UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR TÉRMICO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA JUAN VELASCO ALVARADO, SAN IGNACIO, CAJAMARCA - PERÚ

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor : Bach. Edvin Santos Quintana

Asesor : Mg.Ing. Lenin Franchescoleth Núñez Pintado

JAÉN – PERÚ, DICIEMBRE 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

"Año de la Universalización de la Salud"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día **07 de diciembre** del año 2020; siendo las **diez (10) horas**, se reunieron de manera virtual los integrantes del Jurado:

Presidente	**: M.Sc. ING José Andrés Fernández Mera**
Secretario	**: M.Sc. ING. Walter Linder Cabrera Torres**
Vocal	**: Dr. ING. Deibi Eric García Campos**

Para evaluar la Sustentación de:

( ) Trabajo de Investigación

(X) Tesis

( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

"DISEÑO DE UN COLECTOR SOLAR TÉRMICO PARA CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA JUAN VELASCO ALVARADO, SAN IGNACIO, CAJAMARCA – PERÚ", presentado por el ***Bachiller Edvin Santos Quintana,*** de la Carrera Profesional de **Ingeniería Mecánica y Eléctrica** de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, los Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar ( ) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19, 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	( )
c)	Bueno	14, 15	**(14)**
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 o menos	( )

Siendo las **Doce (12) horas** del mismo día, los Miembros del Jurado Evaluador concluyen el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Presidente Jurado Evaluador

Secretario Jurado Evaluador

Vocal Jurado Evaluador

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 9
1.1. Realidad Problemática 10
1.2. Formulación del problema 10
1.3. Hipótesis 10
1.3.1. Formulación de la hipótesis 10
1.4. Justificación e Importancia 10
1.4.1. Justificación técnica 10
1.4.2. Justificación económica 11
1.4.3. Justificación ambiental 11
1.4.4. Justificación social 11
II. OBJETIVOS 12
2.1. Objetivo General 12
2.2. Objetivos Específicos 12
2.3. Marco Teórico 12
2.3.1. Antecedentes 12
2.3.1.1. A nivel nacional 12
2.3.1.2. A nivel internacional 14
III. MATERIALES Y MÉTODOS 16
3.1. Materiales 16
3.1.1. Equipos 16
3.2. Diseño de la investigación 16
3.2.1. Población y muestra 16
3.2.1.1. Población de la investigación 16
3.2.1.2. Muestra de la investigación 16
3.2.2. Variables de estudio 17
3.3. Metodología de la investigación 18
3.3.1. Métodos e Instrumentos de recolección de datos 18
3.3.2. Análisis de datos 18
3.3.3. Ubicación geográfica de caserío Chamanal, provincia de San Ignacio 18
3.3.4. Clima de Caserío Chamanal, provincia de San Ignacio 19
3.3.5. Determinación de la radiación solar 20
3.3.5.1. Datos registrados de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) 20
3.3.5.2. Determinación de inclinación óptima del colector solar 21

3.3.5.3. Determinación de relación radiación/consumo de agua caliente sanitaria para la institución educativa 23
3.3.6 Determinación de la demanda de agua caliente sanitaria 24
3.3.6.1 Agua caliente sanitaria 24
3.3.7 Dimensionamiento del colector solar térmico 27
3.3.7.1 Demanda energética 27
Colector solar de tubos de vacío 27
3.3.7.2 Número de tubos al vacío del colector solar 28
3.3.7.3 Dimensionamiento del termotanque 31
3.3.7.4 Cálculo del espesor de aislamiento del termotanque de agua caliente 34
3.3.7.5 Diagrama general del colector solar térmico de tubos de vacío 40
3.3.7.6 Diagrama de bloques del procedimiento de cálculo 42
3.3.7.7 Ahorro eléctrico 43
3.3.8 Evaluación Económica 46
3.3.8.1 Aplicación de la metodología 46
3.3.8.2 Valor Actual Neto (VAN) 47
3.3.8.3 Tasa Interna de Retorno (TIR) 48
3.3.8.4 Payback o plazo de recuperación descontado (PRD) 49
3.3.8.5 Análisis beneficio/costo o índice de rentabilidad 49
IV. RESULTADOS 50
4.1. Dimensionamiento del colector solar. 50
4.2. Evaluación Económica 50
4.3. Flujo de efectivo acumulado. 51
4.4. Indicadores de viabilidad del proyecto 52
4.4.1. Resultados de los indicadores económicos 52
4.4.2. Comparación de la terma eléctrica vs el colector solar 52
V. DISCUSIONES 54
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 55
6.1. Conclusiones 55
6.2. Recomendaciones 56
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57
ANEXOS 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables de estudio 17
Tabla 2 Incidencia de radiación promedio mensual en (kWh/m²/día) delimitada en ecuador a una latitud: -5,197556 y longitud: -78,959805 20
Tabla 3 Relación radiación/consumo 23
Tabla 4 Cantidad de agua caliente usada por diferentes sectores 25
Tabla 5 Características de los tubos de vacío 29
Tabla 6 Tipo de aislamiento y espesor recomendado 33
Tabla 7 Coeficiente de conductividad térmica para los materiales utilizados 35
Tabla 8 Temperaturas mínimas de ambiente 36
Tabla 9 Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor 37
Tabla 10 Iteraciones para hallar el espesor del aislante térmico 38
Tabla 11 Resultados de los cálculos y datos utilizados 39
Tabla 12 Ahorro al instalar el colector solar 44
Tabla 13 Gastos producidos si se instalara una terma eléctrica 45
Tabla 14 Inversión inicial 46
Tabla 15 Flujo Acumulado 48
Tabla 16 Payback 49
Tabla 17 Parámetros del colector solar 50
Tabla 18 Resultados del análisis económico 52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del caserío Chamanal, en la provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca-Perú 19
Figura 2. Relación radiación/consumo de agua caliente 23
Figura 3. Resistencias térmicas en el termotanque 35
Figura 4. Diagrama general del colector solar térmico de tubos de vacío 40
Figura 5. Diagrama de bloques de procedimiento de cálculo 42
Figura 6. Flujo de efectivo acumulado 51
Figura 7. Terma eléctrica VS Colector Solar 53
Figura 8. Revisión de diámetros de la tubería 66
Figura 9. Institución educativa donde se lleva a cabo el proyecto 66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Plano en vista frontal 2D 62
Anexo 2. Tubos al vacío..... 63
Anexo 3. Válvula mezcladora Termostática 3/4 63
Anexo 4. Válvula de paso de CPVC 3/4 64
Anexo 5. Tubería de PVC 64
Anexo 6. Tubería de CPVC 65
Anexo 7. Tinaco Rotoplas..... 65

LISTA DE ABREVIACIONES

- kW: Kilowatt
- kWh: Kilowatt Hora
- kJ: Kilo Joule
- VAN: Valor Actual Neto
- TIR: Tasa Interna de Retorno
- kg: Kilogramo
- m^3: Metro Cúbico
- m^2: Metro Cuadrado
- m: Metro
- NASA: National Aeronautics and Space Administration
- msnm: Metros sobre el nivel del mar
- W: Watt
- UNCP: Universidad Nacional del Centro del Perú
- H: Radiación solar

RESUMEN

La institución educativa Juan Velasco Alvarado del caserío Chamanal de primaria y secundaria, la cantidad de 180 alumnos, al encontrarse con este problema de friaje de 13,8 °C temperatura promedio de ambiente, y contar con la red de agua de 16°C en todas las estaciones del año, motivaron a realizar el presente trabajo de investigación, el cual consistió en diseñar un colector solar térmico para calentamiento de agua sanitaria para la institución educativa, para la cual, se realizó la determinación de la radiación solar, teniendo como data, información brindada por la NASA, luego se estimó la demanda de agua caliente sanitaria en la institución educativa, en la cual, permitió realizar el dimensionamiento del colector solar térmico de tubos de vacío, termotanque y las tuberías; donde posteriormente se realizó la evaluación económica del proyecto, que nos dio como resultado que por cada S/. 1,00 que se invierte obtendríamos una ganancia de S/. 6,26. Se realizó una comparación con respecto a la instalación de una terma eléctrica.

Palabras claves: Colector solar, radiación solar, termotanque, terma solar

ABSTRACT

The educational institution Juan Velasco Alvarado of the Chamanal village of primary and secondary, the amount of 180 students, when encountering this problem of cold of 13,8 °C average ambient temperature, and having a water network of 16 ° C in all seasons of the year, motivated to carry out the present research work which consisted of designing a solar thermal collector for heating sanitary water for the educational institution, for which the determination of solar radiation was carried out, taking as data, information provided by NASA, then the demand for sanitary hot water in the educational institution was estimated, which allowed the sizing of the solar thermal collector of vacuum tubes, hot water tank and pipes; where later the economic evaluation of the project was carried out, which gave us the result that for each S /. 1,00 that is invested we would obtain a profit of S /. 6,26. A comparison was made with respect to the installation of an electric heater.

Keywords: Solar collector, solar radiation, hot water tank, solar thermal.

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país el desarrollo y el uso de las energías renovables es aún incipiente, sin embargo, existen instituciones que están propiciando con mucha seriedad su difusión y las bondades de cada tipo de energía, toda vez que en el Perú es un territorio donde tiene abundante recurso energético como: Energía solar, eólica, hidráulico, mareomotriz y la geotérmica. Particularmente en nuestra región tenemos la radiación solar cuya irradiancia oscila entre 5-6 kWh/m²/día, esto implica la potencialidad que tenemos para aprovechar de diversas formas; iluminación, calentamiento de agua, bombeo solar, micro climatización de ambientes, etc. (Camayo et al.,2015)

En San Ignacio actualmente, se hace uso de energías provenientes de fuentes renovables como centrales hidroeléctricas y centrales térmicas, aprovechando los recursos naturales en dicha zona, como la energía solar, por la gran cantidad de horas de sol percibidas al día y al año.

La propuesta de este estudio radica en diseñar una fuente de energía limpia para calentamiento de agua sanitaria, mediante el diseño de un proyecto sostenible a través de la energía solar térmica; en este presente proyecto de investigación, tiene como objetivo general, diseñar un colector solar térmico de tubos de vacío para calentamiento de agua sanitaria en la institución educativa Juan Velasco Alvarado, ubicado en el caserío Chamanal de la provincia de San Ignacio del departamento de Cajamarca. Tomando como referencia los datos obtenidos National Aeronautics and Space Administration (NASA), a continuación, se calcula la demanda de agua caliente sanitaria, luego el dimensionamiento del colector solar, finamente la evaluación económica del proyecto.

