EL SUMINISTRO DE AGUA
CALIENTE PARA 80 USUARIOS EN EL COLEGIO JAVIER HERAUD
VIRUNDO GRAU APURÍMAC 2019”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CHOQUE ICARAYME, EVER

**Villa El Salvador
2019**

DEDICATORIA

A mis queridos padres Lázaro Choque y Alejandrina Icarayme
Porque ellos han sido pilar fundamental en mi vida, con su apoyo incondicional tanto moral y económica, todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a la universidad (UNTELS) y a los docentes de la escuela profesional de ingeniería mecánica y eléctrica, por los conocimientos brindados a mi persona.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1. Descripción de la realidad problemática	10
1.2. Justificación del proyecto	11
1.2.1. Ambiental	11
1.2.2. Social.....	11
1.2.3. Teórico	12
1.2.4. Económico.....	12
1.3. Delimitación del problema	12
1.3.1. Teórica	12
1.3.2. Temporal	12
1.3.3. Espacial.....	12
1.4. Formulación del problema	13
1.4.1. Problema General	13
1.4.2. Problemas específicos	14
1.5. Objetivos	14
1.5.1. Objetivo General	14
1.5.2. Objetivos Específicos	14
CAPÍTULO II	15
MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes de la Investigación	15
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1. El sol.....	17
2.2.2. La radiación solar	17
2.2.3. Soleamiento	17

2.2.4. Cómo se aprovecha la energía solar.....	18
2.2.5. Funcionamiento de una instalación solar	19
2.2.6. Elementos principales de una instalación solar	19
2.2.6.1. Captador solar.....	19
2.2.6.2. Sistema de distribución	20
2.2.6.3. Almacenamiento	20
2.2.7. Usos y aplicaciones.....	20
2.2.8. Terma solar de tubos al vacío.	20
2.2.9. Colectores tubo de vacío.....	21
2.2.9.1. Funcionamiento.....	22
2.2.9.2. Ventajas de una terma solar de tubos al vacío	23
2.2.10. Aspectos generales para el dimensionamiento de la terma solar con tubos al vacío	23
2.2.10.1. Radiación solar	23
2.2.10.2. Demanda energética.....	24
2.2.10.3. Número de tubos de vacío	24
2.2.10.4. Número de tubos al vacío	25
2.2.10.5. Volumen y aislamiento del termotanque	26
2.2.10.6. Cálculo del radio crítico de aislamiento.....	26
2.2.10.7. Cálculo del espesor mínimo de aislamiento:.....	28
2.2.10.8. Orientación del Colector Solar de Tubos al Vacío.....	29
2.3. Definición de Términos Básicos	29
CAPITULO III	31
DESARROLLO DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	31
3.1. Modelo de solución propuesto	31
3.1.1. Determinación del consumo de agua caliente, irradiación y temperatura promedio de la zona	31
3.1.2. Demanda energética	35

3.1.3. Numero de tubos al vacío del colector solar.....	35
3.1.4. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.....	38
3.1.5. Cálculo del espesor de aislamiento del termotanque de almacenamiento de agua caliente.....	40
3.1.5.1. Cálculo del espesor mínimo de aislamiento.....	41
3.1.6. Cuadro de costo de materiales, fabricación de termotanque, soporte metálico y costo del consumo de energía eléctrica.....	42
3.2. Resultados.....	45
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES.....	48
BIBLIOGRAFÍAS.....	49
ANEXOS.....	50

LISTADO DE FIGURAS

Ilustración 1. Ubicación del distrito de Virundo, Grau, Apurímac.	13
Ilustración 2. Radiación solar.	17
Ilustración 3. Radiación solar en el departamento de Apurímac.	18
Ilustración 4. Funcionamiento básico de una terma solar.	19
Ilustración 5. Terma solar con tubo al vacío.....	21
Ilustración 6. Colector de termo-sifónico.	22
Ilustración 7. Funcionamiento de tubo al vacío.	22
Ilustración 8. Radio crítico de aislamiento 27	27
Ilustración 9. Vista lateral del sistema (en instalación).....	45
Ilustración 10. Vista superior del sistema (terma solar).....	46
Ilustración 11. Vista frontal y lateral del termotanque.	46

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Espesor recomendado (mm)	27
Tabla 2. Espesor mínimo de aislamiento	28
Tabla 3. Inclinaciones recomendadas para colectores solares	29
Tabla 4. Criterio de la demanda de agua caliente por usuario	32
Tabla 5. Evaluación preliminar de la irradiancia solar del sitio	33
Tabla 6. Datos históricos del tiempo virundo.....	34
Tabla 7. Costo de materiales, termotanque y soporte metálico.....	42
Tabla 8. Costo del consumo de energía eléctrica.	42
Tabla 9. Cuadro de flujo neto efectivo.....	43
Tabla 10. Resultados del cálculo.....	45

INTRODUCCIÓN

Es conocido que en la sierra del Perú existen lugares donde la temperatura durante las noches y madrugadas desciende por debajo de los 0 °C. El colegio Javier Heraud que está ubicado en el distrito de Virundo-Grau-Apurímac. Es uno de ellos, sin embargo, en estos lugares de día hay bastante radiación solar con un promedio anual de (5.61 kWh/m²/día), esta gran cantidad de energía no es aprovechada para combatir las temperaturas bajas que se registran en el lugar, por ello esta investigación tiene como propósito diseñar una terma solar con un colector de tubos al vacío para aprovechar al máximo la energía radiante del lugar y obtener agua caliente. También Se espera que la investigación contribuya con la difusión del uso de energías renovables y sobre todo ayude a combatir el friaje existente. Para dicho efecto, este informe se desarrolla en tres capítulos.

- En el primer capítulo se describe la realidad problemática de investigación, la justificación y sus objetivos.
- En el segundo capítulo se describe los antecedentes existentes sobre el diseño de termas y colectores solares, los fundamentos teóricos de radiación solar y elementos principales de una instalación solar más las definiciones conceptuales.
- En el tercer capítulo se realiza parámetro del diseño y los cálculos de la propuesta de terma solar con tubos al vacío.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática.

A lo largo de la historia el sol lleva vital importancia para todos los seres vivos en el mundo, adquiriendo una importancia alternativa como un recurso de energía a la demanda global que aumenta de manera constante debido a la modernización y crecimiento poblacional en el mundo. Como se sabe casi el 80% de esta demanda energética es satisfecha por uso de combustible fósil y sus (derivaciones) más: carbón, leña y otros; que contamina el medioambiente causando la emisión de gases tóxicos que traen graves consecuencias ambientales. La energía solar, que se puede utilizar en muchos lugares del mundo, es una de las vías que impedirán la devastación de la naturaleza. Además, el hecho de que sea apropiada para el uso regional, es una ventaja sustancial.

Por otro lado, el frío intenso que afecta al departamento de Apurímac centro sur de la sierra peruana es inevitable, las causas que ocasiona, llegan a constituir una adversidad muy lamentable en la población más vulnerable; motivo por el cual los niños y los ancianos son más perjudicados, el problema es mucho más complejo que disponer un abrigo, ya que los afectados pertenecen a las zonas rurales más alejadas y deprimidas del país. Ante este tipo de sucesos es muy escasa obtener agua caliente para usos domésticos: como para bañarse, lavar ropa, lavar los productos de la cocina y los servicios higiénicos etc. La

problemática que enfrentan los alumnos y los profesores de colegio Javier Heraud es el frío intenso que padece cada año. Los meses más críticos es de mayo a septiembre. Qué horas de la mañana la temperatura desciende hasta bajo 0°C en promedio -2.2°C afectando a todo alumnado del colegio. A causa del friaje muchas veces los estudiantes no realizan sus aseos adecuados (falta de higiene personal), que implica contagio de gripe, gastroenteritis etc. Así mismo en estas zonas rurales del departamento de Apurímac para obtener agua caliente hacen uso quema de derivadas de combustible fósiles como GLP (gas) y leña en gran cantidad que contamina al medio ambiente.

Este problema ha conllevado para que se desarrolle el diseño de la terma solar para el suministro de agua caliente en el colegio Javier Heraud Virundo de la provincia Grau departamento de Apurímac y de esta manera dar solución a la problemática planteada.

1.2. Justificación del proyecto:

1.2.1. Ambiental.

La energía proveniente del sol es una alternativa que nos permite reducir la contaminación a la atmósfera, que causan la quema de leñas, utilización de combustibles fósiles y sus derivaciones, que nos afectan día a día. La energía solar es una energía renovable e inagotable no contaminante y evita el calentamiento global.

1.2.2. Social.

Es la energía alternativa que mejora la calidad de vida del usuario. Tanto en uso industrial y doméstico. Para darnos cuenta nos suministra distintos beneficios esta energía para la humanidad. Generando riqueza y empleo local que contribuye en el desarrollo sostenible.

1.2.3. Teórico.

Es la energía radiante procedente del Sol y que llega a la superficie de la Tierra en forma (infrarrojo, luz visible y ultravioleta). Es variable, en función de la hora del día, época del año y situación atmosférica: día, noche, estación del año (altura del sol sobre el horizonte), nubes, nieblas, smog, climas, etc. Terma solar consiste en absorber la energía que emiten los rayos solares.

