

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DEL PANEL SOLAR CON HDPE  
ARTICULADO PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA  
TEMPERADA DE USO DOMÉSTICO EN LA  
CIUDAD DE HUARAZ – 2016”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORA:**

**Bach. DIANA ELIZABETH CÓNDOR SÁNCHEZ**

**ASESOR:**

**Dr. MAXIMILIANO LOARTE RUBINA**

**Huaraz - Ancash - Perú**

**Julio, 2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DEL PANEL SOLAR CON HDPE  
ARTICULADO PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA  
TEMPERADA DE USO DOMÉSTICO EN LA  
CIUDAD DE HUARAZ – 2016”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORA:**

**Bach. DIANA ELIZABETH CÓNDOR SÁNCHEZ**

**ASESOR:**

**Dr. MAXIMILIANO LOARTE RUBINA**

**Huaraz - Ancash - Perú**

**Julio, 2018**





## ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de Tesis **EVALUACION DEL PANEL SOLAR CON HDPE ARTICULADO PARA LA OBTENCION DE AGUA TEMPERADA DE USO DOMESTICO EN LA CIUDAD DE HUARAZ - 2016**, que presenta **DIANA ELIZABETH CONDOR SANCHEZ** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

### APROBADA

Con el calificativo de: ..... *Quince* ..... (15)

En consecuencia, **DIANA ELIZABETH CONDOR SANCHEZ** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 25 de Julio de 2018

Dr. **Heraclio Fernando Castillo Picón**  
Presidente  
Jurado de sustentación

Dr. **César Manuel Gregorio Dávila Paredes**  
Secretario  
Jurado de sustentación

Dr. **Jerónimo Víctor Manrique**  
Vocal  
Jurado de sustentación

Dr. **Maximiliano Loarte Rubina**  
Asesor de tesista

## **DEDICATORIA**

A Dios, quien día tras día guía mi vida  
y la de todos los que vivimos en este  
grato mundo con la fe de ir mejorando  
constantemente.

A mis queridos padres, Julia Sánchez  
y Gavino Cóndor, con mucho amor y  
gratitud por ser los motores de mi  
inspiración y del logro de mis metas.

Diana

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo” y a sus docentes, por su contribución en mi formación y perfeccionamiento permanente.

Al Ing. Julio Aparicio, por la paciencia y los ánimos que me ha dedicado a lo largo del desarrollo de la tesis; su dirección y sus críticas constructivas han sido claves de que este trabajo se concluya. Asimismo, agradezco a su hermosa familia, por el gran apoyo incondicional.

Al Dr. Maximiliano Loarte (asesor) y a los miembros del jurado (Dr. Julio Palomino Cadenas, Rafael Figueroa y Cesar Dávila), por sus importantes aportes, conocimientos y sugerencias, con los que contribuyeron al desarrollo y a la mejora de la calidad de esta tesis.

Finalmente, agradezco profundamente a mis queridos padres por su apoyo para realizar y cumplir mis sueños de ser una gran profesional.

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la capacidad de un panel solar con HDPE articulado en la obtención de agua temperada para uso doméstico en los meses de setiembre 2016 y febrero 2017 en la ciudad de Huaraz (Áncash, Perú). Para ello, se diseñó una plataforma metálica de 2x2 m con 75° grados elevación; sobre ella, y de manera circular, se colocó una tubería de HDPE de 100 m de longitud con una capacidad de almacenamiento de 50.70 L de agua. Se evaluó el funcionamiento del panel en tres periodos de exposición a la radiación solar, 06 a.m.-10:00 a.m., 10:00 a.m.-01:00 p.m. y 01:00 p.m.-05:00 p.m., en los que se midió la temperatura del agua al ingreso y a la salida del panel de manera diaria. A partir de los incrementos de temperatura se determinaron los valores de calor absorbido por el agua, y teniendo en cuenta la radiación solar horaria incidente se calculó la eficiencia del panel solar. Considerando que dicho volumen de agua también hubiese podido ser calentado empleando energía eléctrica, se calculó el equivalente en consumo energético, y, al aplicar el factor de emisión de CO<sub>2</sub> para electricidad, se estimó la cantidad de dióxido de carbono dejado de emitir; mientras que, al aplicar el costo de energía eléctrica, se estimó el ahorro económico. Los resultados obtenidos muestran una mayor eficiencia del panel HDPE para el periodo de exposición de 6 a 10 a.m., que fue mayor en febrero de 2017 (29.7%) que en setiembre de 2016 (26.3%). Asimismo, el mayor incremento promedio de temperatura del agua obtenida se registró a las 10 a.m., tanto en setiembre de 2016 como en febrero de 2017, siendo de 40.3 y 32.7 °C, respectivamente. Con excepción de la temperatura para febrero 2017 a las 05:00 p.m., en los demás periodos de exposición, el panel logró obtener agua temperada (de 29 a 43°C). Finalmente, el uso del panel solar con HDPE en la obtención de agua temperada significó 63.5 kg de CO<sub>2</sub> no emitidos y 44.71 soles ahorrados en el mes de setiembre de 2016, y de 46.6 kg de CO<sub>2</sub> dejados de emitir, y un ahorro de 34.4 soles en febrero de 2017, valores que representan los beneficios ambiental y socioeconómico.

**Palabras clave:** Panel solar, tubería HPDE, agua temperada.



## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the capacity of an articulated solar panel with HDPE to obtain domestic temperate water in the months of September 2016 and February 2017 in Huaraz City (Ancash, Perú). For this purpose, a 2 x 2 m metallic platform with 75° grates of elevation was used, which a 100 metre-long HDPE pipe was placed on in circular way, with a storage capacity of 50.70 L. The operation of the panel was evaluated in three periods of exposure to solar radiation: 06 a.m.- 10: 00 a.m., 10:00 a.m.- 01: 00 p.m. and 01:00 p.m.- 05: 00 p.m., in which the water temperature was measured at the entrance and at the exit of the panel on a daily basis for the indicated months. As of the temperature rises, the values of heat absorbed by the water were determined and, considering the incident solar radiation, the efficiency of the solar panel was calculated. Considering that this volume of water could also have been heated by using electrical energy, the equivalent in energy consumption was calculated and by applying the CO<sub>2</sub> emission factor for electricity, the amount of carbon dioxide left to release was estimated; while, when applying the cost of electrical energy, the economic savings were estimated. The results obtained show a higher efficiency of the HDPE panel for the 6:00 -10 a.m exposure period, which was higher in the month of February 2017 (29.7%) than in August 2016 (26.3%). Furthermore, the greatest increase in water temperature was recorded at 10 a.m. both in September 2016 and February 2017, being 40.3 and 32.7 ° C respectively; except for the temperature for February 2017 at 05:00 p.m., in the other periods of exposure, the panel reached to obtain tempered water (from 29 to 43 °C). Finally, the use of the HDPE solar panel to obtain temperate water represented 63.5 kg of CO<sub>2</sub> not release and 44.71 soles saved in the month of September 2016 and 46.6 kg of CO<sub>2</sub> stopped releasing and a saving of 34.4 soles in February of 2017, values that represent the environmental and socioeconomic benefits.

**Keywords:** Solar panel, HPDE pipe, tempered water

# ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
ACTA DE SUSTENTACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	ix
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Justificación social, económica y ambiental	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis	3
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b>	<b>4</b>
2.1. Antecedentes	4
2.2. Marco teórico	6
2.2.1. Energía solar	6
2.2.2. Radiación solar	7
2.2.3. Sistemas solares térmicos	7
2.2.4. Paneles o colectores solares térmicos	8
a. Colectores solares de placa plana	8
b. Colector solar plano protegido	9
c. Colector solar no protegido	9
d. Colectores solares de vacío	9
2.2.5. Eficiencia o rendimiento de los colectores solares	9

2.2.6. Cálculo de CO <sub>2</sub> dejados de emitir por el cambio de duchas eléctricas por sistemas solares	10
2.2.7. Características beneficiosas del polietileno de alta densidad (HDPE)	11
2.3. Definición de términos	11
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>13</b>
3.1. Zona de estudio	13
3.3.1. Ubicación	13
3.3.2. Clima	13
3.2. Tipo de investigación	13
3.3.3. Según su propósito	13
3.3.4. Según su naturaleza	14
3.3. Población y muestra	14
3.3.5. Población	14
3.3.6. Muestra	14
3.4. Diseño de la investigación	14
3.5. Variables	15
3.6. Técnica de procesamiento y análisis de datos	16
3.7. Procedimiento	16
3.7.1. Construcción del panel solar HDPE articulado	16
3.7.2. Tanque de almacenamiento de agua caliente	17
3.7.3. Muestreos de temperatura del agua en la entrada y salida del sistema	19
3.7.4. Cálculo de la eficiencia del panel HDPE	19
a. Cálculo de la energía solar útil	19
b. Cálculo de la eficiencia	20
3.7.5. Evaluación de la utilidad del agua temperada	20
3.7.6. Evaluación del beneficio ambiental, socioeconómico del uso del panel solar HDPE articulado	21
a. Cálculo de cantidad de CO <sub>2</sub> dejados de emitir	21
b. Ahorro económico del uso del panel HDPE	21
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>22</b>
4.1. Temperaturas finales del agua obtenidas por el panel solar HDPE articulado	22

4.2. Eficiencia del panel solar con HDPE en la obtención de agua temperada de uso doméstico en la ciudad de Huaraz	24
4.3. Beneficio ambiental y socio-económico del panel solar de HDPE articulado	27
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>29</b>
5.1. Conclusiones	29
5.2. Recomendaciones	30
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>31</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>34</b>
Anexo 1: Materiales empleados en la construcción del panel solar con HDPE articulado	35
Anexo 2: Diseño del panel solar con HDPE articulado	37
Anexo 3: Panel fotográfico	39
Anexo 4: Registro de temperaturas y radiación solar	41
Anexo 5: Comparación múltiple de medias de eficiencias mediante la prueba Duncan	46
Anexo 6: Diseño del tanque de almacenamiento	49

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Ventajas y desventajas del uso de energía solar	6
<b>Tabla 2:</b> Operacionalización de variables para el primer objetivo	15
<b>Tabla 3:</b> Operacionalización de variables para el segundo objetivo	15
<b>Tabla 4:</b> Operacionalización de variables para el tercer objetivo	16

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria	8
<b>Figura 2:</b> Esquema del funcionamiento del Panel Solar HDPE articulado	14
<b>Figura 3:</b> Diseño del Panel Solar HDPE articulado	17
<b>Figura 4:</b> Temperaturas finales obtenidas y rangos para agua temperada	23
<b>Figura 5:</b> Eficiencia del panel HDPE articulado para el mes de setiembre de 2016	24
<b>Figura 6:</b> Eficiencia del panel HDPE articulado para el mes de febrero de 2017	26
<b>Figura 7:</b> Comparación entre las eficiencias del panel HDPE de los meses de setiembre de 2016 y febrero 2017	27
<b>Figura 8:</b> Kilogramos de CO <sub>2</sub> dejados de emitir en cada mes de estudio	28
<b>Figura 9:</b> Ahorro para cada mes de estudio	28

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>HDPE</b>	Polietileno de alta densidad
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Watts por metro cuadrado
<b>kWh</b>	Kilowatts por hora

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Los impactos del cambio climático están evidenciándose en todas las regiones del mundo, lo que ha incrementado el interés de las naciones por hacer frente a este problema. Esto se hace evidente a través de las políticas y estrategias adoptadas por la mayoría de países, entre ellos el Perú, para adaptarse y mitigar los impactos adversos que este genera, siendo el principal objetivo la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) por el uso de combustibles fósiles. En esta pretensión, el uso de energías renovables surge como alternativa que genera muchos beneficios tanto ambientales como económicos, debido a que este tipo de energía no genera emisiones de gases efecto invernadero.

Una de las formas de aprovechamiento de energías renovables es la instalación de termas solares en viviendas para la obtención de agua temperada, la cual es muy importante en los hogares para diversos usos, como la higiene personal y la limpieza. Este tipo de sistemas captan la radiación solar incidente a través de paneles o colectores y la convierten en energía térmica, calentando el agua a niveles adecuados para su uso. Estos sistemas no generan gases tóxicos para el ambiente, lo cual los convierte en una alternativa atractiva para la sustitución de sistemas de calentamiento convencionales.