1.1. Realidad Problemática

El caserío Chamanal, provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca, cuenta con las temperaturas bajas en todas las estaciones del año, los estudiantes de la institución educativa Juan Velazco Alvarado, suelen enfermarse debido a las bajas temperaturas, de resfrío y además de contar con la temperatura de agua de 16°C de la red hidráulica, que es una temperatura inapropiada para la salud de los estudiantes, por ello, se propone un proyecto de investigación, que consiste en el diseño de un colector solar térmico de tubos de vacío para calentamiento de agua sanitaria en la institución educativa; con este proyecto de investigación se pretende prevenir algunas enfermedades causadas por las bajas temperaturas y que además sirva como referencia para que sea replicable en otras instituciones con problema de friaje.

1.2. Formulación del problema

¿Es factible diseñar un colector solar térmico para calentamiento de agua sanitaria en la institución educativa Juan Velasco Alvarado, San Ignacio, caserío Chamanal, Cajamarca – Perú?

1.3. Hipótesis

1.3.1. Formulación de la hipótesis

El diseño de un colector solar térmico de tubos de vacío permita contar con agua caliente sanitaria en la institución educativa Juan Velasco Alvarado, del caserío Chamanal, en San Ignacio, Cajamarca.

1.4. Justificación e Importancia

1.4.1. Justificación técnica

Permita analizar, estudiar y aplicar una metodología adecuada para el diseño de colectores solares térmicos, cuyos métodos y técnicas aplicadas podrán utilizarse y ser replicadas en otras zonas de baja temperatura de nuestro país.

1.4.2. Justificación económica

Este estudio se sustenta económicamente ya que el uso de la radiación solar como fuente de energía para calentar agua, tiene impactos positivos; como son la disminución de gastos por calentamiento del agua sanitaria; además de que contribuye al uso de energías renovables.

1.4.3. Justificación ambiental

Con esta investigación se plantea dar un adecuado uso a las fuentes de energías naturales; en este caso a la radiación solar cuyo uso no es muy convencional; pero que sería muy beneficioso si se aprovecha a gran escala, lo cual contribuiría al medio ambiente con la disminución del uso de las energías fósiles que día a día se viene agotando y las cuales causan grandes efectos negativos al medio ambiente.

1.4.4. Justificación social

El presente trabajo pretende fomentar la utilización de la energía proveniente de la radiación solar, apuntando a la sensibilización de la población sobre el medio ambiente y a promover las iniciativas de nuevos proyectos a grandes escalas para aprovechar esta fuente de energía natural.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Diseñar un colector solar térmico de tubos de vacío para calentamiento de agua sanitaria en la institución educativa Juan Velasco Alvarado, ubicado en el caserío Chamanal de la provincia de San Ignacio del departamento de Cajamarca–Perú.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el recurso solar en la institución educativa Juan Velasco Alvarado, caserío Chamanal, provincia de San Ignacio- Cajamarca.
- Calcular la demanda de agua caliente sanitaria en la institución educativa.
- Dimensionar el colector solar térmico de acuerdo a las características de la institución educativa.
- Evaluar económicamente el proyecto.

2.3. Marco Teórico

2.3.1. Antecedentes

2.3.1.1. A nivel nacional

En el Perú se han llevado varios proyectos relacionados con este tipo de investigación, debido a la alta radiación de algunas zonas de nuestro país; además de aprovechar esta fuente natural de energía para utilizarla en beneficio para la sociedad y para el medio ambiente; para ello se ha estado tomando en cuenta varias investigaciones que se han venido desarrollando a nivel nacional en estos últimos años.

Boza (2019), en su estudio:

Propuso un colector solar térmico para la producción de agua caliente en la piscina de la Universidad Nacional del Centro del Perú, cuyo funcionamiento es a través de un sistema de calentamiento con energía solar y su principal elemento es el colector solar. Para conseguir su objetivo realiza un estudio energético de colector solar térmico, además comparó los tipos de colectores solares según criterios de aplicación, condiciones climáticas, rentabilidad, resultados de ensayos y materiales. Los resultados que se obtiene para mantener la piscina temperada son: temperatura promedio entre 28 a 30 °C, la radiación solar global diaria media anual de 6 kWh/m²/día y el colector es de placa plana sin cubierta ®TERMOINOX, quienes tienen una amplia experiencia en el temperado de piscinas residenciales.

Flores (2018), en su estudio:

Diseñó una terma solar de tubos al vacío termosifónicos, para una familia de cinco personas, con un consumo de 30 litros de agua caliente por persona, constituyendo la capacidad del termotanque de almacenamiento del agua caliente de 150 litros a una temperatura de 40°C, lo cual es suficiente para las tareas domésticas que necesiten agua caliente, es más considerando que la temperatura confort del agua es 20°C en los manuales de calefacción, el agua a 40°C tendrá que mezclar con agua fría para aumentar la producción del agua caliente aproximadamente 3000 litros a una temperatura de 20°C. La terma solar diseñada en la tesis tiene una capacidad del termotanque de 153 litros con un diámetro de 420 mm y 1100 mm de longitud, el colector solar de vacío solo tiene 8 tubos y su costo aproximadamente es de 920 soles. (p.79)

Sánchez y Iparraguirre (2014) en su estudio:

Realizó el diseño, construcción y evaluación de colectores solares para una institución educativa. Con un consumo de 3 litros de agua caliente sanitaria por persona, determinó la demanda de agua caliente de 240 litros a 45°C equivalente a 120 litros por cada uno de los dos sistemas de 40 alumnos que propuso. Se dimensionó dos sistemas de agua caliente sanitaria de los cuales cada uno consta de un colector de placa plana de 1,2m² de área efectiva con un termotanque de 100 litros que le da un día autonomía al sistema de agua caliente sanitaria y también se evaluó la posibilidad de comprar o construir las termas solares, el costo de mercado de la terma solar más cómoda es de 2840 soles, construyéndola cuesta 1627,65 nuevos soles, con una diferencia de 1212,35 soles por cada terma solar.

2.3.1.2. A nivel internacional

Se han encontrado trabajos de investigaciones internacionales relacionadas con este tema que ayudaran a fortalecer esta investigación a desarrollarse de manera eficiente y tener una visión más clara de lo que se está investigando.

Rurales y Toro (2019), en su estudio:

Propuso el diseño de un sistema unificado de provisionamiento de agua caliente sanitaria, conformado por cuatro subsistemas principales y un subsistema de apoyo siendo estos el subsistema de captación, el subsistema de almacenamiento térmico, el subsistema de distribución y el subsistema de saneamiento. El subsistema de captación está compuesto por el techo de la vivienda que consta con un área de captación de agua de lluvia de 72,68 m² de material ®Eternit y una red de canales tipo J de sección 20x100x82 en milímetros de 0,6mm de espesor y una longitud de 24,6m de material tol galvanizado. El subsistema de almacenamiento está compuesto exclusivamente por un tanque a sobre nivel, el tanque es cilíndrico y se encuentra a 1,75m desde el piso. Tiene un diámetro interno de 500mm, una longitud 1,22m y un espesor de 2mm. Consta de una entrada de 2 pulgadas de diámetro, cuatro tomas de media pulgada de diámetro correspondiente al suministro auxiliar agua potable, al subsistema de acondicionamiento térmico y la purga de aire, y una toma de una pulgada de diámetro para la línea de distribución, todas roscadas bajo el estándar FPT. Se diseñó exitosamente utilizando el método de diseño concurrente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Equipos

Para el trabajo de investigación se utilizó como equipos una laptop, una cámara fotográfica, cinta métrica, termómetro y para el análisis de datos las herramientas del software Microsoft Excel 2019; así como también materiales de gabinete como son libros, revistas y artículos científicos.

3.2. Diseño de la investigación

El trabajo de investigación es aplicado con un nivel descriptivo y un diseño de campo y gabinete (No experimental)

3.2.1. Población y muestra

3.2.1.1. Población de la investigación

La población son las instituciones públicas o privadas de zonas altoandinas y de los climas fríos de la región que actualmente no cuenta con agua caliente sanitaria.

3.2.1.2. Muestra de la investigación

La muestra es la institución educativa Juan Velasco Alvarado N° 16458-caserío Chamanal.

3.2.2. Variables de estudio

Tabla 1

Variables de estudio

Variables	Descripción	Indicadores
Variable dependiente:		
Diseño de un colector solar térmico para calentamiento de agua sanitaria.	Es diseñar un colector solar térmico de acuerdo a la demanda de agua caliente sanitaria y a la disponibilidad del recurso solar energético.	✓ Inversión (soles) ✓ TIR (años) ✓ Área del colector (m^2) ✓ Tasa de producción de agua caliente sanitaria (litros/día) ✓ Temperatura de salida de agua (°C) ✓ Volumen del termotanque (m^3)
Variable independiente:		
Sistema de agua de la institución educativa Juan Velazco Alvarado.	Es el sistema de agua en el que se cuenta actualmente la institución educativa.	✓ Consumo actual de agua (litros/día) ✓ Irradiancia (kWh/m^2/día) ✓ Temperatura ambiente del agua (°C)

Fuente: Elaboración propia

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Métodos e Instrumentos de recolección de datos

Los recursos de los cuales se apoyó esta investigación para la extracción de información fueron los siguientes:

- Portal web del Proyecto Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration)
- Para el procesamiento de datos el software Microsoft Excel 2019.
- Para la medición en campo se empleó instrumentos como: termómetro, wincha, entre otros.

3.3.2. Análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizaron técnicas y tema de diseño de colectores solares y termotanque, basándose en transferencia de calor y termodinámica. Se hicieron cálculos económicos para determinar la factibilidad de la inversión, se calculó indicadores económicos: Relación Costo/Beneficio, VAN, TIR, Payback. Para el cálculo de los indicadores, se utilizó las funciones financieras del software Microsoft Excel 2019.

3.3.3. Ubicación geográfica de caserío Chamanal, provincia de San Ignacio

La provincia de San Ignacio es una de las trece provincias que conforman el departamento de Cajamarca en el norte del Perú; limita por el norte con la república del Ecuador; por el este con el departamento de Amazonas; por el sur con la provincia de Jaén y por el oeste con el departamento de Piura. (Municipalidad Provincial de San Ignacio, 2019)

El diseño del colector solar térmico para calentamiento de agua sanitaria se realizó en la institución educativa Juan Velazco Alvarado del caserío Chamanal, de la provincia de san Ignacio, Cajamarca.