1.2.4. Económico.

Se justifica desde el punto de vista económico, de acuerdo al análisis técnico económico y de viabilidad, mediante el análisis del VAN Y TIR, calculados en función a la capacidad planteada en el diseño de la terma solar.

1.3. Delimitación del problema:

1.3.1. Teórica.

El presente diseño de la terma solar, tiene delimitación en el ámbito de localización de estudio por estar ubicado en una zona de 3863 msnm y de acuerdo a la capacidad del diseño de la terma solar y la radiación solar que se emite en la zona.

1.3.2. Temporal.

El periodo que comprende la investigación, fue llevado durante los meses comprendidos entre octubre - noviembre del 2019.

1.3.3. Espacial.

El desarrollo del siguiente proyecto está comprendido en el departamento de Apurímac, provincia Grau, distrito de Virundo.

Altitud: 3863msnm.

Latitud: -14.2506 (14°15'2"Sur).

Longitud: -72.6811 (: 72° 40' 52" Oeste).

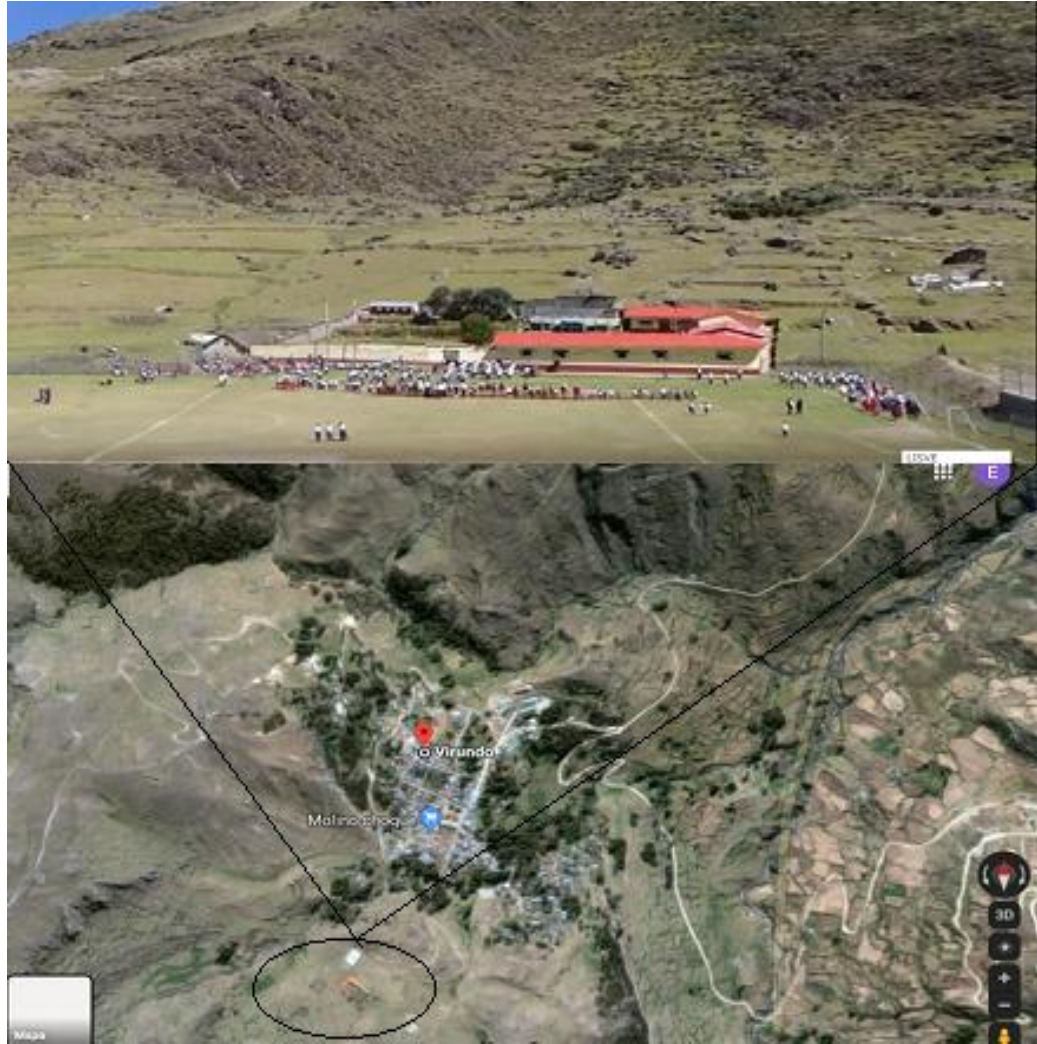


Ilustración 1 Ubicación del distrito de Virundo, Grau, Apurímac.

Fuente: Elaboración propia.

1.4. Formulación del problema:

1.4.1. Problema General.

- ¿Cómo el diseño de la terma solar permitirá el suministro de agua caliente para 80 usuarios en el Colegio Javier Heraud Virundo-Grau-Apurímac 2019?

1.4.2. Problemas específicos.

- ¿Cómo el cálculo de la capacidad nominal de la terma solar permitirá el suministro de agua caliente para 80 usuarios en el colegio Javier Heraud Virundo-Grau-Apurímac 2019?
- ¿Cómo el cálculo del dimensionamiento de la terma solar nos permitirá el suministro de agua caliente para 80 usuarios en el colegio Javier Heraud Virundo-Grau-Apurímac 2019?

1.5. Objetivos:

1.5.1. Objetivo General.

- Determinar si el diseño de la terma solar permitirá el suministro de agua caliente para 80 usuarios en el colegio Javier Heraud Virundo-Grau-Apurímac 2019.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Determinar si el cálculo de la capacidad nominal de la terma solar nos permitirá el suministro de agua caliente para 80 usuarios en el colegio Javier Heraud Virundo-Grau-Apurímac 2019.
- Determinar si el dimensionamiento de la terma solar, que permitirá el suministro de agua caliente para 80 usuarios en el colegio Javier Heraud Virundo-Grau-Apurímac 2019.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación.

(Inga, 2017). En su tesis *“Diseño de una terma solar de 50 litros para obtener agua caliente en el barrio Carmen alto-Chupaca”*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero mecánico. De la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Nacional del Centro del Perú Huancayo, el objetivo de la tesis es determinar el diseño con capacidad de 50 litros de agua para el barrio Carmen Alto – Chupaca, en la que concluye que el colector solar con separación es una propuesta nueva para obtener agua caliente para contra restar el friaje en usos domésticos. Donde la diferencia de área efectiva de absorción de energía radiante del colector de tubos cuadrados con espaciamiento (2.189m²) es de 5552.106W mayor que el área efectiva de absorción de energía radiante del colector de tubos sin espaciamiento (1.102m²), es de 5362.332W, y el incremento de temperatura de agua caliente que se da con un colector de tubos cuadrados con separación es de 49.60°C y el máximo incremento de temperatura de agua caliente que se da con un colector de tubos cuadrados sin espaciamiento es 40.78°C.

(Flores, 2018). En su proyecto de tesis *“diseño de una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de puno”*. Para optar el título profesional de ingeniero mecánico electricista, de la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano, el objetivo de la tesis

es, Diseñar una terma solar con tubos al vacío con funcionamiento termo-sifónicos para las condiciones climatológicos de Puno. En la que concluye, El costo económico total de la terma solar diseñada es de 920 soles, siendo los componentes: los tubos termo-sifón, el termo-tanque y la estructura soporte metálico. Diseñada con capacidad de 153 litros, con 8 tubos al vacío; costaría en Puno un 34,23% menos que una terma de capacidad similar ofertada en una tienda a 1400 soles, con las Especificaciones de 150 litros y 15 tubos al vacío.

(Conde & Ramos, 2014). En su proyecto *“Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico”*. Para optar el título profesional de ingeniero mecánico, de la facultad de ingeniería de la universidad nacional autónoma de México, cuyo objetivo es Aplicar en el diseño y construcción el conocimiento teórico, para el calentamiento de agua sanitaria que funcione con un fluido de trabajo. En sus conclusiones manifiesta que: Este nuevo tipo de colector presenta mayor eficiencia que los calentadores solares convencionales con bajo costo de mantenimiento.

(Berlanga, 2016). En su proyecto de tesis *“Diseño De Una Terma Solar Como Fuente De Calentamiento De Agua Para Las Operaciones De Lavado, De Una Planta Piloto De Recubrimientos Metálicos En Piezas De Acero “*. Para optar el título profesional de ingeniero metalurgista, de la facultad de ingeniería de procesos de la Universidad Nacional de San Agustín, cuyo objetivo es Diseñar una terma aprovechando la energía solar para aumentar la temperatura del agua en las operaciones del lavado de piezas metálicas a recubrir, para reducir el consumo de energía eléctrica y combustible. En sus conclusiones manifiesta que: emplear la energía solar como fuente de calentamiento de agua, que mejora la eficiencia térmica y reduce el consumo de energía eléctrica y combustible. Que implica menos contaminación ambiental y un ahorro sustancial en los costos de combustible y energía eléctrica.