En el Perú, el uso de electricidad y gas (GLP) son las principales formas de energía utilizadas en sistemas de calentadores de agua para uso doméstico, debido a que son fáciles de instalar y operar; sin embargo, estos ocasionan un incremento sustancial en gastos por energía eléctrica y balones de gas, ya que estos sistemas son muy ineficientes y consumen mucha energía para su funcionamiento. Asimismo, estos sistemas están asociados a la producción de gases efecto invernadero como el CO<sub>2</sub> y el metano. Por otro lado, el uso de estos sistemas convencionales tiene asociado

riesgos a la población, ya que se puede producir accidentes, como la explosión de sistemas a gas o la electrocución de las personas en caso de las termas eléctricas.

En la ciudad de Huaraz y otras ciudades de la sierra del Perú, el acceso a agua templada es muy importante, teniendo en cuenta que la temperatura del agua en estas zonas es muy baja dificultando el aseo y limpieza adecuada; más aún, en zonas rurales alejadas donde no se cuenta con energía eléctrica. Por tanto, surge la necesidad de estudiar sistemas de producción de agua, eficientes tanto económica como ambientalmente. Es por ello que el presente estudio evaluó un panel solar construido a base de tubería de polietileno de alta densidad HDPE, material que por sus propiedades físicas (conductividad térmica baja y alta resistencia), podría conceder niveles considerables de eficiencia, y, además, por sus costos bajos, podría ser una alternativa de uso, en localidades alejadas con climas fríos, donde no existe suministro de electricidad.

### **1.1. Planteamiento del problema**

Teniendo en consideración que en la zona andina del Perú se ubican poblaciones vulnerables a la presencia de temperaturas frías, que resulta perjudicial a su salud. A esto se suma que el acceso a la energía eléctrica conduce a gastos muchas veces perjudiciales a su precaria economía. Por ello, resulta necesario indagar sobre tecnologías que aprovechen fuentes renovables de energía como la solar. Esto permite contribuir con la reducción de emisiones de efecto invernadero, y, al ser de bajo costo, se vuelve accesible para los pobladores de bajos recursos económicos.

En este sentido, aprovechando la energía solar se puede obtener agua templada que pueda beneficiar a los pobladores que viven en zonas de la sierra con climas fríos. Por tanto, resulta de interés evaluar la eficiencia de un panel solar con HDPE para la obtención de agua templada mediante el aprovechamiento del potencial energético solar que posee la ciudad de Huaraz.

### **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo evaluar el panel solar con HDPE articulado en la obtención de agua templada para uso doméstico en la ciudad de Huaraz en el año 2016?

### **1.3. Justificación social, económica y ambiental**

La evaluación de la eficiencia y de los beneficios socioambientales del panel solar construido a base de tubería HDPE otorga información preliminar importante que servirá para la mejora de diseños de colectores solares que se ajusten a las necesidades de los sectores de la población ancashina, que aún no cuenta con energía eléctrica, o no tienen recursos suficientes para invertir en sistemas solares comerciales. Asimismo, la presente investigación buscará evidenciar el potencial de energía solar que presenta la ciudad de Huaraz, el cual podría tomarse como referencia para futuros proyectos de energía renovable solar y, así, contribuir con la reducción de gases efecto invernadero y al mismo tiempo buscar nuevos diseños de panel menos costosos para el beneficio y mejora de la calidad de vida de la población.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar el panel solar con HDPE articulado en la obtención de agua temperada para uso doméstico en la ciudad de Huaraz 2016.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Medir las temperaturas finales del agua obtenidas por el panel HDPE articulado.
- Calcular la eficiencia del panel solar con HDPE en la obtención de agua temperada de uso doméstico en la ciudad de Huaraz.
- Calcular el beneficio ambiental, económico y social del uso del panel solar de HDPE articulado.

### **1.5. Hipótesis**

El panel solar absorbe la radiación y la transforma en energía térmica (calor), para luego cederla al fluido, alcanzando una temperatura mayor o igual a 29 °C, destinada al uso doméstico.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

#### 2.1. Antecedentes

Se han realizado varios trabajos de investigación con el objetivo de evaluar la eficiencia de diferentes tipos de diseños de calentadores solares. A continuación, se muestran algunos trabajos realizados en el Perú y Sudamérica.

En un contexto nacional, Mendoza y Rituay (2015) evaluaron la eficiencia térmica de un calentador solar construido a base de materiales reciclables: botellas de polietileno, cajas de tetra pak y tubos de CPVC y PVC. Para este fin realizaron mediciones de temperatura del agua en la entrada del colector solar, en el colector solar y en el tanque de almacenamiento, cada 30 minutos de 8:00 a.m. a 4:00 p.m. en días soleados, combinados y nublados. Con los datos obtenidos determinaron la eficiencia del colector, a través de la energía térmica ganada y la energía solar recibida. Los resultados mostraron que el sistema implementado tuvo una eficiencia del 41% en días soleados, 39% días combinados y 37% en días nublados, alcanzando la temperatura más alta en los días nublados con un valor de 40 °C.

Por otro lado, Sánchez e Iparraguirre (2014) realizaron una investigación donde se dimensionó y construyó colectores solares de placa plana para abastecer de Agua Caliente Sanitaria (ACS) a la Institución Educativa Cristiana Bereshi de Chimbote, con una demanda de 40 alumnos. Asimismo, en este estudio se calculó la viabilidad económica de construir un colector solar comparada con el costo de los colectores comerciales, obteniendo un ahorro de S/1212.35 por sistema. Finalmente se hizo una evaluación de colectores a través del cálculo de la eficiencia instantánea, obteniendo una eficiencia de operación diaria del 52.8% en promedio.

De igual manera, Montoya, Cabana, y Soria (2011), en su trabajo titulado “Estudio de evaluación de eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío con tanque acumulador, de la empresa D’SOL”, hicieron una evaluación instalando dos sensores de temperatura en el interior del tanque de almacenamiento, el cual registró la temperatura en un periodo de tres días; asimismo el estudio contempló la medición de datos de temperatura ambiental y radiación solar en los días evaluados. Como en el estudio señalado anteriormente, la eficiencia del sistema fue calculado a través del rendimiento energético, la cual depende de la energía útil ganada por la terma solar y la energía solar disponible en el tiempo de evaluación. El estudio llegó a la conclusión de que el sistema de tubos de vacío evaluado tuvo una mayor eficiencia (69,97%) en el primer día de evaluación, incrementando la temperatura de 17.5 a 67,5 °C.

En un contexto internacional, Peñafiel y Silva (2012), teniendo como preocupación el gran consumo de gas GLP para el funcionamiento de sistemas de calentamiento de agua en Ecuador, realizaron un estudio de la factibilidad y verificación de sistemas de colectores solares con un componente auxiliar de sistema a gas GLP, observando que estos sistemas tienen algunas ventajas como su mejor estabilidad, menor impacto en el ambiente y temperaturas constantes (45°C). Los resultados experimentales mostraron que el aporte de energía solar para el calentamiento de agua fue de un 90.92 % mientras que el sistema de gas auxiliar solo utilizó el 9.08 %, reduciendo considerablemente el consumo de GLP, con un ahorro de 1273 cilindros mensuales por ende una reducción de CO<sub>2</sub>.

Por otro lado, López, Mantilla, y Poveda (2012) hicieron una evaluación de un calentador solar de agua fabricado con tubería PVC en serie y envases PET traslúcidos. Para realizar la evaluación siguieron el método ASHRAE; asimismo realizaron una comparación de temperaturas del agua de salida del calentador evaluado con la temperatura de salida de un calentador solar de placa plana convencional fabricado con materiales como placa metálica, tubos de cobre distribuidos en paralelo, vidrio templado y un tanque de almacenamiento de acero inoxidable. Los resultados obtenidos en este estudio revelaron que el calentador construido a base de envases pet no cumplió las características mínimas para considerarlo un calentador solar de Agua Caliente Sanitaria, ya que no logró una salida de 40 °C o más, teniendo un rendimiento máximo de 76.3% y una temperatura máxima de salida de 36 °C).

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Energía solar

La energía solar directa es la energía del sol sin transformaciones, que tiene la propiedad de calentar e iluminar. Para poder ser aprovechado se necesita de sistemas de captación y de almacenamiento pudiendo ser utilizada a través de las siguientes maneras:

- Utilización directa: mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la llamada energía solar térmica pasiva.
- Transformación en calor: es la llamada energía solar térmica, consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos. Este fluido se puede destinar para el Agua Caliente Sanitaria (ACS), o ser apoyo para la calefacción para atemperar piscinas, etc.
- Transformación en electricidad: es la llamada energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de paneles solares.

**Tabla 1:** Ventajas y desventajas del uso de energía solar

<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Mínimo impacto ambiental.</b></li><li>• <b>No produce residuos perjudiciales para el ambiente.</b></li><li>• <b>Distribuida por todo el mundo.</b></li><li>• <b>Después de la instalación del sistema, los costos son mínimos (costos de mantenimiento).</b></li><li>• <b>No hay dependencia de compañías suministradoras de electricidad.</b></li></ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se precisan sistemas de acumulación (baterías), que contienen agentes químicos peligrosos.</li><li>• Los depósitos de agua caliente deben protegerse contra la Legionela.</li><li>• Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles solares en caso de grandes instalaciones.</li><li>• Se puede tener un impacto visual negativo si no se cuida la integración de módulos solares en el entorno</li></ul>

**Fuente:** Mendez y Cuervo (2008)

### **2.2.2. Radiación solar**

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, las cuales son aproximadamente 63,450,720 W/m<sup>2</sup>, y la constante solar representa la energía media que llega a la capa más externa de la atmósfera terrestre y cuyo valor es igual a 1353 W/m<sup>2</sup>, pero este valor no es el que precisamente llega a la superficie del suelo, debido a que hay un sinnúmero de factores que afectan la captación del 100% de la energía radiante que proviene del sol. A la tierra solo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la atmósfera, y de ella el 70% cae en el mar. Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial (Sanchez e Iparraguirre, 2014).

Sobre una superficie cualquiera, situada en la superficie terrestre incidirán distintos tipos de energía radiante (Jutglar, 2004):

- Radiación directa: Aquella que procede del Sol e incide sobre la superficie sin cambiar de dirección, excepto la debida a la refracción atmosférica.
- Radiación difusa: Aquella parte de radiación solar que, por choques sucesivos con moléculas y partículas contenidas en el aire, se ha difundido al atravesar la atmósfera.
- Albedo: Radiación que llega a la superficie considerada, después de haberse reflejado en las superficies del entorno.
- Radiación global: Es la suma de la directa y la difusa.
- Radiación total: Es la suma de la radiación directa, la difusa y el albedo.

### **2.2.3. Sistemas solares térmicos**

Se denomina energía solar térmica a la transformación de la radiación solar en energía calorífica con el fin de producir agua temperada destinada al consumo doméstico (calentamiento de agua para duchas, piscinas, calefacción). Asimismo, la energía solar también puede ser utilizada para la producción de energía mecánica a través de ciclos termodinámicos (Rufes, 2009).



**Figura 1:** Instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria

**Fuente:** Rufes (2009)

Un calentador solar de agua es aquel sistema que a partir de la energía del sol logra elevar la temperatura del agua; este sistema se conforma por un panel o colector solar; que es básicamente un intercambiador de calor, un tanque acumulador donde se almacena el agua caliente hasta su uso y una serie de conexiones que interconectan estos elementos principales con el fin de que funcione a partir del fenómeno termosifónico (Rodríguez y otros, 2016).

#### 2.2.4. Paneles o colectores solares térmicos

Para las diferentes formas de aprovechamiento de la energía solar, el principal componente es el colector solar cuya función es la de captar la energía solar y convertirla en energía térmica para luego cederla a un fluido (agua) (Nandwani, 2005). El principio en el que se basa la funcionalidad de los colectores solares es el efecto invernadero, en el cual la energía solar electromagnética (ondas visibles e infrarrojas) ingresa a los colectores solares y es absorbida por las superficies de estos, causando un incremento de la temperatura (Peñafiel y Silva, 2012).

##### a. Colectores solares de placa plana

Es uno de los tipos de colectores más comunes y está construido con una placa metálica (acero, hierro galvanizado, aluminio o cobre) pintada de color negro mate, con el fin de absorber al máximo la radiación

directa (proveniente de disco solar) y también la difusa (proveniente de la atmósfera). La radiación solar después de ser absorbida es transformada en energía térmica. Sin embargo, como el ambiente se encuentra a una temperatura inferior a la de la placa, esta placa comienza a perder la radiación, aunque solo en la región del infrarrojo (Nandwani, 2005).