El caserío Chamanal, se encuentra ubicado a una latitud: -5,197556 y una longitud: -78,959805 de coordenadas decimales en el hemisferio sur.

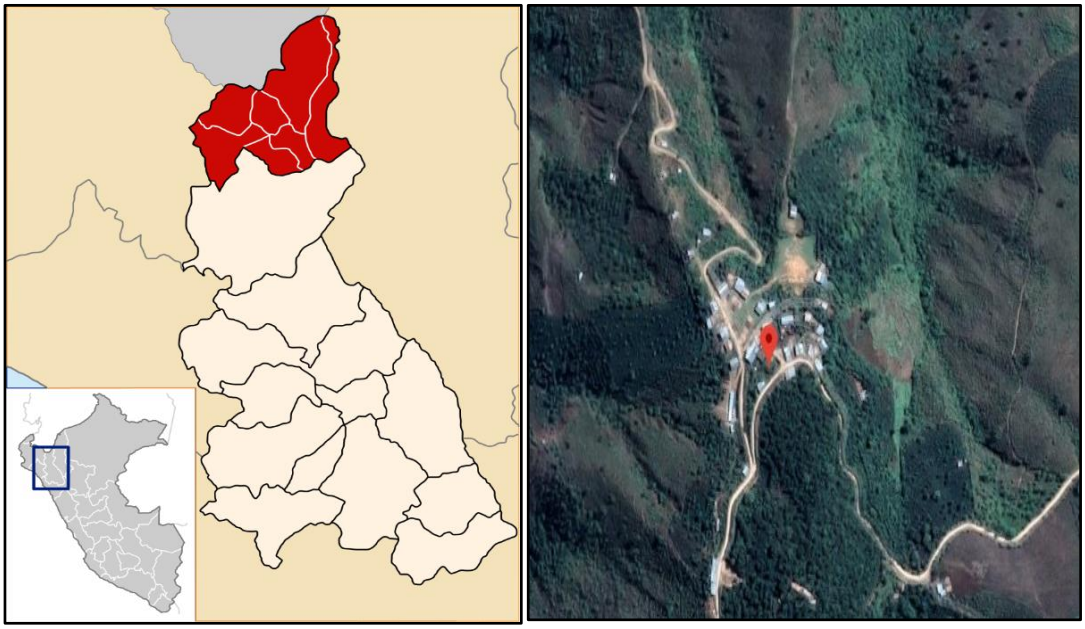


Figura 1. Ubicación geográfica del caserío Chamanal, en la provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca-Perú

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Clima de Caserío Chamanal, provincia de San Ignacio

El clima en San Ignacio caserío Chamanal - Perú cuenta con las siguientes características; los veranos son largos, calientes y nublados y los inviernos son cortos, cómodos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 15 °C a 26 °C y rara vez baja a menos de 14 °C o sube a más de 29 °C. (Weather, 2019)

3.3.5. Determinación de la radiación solar

3.3.5.1. Datos registrados de la National Aeronautics and Space Administration (NASA)

Para la determinación de la radiación solar, se consideraron los datos obtenidos de la NASA; los cuales indican un promedio diario de la radiación en kWh/m²/día, con lo cual, se evaluó el colector solar térmico de tubos de vacío; las coordenadas del caserío Chamanal con una latitud: -5,197556 y longitud: -78,959805 aproximadamente. La tabla 2, muestra la radiación solar máxima y mínima en la zona de investigación de los doce meses del año.

Tabla 2

Incidencia de radiación promedio mensual en (kWh/m²/día) delimitada en ecuador a una latitud: -5,197556 y longitud: -78,959805

Mes	Rad. a 0°	**Rad. a 5°**	Rad. a 20°	Rad. a 90°
Enero	4,10	**4,13**	4,13	2,12
Febrero	3,70	**3,71**	3,64	1,73
Marzo	4,19	**4,18**	4.05	1,56
Abril	4,19	**4,23**	4,24	2,05
Mayo	4,26	**4,36**	4,54	2,61
Junio	4,18	**4,31**	4,57	2,88
Julio	4,30	**4,42**	4,65	2,8
Agosto	4,60	**4,68**	4,78	2,44
Septiembre	4,91	**4,93**	4,83	1,85
Octubre	4,89	**4,9**	4,78	1,8
Noviembre	5,11	**5,16**	5,16	2,36
Diciembre	4,56	**4,62**	4,66	2,42
Promedio	4,42	**4,47**	4,50	2,22

Fuente: Elaboración propia. Datos NASA (2018)

3.3.5.2. Determinación de inclinación óptima del colector solar

Eufracio et al. (2019) afirman. "Que los colectores solares generalmente son instalados en una posición fija, por lo que su ángulo de inclinación debe ser óptima; la orientación está definida por su ángulo de azimut e inclinación".

Ángulo de inclinación (β): Es el ángulo que forma la superficie del generador con el plano horizontal. Su valor es 0ºC si el módulo se coloca horizontal y 90º si se coloca vertical.

Una superficie recibe la mayor cantidad posible de energía solar si es perpendicular a la dirección del sol; como la posición del sol varía a lo largo del día, la posición óptima de la superficie también tendrá que ser variable; para que la superficie reciba la radiación solar perpendicularmente tendremos que inclinar la superficie un ángulo β con la horizontal igual al que forma la vertical del lugar con la radiación solar.

La orientación óptima será un valor constante, con una inclinación (β) que va a depender de la latitud (ϕ) del lugar y un azimut (α) que depende del hemisferio en el que está situado el colector solar.

Si pretendemos maximizar la captación de energía solar, la superficie tendrá que estar orientada hacia el sur y por lo tanto el ángulo de azimut (α) debe ser nulo. El azimut óptimo debe ser cero (α = 0), la superficie se debe orientar hacia el sur si está situada en el hemisferio norte o hacia el norte si está en el hemisferio sur. (Eufracio et al., 2019)

Para el ángulo de inclinación óptima del colector solar, en función de la latitud del lugar, se utiliza la ecuación 1 mencionada anteriormente.

$$\beta_{opt} = 3{,}7 + 0{,}69\ x\ |\phi| \qquad \ldots (1)$$

Donde:

β_{opt}: Ángulo de inclinación óptima (grados sexagesimales).

$|\phi|$: Latitud del lugar, sin signo (grados sexagesimales).

En la práctica se utiliza información basada en la experiencia y la observación, la cual nos proveerá la inclinación óptima en función del periodo de tiempo.

Sabemos que:

∅:-5,197556° latitud del caserío Chamanal, de la provincia de San Ignacio.

Remplazando en la ecuación (1):

$$\beta_{\text{opt}} = 3{,}7 + 0{,}69 \text{ x } | - 5.197556°|$$

$$\beta_{\text{opt}} = 7{,}28°$$

Para el cálculo del ángulo de inclinación óptima en la zona de investigación, con la latitud de -5,197556°; se utilizó la ecuacion 1, dando como resultado un ángulo inclinación óptima de 7,28°, dicho ángulo, es la inclinación óptima para la instalación del colector solar térmico de tubos de vacío, logrando captar la mayor cantidad de energía solar durante el día. Para el dimensionamiento del sistema se tomó el ángulo de 5° de la NASA más cercano al ángulo de inclinación óptima.

3.3.5.3. Determinación de relación radiación/consumo de agua caliente sanitaria para la institución educativa

Tabla 3

Relación radiación/consumo

Meses	Rad. a 5° (kWh/m²)	Cantidad de personas	N°. de días	litros/día (RITE)	Consumo (litros)	Relación Rad/consumo de ACS(Wh/m².lit)
Enero	4,13	1	31	3	93	44,408
Febrero	3,71	2	28	3	168	22,083
Marzo	**4,18**	**180**	**20**	**3**	**10 800**	**0,387**
Abril	4,23	180	20	3	10 800	0,391
Mayo	4,36	180	20	3	10 800	0,403
Junio	4,31	180	20	3	10 800	0,399
Julio	4,42	180	20	3	10 800	0,409
Agosto	4,68	180	10	3	5 400	0,866
Setiembre	4,93	180	20	3	10 800	0,456
Octubre	4,9	180	20	3	10 800	0,453
Noviembre	5,16	180	20	3	10 800	0,477
Diciembre	4,62	180	20	3	10 800	0,427

Fuente: Elaboración propia

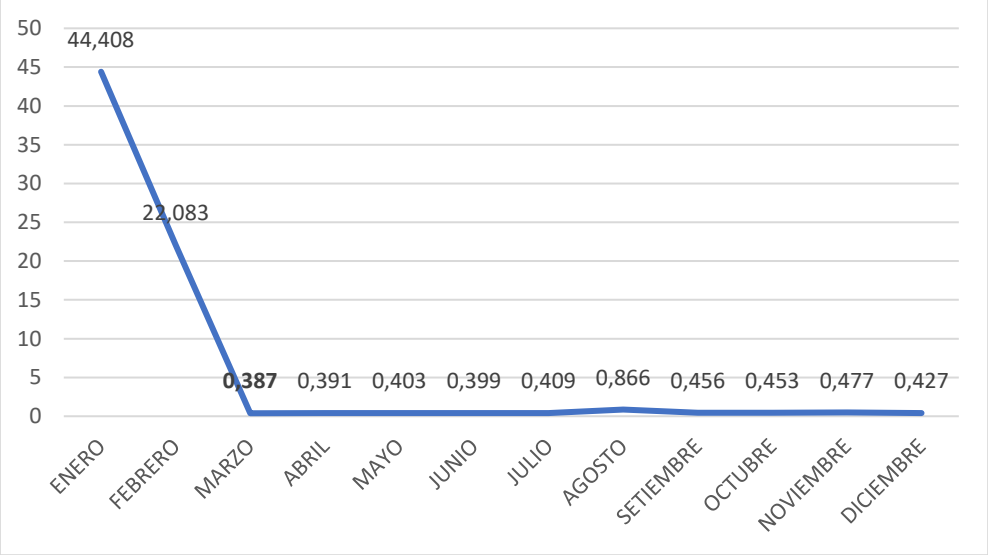


Figura 2. Relación radiación/consumo de agua caliente

Fuente: Elaboración propia

Como podemos ver la tabla 3 y figura 2 de la relación radiación/consumo de agua caliente sanitaria, el mes de marzo tiene la mínima relación 0,387 Wh/m².lit, por la cual, usaremos los datos de este mes para el dimensionamiento del proyecto.

3.3.6 Determinación de la demanda de agua caliente sanitaria

3.3.6.1 Agua caliente sanitaria

Es agua potable destinada a consumo humano, es calentada por radiación solar, se utiliza para usos sanitarios: baños, duchas, lavatorios, etc.