2.2. Bases teóricas:

2.2.1. El sol.

Según (López, 2006). En la revista “Manuales de Energías Renovables” define lo siguiente: El Sol es la fundamental fuente de energía para todo desarrollo que tienen espacio en nuestro planeta. Situado a una distancia aproximada de 150 millones de kilómetros, tiene un radio de 109 veces el de la Tierra y está formado por gas a muy alta temperatura.

2.2.2. La radiación solar.

Cualquier individuo que desea aprovechar la radiación solar debe ser apto, en primer lugar, de contestar a la cuestión, qué irradiancia solar recibirá por unidad de superficie. Dicho esto, habrá que iniciar por saber qué es y cómo se comporta la radiación solar, así como cuánta energía es posible captar en función de la región del mundo en la que nos ubicamos.

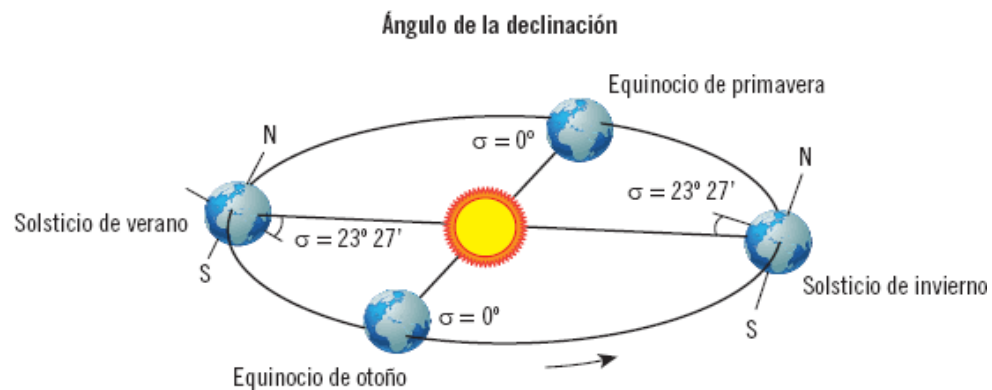


Ilustración N 2 Radiación solar.

Fuente: <https://images.app.goo.gl/D9QJjxcB3uaDuoPk6>.

2.2.3. Soleamiento.

Es la manera de recoger la radiación solar para poder transformarla en energía térmica o en energía eléctrica mediante los captadores solares. La energía térmica se logra mediante los colectores solares, mientras que la electricidad, se obtiene a través de celdas fotovoltaicas. Los dos procesos tienen diferentes aplicaciones entre sí.

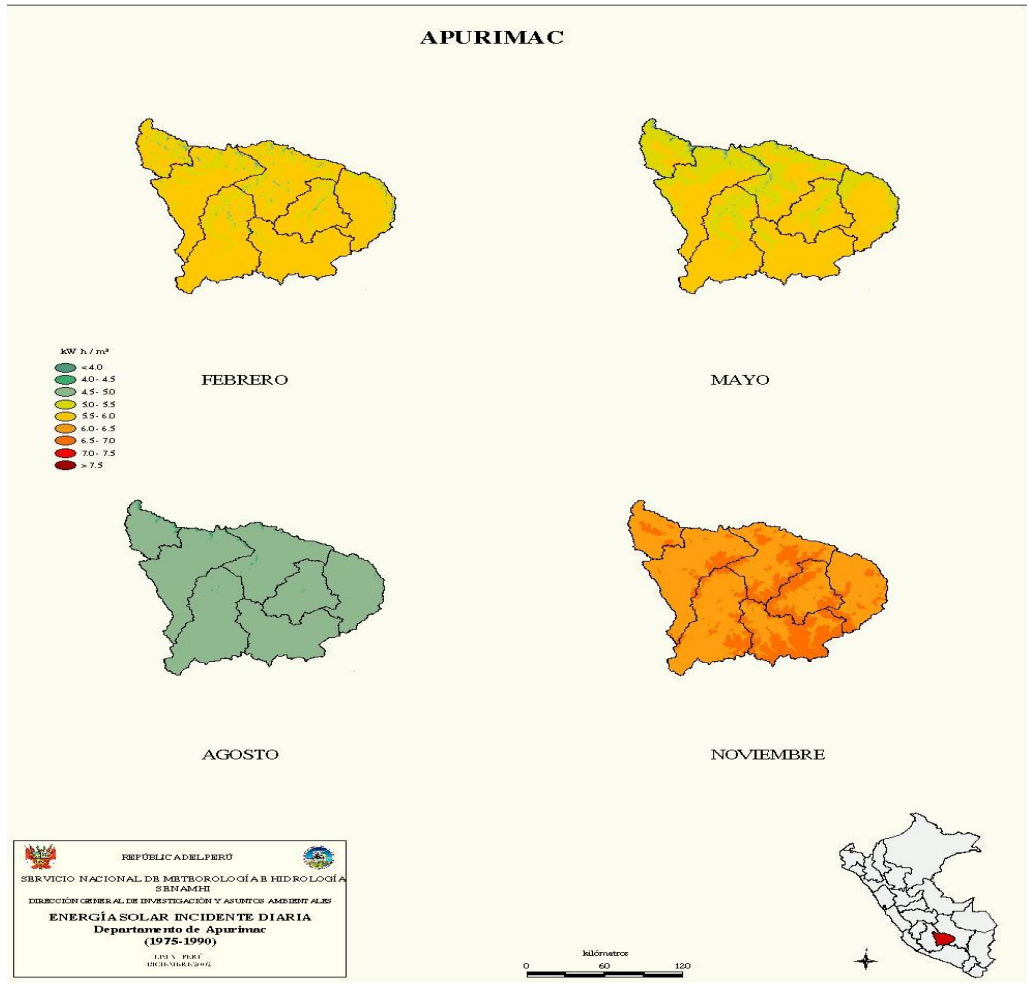


Ilustración 3 Radiación solar en el departamento de Apurímac.
 Fuente: Copyright © 2010-2019 - Delta Volt SAC.

2.2.4. Cómo se aprovecha la energía solar.

Se aprovecha Mediante los captadores solares para aumentar la temperatura de un fluido que, generalmente, suelen ser agua.

2.2.5. Funcionamiento de una instalación solar.

El principio elemental en el que se fundamenta cualquier instalación solar térmica es el de aprovechar la energía del Sol mediante un conjunto de captadores y transferirla a un sistema de almacenamiento, que abastece el consumo cuando sea necesario.

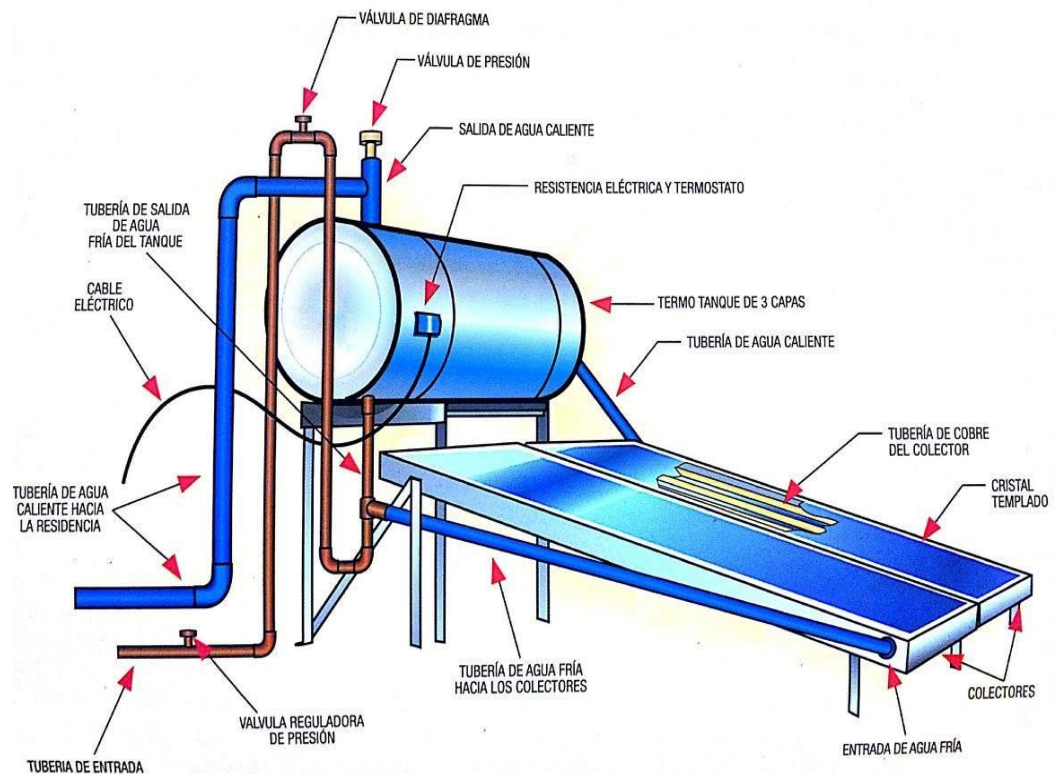


Ilustración 4 Funcionamiento básico de una terma solar.
Fuente: <https://images.app.goo.gl/ZtcpA3u1ubE4eUE89>.