#### **b. Colector solar plano protegido**

Estos colectores están cubiertos con un vidrio o plástico que limita las pérdidas de calor. Son los más utilizados por tener la relación coste producción de calor más favorable (Sánchez, 2012).

#### **c. Colector solar no protegido**

Estos sistemas son más económicos y de menos rendimiento que los sistemas asilados; sin embargo, estos sistemas son más sencillos de construir y mantener. Existen muchas subvariantes tanto en forma como en materiales utilizadas para la construcción de este tipo de sistema. El panel solar construido a base de HDPE puede considerarse, en esencia, un colector solar plano no protegido. Estos sistemas necesitan un área de superficie que los sistemas aislados para obtener eficiencias representativas (Sánchez, 2012).

#### **d. Colectores solares de vacío**

Este tipo de colectores solares están compuestos de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados) cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calo-portador), con este tipo de sistema se han registrado temperaturas alcanzadas en un rango de 77 °C a 177 °C (Spín y Remache, 2011), siendo propicias para fines donde se tenga que calentar el agua a temperaturas muy elevadas (Peñafiel y Silva, 2012).

### **2.2.5. Eficiencia o rendimiento de los colectores solares**

Un panel o colector solar produce agua caliente de manera natural y ecoeficiente; sin embargo, el sistema solo utiliza una parte de la energía solar que incide sobre ella, a esta se le conoce como energía útil. El diseño

o forma de construcción del panel solar es determinante para mayor o menor captación de energía (Peñafiel y Silva, 2012).

El método para evaluar la eficiencia de un colector solar térmico expuesto a la radiación solar es a través del cálculo del calor útil ( $q_u$ ), la cual depende de la temperatura del fluido a la entrada del colector ( $T_o$ ) y la temperatura del fluido a la salida del colector ( $T_i$ ), el flujo másico ( $m_m$ ) y la capacidad calorífica del fluido ( $C_p$ ) (Rodríguez y otros, 2016). Por tanto, el calor útil del sistema puede definirse de la siguiente manera:

$$q_u = m_m \cdot C_p (T_o - T_i)$$

La eficiencia que proporciona un colector en un determinado momento es expresada de la siguiente forma:

$$\eta_i = \frac{q_u}{A_c \cdot G_T}$$

Donde se define a  $G_T$  como la radiación incidente en el plano inclinado del colector,  $\eta$  se determina como la eficiencia del sistema. A partir de esto se logra determinar la eficiencia térmica del colector  $\eta_i$ . Esta ecuación mide la relación que existe entre la energía útil (usada para el calentamiento de agua) y la recibida por el captador (sumado pérdidas), buscando así el indicador de eficiencia.

#### **2.2.6. Cálculo de CO<sub>2</sub> dejados de emitir por el cambio de duchas eléctricas por sistemas solares**

Las duchas eléctricas son unidades muy pequeñas que son instaladas a una distancia corta de donde se requiere la obtención de agua temperada; estas son alimentadas con energía eléctrica y su uso se limita a unas pocas aplicaciones comerciales o domésticas. Una ducha eléctrica tiene un alto consumo eléctrico, con un valor entre 1500 a 4400 watts por hora diaria lo que equivale al uso de aproximadamente de 44 focos de 100 watts encendidos por una hora, sin embargo, estos sistemas son muy utilizados en el país debido a su fácil operatividad y bajo costo de instalación (Spín y Remache, 2011).

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía eléctrica en duchas eléctricas debe aplicarse un factor de emisión de CO<sub>2</sub> atribuible al suministro eléctrico también conocido como mix eléctrico (Kg de CO<sub>2</sub>/kWh) que representa las emisiones asociadas a la generación eléctrica conectada a la red necesaria para cubrir el consumo. El factor de conversión de electricidad utilizado en cálculos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> nuestro país, es el propuesto por Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) con un valor de 0.569 Kg CO<sub>2</sub> (eq)/Kw-h (Ministerio del Ambiente, 2010).

### **2.2.7. Características beneficiosas del polietileno de alta densidad (HDPE)**

El HDPE por sus características de densidad y color negro son ideales para absorber energía del sol y soportar exposiciones por años en la intemperie. El HDPE es un material termoplástico parcialmente amorfo y parcialmente cristalino. Presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) y mejor resistencia química y térmica que el polietileno de baja densidad, debido a su mayor densidad. Además, es resistente a las bajas temperaturas, impermeable, inerte (al contenido), con poca estabilidad dimensional y no tóxico. También presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión. (Arribas, 2001).

### **2.3. Definición de términos**

- **Calor:** El calor se define como la forma de energía que se transfiere (a un sistema y sus alrededores) debido a una diferencia de temperatura. Una interacción de energía es calor solo si ocurre debido a una diferencia de temperatura. De ello se deduce que no hay ninguna transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura (Alomá y Malaver, 2007)
- **Calor específico:** Es una propiedad física de la materia que mide la cantidad de calor para producir un cambio en la temperatura, por unidad de masa de una sustancia determinada. Se define como el número de Joules requerido para elevar la temperatura de 1 g de una sustancia en 1°C (Daub y Seese, 1996).



- **Temperatura:** Propiedad de un cuerpo que determina si habrá o no transferencia de calor entre este cuerpo y una zona del espacio o cuerpo próximo y, si existe flujo de calor, determina su dirección (Diccionarios Oxford-Complutense, 2003)
- **Radiación solar:** La energía del Sol llega a la Tierra en forma de radiación solar con una longitud de onda entre 300 y 2.500 nm (Twidell y Weir, 2006)
- **Terma solar:** sistema constituido por una serie de colectores, los que se encargan de transformar la radiación solar en calor, un termo tanque que conserva el agua caliente (Cortez, 2007).
- **Agua temperada:** Está definida como agua que tienen una un rango de temperatura entre 85°F (29°C) and 110°F (43°C) (International Code Council, 2009).
- **Polietileno de alta densidad (HDPE):** El polietileno de alta densidad o PEAD (HDPE en inglés) es un polímero de cadena lineal no ramificada, por lo cual su densidad el alta y las fuerzas intermoleculares también.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Zona de estudio**

##### **3.1.1. Ubicación**

La instalación del panel solar HDPE articulado fue realizada en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Ancash, en las coordenadas UTM WGS 84 E 222339.60 m y N 8946319.49 m Zona 18 Sur, a una altitud de 3057 m.s.n.m. Según la National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2017), la zona de estudio se caracterizó por presentar una radiación solar incidente promedio anual de 5.47 kW/m<sup>2</sup>/día para el año 2016.

##### **3.1.2. Clima**

El clima en la zona de estudio es templado de montaña tropical con temperaturas medias anuales entre 11 – 16° C y máximas absolutas que sobrepasan los 20° C. La sequedad atmosférica es cada vez menor y con la altitud y las precipitaciones anuales son superiores a 500 mm. pero menores a 1000 mm. Los descensos de temperatura en forma brusca (0° C) producen las heladas (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2003).

#### **3.2. Tipo de investigación**

##### **3.2.1. Según su propósito**

Aplicada

### 3.2.2. Según su naturaleza

Experimental

## 3.3. Población y muestra

### 3.3.1. Población

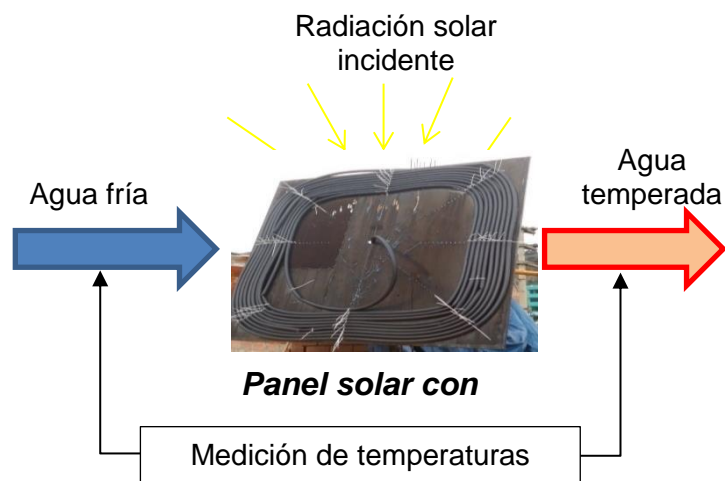
Volumen total de agua utilizada por el panel solar con HDPE en los dos meses de evaluación: 8821.8 litros.

### 3.3.2. Muestra

Volumen de agua en cada periodo de exposición: 50.70 litros.

## 3.4. Diseño de la investigación

La investigación fue de tipo experimental; se realizaron mediciones horarias diarias en cada mes de estudio.



**Figura 2:** Esquema del funcionamiento del Panel Solar HDPE articulado

### 3.5. Variables

#### 3.5.1. Operacionalización de variables

**Tabla 2:** Operacionalización de variables para el primer objetivo

<b>Objetivo específico:</b> Evaluar las temperaturas finales obtenidas por el panel HDPE articulado			
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>
Temperatura inicial del agua	Temperatura del agua potable entrante al panel	Temperatura (°C)	Cuantitativo
Volumen de agua	Volumen de agua contenido por la tubería HDPE	Capacidad de almacenamiento de la tubería HDPE (Litros)	Cuantitativo
Radiación solar	Radiación solar horaria incidente sobre el área que ocupa la tubería HDPE	Radiación solar incidente (W/m <sup>2</sup> )	Cuantitativo
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>			
Temperatura final del agua	Temperatura final del agua tras la exposición a la radiación solar.	Temperatura (°C)	Cuantitativo

**Tabla 3:** Operacionalización de variables para el segundo objetivo

<b>Objetivo específico:</b> Evaluar la eficiencia del panel solar con HDPE en la obtención de agua temperada de uso doméstico en la ciudad de Huaraz.			
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>
Temperatura inicial del agua.	Temperatura del agua potable entrante al panel	Temperatura (°C)	Cuantitativo
Temperatura final del agua.	Temperatura final del agua tras la exposición a la radiación solar.	Temperatura (°C)	Cuantitativo
Volumen de agua.	Volumen de agua contenido por la tubería HDPE	Capacidad de la tubería HDPE (Litros)	Cuantitativo
Radiación solar incidente sobre el panel.	Radiación solar horaria incidente sobre el área que ocupa la tubería HDPE	Radiación solar incidente (W/m <sup>2</sup> )	Cuantitativo
Área del panel.	Área que ocupa la tubería de HDPE	Área del panel (m <sup>2</sup> )	Cuantitativo
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>			
Eficiencia del panel solar con HDPE	Expresa la relación entre la energía absorbida en el calentamiento del agua y la energía total disponible	Eficiencia (%)	Cuantitativo

**Tabla 4:** Operacionalización de variables para el tercer objetivo

<b>Objetivo específico:</b> Evaluar el beneficio ambiental y socioeconómico del uso del panel solar con HDPE.			
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>TIPO</b>
Energía útil	Calor absorbido por el agua durante su exposición a la radiación solar	J	Cuantitativo
Factor de emisión de CO <sub>2</sub> para electricidad	Según el FONAM (2010), el factor de emisión para electricidad es 0.569 kg de CO <sub>2</sub> /Kwh.	kg de CO <sub>2</sub> /Kwh	Cuantitativo
Costo de energía eléctrica	Según HIDRANDINA, el costo del consumo de energía eléctrica fue 0.4003 soles/kWh (Set. 2016) y 0.4216 soles/kWh (Feb. 2017).	soles/kWh	Cuantitativo
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>			
Beneficio ambiental (kg de CO <sub>2</sub> dejados de emitir)	Si se hubiese empleado energía eléctrica para incrementar la temperatura del agua, se hubiese emitido una determinada cantidad de CO <sub>2</sub> .	CO <sub>2</sub> (kg)	Cuantitativo
Beneficio socioeconómico (soles ahorrados)	Si se hubiese empleado energía eléctrica para incrementar la temperatura del agua, hubiese implicado un determinado costo.	Soles (S/)	Cuantitativo