Y también para otros usos de limpieza: fregado de platos, lavadora, lavavajillas, fregado de suelos, normalmente es el agua que procede de las instalaciones de agua de la vivienda.

Lannelli et al. (2017) afirman. "Que el proceso de obtención de agua caliente sanitaria (ACS) es el principal consumidor de gas, después del de calefacción. El consumo ACS es en general entre tres a cuatro veces superior al de cocción".

Demanda de agua caliente

Tabla 4

Cantidad de agua caliente usada por diferentes sectores

Criterio de demanda	**Litros de agua caliente sanitaria/día**	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel***	55	por cama
Hotel/ Hostal**	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc.)	55	por cama
Vestuarios/ Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	**3**	**por alumno**
Cuarteles	20	por persona
Fabrica y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Fuente: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios RITE (2013) España.

Se diseñó un colector solar térmico de tubos de vacío para calentamaiento de agua sanitaria, y satifacer las necesidades de la institución educativa de 180 personas en el caserío Chamanal, provincia de San Ignacio; la institución educativa requiere 3 litros de 40°C por persona, considerando que la temperatura es alta para permitir que se mezcle con el agua fría proveniente de la red hidraulica del la institución educativa de 16°C y permitir un mayor rendimiento de agua caliente en la instalacion, es decir; cada persona tendrá 6 litros de agua caliente. Puesto que la temperatura confrort es aproximadamente 30°C.

La utilización es solo para cubrir dos lavatorios, que sera utilizado en horas de recreo y en cualquier necesidad de lavado de cada estudiante durante las cinco horas de clases en la institucion educativa.

Demanda de agua caliente sanitaria

Se desea abastecer de ACS a dos lavatorios, lavatorio de baño de mujeres y lavatorio de baño de varones, con un total de 180 alumnos entre varones y mujeres de primaria y secundaria. Para calcular la demanda de agua caliente sanitaria se utiliza la ecuación 2 para la expresion de la masa apartir de la densidad, libro de transferencia de calor y masa. (Cengel, 2019)

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

Despejando la masa:

$$M = n * \rho_{H^2O} * V_p \qquad (2)$$

Donde:

M: Masa de agua (Kg/día)

n: Número de alumnos (alumnos)

V_P: Volumen de agua per cápita (Lit/persona)

ρ_{H_2O}: Densidad del agua (Kg/m³)

El volumen de agua per cápita V_P es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente.

Reemplazamos los datos en la ecuación (2):

$$M = 180 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 3L \left(\frac{m^3}{1000L} \right)$$

$$M = 540 \text{ kg}/día = 540 \text{ lit}/día$$

3.3.7 Dimensionamiento del colector solar térmico

3.3.7.1 Demanda energética

Es la energía necesaria para elevar la temperatura de la masa de agua (M) desde la temperatura del agua fría (Tent) hasta la temperatura de consumo final (Tsal); el calor ganado por el agua se calcula por la teoría de calorimetría del libro de transferencia de calor y masa. (Cengel, 2019). Viene dada por la ecuación (3):

$$E = MC_P(T_{sal} - T_{ent}) \qquad (3)$$

Donde:

E: Demanda energética (J/día)

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

Cp: Calor específico del agua (4,18 kJ/Kg - ºC)

Tent: Temperatura del agua fría que ingresa a la terma (ºC)

Tsal: Temperatura de consumo del agua (ºC)

$$E = 540kg \times 4{,}18\frac{kJ}{kg°C}(40 - 16)°C$$

$$E = 54172{,}8\ kJ$$

Colector solar de tubos de vacío

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

Factor de corrección del tubo al vacío. El factor de corrección evalúa que parte de la radiación sola incidente es captada realmente por el tubo de vacío; es determinado en transferencia de calor en función a las propiedades ópticas de material del tubo de vacío, la cual viene dada por la ecuación (4). (Flores, 2018)

$$\alpha_s = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} < 1 \qquad (4)$$

Donde:

τ: transmisividad de los tubos de vidrio de boro silicato con emisividad de ε = 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.

Ahora reemplazamos los datos en la ecuación (4):

$$\alpha_S = \frac{0{,}74 \times 0{,}99}{1 - (1 - 0{,}99) \times 0{,}16}$$

$$\alpha_S = 0{,}733$$

3.3.7.2 Número de tubos al vacío del colector solar

Para determinar el número de tubos al vacío se empleó la siguiente información.

Los tubos a emplear en el diseño son los tubos termosifónicos, en los cuales el agua del termotanque fluye directamente por dentro del tubo interior, y su movimiento dentro del mismo se debe al cambio de densidad del agua más caliente, la cual sube, y la menos caliente, que baja. En este caso, la presión del termotanque se transmite al tubo de vacío. Los tubos de vacío tienen casi nula reflectividad, y las bajas pérdidas por radiación debido a que están hechos de boro-silicato, y la placa de nitrato de aluminio que se encuentra adherido al tubo receptor. (Flores, 2018)

Las características técnicas de los tubos de vacío termosifónicos son estándares y se muestra a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 5

Características de los tubos de vacío

Espesor	3 mm
Diámetro exterior	58 mm
Diámetro interior	50 mm
Longitud	1800 mm
Longitud útil	1750 mm (50mm si insertan en el termotanque)

Fuente: Bicentenario (Calentadores Solares), 2019

Área de Captación Solar. Es el área necesaria para captar la energía solar que pueda satisfacer la demanda energética; la calculamos dividiendo la energía necesaria para calentar el agua (E) entre la radiación solar promedio corregida ($H\alpha_s$), la cual está dada por la ecuación (5): (Flores, 2018)

$$A_{cap} = \frac{E}{H\alpha_s} \qquad (5)$$

Donde:

A_{cap}: Área de captación (m²)

H: Radiación solar (kWh/m²/día)

α_s: Factor de corrección del tubo al vacío

Una vez calculado el factor de corrección se calcula el área de captación de la radiación solar la cual está dada por la ecuación (5) y emplearemos los siguientes datos:

E = 54172,8 kJ: Demanda energética calculada

H= 4,18 kWh/m²/día: Radiación del mes de marzo

$\alpha_S = 0{,}733$: Factor de corrección

Ahora reemplazamos los datos en la ecuación (5):

$$A_{cap} = \frac{54172{,}8\ kJ}{4{,}18\ \frac{kWh}{m^2} \times 0{,}733\ \frac{kJ/s}{kW} \times \left(\frac{3600\ s}{h}\right)}$$

$A_{cap} = 4{,}91\ m^2$ (Área del colector solar de tubos al vacío)

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 sobre la mitad de la superficie cilíndrica exterior de los tubos de vacío; para un tubo de vacío, el área cilíndrica exterior (A_t) está dada por la ecuación (6): (Flores, 2018)

$$A_t = \frac{d_e \times \pi \times L}{2} \qquad (6)$$

Donde:

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

L = 1,75 m (longitud útil)

Reemplazando datos en la ecuación (6):

$$A_t = \frac{0{,}058 \times \pi \times 1{,}75}{2}$$

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

Número de tubos al vacío

La cantidad de tubos al vacío necesario para satisfacer la demanda energética está determinada por la ecuación (7).

$$N_t = \frac{A_{Cap} F_s}{A_t} \qquad (7)$$

Donde:

N_t: Número de tubos

A_{Cap}: Área de captación

F_s: Factor de seguridad (1 – 1,5)

A_t: Área de un tubo al vacío (m²)

Cálculo para la determinación del número total de tubos al vacío

Para determinar el número de tubos al vacío se empleó la ecuación (7) ya antes mencionada en la cual se utiliza un F.S. (Factor de seguridad) igual a la unidad ya que la presión del termotanque se trasmite al tubo de vidrio. Estos calentadores de tubos termosifónicos no resisten sobrepresión y normalmente trabajan a presión atmosférica; no necesitan intercambiadores de calor, ya que calientan el líquido directamente. Si un tubo se rompe, el sistema entero colapsa porque se queda sin agua. (Flores, 2018)

Realizamos el siguiente cálculo que determina el número de tubos al vacío:

$$N_t = \frac{4{,}91\ m^2 \times 1}{0{,}16\ m^2}$$

$$N_t = 31\ tubos\ al\ vacío$$

3.3.7.3 Dimensionamiento del termotanque

Para calcular el volumen del termotanque, en el sistema puntual, se calcula 15% más que la masa de agua a almacenar en un día y el incremento de la temperatura es de 35°C por consideraciones de diseño; en el sistema continuo, se calcula 20% más de la masa de agua a almacenar en un día y el incremento de la temperatura es de 20°C. (Flores, 2018)

Se diseñó considerando el sistema puntual de calentamiento de agua, el incremento de temperatura es de 35 °C por consideraciones de diseño, debido que el uso de agua caliente es todos los días durante la semana de clases.

A continuación, tenemos la ecuación de la temperatura equivalente (8):

$$Teq = Ti + 35 = 16 + 35 = 51°C \qquad (8)$$

El agua a 40°C tendrá que mezclar con el agua fría a 16°C para aumentar su producción de agua caliente sanitaria, la red hidráulica de 16°C que se almacena en el tinaco con la cantidad de 1100 litros para permitir la mezcla con el agua a 40°C y la temperatura confort es de 30°C. A continuación, tenemos la ecuación (9) volumen del termotanque:

$$V_{dep} = 1.15xM \qquad (9)$$

Donde:

V_{dep}: volumen del termotanque (litros)

M: masa del agua a almacenar (kg/día)

Por lo tanto, el volumen del depósito de almacenamiento, por consideraciones de diseño el factor de seguridad es del 15% más, en la ecuación (9):

$$V_{dep} = 1{,}15 \times 540$$

$$V_{dep} = 621\ L$$

En consecuencia, obtenemos:

$$V_{dep} = \ 621Lit \ \cong 0.621\ m^3$$

Ahora se realiza el cálculo para determinar la longitud del tanque de almacenamiento; considerando un diámetro del cilindro de 500 mm por lo tanto tendremos que el volumen del cilindro está determinado por la ecuación (10) la cual es igual al volumen V_{dep}:

$$V_{cil} = \frac{\pi \times D^2 \times L}{4} \qquad (10)$$

Donde:

$V_{cil} = V_{dep} = 0{,}621\ m^3$

D = 0,500 m

¿L =?