2.2.6. Elementos principales de una instalación solar:

2.2.6.1. Captador solar.

Son dispositivos que captan los rayos solares, para aprovechar en diferentes usos y se han diseñado diferentes y avanzadas versiones con el objetivo de aumentar la cantidad de energía captada y reducir las pérdidas. Entre los cuales tenemos los captadores planos, colector solar de vacío etc.

2.2.6.2. Sistema de distribución.

Es el encargado de distribuir el fluido caliente contenido en los colectores solares hasta el punto de uso. Donde hay diferentes circuitos de distribución, dependiendo de las necesidades que pretendamos satisfacer o las condiciones climáticas del lugar donde vamos a realizar la captación.

2.2.6.3. Almacenamiento.

Se debe emplear al máximo la energía que nos da el Sol, será fundamental almacenar la energía en aquellas ocasiones del día que más radiación existe, para utilizarla posteriormente cuando se produzca la demanda.

2.2.7. Usos y aplicaciones.

(López, 2006) La energía solar térmica es la mejor opción y a la vez muy interesante en diferentes variedades de aplicaciones, entre las cuales tenemos: agua caliente sanitaria, calefacción, climatización de piscinas, y producción de calor para distintos procesos industriales.

2.2.8. Terma solar de tubos al vacío.

(Flores, 2018, págs. 40-45) Los avances tecnológicos se han ido desarrollando diferentes tipos de captadores solares más eficientes y apropiados, para múltiples usos. El que ha desarrollado con mayor éxito es el captador solar de tubos al vacío Los cuales tienen el mismo principio de trabajo y funcionamiento que los colectores planos. Los principales tenemos:

- Tubos termosifónicos.
- Tubos en forma U.
- Tubos calóricos.

En los tres casos, se acoplan directamente a termotanque o a un cabezal que almacena el fluido.



Ilustración 5 Terma solar con tubo al vacío.

Fuente: <https://images.app.goo.gl/xkZBYQGLJA3HKRfy7>.

2.2.9. Colectores tubo de vacío.

. Recientemente el sistema de tubos al vacío se ha desarrollado, Cada tubo de vidrio al vacío consiste en dos tubos de vidrio. Tanto el tubo exterior y tubo interior está hecho de vidrio de borosilicato, sin embargo, el tubo interior está recubierto con nitrato de aluminio que tiene una excelente absorción del calor solar, Y casi nula reflexiva. Durante la fabricación es extraído (evacuado) el aire del espacio entre los dos tubos de vidrio para formar el vacío, el cual elimina la pérdida de calor conductivo y convectivo.



Ilustración 6 Colector de termo-sifónico.
 Fuente: <https://images.app.goo.gl/b5bTvbyrjzVhpeSx6>.

2.2.9.1. Funcionamiento.

El funcionamiento de tubos de vacío aprovecha la circulación natural por los tubos por diferencia de densidades, por lo que no necesitan de una bomba ni otro dispositivo que le confiera movimiento. Los tubos o el tubo de vacío perciben el agua fría de la parte baja del termotanque, el agua aumenta su temperatura gracias a la energía solar captada y una vez caliente asciende de nuevo por el mismo tubo retornando al tanque, dando inicio ciclo repetitivo.



Ilustración 7. Funcionamiento de tubo al vacío.
 Fuente: <https://images.app.goo.gl/GsFe7DriwuwM37fCA>.

2.2.9.2. Ventajas de una terma solar de tubos al vacío.

Las principales ventajas de una terma solar tenemos las siguientes:

- Alta eficiencia.
- Trabaja sin dificultad en zonas de congelamiento que llegan hasta 25°C bajo cero.
- Los días nublados llegan a calentar hasta los 35°C.
- Los días despejados Pueden alcanzar hasta los 70°C.

2.2.10. Aspectos generales para el dimensionamiento de la terma solar con tubos al vacío.

(Guevara, 2003) Un aspecto importante a tener en cuenta en el diseño de calentadores solares es el régimen de uso del agua caliente, ya que éste puede variar debido a diversos factores en el diseño de sistemas de calentamiento es necesario disponer de datos que definen el sistema los cuales están representados por:

- Radiación solar.
- Demanda energética.
- Número de colectores.
- Volumen y aislamiento del depósito de almacenamiento.
- Orientación del Colector Solar de Tubos al Vacío.

2.2.10.1. Radiación solar.

En el desarrollo del diseño para el sistema de calentamiento solar es necesario conocer en lo posible los datos de radiación solar. Los criterios para la selección del valor de radiación solar en un período determinado, son:

- Baja radiación.
- Alta radiación.
- Valor promedio de radiación.

2.2.10.2. Demanda energética.

Es la energía imprescindible para aumentar la temperatura de una cantidad determinado de agua, desde T_i (temperatura inicia)- hasta T_f (temperatura final o consumo).

$$E = M \cdot C_p (T_f - T_i)$$

Donde:

E = Demanda energética (kJ/día).

M = Masa de agua a calentar en un día (kg/día).

C_p = Capacidad calorífica del agua (4,18 kJ/kg °C).

T_i = Temperatura inicial del agua (°C).

T_f = Temperatura de consumo del agua (°C).

Se sabe que la masa (M) de agua se halla con la siguiente formula:

$$M = n_p \rho_{H_2O} V_p$$

Donde:

n_p = Número de personas (personas/día).

V_p = Volumen de agua per cápita (lt/persona).

ρ_{H_2O} = Densidad del agua (1 000 kg/m³).

2.2.10.3. Número de tubos de vacío.

Para determinar la cantidad de tubos de vacío en el sistema de calentamiento de agua, es imprescindible determinar el área de captación y el rendimiento global del colector solar.

- **Área de captación.**

Área imprescindible se determina mediante la siguiente expresión. Se calcula la demanda energética (E) sobre la radiación solar promedio multiplicado por factor de Corrección ($H_p \cdot \alpha_s$).

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

Donde:

A_{cap} = Área de captación (m²).

H_p = Radiación solar (Wh/m²).

α_s = Factor de corrección del tubo al vacío.

- **Factor de corrección del tubo al vacío (α_s).**

Se determinará por la ecuación.

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

τ : Transmisividad de los tubos de vidrio de boro silicato con emisividad de $\varepsilon = 0,88$.

α : Absortividad de los tubos recubiertos de nitrato de aluminio y su emisividad de $\varepsilon = 0,1$.

ρ_d : Reflectancia difusa de los tubos de vacío.

2.2.10.4. Número de tubos al vacío.

La cantidad de tubos al vacío necesario que satisfacen la demanda energética. Está determinado por la siguiente ecuación.

$$N_t = \frac{A_{cap} \cdot F_s}{A_t}$$

N_t = Número de tubos.

A_{cap} = Área de captación (m²).

A_t = Área de un tubo al vacío (m²).

F_s = Factor de seguridad (1 - 1,5).

2.2.10.5. Volumen y aislamiento del termotanque.

Se designa temperatura equivalente (T_{eq}), que varía en función de la temperatura del agua fría. Por tanto, el aumento de temperatura, es un valor aproximadamente constante para cada sistema, 30°C en el sistema puntual y 20°C en el sistema continuo.

En el sistema puntual, el volumen se calcula 15% más que la masa de agua a almacenar en un día: En el sistema continuo, el volumen se calcula 20% de la masa de agua a almacenar; sin embargo, por detalles constructivos la capacidad del depósito no debe ser menor a 80 litro.

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

Donde:

V_{dep} = Volumen del depósito de almacenamiento (litros).

M = Masa de agua a almacenar (kg/día).

2.2.10.6. Cálculo del radio crítico de aislamiento.

El radio crítico de aislamiento depende de la conductividad térmica del aislamiento k , y del coeficiente externo de transferencia de calor por convección, h . (Cengel, 2007, págs. 156-157).

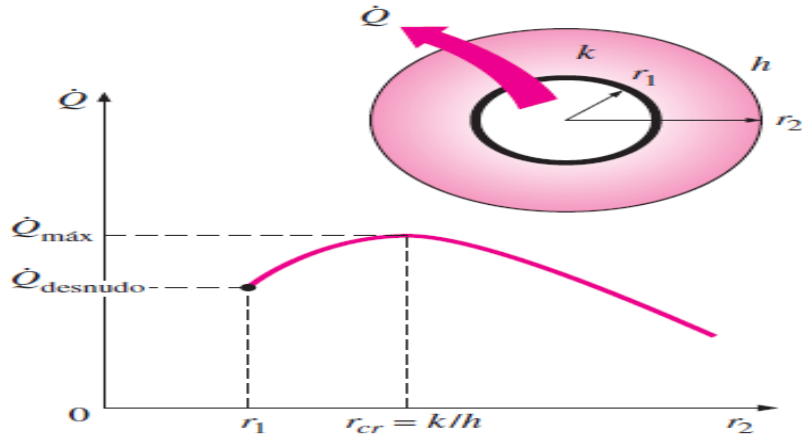


Ilustración 8 Radio crítico de aislamiento
 fuente: <https://images.app.goo.gl/1vD49g7W6BB5LccM6>

$$r_c = \frac{K}{h}$$

Donde:

r_c = Radio crítico de aislamiento.