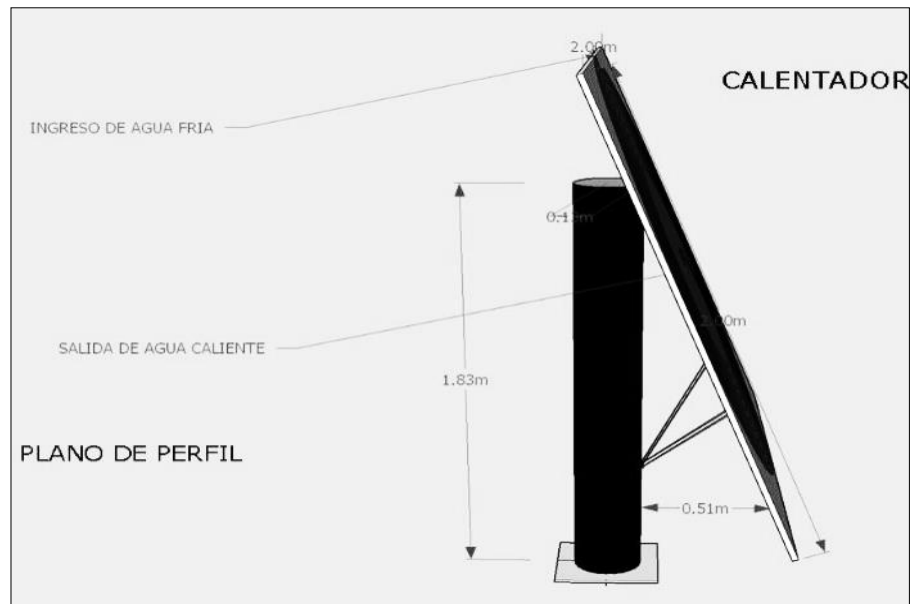
### 3.6. Técnica de procesamiento y análisis de datos

El análisis estadístico se aplicó para evaluar las diferencias estadísticamente significativas entre las eficiencias horarias del panel solar con HDPE para cada mes de evaluación (setiembre 2016 y febrero 2017). Para el análisis de dichos datos se empleó el software estadístico de licencia libre InfoStat Versión Estudiantil aplicando el análisis de varianza (ANOVA), mediante la comparación múltiple de medias con el estadístico de Duncan un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ).

### 3.7. Procedimiento

#### 3.7.1. Construcción del panel solar HDPE articulado

Sobre una placa metálica de 4 m<sup>2</sup> pintada de negro, se colocó de manera circular una tubería HDPE de 100 m de longitud. La placa metálica fue sujeta a una barra de 1.83 m. La capacidad de almacenamiento de agua en la tubería HDPE fue de 50.70 L. En la Figura N° 3 se presenta el diagrama de diseño del panel solar HDPE articulado.



**Figura 3:** Diseño del Panel Solar HDPE articulado

### 3.7.2. Tanque de almacenamiento de agua caliente

Se emplea un tanque cilíndrico con tapa de polietileno de alta densidad de 140 litros, con un volumen de trabajo de 100 litros de agua. En este tanque se almacenará el agua que se irá calentando en el colector solar (Fernández y Tuesta, 2014).

El tanque tiene una entrada/salida de agua entre 10 a 15 cm de su base, desde el regulador de nivel de agua y hacia la parrilla de tubos del colector, respectivamente. Para ello, se hace una flauta empleando un tubo de PVC pesado de  $\frac{1}{2}$ " de 42 cm de largo, al que se le hace 12 cm de rosca con una tarraja y en el otro extremo se taladran agujeros de  $\frac{1}{8}$ ", el primero a 3 cm del borde y los otros cuatro cada 5 cm; luego se coloca un tapón para sellar el extremo, de manera que el agua entra o sale del tanque a través de los agujeros de esta flauta. Se emplean uniones de PVC de  $\frac{1}{2}$ " con rosca para hacer las tuercas y contratuerkas para fijar la flauta en el tanque; para ello se corta de ambos extremos de cada unión 1,5 cm. Como empaquetadura se emplea jebe microporoso (planta de hawaiana) de 1 cm de espesor (Fernández y Tuesta, 2014).

Para instalar la flauta se hace un agujero de diámetro exacto al diámetro externo de la flauta, se coloca cinta teflón a toda la rosca de la flauta, se coloca la tuerca hecha de unión de PVC, luego la empaquetadura de jebe microporoso y se la inserta de adentro hacia afuera del tanque. Por

fuera del tanque se coloca en la rosca otra empaquetadura similar y otra tuerca de PVC, la que se ajusta fuertemente con alicate de gasfitero para hacer un sello hermético. Los agujeros de la flauta deben quedar hacia abajo para que el agua fría que se repone al tanque se dirija hacia el fondo y se retarde su mezcla con el agua caliente del tanque (Fernández y Tuesta, 2014).

El tanque también tiene una conexión en su tercio superior para entrada del agua caliente que vendrá del colector, y a 5 cm arriba de esta última conexión se instala la tubería de salida de agua caliente para su consumo. Para ambas conexiones se emplean niples de tubo de PVC pesado de ½" de 12 cm de largo, a los que se les hace 8 cm de rosca con una tarraja. La instalación es similar a la instalación de la flauta (Fernández y Tuesta, 2014).

En la rosca externa de la flauta y de las otras dos conexiones se coloca una unión universal de ½" para facilitar el acople y desacople del tanque con las tuberías. Luego, se procede a colocar alrededor del tanque bandas de tecnopor de 1" las que se aseguran con plástico de embalaje para su aislamiento térmico (Fernández y Tuesta, 2014).

El calentamiento del agua en el colector solar y su paso al tanque de almacenamiento tiene lugar usualmente entre las 9:00 y las 15:00 h; después, la temperatura del agua en el colector es menor que en la parte superior del tanque, interrumpiéndose el termosifón natural, permaneciendo el agua caliente en el tanque, cuyo calor se conservará dependiendo del aislamiento dispuesto a su alrededor.

Para el aislamiento térmico de este tanque se construye una caja con listones de madera y plancha de triplay según lo descrito por Fernández y Tuesta (2014): En la base y lados se coloca doble plancha de tecnopor de 1" y sobre ella se asentará el tanque. El aislamiento térmico permitirá mantener caliente el agua el mayor tiempo posible. En el interior de la caja debe quedar espacio suficiente para contar con las uniones universales, la tubería de entrada de agua de abastecimiento, la tubería de entrada de agua caliente que viene del panel solar y la tubería de salida del agua caliente; esta caja tiene una puerta de madera para colocar y retirar el tanque, y para protegerla de la lluvia tiene un techo de calamina (ver Anexo N° 6)

### 3.7.3. Muestreos de temperatura del agua en la entrada y salida del sistema

Se tomaron muestras y se registraron los datos de la temperatura del agua en la entrada y salida del panel solar en tres horarios: de 6:00 a 10:00 a.m., de 10:00 a.m. a 1:00 p.m., y de 1:00 a 5:00 p.m. Los horarios de medición de temperatura del agua en el ingreso al panel solar fueron: 6:00 a.m., 10:00 a.m., y 1:00 p.m., mientras que las temperaturas del agua en la salida fueron registradas a las 10:00 a.m., 1:00 p.m. y 5:00 p.m. En cada horario de evaluación, el sistema almacenó 50.70 litros de agua potable, haciendo un acumulado de 152.10 litros por día. Los registros de temperatura fueron tomados diariamente, durante los meses de setiembre de 2016 y febrero de 2017.

### 3.7.4. Cálculo de la eficiencia del panel HDPE

#### a. Cálculo de la energía solar útil

Como primer paso para la evaluación de la eficiencia del panel solar, se hizo el cálculo de la energía útil ganada ( $q_u$ ) por el sistema. Para ello, se utilizó la siguiente ecuación:

$$q_u = m_m \cdot C_p (T_o - T_i)$$

Donde se consideró:

$m_m$  = Masa de agua calentada, en este estudio tuvo un 50700 g

$C_p$  = Capacidad calorífica del agua ( $C_p$ ) 4.186 J/(g.°C )

$T_o$  = Temperatura del agua en la entrada al panel en °C

$T_i$  = Temperatura del agua en la salida al panel en °C

Los cálculos se hicieron para todos los días de evaluación (setiembre del 2016 y febrero del 2017) en los tres horarios establecidos.



## b. Cálculo de la eficiencia

Para calcular la eficiencia del panel solar HDPE, se aplicó la siguiente ecuación:

$$\eta_i = \frac{q_u}{A_c \cdot G_T}$$

Donde se consideró:

$n_i$  = Rendimiento del panel solar

$A_c$  = Área del panel solar, que en este caso se consideró a la superficie del panel cubierta por el tubo HDPE (3.81 m<sup>2</sup>)

$G_t$  = Radiación incidente en el panel solar (KW/m<sup>2</sup>)

Los valores de radiación solar incidente en los horarios evaluados fueron calculados a través del método gráfico del área de los rectángulos bajo la curva de radiación solar vs. tiempo. Los datos usados para el cálculo fueron los registrados por la estación meteorológica del Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD) de la Universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo, la cual está ubicada en la ciudad universitaria – Shancayan – Huaraz, entre los meses de setiembre 2016 y febrero 2017. Los cálculos de eficiencia se hicieron para todos los días de evaluación (setiembre del 2016 y febrero del 2017) en los tres horarios establecidos.

### 3.7.5. Evaluación de la utilidad del agua temperada

Los datos obtenidos de las temperaturas finales, a las que se pudo calentar el agua en el panel solar HDPE evaluado, fueron comparados con los valores temperaturas definidos por el Código Internacional de Plomería (IPC) para agua temperada, el cual señala que el agua debe estar en el rango de 39°C a 43°C (International Code Council, 2009).

### **3.7.6. Evaluación del beneficio ambiental, socioeconómico del uso del panel solar HDPE articulado**

#### **a. Cálculo de cantidad de CO<sub>2</sub> dejados de emitir**

El beneficio ambiental asociado al uso del panel solar HDPE fue determinado por el cálculo de CO<sub>2</sub> que se hubiera emitido, en caso el volumen de agua hubiese sido calentado utilizando una terma eléctrica convencional. Para tal fin, se hizo un cálculo multiplicando los valores obtenidos de energía útil por el factor de emisión de CO<sub>2</sub> propuesto por el FONAM, que es 0.569 kg CO<sub>2</sub> Eq/kWh. Los cálculos se hicieron asumiendo que la cantidad de energía requerida para calentar 50.7 L en el panel solar es la misma que se usaría en una terma eléctrica.

#### **b. Ahorro económico del uso del panel HDPE**

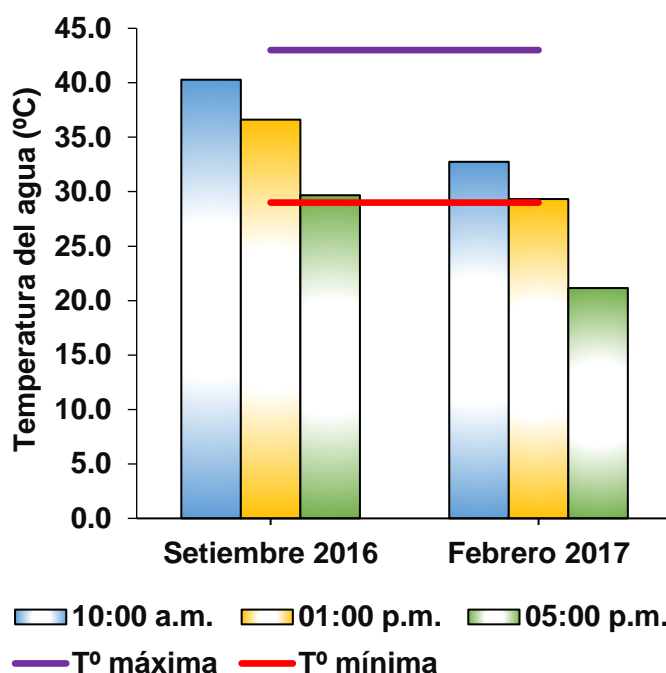
El beneficio socioeconómico asociado al uso del panel solar HDPE fue determinado calculando la energía eléctrica que se hubiera pagado, en caso el volumen de agua hubiese sido calentado utilizando una terma eléctrica convencional. Para tal fin se hizo un cálculo multiplicando los valores obtenidos de energía útil por el costo de energía eléctrica en los meses evaluados, que para setiembre del 2016 fue 0.4003 s/.kWh y para febrero del 2017 fue de 0.4216 s/.kWh. Los cálculos se hicieron asumiendo que la cantidad de energía requerida para calentar 50.7 L en el panel solar es la misma que se usaría en una terma eléctrica.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **4.1. Temperaturas finales del agua obtenidas por el panel solar HDPE articulado**

Según la International Code Council (2009), el agua temperada debe encontrarse en el rango de 29 a 43 °C. En este sentido, la Figura N° 4 muestra que, para el mes de setiembre de 2016 se tienen temperaturas finales promedio de 40.3, 36.6 y 29.7 °C para los periodos de exposición de 6:00 a.m.-10:00 a.m., 10:00 a.m.-01:00 p.m. y 01:00 p.m.-05:00 p.m., respectivamente, de manera que el panel solar con HDPE logró la obtención agua temperada. Mientras que, para el mes de febrero de 2017 las temperaturas finales promedio del agua contenida en el panel solar con HDPE fueron de 32.7, 29.3 y 21.2 °C para los periodos de exposición de 6:00 a.m.-10:00 a.m., 10:00 a.m.-01:00 p.m. y 01:00 p.m.-05:00 p.m., respectivamente, lo que hizo que el panel solo lograra obtener agua temperada en los dos primeros horarios de exposición.