Reemplazando los datos en la ecuación (10) obtenemos:

$$0.621\ m^3 = \frac{\pi \times 0{,}5^2 \times L}{4}$$

Despejando obtenemos:

$$L = 3{,}16\ m$$

Por lo tanto, las dimensiones internas del tanque de almacenamiento serán:

D = 0,50 m = 500 mm

L = 3,16 m = 3160 mm

La selección del tipo y espesor del aislamiento del depósito de almacenamiento se presenta en la tabla 6:

Tabla 6

Tipo de aislamiento y espesor recomendado

Tipo de aislamiento	**Espesor recomendado**		**Conductividad térmica (W/m - °C)**
	Sistema puntual	**Sistema continuo**	
Algodón	50	75	0,059
Asbesto	75	125	0,174
Lana o fibra de vidrio	35	50	0,038
Paja	50	100	0,090

Fuente: Flores (2018)

3.3.7.4 Cálculo del espesor de aislamiento del termotanque de agua caliente

Para el cálculo del espesor de aislamiento necesario para mantener la temperatura del agua caliente en el termotanque, establecemos el esquema de la pared cilíndrica del tanque (fig. 3); solo calcularemos las pérdidas de calor por la superficie cilíndrica del tanque, puesto que las pérdidas de calor de las capas del termotanque son insignificantes con respecto a las de la superficie cilíndrica.

Pérdidas por conducción en la superficie cilíndrica del termotanque

Aplicando transferencia de calor, la ecuación según lo indican (Kreith, F y Manglik, R., 2012) en función a la resistencia térmica total que establecemos en la figura (3):

$$Q_{conduc} = \frac{T_{eq} - T_{amb}}{R_{total}} \qquad (11)$$

Donde:

T_{eq}: Temperatura en el interior del tanque

T_{amb}: Temperatura del ambiente

R_{total}: Suma de resistencia por conducción en cada una de las capas del tanque.

La resistencia total R_{total} viene dada por la ecuación (12):

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 \qquad (12)$$

Para el cálculo de cada una de las resistencias térmicas por conducción para superficies cilíndricas, la teoría de la transferencia de calor establece la ecuación (13):

$$R_{1,2,3} = \frac{\ln\left(\frac{De}{Di}\right)}{2\pi LK} \qquad (13)$$

Donde:

De: diámetro mayor de la capa que se está calculando

Di: diámetro menor de la capa

L: longitud del cilindro

K: coeficiente de conductividad térmica de los materiales.

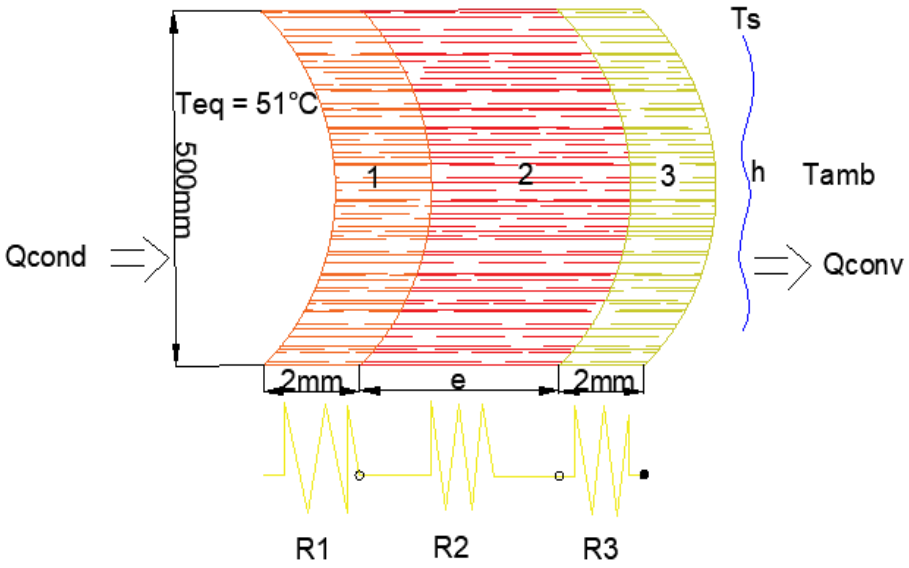


Figura 3. Resistencias térmicas en el termotanque

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

Coeficiente de conductividad térmica para los materiales utilizados

Material	**Coeficiente conductividad térmica "K" (Wm/°C)**
1. Plancha de acero inoxidable	15,75 (R1)
2. Aislante fibra de vidrio	0,038 (R2)
3. Plancha negra acero dulce	58,600 (R3)

Fuente: Kreith, F. (2012). Principios de transferencia de calor (p. 297-325).

Para los cálculos de la temperatura del ambiente (Tamb), se considera el promedio de la temperatura mínima de ambiente de la tabla 8:

Tabla 8

Temperaturas mínimas de ambiente

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temperatura Mínima	14,05	14,37	14,32	14,30	13,84	13,29	12,97	13,38	13,38	14,09	13,74	13,96

Fuente: Elaboración propia. Datos NASA (2018)

$$T_{amb} = \frac{14{,}05 + 14{,}37 + 14{,}32 + 14{,}30 + 13{,}84 + 13{,}29 + 12{,}97 + 13{,}38 + 13{,}38 + 14{,}09 + 13{,}74 + 13{,}96}{12}$$

$$T_{amb} = 13{,}80\ °C$$

Ahora utilizamos el principio de conservación de la energía y está dada por la ecuación (14):

$$Q_{conducción} = Q_{convección} \qquad (14)$$

Ahora para calcular el espesor "e" del aislamiento de fibra de vidrio, lo realizaremos iterando valores de "e", hasta que se cumpla la igualdad establecida por la ecuación (14):

El calor por convección está definido por la ecuación (15):

$$Q_{conv} = hA_S(T_s - T_{amb}) \qquad (15)$$

Donde:

h: coeficiente de transferencia de calor

A_S: área superficial del tanque

T_s: Temperatura superficial

T_{amb}: Temperatura de ambiente

Para calcular el área superficial del tanque utilizamos la ecuación (16) y está dada:

$$A_S = \pi D_e L \qquad (16)$$

Tabla 9

Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor

Proceso	**(W/hm² °C)**
Convención Natural	
Gases	2 - 5
Líquidos	50 - 1000
Convención Forzada	
Gases	25 - 250
Líquidos	50 - 20000

Fuente: Flores (2018)

Cálculo del $Q_{conducción}$ y $Q_{convección}$

Para realizar el cálculo del Q_{conduc} y Q_{convec} se realizaron 20 iteraciones; en la cual se fue modificando el espesor del aislante térmico, la cual se muestra en la tabla 10, para ello se utilizaron las ecuaciones (11 a 16):

Tabla 10

Iteraciones para hallar el espesor del aislante térmico

	Espesor (e)	R1	R2	R3	RT	Qconduc	Qconvec
1	0,001	1,2817E-05	0,00531226	3,44481E-06	0,005328524	6605,95733	587,76
2	0,002	2,5685E-05	0,0106459	6,90349E-06	0,01067849	3296,34616	587,76
3	0,003	3,8606E-05	0,01600109	1,03761E-05	0,016050073	2193,13648	587,76
4	0,004	5,1579E-05	0,02137801	1,38629E-05	0,021443447	1641,52715	587,76
5	0,005	6,4604E-05	0,02677682	1,73638E-05	0,02685879	1310,55793	587,76
6	0.006	7,7683E-05	0,03219772	2,08791E-05	0,032296282	1089,90876	587,76
7	0,007	9,0816E-05	0,03764088	2,44088E-05	0,037756104	932,299586	587,76
8	0,008	0,000104	0,04310649	2,7953E-05	0,043238441	814,090406	587,76
9	0,009	0,00011724	0,04859472	3,15119E-05	0,048743479	722,147873	587,76
10	0,010	0,00013054	0,05410578	3,50857E-05	0,054271408	648,591982	587,76
11	**0,011**	**0,00014389**	**0,05963985**	**3,86743E-05**	**0,059822417**	**588**	**588**
12	0,012	0,0001573	0,06519712	4,2278E-05	0,065396702	538,253444	587,76
13	0,013	0,00017077	0,07077779	4,58969E-05	0,070994457	495,813356	587,76
14	0,014	0,00018429	0,07638206	4,9531E-05	0,076615881	459,434772	587,76
15	0,015	0,00019787	0,08201013	5,31806E-05	0,082261176	427,905383	587,76
16	0,016	0,0002115	0,0876622	5,68458E-05	0,087930544	400,315957	587,76
17	0,017	0,0002252	0,09333847	6,05267E-05	0,093624193	375,971199	587,76
18	0,018	0,00023895	0,09903916	6,42233E-05	0,09934233	354,330324	587,76
19	0,019	0,00025277	0,10476447	6,7936E-05	0,105085168	334,966397	587,76
20	0,020	0,00026664	0,11051462	7,16648E-05	0,11085292	317,537868	587,76

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Resultados de los cálculos y datos utilizados

Parámetros	Cálculos y datos	Unidades
R1	0,000130541	°C/w
R2	0,054105781	°C/w
R3	3,50857E-05	°C/w
k1	15,75	W/m°C
k2	0,038	W/m°C
k3	58.6	W/m°C
e	**0,011**	**m**
De	0,5	m
L	3,16	m
teq	51	°C
tam	13,8	°C
Ts	22	°C
Rtotal	0,054271408	°C/w
h	20,85	W/m²°C
As	3,46	m²
Qconducción	**588**	**W**
Qconveccón	**588**	**W**

Fuente: Elaboración propia

Diseño CAD mediante el software AutoCAD

Teniendo calculado todos los parámetros óptimos para el diseño del colector solar se realizó el diseño 2D mediante el software de diseño AutoCAD 2020; el cual nos brindó una licencia gratuita en la modalidad de estudiante. La finalidad de realizar el diseño en el programa fue para tener un modelo de que como quedaría en la realidad la construcción del colector solar.