K = Coeficiente de conductividad térmica (0.038W/m°K).

h = Coeficiente convectivo entre el tanque y el aire exterior.

Tabla 1
 Espesor recomendado (mm)

Tipo de aislamiento	Sistema puntual	Sistema continuo	Conductividad térmica (W/m°K)
Algodón	50	75	0,059
Asbesto	75	125	0,174
Lana de vidrio	25	50	0,038
Paja	50	100	0,090

Fuente: Os/cepis/03.87 unatsabar.

Cálculo del coeficiente convectivo Para depósitos cilíndricos verticales y horizontales según (RITE).

$$h_{conv} = 1.32 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D}}$$

2.2.10.7. Cálculo del espesor mínimo de aislamiento:

Según la norma RITE (reglamento de instalaciones térmicas en edificaciones).

$$e = \frac{D}{2} \left[\exp \frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \ln \left(\frac{D_i + 2e_{ref}}{D_i} \right) - 1 \right]$$

Donde:

e = Espesor mínimo de aislamiento (mm).

e_{ref} = Espesor mínimo de aislamiento indicado en la tabla (35 mm).

λ = Conductividad térmica del material (0.038W/m°K).

λ_{ref} = Conductividad térmica de referencia (0,035 W/m°K).

D_i = Diámetro interno de la superficie de sección aislante (mm).

Tabla 2

Espesor minino de asilamiento.

Diámetro exterior(mm)	Temperatura máxima de fluido (°C)		
	40...6	> 60...100	>100...180
D≤35	25	25	30
35<D≤60	30	30	40
60<D≤90	30	30	40
90<D≤140	30	40	50
140<D	35	40	50

Fuente: Reglamento de instalaciones térmicas en edificaciones (RITE).

2.2.10.8. Orientación del Colector Solar de Tubos al Vacío.

Se define mediante coordenadas angulares, similares a las utilizadas para definir la posición del sol:

- Ángulo de azimut (β).
- Ángulo de inclinación (ϕ).

Tabla 3

Inclinaciones recomendadas para colectores solares

Periodo de utilización	Inclinación de colector
Anual con consumo constante	$\beta = \phi$
Preferentemente in invierno	$\beta = \phi + 10^\circ$
Preferentemente en verano	$\beta = \phi - 10^\circ$

Fuente: Guía práctica energía solar. Energía. AEN – España

2.3. Definición de Términos Básicos:

1. Aislamiento térmico.

Son aquellos materiales que se caracterizan por su baja conductividad térmica.

2. Calor.

Es la energía cinética global que manifiestan todos los átomos y moléculas de una sustancia.

3. Colector solar.

Es cualquier aparato diseñado para captar la energía solar, que transforma en energía térmica.

4. Conductividad Térmica.

Es una propiedad física de los elementos que valora la capacidad de transmitir el calor.

5. Conexiones.

Son componentes que se usan para la circulación del agua entre el colector, el tanque y la red de tuberías.

6. Tanque de almacenamiento.

Son estructuras de diversos materiales, por lo general de forma cilíndrica, que sirven para almacenar y preservar fluidos.

7. Terma solar.

Es un aparato que Constituye las siguientes partes: colector solar, tanque de almacenamiento y conexiones.

8. Temperatura.

Es una magnitud física que mide cantidad de calor generado por los átomos y moléculas en movimiento.

9. Transferencia de calor.

Es la evaluación de rapidez de transferencia térmica cuando existe una diferencia de temperatura.

10. Tiempo.

Magnitud física que admite secuenciar acontecimientos y determinar momentos, cuya unidad en sistema internacional es el segundo (s).

CAPITULO III

DESARROLLO DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1 Modelo de solución propuesto.

Los datos y materiales, se presentan a continuación.

3.1.1 Determinación del consumo de agua caliente, irradiación y temperatura promedio de la zona.

El proyecto del diseño de cálculo de la terma solar, para suministrar la demanda de agua caliente en la Institución educativa Javier Heraud, ubicado en el distrito de Virundo, Provincia de Grau, Departamento de Apurímac, se desarrolló de acuerdo a las especificaciones técnicas y procedimientos ya establecidos de acuerdo a las normas técnicas (RITE) vigente y otros datos que se han considerado, por lo precisamos a continuación.

Para determinar el dimensionamiento de la terma solar se utilizaron los datos en las tablas que se mencionan y el ingreso de agua fría a un promedio de 9 °C. Para este caso se diseñará un sistema puntual debido a que el uso del agua caliente se realizará solo durante horario académico de 8am-1pm.

Tabla 4
Criterio de la demanda de agua caliente por usuario.

Criterio de demanda (T= 40°C)	Consumo unitario (L/día)
Vivienda	40
Hospitales y clínicas	80
Ambulatorio y centro de salud	60
Hotel *****	100
Hotel ****	80
Hotel***	60
Hotel/Hostal **	50
Camping	30
Hostal/Pensión*	40
Residencia (ancianos, estudiantes, etc.)	60
Centro penitenciario	40
Albergue	35
Vestuarios/Duchas colectivas	30
Escuela sin duchas	6
Escuela con duchas	30
Cuarteles	40
Fábricas y talleres	30
Oficinas	3
Gimnasios	30
Restaurantes	12
Cafeterías	2

Fuente: Reglamento de instalaciones térmicas de los edificios (RITE-España).

Tabla 5

Evaluación preliminar de la irradiación solar del sitio Virundo-Grau-Apurímac (generado por global solar atlas).

Descripción	Por año	Por día	Unidad
Potencia fotovoltaica específica de salida	1856	5.08	kWh/kWp
irradiación directa normal	2047	5.61	kWh/m²
Irradiación horizontal global	2169	5.94	kWh/m ²
Irradiación difusa horizontal	719	1.97	kWh/m ²
Irradiación global inclinada para el ángulo óptimo	2263	6.2	kWh/m ²
Temperatura del aire	7.6	7.6	°C
Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos	19	19	grados
Elevación del terreno	3898	3898	msnm

Fuente: <https://globalsolaratlas.info/map>.

Tabla 6

Datos históricos del tiempo Virundo// tabla climática.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	promedio anual
Temperatura media (°C)	9.1	9.3	9.1	8.9	7.7	6.2	5.8	6.5	8.2	9.3	9.3	9.4	8.23
Temperatura min. (°C)	2.2	2.7	2.5	1.3	-1.1	-3.5	-4.1	-3.7	-0.6	-0.1	0.4	2	-0.17
Temperatura máx. (°C)	16.1	16	16	17	16.6	16	16	16.7	17.1	19	18.3	17	16.68
Temperatura media (°F)	48.4	49	48	48	45.9	43.2	42	43.7	46.8	49	48.7	49	46.82
Temperatura min. (°F)	36	37	37	34	30	25.7	25	25.3	30.9	32	32.7	36	31.69
Temperatura máx. (°F)	61	61	60	62	61.9	60.8	60	62.1	62.8	66	64.9	62	62.04
Precipitación (mm)	173	156	156	56	10	7	8	18	35	43	63	101	68.83

Fuente: <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/peru/apurimac/virundo>.

3.1.2 Demanda energética.

Se tiene las siguientes consideraciones para hallar la demanda energética del diseño:

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

$$T_i = 9^\circ\text{C}$$

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

$$n_p = 80 \text{ Usuarios}$$

$$V_p = 6 \text{ L}$$

Sabemos que la densidad de agua es (ρ_{H_2O}): 1000 Kg/m³.

Y la ecuación para hallar es:

$$M = n_p \cdot \rho_{H_2O} \cdot V_p$$

Reemplazando los datos en la ecuación.

$$M = 80 \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 6 \text{L} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{L}}$$

$$M = 480 \text{Kg}$$

Luego, la demanda energética se calcula en la ecuación:

$$E = M \times C_p (T_f - T_i)$$

$$E = 480 \text{Kg} \times 4,18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (40 - 9)^\circ\text{C}$$

$$E = 62198,4 \text{KJ}$$

3.1.3 Numero de tubos al vacío del colector solar.

Para determinar el número de tubos al vacío se emplea la siguiente información del tubo al vacío.

$$E = 3 \text{ mm}$$

$$De = 58 \text{ mm}$$

$$Di = 50 \text{ mm}$$

$$Lt = 1800 \text{ mm (50mm se inserta al tanque)}$$

$$Lu = 1750 \text{ mm}$$

El área de captación de la radiación o irradiación solar está dada por la Ecuación.

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

Donde:

$$E = 62198.4 \text{ KJ}$$

$$H_p = 5,61 \text{ Kwh/m}^2$$

α_s = Factor de corrección

Factor de corrección está determinado por la ecuación.

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

Donde:

$$\tau = 0.74$$

$$\alpha = 0.99$$

$$\rho_d = 0.16$$

Reemplazando en la ecuación.