**Figura 4:** Temperaturas finales obtenidas y rangos para agua temperada

Asimismo, según Vilca y Vidarte (2010), la exposición a temperaturas entre los 25 y 38 °C es recomendable para relajamiento, y puede durar entre 10 a 20 minutos. Por tanto, el agua temperada obtenida a la 01:00 p.m. y 5:00 p.m. del mes de setiembre de 2016 y, a las 10:00 a.m. y 01:00 p.m. del mes de febrero de 2017 pueden usarse con dicho fin. Por otra parte, la exposición de un usuario a una temperatura entre los 38 y 43 °C no debe ser mayor a 5 minutos, ya que puede causar daño de fatiga muscular o sequedad de la piel, aspecto a tener en cuenta para el mes de setiembre de 2016. Mientras que el agua obtenida a las 5:00 p.m. del mes de febrero de 2017 podría emplearse para baños de corta duración, caso contrario puede ocasionar entumecimientos musculares.

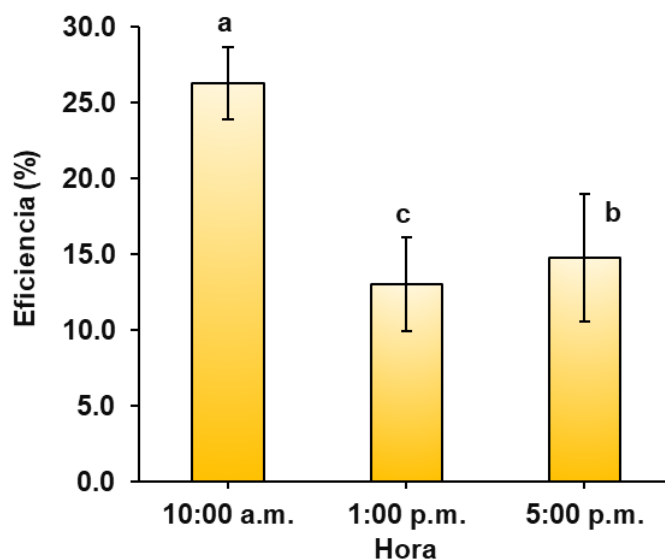
Por otra parte, en la presente investigación se registraron valores máximos del agua temperada, siendo de 46.4, 40.0 y 36.7 °C en el mes de setiembre de 2016 para los periodos de exposición de 6:00 a.m.-10:00 a.m., 10:00 a.m.-01:00 p.m. y 01:00 p.m.-05:00 p.m., respectivamente. En tanto que para el mes de febrero fueron de 43.2, 36.1 y 31.0 °C para los mismos horarios de exposición.

Teniendo en cuenta lo mencionado por la Environmental Services Division (2015), quien indica que el agua con temperaturas de 37 °C a 43 °C puede ser empleadas en establecimientos relacionados con servicios de alimentos (restaurantes, mercados, fruterías, etc.) e incluso en el caso de preparación de alimentos la temperatura debe ser de al menos 43 °C para el lavado de manos. Por

tanto, las temperaturas máximas obtenidas en el mes de setiembre de 2016 (10:00 a.m. y 01:00 p.m.) y febrero de 2017 (a las 10:00 a.m.) indican que dicha agua puede usarse en el lavado de suelos y equipos de dicho tipo de establecimientos, pues contribuye con la desinfección y su vez ayuda a una mejor disolución de los detergentes. Por otra parte, el agua temperada obtenida en setiembre de 2016 (a las 5:00 p.m.) y en febrero de 2017 (a la 01:00 p.m. y 5:00 p.m.) puede ser usado en la limpieza de establecimientos no alimentarios donde se requiera de agua temperada con temperaturas entre 29 y 43 °C, la misma que pueda ser usada en los lavamanos, fregaderos de servicios, lavadoras de basura, cabezales de ducha, etc.

#### 4.2. Eficiencia del panel solar con HDPE en la obtención de agua temperada de uso doméstico en la ciudad de Huaraz

En la Figura 5 se observa la eficiencia del panel HDPE articulado en la obtención de agua temperada para el mes de setiembre de 2016. El análisis estadístico de la comparación múltiple de medias mediante la prueba Duncan ( $\alpha=0.05$ ) muestra que la mayor eficiencia (26.3%) se obtuvo en el horario de exposición de 6:00 a.m. a 10 a.m. Asimismo, muestra que la menor eficiencia se presentó en el horario de 10:00 a.m. a 01:00 p.m. Esto se debió al ángulo con el cual la radiación solar incidió sobre el panel en los distintos horarios de exposición.



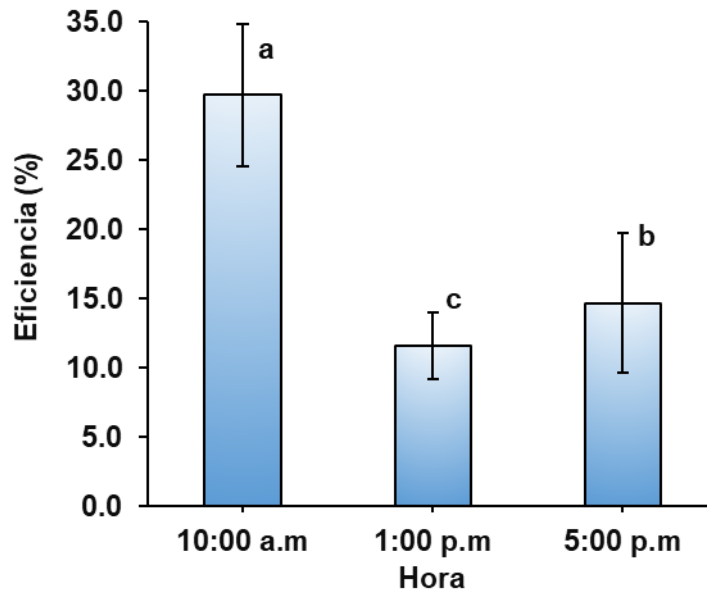
**Figura 5:** Eficiencia del panel HDPE articulado para el mes de setiembre de 2016

**Nota:** Los resultados son promedios de 30 repeticiones  $\pm$  desviación estándar. Promedios con letra diferente son significativamente diferentes (Prueba Duncan,  $p<0.05$ ).

Dado que el panel HDPE tuvo un ángulo de 75° de elevación respecto a la horizontal, el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre el panel fue de 90°,

75°, 60° y 45° para las 7, 8, 9 y 10 a.m., respectivamente (Academic, 2010). Según el Instituto de Tecnologías Educativas (ITE, 2018) del Gobierno de España, si la radiación solar cae verticalmente sobre una superficie, la intensidad de la radiación es mayor que si lo hiciera oblicuamente, pues el mismo flujo de radiación se ha de repartir sobre una superficie mayor. Esto explica el hecho de tener una mayor eficiencia en las primeras 4 horas de funcionamiento del panel (6 a.m. – 10 a.m.) ya que la radiación solar al caer con ángulos cercanos a 90° calentó la superficie del panel con mayor efectividad que en el periodo de 10 a.m. a 1:00 p.m., en donde el ángulo de incidencia varió de 45° a 0° (pasando de manera paralela al panel a la 1:00 p.m.), y, por ende, generó un menor calentamiento del agua contenida en el panel. Por otra parte, para el periodo de 1:00 p.m. a 5:00 p.m. el ángulo de incidencia de la radiación solar se fue incrementando de 0° a 60° generando un calentamiento ligeramente superior al periodo de 10 a.m. a 1:00 p.m.

En la Figura 6 se observa la eficiencia del panel HDPE articulado en la obtención de agua temperada para el mes de febrero de 2017. El análisis estadístico de la comparación múltiple de medias mediante la prueba Duncan ( $\alpha=0.05$ ) muestra que la mayor eficiencia (29.7%) se obtuvo en el horario de exposición de 6:00 a.m. a 10 a.m.; asimismo, se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre las eficiencias para los horarios de exposición de 6:00 a.m. – 10 a.m., 10:00 a.m. – 01:00 p.m. y 01:00 p.m. – 05:00 p.m. Estas diferencias se debieron también a la variación del ángulo de incidencia de la radiación solar sobre el panel HDPE a lo largo del día. Dichos ángulos fueron de 90° a 45° (de 7:00 a.m. a 10 a.m.), de 45° a 0° de (10 a.m. a 1 p.m.) y de 0° a 60° (de 1 p.m. a 5 p.m.). Por tanto, se generó un mayor calentamiento del agua en las primeras horas de la mañana y, consecuentemente, la eficiencia del panel HDPE fue mayor.



**Figura 6:** Eficiencia del panel HDPE articulado para el mes de febrero de 2017

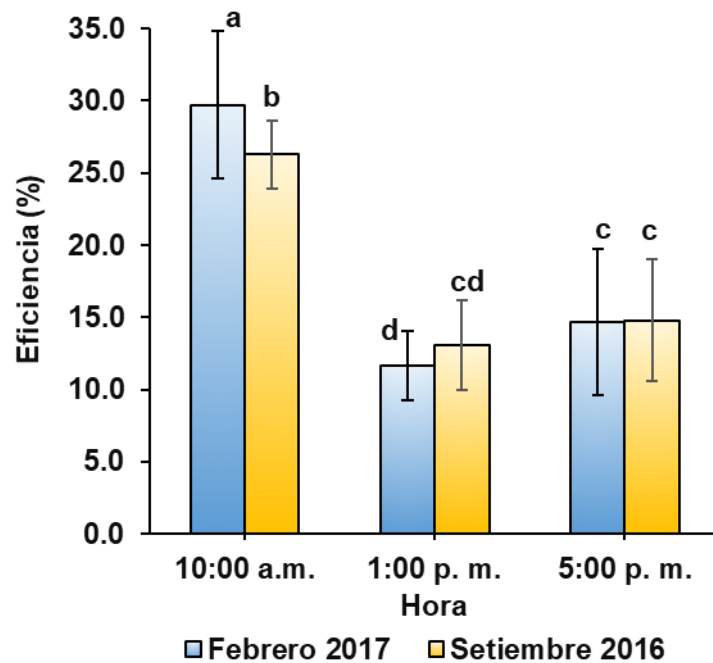
**Nota:** Los resultados son promedios de 28 repeticiones  $\pm$  desviación estándar. Promedios con letra diferente son significativamente diferentes (Prueba Duncan,  $p < 0.05$ ).

En la Figura 7 se comparan las eficiencias del panel HDPE de los meses de setiembre de 2016 y febrero 2017. Entre estos dos meses, se tiene que la mayor eficiencia (29.7%) se presentó en el mes de febrero a comparación del mes de setiembre (26.3%) en el horario comprendido entre las 7:00 a.m. y 10:00 a.m. Esta diferencia se debió al ángulo de incidencia de la radiación solar sobre el panel a lo largo del mes de estudio consecuencia de la estación del año y la latitud ( $9.522930^\circ$  Sur para la ciudad de Huaraz).