Altura de los tubos de vacío

Los cálculos arrojaron que el colector tendrá 31 tubos al vacío, y que ocuparía un área de 4,91 m²; por lo tanto, las medidas de diseño de los tubos y el termotanque, serán mostrados en el plano 2D anexo 1, donde hemos utilizado el largo calculado anteriormente y para hallar la altura hemos utilizado formula del área de captación:

$$Alt = Acap/L \qquad (17)$$

Donde:

Acap = 4,91 m²

L= 3,16 m

Reemplazando obtenemos Alt = 1,55m

3.3.7.5 Diagrama general del colector solar térmico de tubos de vacío

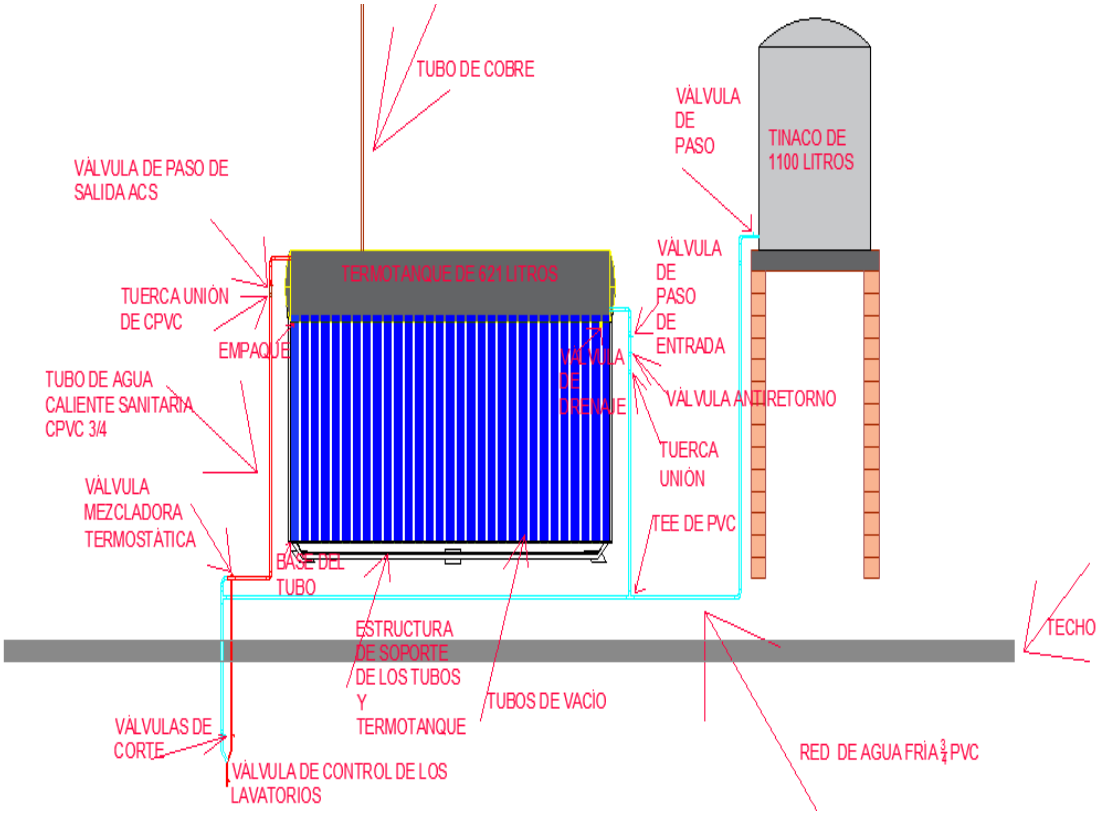


Figura 4. Diagrama general del colector solar térmico de tubos de vacío

Fuente: Elaboración propia

Funcionamiento del colector solar de tubos de vacío

El agua fría que sale del tinaco es controlada por una válvula de paso, el agua fría entra a una válvula antirretorno para evitar flujos inversos de la instalación, luego el agua fría pasa por una válvula de paso de entrada, para ser controlada por ella, también para realizar operaciones de mantenimiento de la instalación, luego el agua fría ingresa por parte inferior del termotanque, cayendo el agua fría por gravedad misma a la parte inferior de los tubos, haciendo por la radiación solar calentara la placa del tubo externo transfiriendo calor a los tubos internos, al calentar el agua empieza ascender por convección natural a una densidad menor y acumulándose en parte superior del termotanque, purgándose la presión del agua caliente por el tubo de cobre en la parte superior del termotanque, la salida del agua caliente es controlada por una válvula de paso de salida para más seguridad y también para las operaciones de mantenimiento de la instalación, luego el agua caliente y el agua fría entran a una válvula mezcladora termostática para ser regulada y controlada la temperatura del agua caliente sanitaria, para evitar daños en las tuberías y quemaduras, luego se colocó válvulas de corte tanto en las tuberías de agua caliente como en la tubería de agua fría y seguir mezclando el agua caliente con la red de agua fría al gusto de las personas que se benefician de agua caliente sanitaria, por último, se coloca una válvula de corte en cada lavatorio.

3.3.7.6 Diagrama de bloques del procedimiento de cálculo

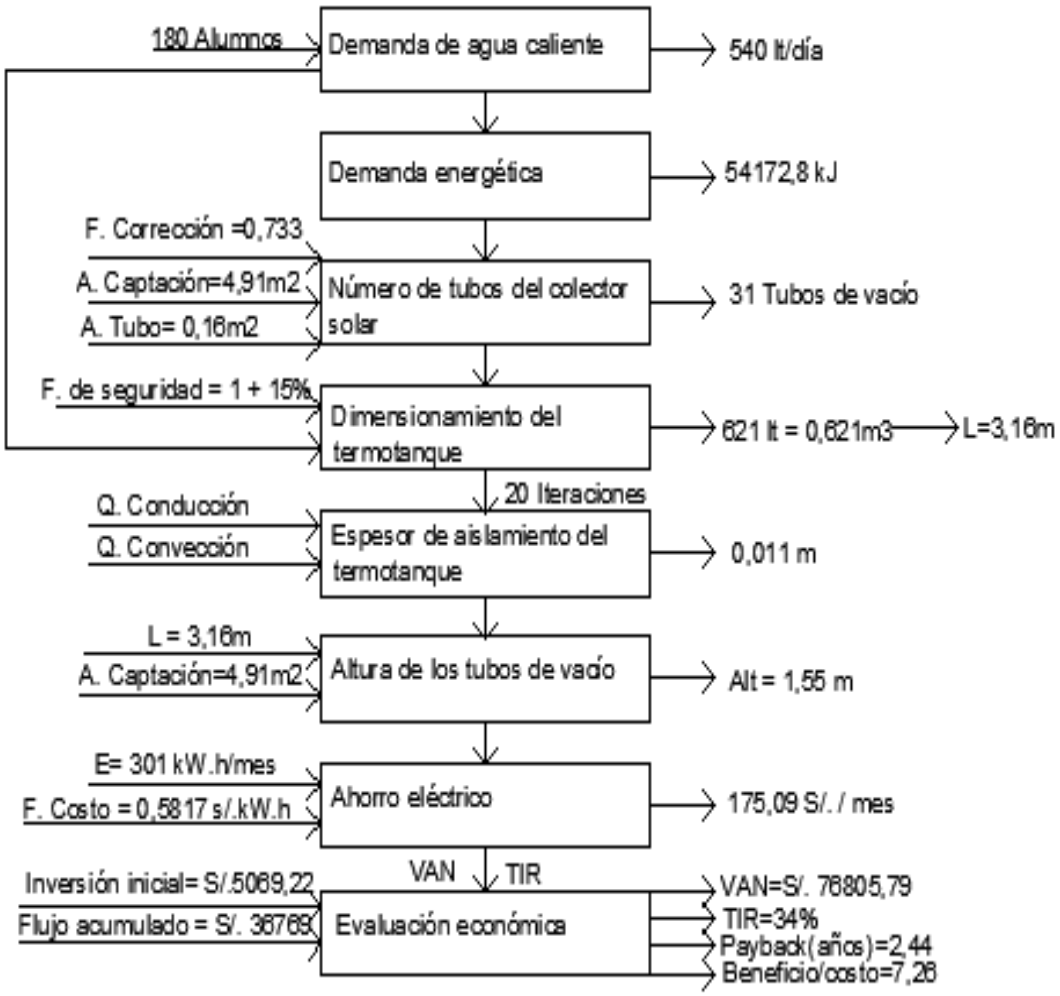


Figura 5. Diagrama de bloques de procedimiento de cálculo

Fuente: Elaboración propia

3.3.7.7 Ahorro eléctrico

Un factor importante a considerar en el presente trabajo de investigación, es el aspecto económico, es por ello que a continuación se realizan los cálculos para determinar el ahorro económico que implicaría usar un colector solar, y evitar usar otros dispositivos eléctricos para el calentamiento de agua.

Costos de un colector solar térmico

Datos:

M = 540 litros serán calentados de los 16°C a 40°C

$Vdep$= 621 litros de capacidad del termotanque

E = 54172.8 kJ

$$54172{,}8\ kj\ \frac{1\ h}{3600\ s} = 15{,}05\ kWh \quad energía\ calentada\ de\ los\ 16°C\ a\ 40°C$$

$$15{,}05\ kWh\ x\ 20\ dias\ = 301\ \frac{kWh}{mes}\ \ energía\ al\ mes$$

Ahora calculamos el costo por mes por la ecuación 18:

$$C_{S/.} = E\ x\ 0.5817\ \frac{S/.}{kWh} \qquad (18)$$

Donde:

$C_{S/.}$ = Costo en (S/.)

0,5817 = Factor de costo (S/. /kWh)

Reemplazando datos se obtendría:

$$C_{S/.} = 301\ \frac{kWh}{mes}\ x\ 0{,}5817\ \frac{S/.}{kWh}$$

$$C_{S/.} = 175{,}09\frac{S/.}{mes}$$

Tener instalado un colector solar térmico trae ahorros de S/. 175,09 al mes; ahorro significativo por solo usarla cinco horas al día; a continuación, se muestra el ahorro que significaría instalar un colector solar en la institución educativa.

Tabla 12

Ahorro al instalar el colector solar

Año	Energía (kWh/mes)	Tiempo (mes)	Costo (S/. kWh)	Ahorro
2020	301	10	0,5817	S/1750,92
2021	301	10	0,5817	S/1750,92
2022	301	10	0,5817	S/1750,92
2023	301	10	0,5817	S/1750,92
2024	301	10	0,5817	S/1750,92
2025	301	10	0,5817	S/1750,92
2026	301	10	0,5817	S/1750,92
2027	301	10	0,5817	S/1750,92
2028	301	10	0,5817	S/1750,92
2029	301	10	0,5817	S/1750,92
2030	301	10	0,5817	S/1750,92
2031	301	10	0,5817	S/1750,92
2032	301	10	0,5817	S/1750,92
2033	301	10	0,5817	S/1750,92
2034	301	10	0,5817	S/1750,92
2035	301	10	0,5817	S/1750,92
2036	301	10	0,5817	S/1750,92
2037	301	10	0,5817	S/1750,92
2038	301	10	0,5817	S/1750,92
2039	301	10	0,5817	S/1750,92
2040	301	10	0,5817	S/1750.92
Ahorro total				**S/36769**

Fuente: Elaboración propia

Comparación de costos de una Terma eléctrica

Especificaciones técnicas:

Marca: Rheem

Modelo: PROFESIONAL

Tipo: termas

Alto: 188 cm

Ancho/diámetro: 83,5 cm

Peso: 315 kg

Capacidad: 662 litros

Potencia: 10.8 kW – 12 kW

Tipo de energía: eléctrica

Capacidad de recuperación: T promedio de recuperación DT 50°C = 3,6
Precio: S/. 21000

Se realizó esta comparación, para determinar cuál sería la mejor opción y ver cuál de los dispositivos significan un ahorro considerable y sea más factible de instalar. Por lo tanto, la terma solar que se consideró para una capacidad similar a la terma eléctrica resulto ser más factible debido al ahorro significativo que presentó esta al ser instalada.