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

$$\alpha_s = \mathbf{0.7338}$$

El área de captación solar necesario es igual a:

$$A_{cap} = \frac{62198.4KJ}{5,61 \frac{Kwh}{m^2} \times 0.7338 \frac{KJ/s}{Kw} \left(\frac{3600s}{h}\right)}$$

$$A_{cap} = 4.2m^2$$

Para el cálculo del área de incidencia de cada tubo al vacío, se consideró con un margen de seguridad de diseño, que la radiación solar solo incide en la mitad del área cilíndrica exterior de los tubos de vacío; para un tubo de vacío su área cilíndrica exterior (A_t) será.

$$A_t = \frac{D_e \cdot \pi \cdot L}{2}$$

Donde:

$$D_e = 0,058m \text{ (diámetro exterior)}$$

$$L = 1,75 \text{ m (longitud útil)}$$

$$A_t = \frac{0.058 \times \pi \times 1.75}{2}$$

$$A_t = 0.16m^2$$

El número de tubos de vacío empleando la ecuación:

$$N_t = \frac{A_{cap} \cdot F_s}{A_t}$$

Donde:

$$F.S. = 1,00 \text{ (Factor seguridad)}$$

$$N_t = \frac{4.2m^2 \times 1}{0.16m^2}$$

$$N_t = 26.25 \cong 27$$

3.1.4 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento.

Se diseñó considerando el sistema puntual de calentamiento de agua, el incremento de temperatura es de 35°C por consideraciones de diseño. Entonces la temperatura equivalente a la que se almacenará el agua es:

$$T_{eq} = T_i + 35 = 9 + 35 = 44^{\circ}C$$

Recalculando la demanda energética que podrá cubrir la terma solar diseñada con 27 tubos; en la ecuación:

$$E = N_t \cdot HP \cdot A_t \cdot \alpha \cdot s$$

Considerando:

$$N_t = 27 \text{ tubos de vacío}$$

$$H = 5,61 \text{ Kwh/m}^2$$

$$A_t = 0,16 \text{ m}^2$$

$$\alpha = 0,733$$

Reemplazando:

$$E = 27 \times 5.61 \frac{\text{Kwh}}{\text{m}^2} \times 0.16 \text{m}^2 \times 0.733 \left(\frac{3600 \text{s}}{\text{h}} \times \frac{\text{KJ/S}}{\text{Kw}} \right)$$

$$E = 63951.84 \text{KJ} = 17.7644 \text{kw.h}$$

Despejando la masa.

$$M = \frac{E}{C_p \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}C} (T_{eq} - T_i)}$$

Donde:

$$E = 63951.84 \text{KJ}$$

$$T_{eq} = 44^{\circ}C$$

$$T_i = 9^{\circ}C$$

Reemplazando:

$$M = \frac{63951.84\text{KJ}}{4.18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (44 - 9)^\circ\text{C}}$$

$$M = 437.12\text{Kg}$$

Por consideraciones de diseño el factor de seguridad es de 15% más, en la siguiente ecuación.

$$V_{\text{dep}} = 1,15 \times 437.12$$

$$V_{\text{dep}} = 502\text{L}$$

Entonces:

$$\mathbf{V_{\text{dep}} = 502 \text{ L} = 0,502\text{m}^3}$$

Considerando el diámetro del tanque cilíndrico de $580\text{mm} = 0,58\text{m}$:

Se sabe que el volumen cilíndrico es:

$$V_{\text{dep}} = \frac{\pi D^2}{4} \times L$$

Donde:

$$V_{\text{dep}} = 0.502\text{m}^3$$

$$D = 0,58 \text{ m}$$

$$L = ?$$

Reemplazando los datos

$$0.502\text{m}^3 = \frac{\pi(0.58\text{m})^2}{4} \times L$$

$$L = 1.90 \text{ m}$$

Las dimensiones interiores del tanque de almacenamiento serán:

$$D = 0,58 \text{ m} = 580 \text{ mm}$$

$$L = 1,90 \text{ m} = 1900 \text{ mm}$$

3.1.5 Cálculo del espesor de aislamiento del termotanque de almacenamiento de agua caliente.

r_c = Radio crítico de aislamiento.

$$K = 0.038 \text{ W/m}^\circ\text{K}.$$

h = Coeficiente convectivo entre el tanque y el aire exterior.

$$T_{\text{eq}} = 44^\circ\text{C}.$$

$$T_\infty = 8.23^\circ\text{C} \text{ dato de la tabla 6.}$$

$$h_{\text{conv}} = 1.32 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D}}$$

Considerando la diferencia de temperatura T_Δ :

$$T_\Delta = (31.77 \approx 32^\circ\text{C}).$$

$$D = (0.60 \text{ m}).$$

$$h_{\text{con}} = 1.32 \sqrt[4]{\frac{32}{0.60}} = 3.56 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Entonces:

$$r_c = \frac{0.038 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}}{3.56 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}}$$

$$r_c = 0.0106 \text{ m}$$

$$r_c = \mathbf{10.6 \text{ mm}}$$

El resultado nos precisa el cálculo del radio crítico del aislamiento de la pérdida de calor es máxima.

3.1.5.1 Cálculo del espesor mínimo de aislamiento.

$$e = \frac{D}{2} \left[\exp \frac{\lambda}{\lambda_{\text{ref}}} \ln \left(\frac{D_i + 2e_{\text{ref}}}{D_i} \right) - 1 \right]$$

Donde:

$$e = ?$$

$$e_{\text{ref}} = 35 \text{ mm.}$$

$$\lambda = 0.038 \text{ W/m}^\circ\text{K.}$$

$$\lambda_{\text{ref}} = 0,035 \text{ W/m}^\circ\text{K.}$$

$$D_i = 600 \text{ mm.}$$

Reemplazando en la ecuación.

$$e = \frac{600}{2} \left[\exp \frac{0.038}{0.035} \ln \left(\frac{600 + 2 * 35}{600} \right) - 1 \right]$$

$$\mathbf{e = 38.18mm}$$

De acuerdo al cálculo nuestro espesor mínimo de aislamiento será de 38.18mm.

3.1.6 Cuadro de costo de materiales, fabricación de termotanque, soporte metálico y costo del consumo de energía eléctrica.

Tabla 7
Costo de materiales, termotanque y soporte metálico.

producto	cantidad	medida unitaria	costo
Plancha inoxidable AISI 201. 2mm	1+1/4	1.2x2.4m	462.5
Plancha galvanizada. 1mm	1 +1/4	1.2x2.4m	106.25
Lana de vidrio 2"	1	1.2x4m	50
Soporte metálico completo hecho	1		300
Tubos al vacío (50 soles/unidad)	27	1800x58mm	1350
Otros accesorios			100
Fabricación del termo tanque	1		400
Servicio de transporte			300
Servicio de instalación			200
total			3268.75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8
Costo del consumo de energía eléctrica.

Energía eléctrica	Cantidad	Unidad
Demanda energética	17.7644	KW-hr
Tarifa eléctrica en la zona	0.6350	Soles/Kw-hr.
Costo diario para calentar 484 litros de agua	11.2803	Soles
Costo 22 días del uso al mes	248.168	Soles
Costo 10 meses de uso anual	1,960.55	Soles
costo total anual	2481.686	soles

Fuente: Elaboración Propia.

Cálculo de valor actual neto (VAN).

Para calcular flujo neto realizaremos la diferencia entre ahorro en energía durante un año, menos el costo de mantenimiento del colector solar durante un año.

Tabla 9

Cuadro de flujo neto efectivo.

año	flujo beneficio (ahorro en energía eléctrica)	Flujo costo (gasto en Mant.)	flujo neto
1	2481.686	481.686	2000
2	2481.686	481.686	2000
3	2481.686	481.686	2000
4	2481.686	481.686	2000
5	2481.686	481.686	2000

Fuente: Elaboración propia.

Dotos:

VAN = ?

Interés = 10%.

I. o = 3218.75

Numero de años = 5 años

$$VAN = \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5} - IO$$

$$VAN = \frac{2000}{(1+0.1)^1} + \frac{2000}{(1+0.1)^2} + \frac{2000}{(1+0.1)^3} + \frac{2000}{(1+0.1)^4} + \frac{2000}{(1+0.1)^5} - 3218.75$$

$$VAN = 1818.18 + 1652.89 + 1502.62 + 1366.02 + 1241.84 - 3218.75$$

$$VAN = 4312.8 \geq 0$$

Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR).

$$\text{VAN} = \frac{F1}{(1+i)^1} + \frac{F2}{(1+i)^2} + \frac{F3}{(1+i)^3} + \frac{F4}{(1+i)^4} + \frac{F5}{(1+i)^5} - I0$$

Calculando el "i" cuando el VAN es cero y realizando los cálculos:

$$0 = \frac{2000}{(1+r)^1} + \frac{2000}{(1+r)^2} + \frac{2000}{(1+r)^3} + \frac{2000}{(1+r)^4} + \frac{2000}{(1+r)^5} - 3218.75$$

$$r = 0.40143$$

Por lo tanto, nuestra tasa interna de retorno es:

$$\mathbf{TIR = 40.134\%}$$

3.2 Resultados.

Tenemos los siguientes resultados de acuerdo a los cálculos en el diseño de la terma solar para el colegio Javier Heraud del distrito de Virundo-Grau Apurímac.

Tabla 10
Resultados del cálculo.