Según el Simulador de Estaciones y Elíptica Solar de la Nebraska Astronomy Applet Project (NAAP, 2009) para el 01 de setiembre de 2016 la radiación solar incidió con un ángulo de  $73.4^\circ$ , y, para el día 30 del mismo mes, dicho ángulo se incrementó hasta  $84.6^\circ$  aproximadamente; mientras que, para el 01 de febrero el ángulo de incidencia fue de  $82.5^\circ$  y fue incrementándose hasta el día 24, en donde el ángulo fue de  $90^\circ$  y al llegar al día 28 el ángulo disminuyó a  $88.6^\circ$ . Por tanto, dado que en el mes de febrero los ángulos de incidencia de la radiación solar son cercanos a  $90^\circ$  la intensidad de la radiación fue mayor y generó un mayor calentamiento del agua contenida en el panel HDPE; a ello se le suma que en dicho mes la Tierra se encontraba más cerca al Sol, dado el perihelio de enero.

Sin embargo, para el periodo de exposición del panel de 10:00 a.m. a 1:00 p.m. la eficiencia del mes de febrero es menor a la del mes de setiembre, esto podría deberse también a la presencia de nubes, dada la estación de lluvias. Asimismo, no

se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre las eficiencias de estos meses en el periodo de exposición del panel HDPE de 1:00 p.m. a 5:00 p.m.



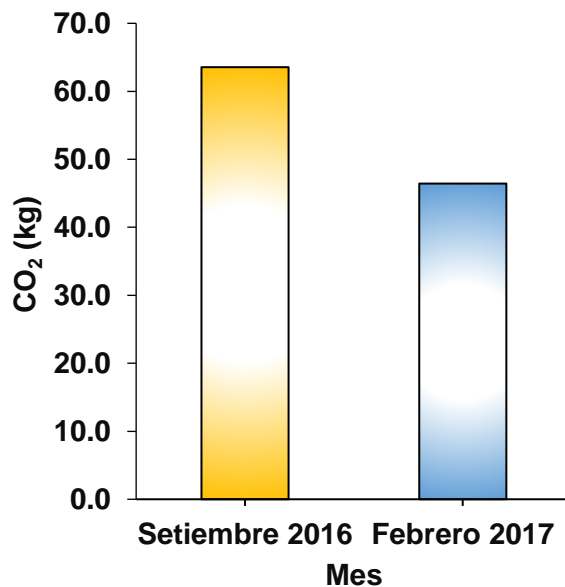
**Figura 7:** Comparación entre las eficiencias del panel HDPE de los meses de setiembre de 2016 y febrero 2017

**Nota:** Los resultados son promedios de 30 repeticiones  $\pm$  desviación estándar. Promedios con letra diferente son significativamente diferentes (Prueba Duncan,  $p < 0.05$ ).

#### 4.3. Beneficio ambiental y socio-económico del panel solar de HDPE articulado

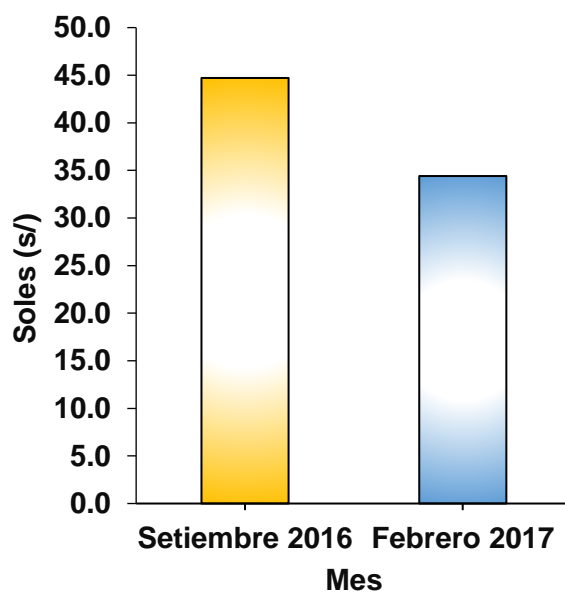
**Beneficio ambiental:** En la Figura 8 se observa la cantidad de CO<sub>2</sub> dejados de emitir en cada mes de estudio, siendo el mes de setiembre de 2016 en donde se tiene la mayor cantidad de CO<sub>2</sub> no emitido (63.5 kg) a comparación del mes de febrero de 2017 (46.4 kg). Esto se debió a la cantidad de calor absorbido por el agua contenida en el panel HDPE, que fue mayor (111.7 kJ) en el mes de setiembre que en el mes de febrero (81.6 kJ). Este hecho demuestra que el empleo de este tipo panel solar con HDPE para obtener agua templada contribuye a disminuir la emisión de CO<sub>2</sub>, un gas de efecto invernadero.





**Figura 8:** Kilogramos de CO<sub>2</sub> dejados de emitir en cada mes de estudio

**Beneficio socio-económico:** En la Figura 9 se observa la cantidad ahorrada en soles en cada mes de estudio. Siendo el mes de setiembre de 2016 en donde se tuvo un mayor ahorro (s/ 44.71) a comparación del mes de febrero de 2017 (S/ 34.4). Esto también se debió a la cantidad de calor absorbida por el agua contenida en el panel HDPE, que fue mayor (111.7 kJ) en el mes de setiembre que en el mes de febrero (81.6 kJ). Este hecho demuestra que el empleo de este tipo panel solar con HDPE para obtener agua temperada contribuye a un ahorro económico en una familia.



**Figura 9:** Ahorro para cada mes de estudio

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

- El mayor incremento de temperatura del agua obtenida por el panel solar con HDPE fue registrado en el horario de exposición de 6:00 a.m. a 10:00 a.m. tanto para el mes de setiembre de 2016 como para febrero de 2017, siendo de 40.3 y 32.7 °C, respectivamente. Con excepción de la temperatura final en el periodo de exposición de 01:00 p.m. a 05:00 p.m. para febrero de 2017, en los demás periodos de exposición el panel logró obtener agua temperada (29 a 43 °C).
- Se evidenció la mayor eficiencia del panel solar con HDPE en el periodo de exposición de 6:00 a.m. hasta las 10 a.m., siendo mayor en el mes de febrero de 2017 (29.7%) que en setiembre de 2016 (26.3%).
- Desde un punto de vista ambiental, el panel solar con HDPE contribuye con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y como beneficio socioeconómico se tiene el ahorro económico que genera. En este sentido, para obtener agua temperada para uso doméstico se dejaron de emitir 63.5 kg de CO<sub>2</sub> y se ahorraron 44.71 soles en el mes de setiembre de 2016, mientras que, para febrero de 2017, fueron 46.6 kg de CO<sub>2</sub> no emitidos y 34.4 soles ahorrados.

## **5.2. Recomendaciones**

- Evaluar el funcionamiento del panel solar con HDPE con diferentes ángulos de elevación que permita conocer la influencia de la radiación solar en la obtención de agua temperada.
- Incrementar el volumen de agua que permita su uso en diversas actividades del hogar.
- Incorporar un tanque de almacenamiento para mantener el agua temperada y acumularla para su posterior uso doméstico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academic. (3 de enero de 2010). *Ángulo horario*. Obtenido de <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/85400>
- Alomá, E., y Malaver, M. (2007). Los conceptos de calor, trabajo, energía y teorema de carnot en textos universitarios de termodinámica. *Educere- La Revista Venezolana de Educación*, 477-487. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/356/35603814.pdf>
- Calvo, S. (1991). *Educación para la salud en la escuela*. Madrid: Diaz de Santos.
- Contreras, J. M., y Vidarte, C. C. (2010). *Diseño e implementación de un sistema de control difuso de agua temperada de uso doméstico*. Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima.
- Daub, W., y Seese, W. (1996). *Química*. México: Pearson Educación.
- Diccionarios Oxford-Complutense. (2003). *Diccionario de química*. Complutense. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=VmdvQfFbq9UCydq=Propiedad+de+un+cuerpo+que+determina+si+habr%C3%A1+o+no+transferencia+de+calor+entre+este+cuerpo+y+una+zona+del+espacio+o+cuerpo+pr%C3%B3ximo+y,+si+existe+flujo+de+calor,+determina+su+direcci%C3%B3n>
- Environmental Services Division . (2015). *Guide line to Sizing Water Heaters, Water Temperature an Ptable Water Supply Requirements*. Phoenic-Arizona. Obtenido de <https://www.maricopa.gov/DocumentCenter/View/5888/Hot-Water-Supply-Requirements-PDF>
- Fernández, F. K y Tuesta, T. G. (2014). Eficiencia y capacidad de una terma solar con un colector de 1m<sup>2</sup> de tubos verticales de cobre en Chachapoyas, Amazonas. Tesis de Grado. Universidad Nacional "Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas". Obtenido de: [http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/769/FIA\\_166.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/769/FIA_166.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- García, C. M. (2016). El agua caliente para relajarse. *TodoDermo*.
- Grossi, H. (2002). Notas sobre radiación solar. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Hugo\\_Grossi\\_Gallegos/publication/311375862\\_Notes\\_on\\_Solar\\_Radiation\\_en\\_espanol/links/584338c208ae2d2175637d92/Notes-on-Solar-Radiation-en-espanol.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Grossi_Gallegos/publication/311375862_Notes_on_Solar_Radiation_en_espanol/links/584338c208ae2d2175637d92/Notes-on-Solar-Radiation-en-espanol.pdf)
- Instituto de Tecnologías Educativas. (4 de Enero de 2018). *Flujos de energía entre el sol y la tierra. Efecto del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la irradiancia*. Obtenido de

[https://fjferreer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/11\\_efecto\\_del\\_angulo\\_de\\_incidencia\\_de\\_los\\_rayos\\_solares\\_sobre\\_la\\_irradiancia.html](https://fjferreer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/11_efecto_del_angulo_de_incidencia_de_los_rayos_solares_sobre_la_irradiancia.html)

Instituto Nacional de Defensa Civil. (2003). *Plan de prevención ante desastres: usos del suelo y medidas de mitigación Ciudad de Huaraz*. Obtenido de Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051- Ciudades Sostenibles: [http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios\\_CS/Region\\_Ancash/ancash/huaraz.pdf](http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Ancash/ancash/huaraz.pdf)

International Code Council. (2009). *Water Supply and Distribution. Hot Water Supply System*. USA. Obtenido de <https://codes.iccsafe.org/public/document/FPC2017/chapter-6-water-supply-and-distribution>

Jutglar, L. (2004). *Energía Solar, Energías Alternativas y medio ambiente*. Barcelona: Ediciones Ceac.

López, G., Mantilla, J., y Poveda, B. (2012). Evaluación de un calentador solar de agua fabricado con tubería PVC en serie y envases pet translucidos. *Tecnura*, 16, 120-128.

Mendez, J., y Cuervo, R. (2008). *Energía Solar Térmica*. Madrid: FC editorial.

Mendoza, J., y Rituay, M. (2015). *Eficiencia térmica de un calentador solar doméstico de agua hecho con botellas plásticas, Chachapoyas-Amazonas, 2014*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (tesis de pregrado).

Ministerio del Ambiente. (2010). *Ecoeficiencia en instituciones públicas 2010*. Obtenido de Informe anual: [http://hera.pcm.gob.pe/ecoefficiencia/wp-content/uploads/2016/09/Informe\\_anual\\_de\\_Ecoeficiencia\\_2010.pdf](http://hera.pcm.gob.pe/ecoefficiencia/wp-content/uploads/2016/09/Informe_anual_de_Ecoeficiencia_2010.pdf)

Molina, U. S., y Ruiz, R. M. (2011). *Diseño de un calentador de agua solar para el Hotel Cosiguina en Chinandega*. Trabajo monográfico, Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios Facultad de tecnología de la Industria Carrera de Ingeniería Mecánica , Managua.

Montoya, A., Cabana, W., y Soria, L. (2011). *Estudio de Evaluación de Eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío con tanque acumulador, de la empresa D´Sol*. Universidad Nacional San Agustín.