Gastos de la terma eléctrica

Tabla 13

Gastos producidos si se instalara una terma eléctrica

Año	Potencia al mes (kW)	Tiempo (h/año)	Costo (S/ / kWh)	Gastos
2020	12	1000	0,5817	S/6980,40
2021	12	1000	0,5817	S/6980,40
2022	12	1000	0,5817	S/6980,40
2023	12	1000	0,5817	S/6980,40
2024	12	1000	0,5817	S/6980,40
2025	12	1000	0,5817	S/6980,40
2026	12	1000	0,5817	S/6980,40
2027	12	1000	0,5817	S/6980,40
2028	12	1000	0,5817	S/6980.40
2029	12	1000	0,5817	S/6980,40
2030	12	1000	0,5817	S/6980,40
2031	12	1000	0,5817	S/6980,40
2032	12	1000	0,5817	S/6980,40
2033	12	1000	0,5817	S/6980,40
2034	12	1000	0,5817	S/6980,40
2035	12	1000	0,5817	S/6980,40
2036	12	1000	0,5817	S/6980,40
2037	12	1000	0,5817	S/6980,40
2038	12	1000	0,5817	S/6980,40
2039	12	1000	0,5817	S/6980,40
2040	12	1000	0,5817	S/6980,40
Gasto total				**S/146588**

Fuente: Elaboración propia

3.3.8 Evaluación Económica

3.3.8.1 Aplicación de la metodología

Los métodos económicos que se aplicaron para esta investigación son los cálculos del valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), Playback y el análisis de beneficio/costo; para ello se utilizó la herramienta informática de Microsoft Excel.

Determinación de la inversión inicial del proyecto

Para determinar la inversión inicial del proyecto, se realizó la cotización de los materiales para la instalación del colector solar de tubos al vacío los cuales se muestran en la tabla 14:

Tabla 14

Inversión inicial

Materiales	Unidad	Precio unitario ($)	Conversión ($)	Costo
Tubos al vacío	31	3	3,35	S/311,55
Tinaco	1	161,2	3,35	S/540,02
Termotanque	1	350	3,35	S/1172,50
Aislamiento	1	100	3,35	S/335,00
Válvula antirretorno	1	50	3,35	S/167,50
Válvula de drenado	1	50	3,35	S/167,50
Válvula de alivio de presión	1	20	3,35	S/67,00
Tubería de PVC	20	6	3,35	S/402,00
Tuercas unión	3	1	3,35	S/10,05
Tubo de cobre	1	49	3,35	S/328,30
Válvula mezcladora	1	49	3,35	S/164,15
Estructura de soporte	1	120	3,35	S/402,00
Tubería CPVC	16	14	3,35	S/750,40
Válvulas de paso	5	5	3,35	S/83,75
Accesorios	1	50	3,35	S/167,50
TOTAL				**S/5069,22**

Fuente: Elaboración propia

3.3.8.2 Valor Actual Neto (VAN)

El VAN viene a hacer la suma de los flujos de efectivo que se acumulan a lo largo de la duración del proyecto para un tiempo cero (actual). Según (Coss R., 2005) el VAN se calcula según la ecuación (19).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (19)$$

Donde k viene a hacer la tasa de descuento del proyecto la cual aumenta para proyectos con más riesgo y representa el valor del dinero en el tiempo. Un proyecto que retorne flujos de efectivo posee un VAN mayor a cero.

Flujo de efectivo acumulado

En la siguiente tabla se muestra el flujo de efectivo acumulado en 20 años de operación del colector solar; cuyos valores fueron tomados de los gastos anuales de la tabla (15); ya que estos serían los ingresos al instalar la terma solar ya que esta no utiliza energía eléctrica.

Tabla 15

Flujo Acumulado

Año	Flujo acumulado
2020	S/1,751
2021	S/3,502
2022	S/5,253
2023	S/7,004
2024	S/8,755
2025	S/10,506
2026	S/12,256
2027	S/14,007
2028	S/15,758
2029	S/17,509
2030	S/19,260
2031	S/21,011
2032	S/22,762
2033	S/24,513
2034	S/26,264
2035	S/28,015
2036	S/29,766
2037	S/31,517
2038	S/33,267
2039	S/35,018
2040	S/36,769

Fuente: Elaboración propia

3.3.8.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Según Coss (2005) la TIR viene a hacer la máxima tasa que hace que nuestro VAN sea igual a cero. Luego se puede calcular igualando a cero la ecuación (19), dando origen a la ecuación (20).

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \qquad (20)$$

Otra forma de entender la TIR es como la tasa que entrega un monto equivalente a la inversión del proyecto en el tiempo de evaluación. Van Horne J. y Wachowicz Jr. M. (2010).

3.3.8.4 Payback o plazo de recuperación descontado (PRD)

Según Coss (2005) se utiliza este indicador para calcular el tiempo que tarda un proyecto en recuperar el desembolso inicial y está dada por la ecuación (21)

$$0 = -I_0 + \sum_{i=1}^{T} F_i \qquad (21)$$

Donde I_0 es la inversión inicial del proyecto, F_i es el flujo de efectivo en el periodo i y T al periodo de retorno de la inversión, en donde la ecuación se cumple; a continuación, se muestra en la tabla indicando el PRD.

Tabla 16

Payback

INVERSIÓN INICIAL	5069,22
ÚLTIMO FLUJO	S/3503,00
POR RECUPERAR	S/1566,22
PR: AÑOS	0,44
Payback: años	2,44

Fuente: Elaboración propia

3.3.8.5 Análisis beneficio/costo o índice de rentabilidad

Con este indicador se pretendió dar mayor confiabilidad a la evaluación económica del proyecto; para realizar el cálculo del beneficio/costo se procedió a dividir el ultimo flujo acumulado entre la inversión.

IV. RESULTADOS

4.1. Dimensionamiento del colector solar.

En la tabla 17 muestran los parámetros de diseño del colector solar

Tabla 17

Parámetros del colector solar

Parámetros calculados para el diseño del colector solar térmico		
Parámetro	**Valores**	**Unidades**
Radiación de marzo	4,18	kWh/m²
Volumen del termotanque	621	L
Número de tubos al vacío	31	tubos
Demanda energética	54 172,8	kJ
Longitud	3 160	mm
Altura	1 550	mm
Diámetro de los tubos	70	mm
Área de captación	4,91	m²

Fuente: Elaboración propia

4.2. Evaluación Económica

Para realizar la evaluación económica se realizaron los cálculos que asumirían el ingreso de instalar el colector solar con un funcionamiento de 5 horas al día; para determinar el ahorro por consumo eléctrico que el colector tendría anualmente cuyos resultados serían asumidos como ingresos que se obtendrían al instalar el colector solar para calentamiento del agua sanitaria; por último se realizaron los cálculos para determinar la inversión inicial que vendría a hacer los gastos de la fabricación del colector solar.

4.3. Flujo de efectivo acumulado.

La figura 6 muestra el flujo de efectivo acumulado para 20 años de duración del proyecto el cual indica que, en los 20 años de funcionamiento del colector solar térmico de tubos de vacío, generaría un ahorro o ingreso de S/. 36 769.

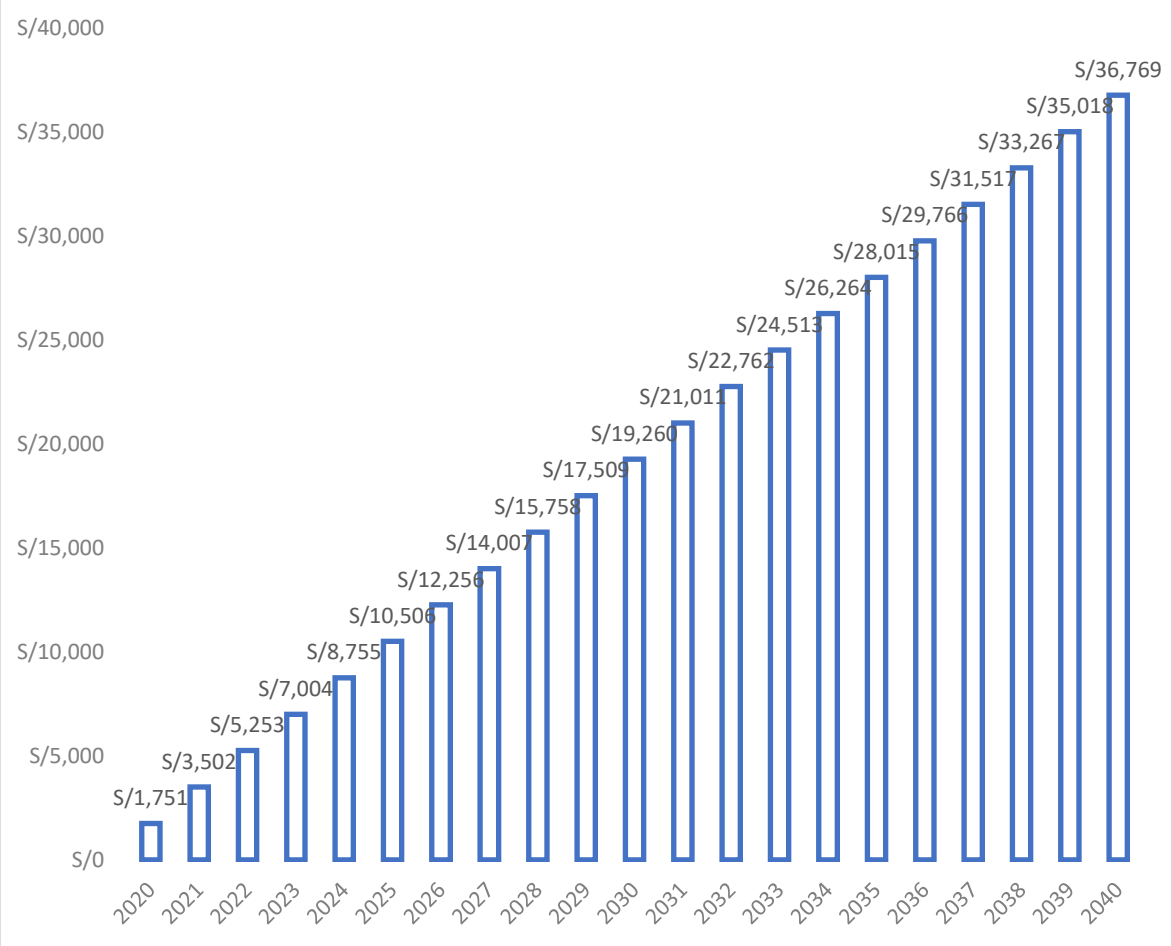


Figura 6. Flujo de efectivo acumulado

Fuente: Elaboración propia

4.4. Indicadores de viabilidad del proyecto

4.4.1. Resultados de los indicadores económicos

Tabla 18

Resultados del análisis económico

Indicadores Económicos	Valores
VAN	S/76 805,79
TIR	34%
Payback (años)	2,44
Beneficio/costo	7,26