Resultados en el cálculo del diseño de la terma solar:

Longitud del tanque	1900 mm
Espesor interno del tanque de almacenamiento acero Inoxidable	2 mm
Diámetro interno del tanque	580 mm
Numero de colectores	27 unidades
Demanda energética	63951.84kJ
Volumen del tanque de almacenamiento	502 L
Espesor mínimo de aislamiento de fibra de vidrio	38.18 mm
Espesor de recubrimiento del tanque con hierro dulce	1 mm

Fuente: Elaboración propia.

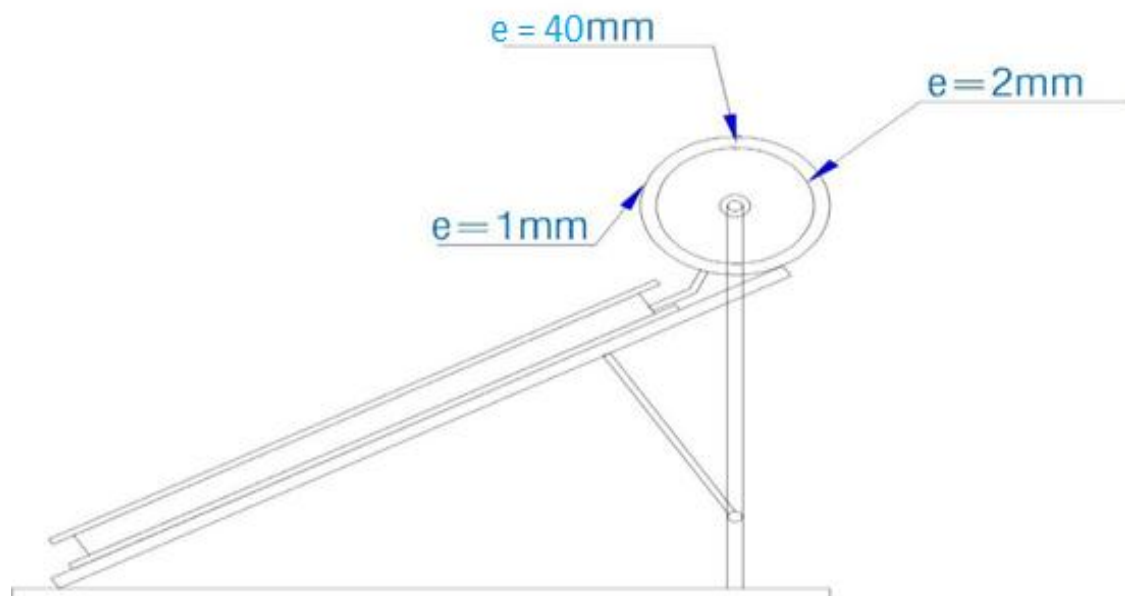


Ilustración 9 Vista lateral del sistema (en instalación).
Fuente: Elaboración propia.

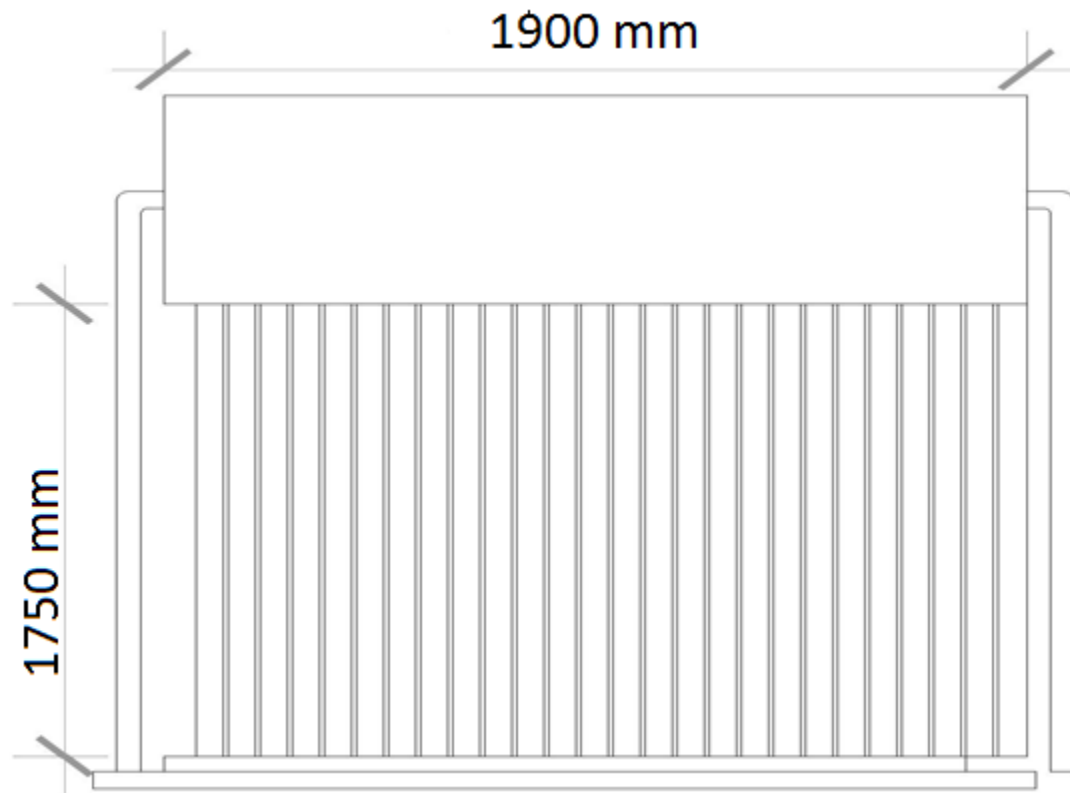


Ilustración 10 Vista superior del sistema (terma solar).
Fuente: Elaboración propia.

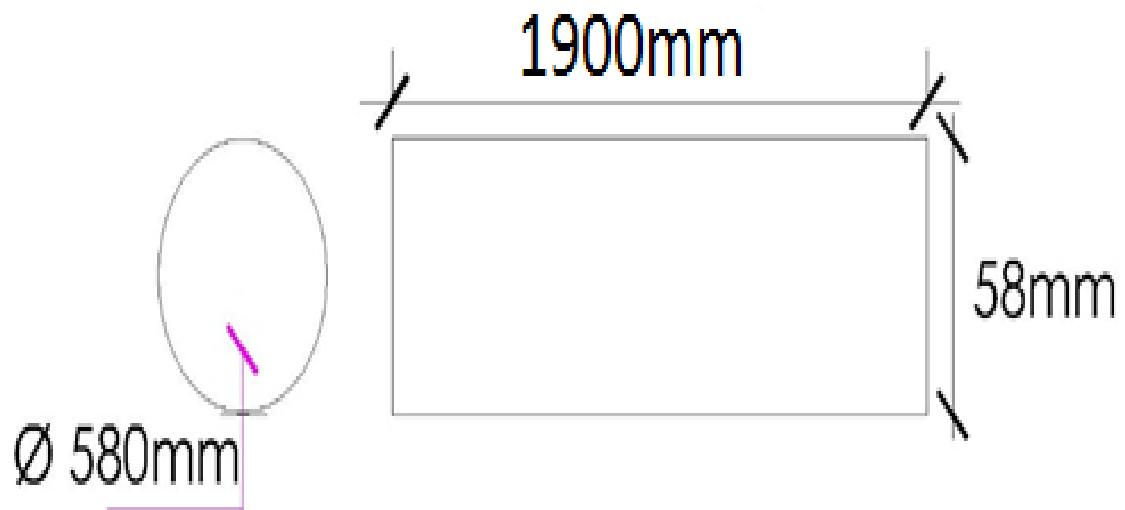


Ilustración 11 Vista frontal y lateral del termotanque.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- El cálculo de la demanda de agua caliente con temperatura promedio de 40°C, se ha determinado óptimamente en el colegio Javier Heraud de Virundo-Grau-Apurímac para los 80 usuarios, con las siguientes especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento de agua, tipo cilindro con diámetro interno de 0.58m, longitud de 1.90m y con volumen total de almacenamiento de 0.502 m³; el tanque contará con tres capas: primera capa y contacto con agua caliente será con acero inoxidable con espesor de 2mm, la segunda capa que es aislante térmico será con fibra de vidrio de 38.18 mm como mínimo, la tercera y última capa será de hierro galvanizado con un espesor de 1mm.
- Se ha determinado el cálculo de 502 litros o 0.502 m³, el mismo que abastecerá a la población estudiantil, toda vez que, de acuerdo a la tabla de criterio del uso de demanda, corresponda a cada usuario un consumo puntual de 6 litros, por tanto, teniendo una población de 80 usuarios haría una demanda total de 480 litros, lo que podemos apreciar que el cálculo obtenido es suficiente y abastecerá con una reserva de 22 litros.
- De acuerdo a los cálculos se ha determinado que el sistema llevará 27 tubos al vacío del 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, resultados que garantiza la demanda requerida por la institución educativa Javier Heraud, el mismo que abastecerá durante todo el periodo escolar en promedio a 80 alumnos matriculados.