Nandwani, S. S. (2005). *Energía Solar-Conceptos básicos y su utilización*. Costa Rica. Obtenido de [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-27\\_10-14-37105995.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-27_10-14-37105995.pdf)

National Aeronautics and Space Administration (NASA). (Junio de 2017). *Power Data Access Viewer*. Obtenido de Prediction Of Worldwide Energy Resource : <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

- Nebraska Astronomy Applet Project. (2009). *Astronomy Education at the University of Nebraska-Lincoln. Seasons and Ecliptic Simulator*. Obtenido de [http://astro.unl.edu/naap/motion1/animations/seasons\\_ecliptic.html](http://astro.unl.edu/naap/motion1/animations/seasons_ecliptic.html)
- Peñañiel, J., y Silva, C. (2012). Análisis, diseño e implementación de un sistema de energía auxiliar automatizado para colectores solares y calefones en el uso regional y eficiente de energía. *Escuela superior politécnica de Chimborazo*, 218.
- Rodriguez, J., López, f., Araiza, M., Olvera, C., y Dorrbercker, S. (2016). Diseño de un colector solar de placa plana. *Ingeniería energética*, 15-24. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttextpid=S1815-59012016000100003&lng=es&lng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttextpid=S1815-59012016000100003&lng=es&lng=es).
- Rufes, P. (2009). *Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento* (Vol. IV). Marcombo.
- Sánchez, L. (2012). *Modelos de poligeneración energética distribuida en áreas residenciales*. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=plirBAAAQBAJ>
- Sanchez, P., y Iparraguirre, L. (2014). *Diseño, construcción y evaluación de colectores solares para calentamiento de agua sanitaria en la institución educativa privada cristiana Bereshi de Chimbote (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Santa.
- Schallenberg, R. J., y Piernavieja, I. G. (2008). *Energías Renovables y Eficiencia Energética* (Primera Edición ed.). Canarias, España.
- Spín, G., y Remache, B. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo de ducha eléctrica de alta eficiencia*. Quito: Escuela politécnica Nacional (tesis de pregrado).
- Twidell, J., y Weir, A. (2006). *Renewable energy resources*. Reino unido: Taylor and Francis Group.
- Vertiz, D. J. (2006). Calentadores solares: Energía renovable en tu hogar. *Campaña de energía y cambio climático*, 4.
- Vilca, J., y Vidarte, C. (2010). Diseño e implementación de un sistema de control difuso de agua temperada de uso doméstico. (tesis de grado). Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/867>

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

# **MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PANEL SOLAR CON HDPE ARTICULADO**



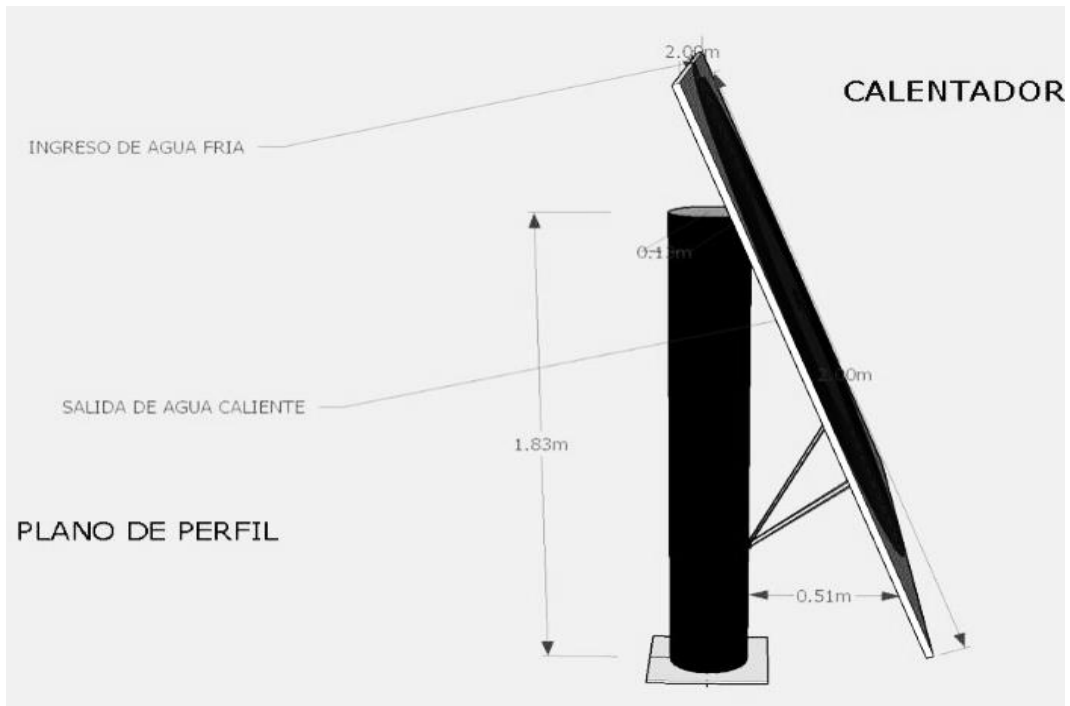
<b>MATERIAL</b>	<b>DIMENSIÓN (m)</b>
Tubo metálico de 4"	1.2
Tubo metálico de 3"	0.5
Lámina metálica negra de 3/8"	2 x 2 m
Tornillos y perno de 3/4"	-
Tubería de HDPE 1.5"	100
Accesorios de HDP 1.5"	-
Cintas de seguridad	-

**ANEXO 2**

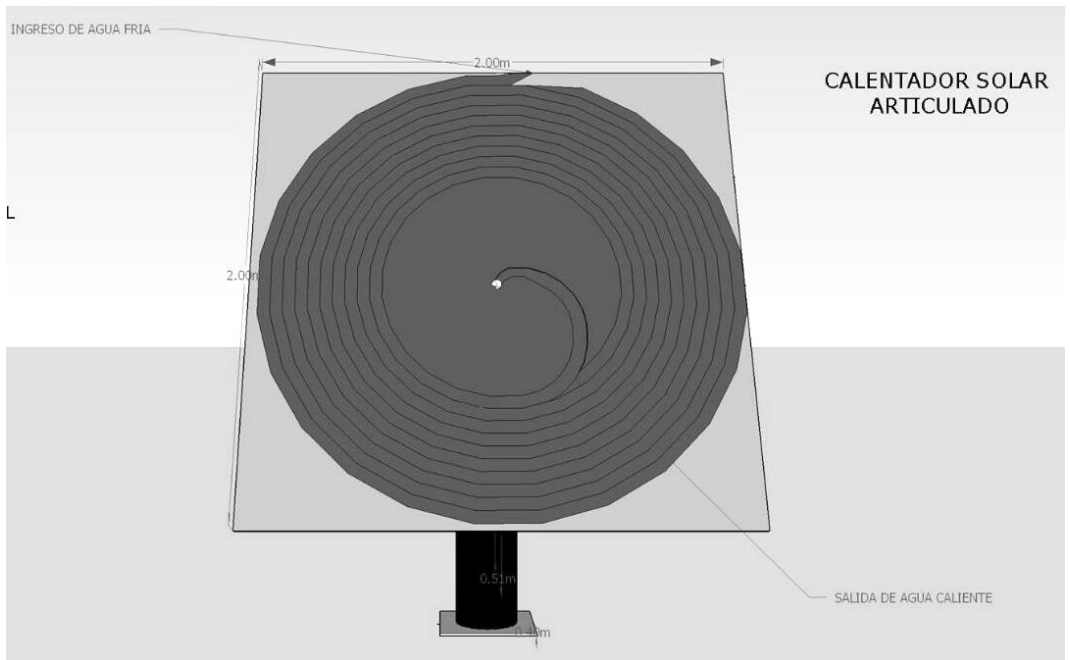
**DISEÑO DEL PANEL SOLAR CON HDPE**

**ARTICULADO**

**A**



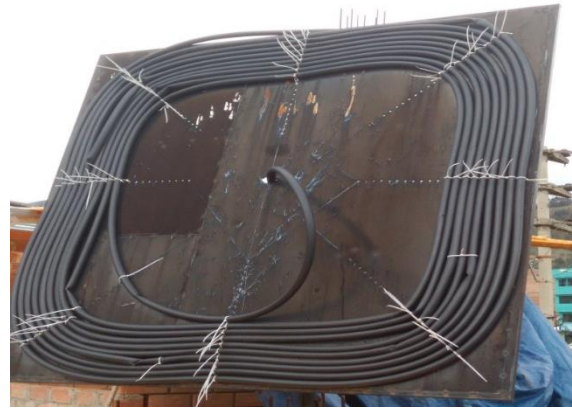
**B**



**Figura: (A)** Dimensiones del panel solar con HDPE articulado. **(B)** Plano frontal del panel

**ANEXO 3**

**PANEL FOTOGRÁFICO**

**A****B****C****D**

**Fotografía:** **A:** Instalación del panel solar con HDPE articulado. **B:** Vista frontal del panel. **C:** Vista posterior del panel. **D:** Medición de la temperatura final del agua.

**ANEXO 4**

**REGISTRO DE TEMPERATURAS Y RADIACIÓN  
SOLAR**

**Tabla A:** Temperatura del agua a la entrada y salida del panel solar con HDPE para el mes de setiembre de 2016

Fecha	Temperatura (°C)					
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
	06:00 a.m.	10:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.
1/09/2016	13.8	36.1	14.2	34.8	14.0	32.0
2/09/2016	15.1	39.5	14.4	35.4	14.8	33.9
3/09/2016	14.7	38.4	14.7	36.0	14.5	33.1
4/09/2016	14.3	37.5	14.9	36.5	14.0	32.0
5/09/2016	14.1	36.9	15.9	39.1	14.6	33.9
6/09/2016	15.6	40.7	16.0	39.3	14.7	33.7
7/09/2016	16.1	42.1	15.4	37.8	12.6	29.0
8/09/2016	15.8	41.2	16.1	39.5	16.0	36.7
9/09/2016	17.2	44.9	16.2	39.7	13.8	31.8
10/09/2016	16.0	41.8	15.6	38.2	14.9	34.8
11/09/2016	15.3	40.1	15.0	36.9	15.8	36.7
12/09/2016	15.4	40.4	15.3	37.4	14.6	33.5
13/09/2016	14.5	37.8	14.9	36.5	14.7	33.7
14/09/2016	15.6	40.7	15.7	38.6	13.8	31.9
15/09/2016	13.1	26.0	14.1	34.6	13.7	31.7
16/09/2016	16.5	43.3	14.3	35.0	13.5	30.9
17/09/2016	16.2	42.4	14.9	36.5	15.4	35.8
18/09/2016	16.0	41.8	16.0	39.1	13.6	31.0
19/09/2016	17.7	46.4	14.0	34.2	13.9	31.5
20/09/2016	16.3	42.7	13.3	32.7	9.1	20.8
21/09/2016	16.3	42.6	14.0	34.4	11.4	26.5
22/09/2016	15.5	40.7	14.4	35.4	11.6	26.8
23/09/2016	16.3	42.7	15.5	38.0	12.8	30.0
24/09/2016	15.9	41.8	16.3	40.0	11.2	27.7
25/09/2016	15.9	41.5	13.0	32.0	7.7	10.2
26/09/2016	15.6	40.7	14.7	36.1	8.6	19.9
27/09/2016	13.3	34.6	14.0	34.4	10.6	23.6
28/09/2016	15.4	39.8	14.6	35.9	11.5	26.9
29/09/2016	15.8	41.2	15.2	37.3	13.3	30.5
30/09/2016	16.1	42.1	15.1	37.1	8.7	19.7

**Tabla B:** Temperatura del agua a la entrada y salida del panel solar con HDPE en el mes de febrero de 2017

Fecha	Temperatura (°C)					
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
	06:00 a.m.	10:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.
1/02/2017	14.9	38.9	13.7	33.6	13.5	30.9
2/02/2017	15.7	41.2	13.1	32.1	9.4	21.6
3/02/2017	14.8	38.6	12.0	31.7	11.6	26.4
4/02/2017	14.6	38.0	13.4	33.0	11.0	25.3
5/02/2017	15.3	39.8	12.5	30.6	13.0	29.4
6/02/2017	16.5	43.2	14.7	36.1	10.1	23.3
7/02/2017	14.6	38.0	13.8	33.8	8.4	19.2
8/02/2017	14.4	37.8	13.2	32.3	8.7	20.0
9/02/2017	13.3	34.6	11.6	28.5	9.8	22.5
10/02/2017	13.8	36.0	12.7	30.9	11.5	26.2
11/02/2017	10.2	26.3	8.7	21.1	8.5	19.5
12/02/2017	11.7	26.9	11.8	28.9	9.4	21.6
13/02/2017	13.5	34.9	11.5	28.3	8.1	18.4
14/02/2017	10.4	27.2	9.4	22.8	5.6	12.8
15/02/2017	9.3	24.3	10.3	25.3	8.1	18.4
16/02/2017	11.7	30.6	12.4	30.4	6.9	20.0
17/02/2017	9.4	24.6	8.8	21.5	6.7	15.1
18/02/2017	10.4	27.3	12.0	29.4	7.7	17.3
19/02/2017	13.4	17.4	12.3	30.4	9.2	31.0
20/02/2017	14.5	37.8	13.0	31.7	9.2	21.0
21/02/2017	9.9	26.0	10.8	26.2	8.0	18.2
22/02/2017	11.7	30.6	12.1	29.7	7.0	15.9
23/02/2017	13.7	36.0	11.9	29.2	9.8	22.6
24/02/2017	12.8	33.8	12.4	30.7	11.2	25.5
25/02/2017	13.3	34.9	12.8	31.4	8.7	19.9
26/02/2017	12.6	32.8	9.8	24.0	6.3	14.6
27/02/2017	11.3	29.7	11.1	27.5	7.8	17.9
28/02/2017	11.3	29.6	12.2	30.0	7.7	17.7