RECOMENDACIONES

- En caso, que la población usuaria se incremente, se recomienda desarrollar el diseño con una capacidad de 560 litros de agua a una temperatura promedio de 40°C, teniendo en cuenta los cálculos desarrollados en el presente trabajo del informe, el cual garantiza los cálculos obtenidos con las nuevas demandas requerida, por lo tanto, se recomienda utilizar 30 unidades de tubos al vacío.
- Se recomienda a los usuarios qué hagan uso adecuado y/o controlado de agua caliente para no entrar en déficit ya que a cada individuo le corresponde un promedio de 6 litros a una temperatura de 40°C. sin embargo para mayor rendimiento se debe combinar con agua fría de la red hidráulica potable.
- De acuerdo a los cálculos se recomienda, el espesor de almacenamiento de agua caliente a una temperatura de 40°C se debe emplear 38.18mm de espesor de fibra de vidrio. Con este espesor estamos garantizando agua caliente por un lapso de tiempo determinado.

BIBLIOGRAFÍAS

- Berlanga, A. O. (2016). Diseño de una terma solar como fuente de calentamiento de agua para las operaciones de lavado, de una planta piloto de recubrimientos metálicos en piezas de acero. *Universidad nacional de San Agustín*.
- Cengel, y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill.
- Conde, M. A., & Ramos, Z. A. (2014). *Diseño de un calentor solar de placas de calor para calentamiento de agua para uso doméstico*. Ciudad Universitaria, México.
- Flores, C. J. (2018). *Diseño de una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de Puno*. Puno.
- Flores, C. J. (2018). *Diseño de una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de Puno*. Tesis, Universidad Nacional del Altiplano, Escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica, Puno, Perú.
- Guevara, S. (2003). *Diseño del sistema de calentamiento solar de agua*. Lima: Auspiciado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- Inga, L. A. (2017). *Diseño de una terma solar de 50 litros para obtener agua caliente en el barrio Carmen alto - Chupaca*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del centro del Perú, Huancayo. Recuperado el octubre de 2019.
- ISO 9000:2015. (2015). *ISO 9000:2015*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:es>.
- López, j. m. (2006). *Energía solar térmica*. Madrid, España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- López, J. M. (2006). *Energía solar térmica*. Madrid, España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Mares Domínguez, Y. (2018). *Criterios de control de calidad en obras de estructura metálica*. Tecamachalco.
- RAE. (2018). *Diccionario de la lengua española*. Obtenido de <https://dle.rae.es/?id=6nVpk8P|6nXVL1Z>.

ANEXOS

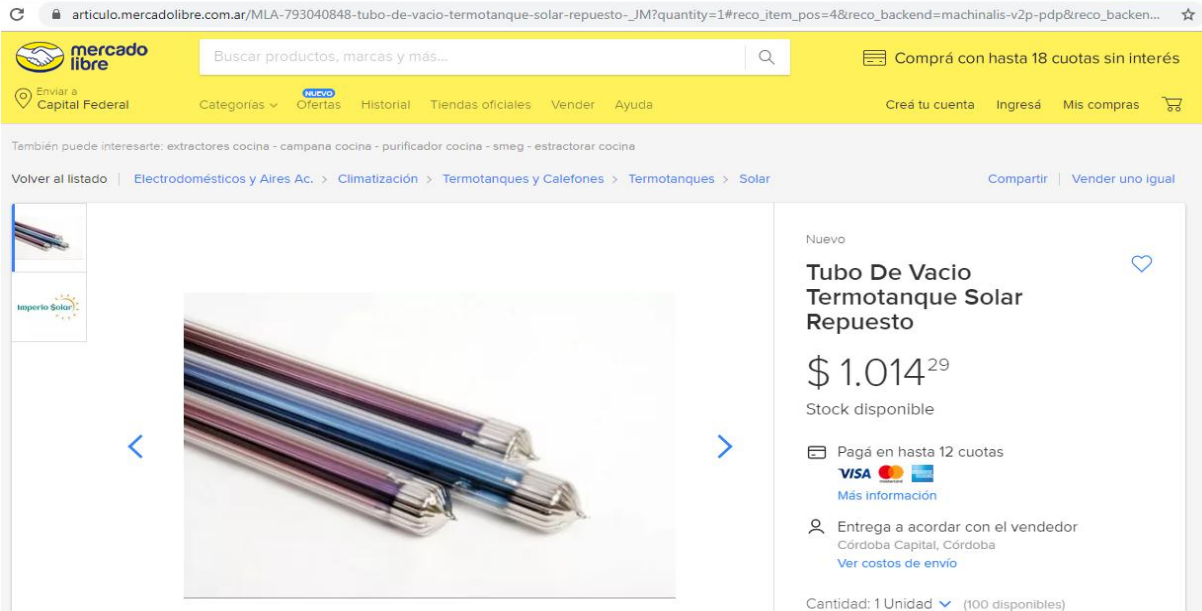
Anexo 1

Radiación solar en el Perú (promedio diario anual).

Lugar	Departamento	Altitud (m)	Radiación. Solar (I_d) (kWh/m ² -día)
Zorritos	Tumbes	5	4,93
Guayabamba	Iquitos	122	4,46
Tablazo	Piura	147	5,12
Tarapoto	San Martín	356	4,43
Lambayeque	Lambayeque	18	5,00
Cajamarca	Cajamarca	2.750	6,58
Cartavio	La Libertad	51	4,86
Huaraz	Ancash	3.207	5,79
Huánuco	Huánuco	1.800	5,15
Atacocha	Cerro de Pasco	4.023	5,45
Fdo. Iberia	Madre de Dios	180	4,52
Huancayo	Junín	3.350	6,78
La Molina	Lima	251	4,09
Tunel Cerro	Huancavelica	4.600	5,87
Kayra	Cusco	3.219	5,28
Abancay	Apurímac	2.398	5,21
Ica	Ica	398	5,28
Cachapampa	Ayacucho	2.450	6,62
Puno	Puno	3.825	6,80
Characato	Arequipa	2.461	7,09
Moquegua	Moquegua	1.420	6,14
Calana	Tacna	590	5,43

Anexo 2

Precio de tubo de vacío en mercado libre.



The screenshot shows a product listing on Mercado Libre. The product is 'Tubo De Vacío Termostato Solar Repuesto' by the brand 'INSOL'. The price is listed as \$1.014²⁹. The page includes navigation links, a search bar, and a shopping cart icon. The product image shows several glass vacuum tubes.

Características

Marca:
INSOL

Modelo:
RTVA

Línea:
TUBO

Capacidad en volumen:
3 L

Descripción

REPUESTO CAJA DE 10 TUBOS DE VACIO DE BOROSILICATO PARA TERMOTANQUE Y COLECTOR SOLAR

Los tubos de vacío son la parte activa de los termotanques solares, es decir son los encargados de transformar la radiación solar en calor. De ellos depende la eficiencia y poder de calentamiento de los equipos. Los tubos de vacío poseen triple capa de absorción lo que aumenta la eficiencia, es decir a misma radiación recibida se generará mayor cantidad de calor.

FICHA TECNICA:

- Estructura del tubo: Doble tubo de vidrio concéntrico.
- Tipo de vidrio: Vidrio Borosilicato 3.3 de alta durabilidad, resistencia calórica y química.
- Diámetro exterior: 58 mm.
- Espesor: 1,8 mm.
- Largo: 1800 mm.
- Resistente a un granizo de 2,5 cm.

Anexo 3

Propiedad térmica de los materiales.

PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y AISLANTES				
Material	Densidad(kg/m ³)	Calor específico (J/(kg·K))	Conductividad térmica(W/(m·K))	Difusividad térmica (m ² /s) (x10 ⁻⁶)
Acero	7850	460	47-58	13,01-16,06
Agua	1000	4186	0,58	0,139
Aire	1,2	1000	0,026	21,67
Alpaca	8,72	398	29,1	8384,8
Aluminio	2700	909	209-232	85,16-94,53
Bronce	8000	360	116-186	40,28-64,58
Carbón (antracita)	1370	1260	0,238	0,139
Cartón	-	-	0,14-0,35	-
Cinc	7140	389	106-140	38,16-50,41
Cobre	8900	389	372-385	107,45-111,20
Corcho (expandido)	120	-	0,036	-
Espuma de poliuretano	40	1674	0,029	0,433
Espuma de vidrio	100	-	0,047	-
Estaño	7400	251	64	34,46
Fibra de vidrio	220	795	0,035	0,200
Hierro	7870	473	72	19,34
Láminas de fibra de madera	200	-	0,047	-
Ladrillo común	1800	840	0,8	0,529
Lana de vidrio	100-200	670	0,036-0,040	0,537-0,299
Litio	530	360	301,2	1578,61
Madera	840	1381	0,13	0,112
Mármol	2400	879	2,09	0,991
Oro	19330	130	308,2	122,65
Plata	10500	234	418	170,13
Plomo	11340	130	35	23,74
Poliestireno	1050	1200	0,157	0,125
Porcelana	2350	921	0,81	0,374
Serrín	215	-	0,071	-
Vidrio	2700	833	0,81	0,360
Yeso	1800	837	0,81	0,538

Fuente: <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>

Anexo 4

Isométrico de terma solar.