**Tabla C:** Radiación solar (W/m<sup>2</sup>) en el mes de setiembre de 2016

FECHA	HORA										
	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
1/09/2016	68	398	705	506	837	1162	895	424	424	486	229
2/09/2016	68	363	608	806	982	988	1007	437	722	486	226
3/09/2016	0	376	614	818	954	1013	1001	920	793	499	226
4/09/2016	0	370	624	815	951	1010	1019	932	96	487	152
5/09/2016	0	388	636	840	963	1028	963	796	660	455	195
6/09/2016	0	388	627	818	938	1031	1081	235	205	412	84
7/09/2016	0	382	630	818	941	1000	957	1130	235	68	31
8/09/2016	0	395	636	830	957	1013	1006	951	913	554	257
9/09/2016	34	388	636	827	957	1031	1044	1093	239	220	71
10/09/2016	37	388	630	824	963	1044	1000	1043	229	567	99
11/09/2016	31	404	654	840	963	1003	914	901	721	418	208
12/09/2016	47	404	658	561	926	969	431	808	756	387	127
13/09/2016	37	401	645	846	963	1013	991	889	703	449	189
14/09/2016	50	360	599	809	963	685	400	474	554	251	164
15/09/2016	59	168	335	425	617	1007	765	313	288	214	59
16/09/2016	37	407	657	889	706	238	1196	1031	344	127	53
17/09/2016	53	407	661	855	1056	1130	1236	304	201	375	99
18/09/2016	99	419	657	858	994	1087	1078	997	895	71	118
19/09/2016	155	425	685	942	328	356	363	387	381	158	50
20/09/2016	71	264	689	561	505	486	400	641	183	37	0
21/09/2016	106	419	716	697	771	585	1230	443	914	81	0
22/09/2016	78	264	860	666	740	1369	1093	1112	526	77	34
23/09/2016	134	438	692	920	1140	1254	1168	1006	260	257	37
24/09/2016	106	450	704	902	1044	1136	523	443	167	71	84
25/09/2016	103	450	707	610	595	573	189	31	40	65	71
26/09/2016	62	463	729	914	1032	1106	1149	344	0	0	304
27/09/2016	53	96	419	1033	1131	493	468	1230	279	37	0
28/09/2016	127	537	741	933	1081	1335	486	654	393	174	0
29/09/2016	53	481	710	927	1056	1118	1286	375	257	214	295
30/09/2016	103	481	726	933	1056	1099	1177	418	270	0	0

**Fuente:** Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIADERS-UNASAM) - Estación meteorológica de Shancayán. <http://www.ciadfers.com/goes/estaciones.php>

**Tabla D:** Radiación solar (W/m<sup>2</sup>) en el mes de febrero de 2017

FECHA	HORA										
	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
1/02/2017	59	251	670	911	1062	65	1186	1248	944	260	492
2/02/2017	90	391	685	901	1062	185	449	542	65	96	142
3/02/2017	0	400	685	282	1268	461	678	1378	399	164	0
4/02/2017	49	257	648	753	951	201	1242	784	585	127	0
5/02/2017	49	354	676	964	951	458	1026	1305	158	288	468
6/02/2017	40	394	660	709	1068	393	1075	1056	185	0	83
7/02/2017	77	180	673	914	474	1249	554	660	158	0	0
8/02/2017	59	397	685	1019	1298	945	808	362	0	52	74
9/02/2017	43	155	211	964	1168	697	272	313	257	80	90
10/02/2017	43	158	593	697	691	806	1193	799	251	248	139
11/02/2017	0	108	400	493	543	387	549	313	158	71	139
12/02/2017	65	146	226	540	722	759	722	282	136	58	0
13/02/2017	37	155	530	896	1056	647	561	530	152	83	46
14/02/2017	37	177	444	440	598	607	96	170	183	111	52
15/02/2017	37	139	251	412	871	607	365	582	133	124	114
16/02/2017	40	108	704	902	1057	1143	1150	1088	300	0	46
17/02/2017	0	173	264	369	353	518	201	161	152	121	83
18/02/2017	37	152	301	850	1082	1010	1608	548	474	0	0
19/02/2017	0	34	31	195	673	905	1075	1251	523	1447	158
20/02/2017	37	161	636	648	1019	796	1187	77	0	186	0
21/02/2017	34	96	397	406	772	1004	685	517	207	37	31
22/02/2017	34	136	279	679	1057	647	350	223	698	0	0
23/02/2017	74	282	685	840	1075	1137	244	269	403	232	121
24/02/2017	37	236	629	908	1069	1335	1308	1292	402	89	77
25/02/2017	0	239	344	1057	1038	1292	1193	192	31	71	46
26/02/2017	43	419	506	555	769	489	493	210	0	34	40
27/02/2017	46	170	444	927	1116	1181	1187	443	86	108	31
28/02/2017	65	133	785	480	1265	685	1267	402	213	58	55

**Fuente:** Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIADERS-UNASAM) - Estación meteorológica de Shancayán. <http://www.ciadfers.com/goes/estaciones.php>

## **ANEXO 5**

### **COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE MEDIAS DE EFICIENCIAS MEDIANTE LA PRUEBA DUNCAN**

**a) Análisis de la varianza para las eficiencias del mes de setiembre de 2016**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
%Eficiencia Setiembre	90	0.77	0.76	18.36

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3107.45	2	1553.73	141.69	<0.0001
Grupo Setiembre	3107.45	2	1553.73	141.69	<0.0001
Error	953.98	87	10.97		
Total	4061.43	89			

**Test:Duncan Alfa=0.05**

Error: 10.9653 gl: 87

Grupo Setiembre	Medias n	E.E.
Eficiencia_01:00 p.m.	13.04 30	0.60 c
Eficiencia_05:00 p.m.	14.79 30	0.60 b
Eficiencia_10:00 a.m.	26.29 30	0.60 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**b) Análisis de la varianza para las eficiencias del mes de febrero de 2017**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
%Eficiencia Febrero	84	0.77	0.77	23.46

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5242.66	2	2621.33	136.84	<0.0001
Grupo Febrero	5242.66	2	2621.33	136.84	<0.0001
Error	1551.60	81	19.16		
Total	6794.27	83			

**Test:Duncan Alfa=0.05**

Error: 19.1556 gl: 81

Grupo Febrero	Medias n	E.E.
Eficiencia_01:00 p.m.	11.62 28	0.83 c
Eficiencia_05:00 p.m.	14.65 28	0.83 b
Eficiencia_10:00 a.m.	29.69 28	0.83 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

c) Análisis de la varianza para las eficiencias de los meses de setiembre de 2016 y febrero de 2017

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8366.60		5	1673.32	112.20 <0.0001
Grupo	8366.60		5	1673.32	112.20 <0.0001
Error	2505.59		168	14.91	
Total	10872.18		173		

**Test:Duncan Alfa=0.05**

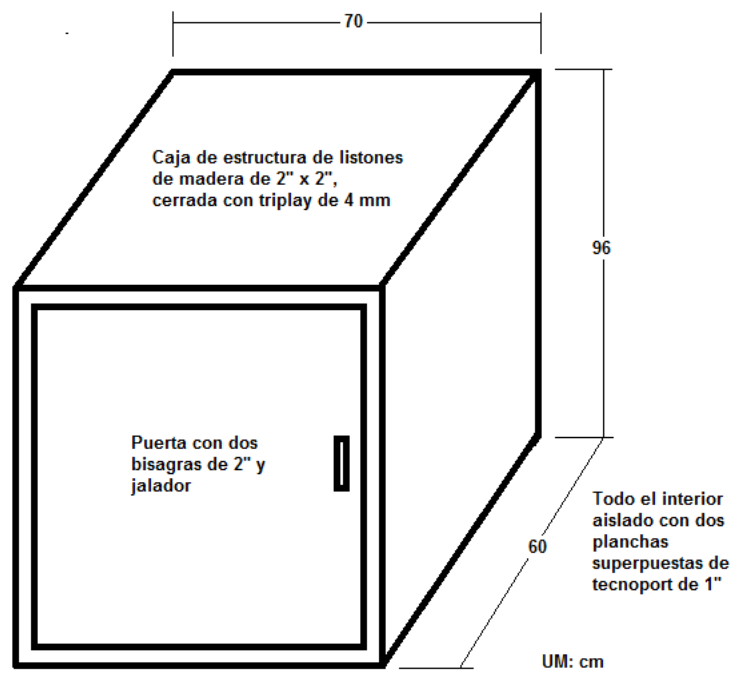
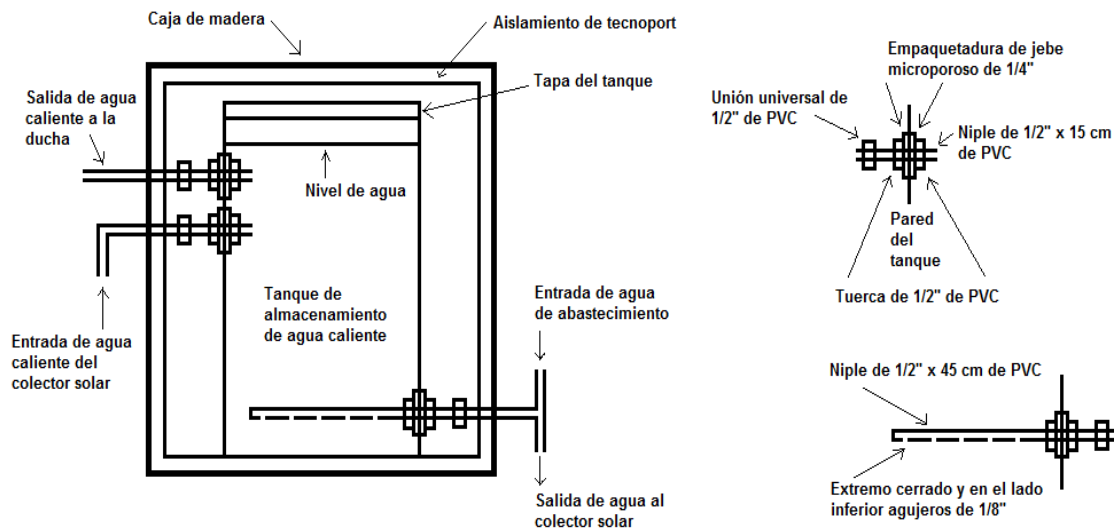
Error: 14.9142 gl: 168

Grupo	Medias	n	E.E.			
Eficiencia_01:00 p.m. Febrero	11.62	28	0.73	d		
Eficiencia_01:00 p.m. Setiembre	13.04	30	0.71	d	c	
Eficiencia_05:00 p.m. Febrero	14.65	28	0.73		c	
Eficiencia_05:00 p.m. Setiembre	14.79	30	0.71		c	
Eficiencia_10:00 a.m. Setiembre	26.29	30	0.71			b
Eficiencia_10:00 a.m. Febrero	29.69	28	0.73			a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## **ANEXO 6**

### **DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO**



**Figura:** Detalle de conexiones en el tanque de almacenamiento de agua caliente

**Fuente:** Fernández y Tuesta (2014).



**Fotografía:** Tanques para almacenar agua caliente

**Fuente:** Fernández y Tuesta (2014).





**Fotografía:** Caja para el tanque de almacenamiento de agua caliente

**Fuente:** Fernández y Tuesta (2014).