Fuente: Elaboración propia

La tabla 18 muestra los resultados de los indicadores financieros a los que se sometió la viabilidad del proyecto, los cuales fueron calculados con el software Microsoft Excel 2019 y muestran ganancias sustanciales; lo cual indica que el proyecto debe ser aceptado.

4.4.2. Comparación de la terma eléctrica vs el colector solar

La figura 7 muestra lo significativo que es instalar un colector solar al ser comparado con una terma eléctrica los gastos que se producen son casi el doble en comparación con el colector solar, lo cual nos indica que resulta factible instalar un colector solar para calentamiento de agua sanitaria que invertir en instalar una terma eléctrica ya que los gastos que ocasionaría esta instalación duplican los gastos que se necesitan al instalar un colector solar.

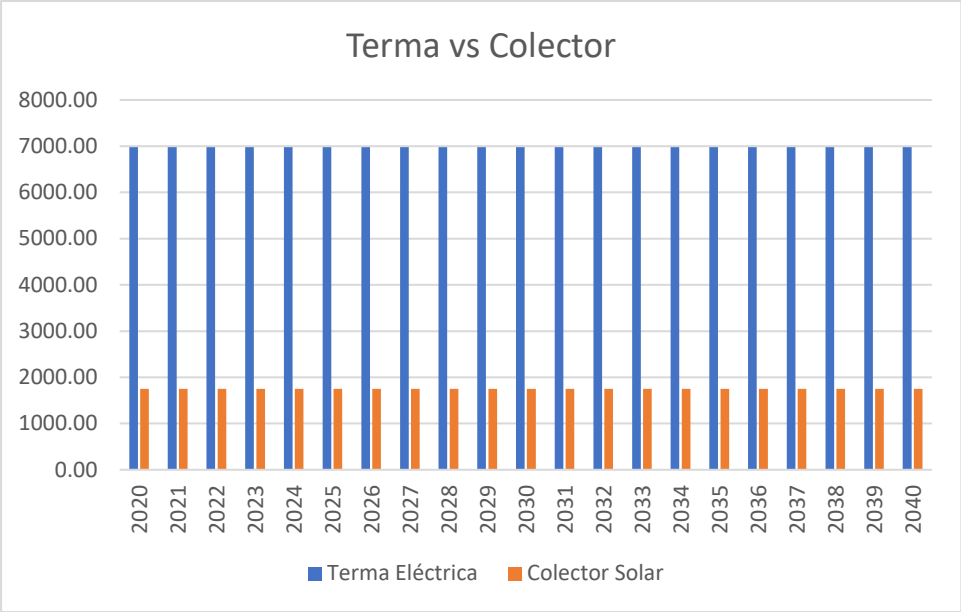


Figura 7. Terma eléctrica VS Colector Solar

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIONES

Se determinó el ángulo de inclinación optima 7,28°, para el dimensionamiento del colector solar, se tomó el ángulo de inclinación de 5° de la NASA más cercano al ángulo de inclinación óptima, se calculó el consumo de 3 litros de agua caliente sanitaria por persona, determinando la demanda de agua caliente sanitaria de 540 litros/día a 40°C; (Sánchez y Iparraguirre, 2014) indicó, según los cálculos, la inclinación óptima es de 25°, el consumo agua caliente sanitaria de 3 litros por persona, determinó la demanda de agua caliente en la institución educativa de 240 litros/día a 45°C.

Se determinó el ángulo de inclinación optima 7,28°, en lo que respecta al dimensionamiento del colector solar, se realizó el diseño de acuerdo a la menor radiación, que se refleja en el mes de marzo, la cual tiene el valor de 4,18 kWh/m²/día, el consumo de agua caliente es de 3 litros por persona, demanda de agua caliente 540 litros/día, nuestro colector solar térmico contará con 31 tubos al vacío, diámetro de los tubos 70 mm, área de captación 4,91 m², volumen del termotanque 621 litros, garantizando el calentamiento de agua sanitaria necesaria para la institución educativa. Por otro lado (Flores Zamalloa, 2018) indicó, según los cálculos, el ángulo de inclinación óptima es de 15,83°, consumo de agua caliente es de 30 litros por persona, demanda de agua caliente 150 litros/día, 8 tubos de vacío, volumen del termotanque 153 litros, en épocas de baja radiación obtenemos mayor área de captación solar.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se llego a determinar la inclinación óptima del colector solar de 7,28°, para el dimensionamiento del colector solar, se tomó el ángulo de 5° de la NASA más cercano al ángulo de inclinación óptima y además se determinó el parámetro del mes de marzo con baja radiación de 4,18 kWh/m²/día.

- Se llego a concluir, que el reglamento nacional de edificaciones del ministerio de vivienda, norma peruana, con dotación diaria es de 50 litros/persona de agua caliente sanitaria, para estudiantes alojados en escuelas, el consumo de agua caliente es mayor porque es utilizado las 24 del día; en este proyecto de investigación que proponemos es para cubrir dos lavatorios, que será utilizado en horas de recreo o cualquier emergencia de lavado de los estudiantes durante las 5 horas de clases, ya que según la bibliografía revisada, para el Perú no se encontró un reglamento equivalente, al reglamento de instalaciones térmicas en edificaciones, norma española, que es de gran importancia para este proyecto de investigación. Con esto quiero decir, que no se utilizó en esta investigación la norma peruana.

- Se llego a determinar que en la institución educativa el consumo promedio de agua caliente sanitaria está determinado por la masa de agua a almacenar y por el tipo de uso, ya sea un sistema puntual o un sistema continuo. En el sistema puntual, el volumen se calcula 15% más que la masa de agua a almacenar en un día y está dada por la ecuación $V_{dep} = 1{,}15M$, la cual se indicó que el volumen de calentamiento necesario de agua sanitaria sería de 621 L/día.

- El diseño óptimo del colector solar térmico para calentamiento de agua sanitaria constaría de 31 tubos al vacío, tendrá una longitud de 3160 mm, una altura de 1550 mm, diámetro de los tubos de 70 mm, un área de captación solar óptima de 4,91 m², el cual contará con un tanque de almacenamiento de 621litros, y los parámetros calculados a partir de la temperatura promedio y radiación solar mínima.

- Los resultados del análisis económico indicaron, que se obtendría un valor actual neto (VAN) de S/. 76 805,79, una tasa interna de retorno (TIR) de 34% y el análisis de beneficio/costo del proyecto mostró que por cada sol invertido se obtendrá una ganancia de S/.6,26 y nuestro proyecto se recupera en 2 años aproximadamente; llegando a concluir que el proyecto es beneficioso.

- El mantenimiento del colector solar térmico se hará cada medio año, 4 horas de trabajo de un técnico con costo de S/40.00 soles.

6.2. Recomendaciones

- Si bien los análisis económicos fueron bastante favorables, para realizar una inversión, se debe realizar un análisis mucho más detallado. Al optar por la ejecución de este tipo de proyectos, este análisis tendrá que determinar a detalle la cantidad exacta de agua caliente, ya que, en épocas de mayor friaje los alumnos querrán utilizar el agua caliente más a menudo.

- Es recomendable revisar el área de instalación, el espacio suficiente y que esté libre de sombras.

- Es recomendable la orientación e inclinación del colector solar térmico es de norte a sur, termotanque orientado al norte y los tubos de vacío orientado al sur; es necesario el uso de la brújula de orientación, la inclinación óptima depende de la latitud del lugar.

- Sería muy recomendable, que al realizar este tipo de proyectos, la municipalidad incentive y ayude a colegas tesistas al diseño de colectores solares para otras instituciones, para calentamiento de agua caliente sanitaria, que no sea solo sanitaria, también para duchas y consumo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alibaba,. (2019a). Recuperado de https://spanish.alibaba.com/product-detail/lebria-3-paintcoat-solar-vacuum-tube-for-solar-water-heater-quality-62390506346.html?spm=a2700.8699010.normalList.1.120873aeZop3m8&s=p

Alibaba,. (2019b). Recuperado de https://spanish.alibaba.com/product-detail/thermostatic-mixing-valve-with-check-valve-solar-water-heater-parts-60776571707.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.4256683a5siIox

Alibaba,. (2019c). Recuperado de https://spanish.alibaba.com/product-detail/etd-a-1-2-automatic-drain-24v-solenoid-valve-with-timer-60726362530.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.62a127fb9OMhq4

Boza, H. P. (2019). Propuesta de colector térmico para la producción de agua caliente en la piscina de la UNCP. *(Tesis de Pregrado).* Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Recuperado de Propuesta de colector térmico para la producción de agua caliente en la piscina de la UNCP: http://181.65.200.104/bitstream/handle/UNCP/5246/T010_46465843_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Calentadores Solares. (15 de Diciembre de 2019). Recuperado de Calentadores Solares: https://www.energiasnaturales.com.mx/calentador-solar-16-tubos.html

Cengel, Y. (2011). *Transferencia de calor y masa* . México: McGraw hill/interamericana Editorial SA.

Coss R. (2005). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión.* México: Limusa S.A.

Camayo et al. (21 de noviembre de 2015). Laboratorio de ensayos de colectores solares térmicos y radiación solar. En L. Camayo (presidencia). *Simposio peruano de energía solar y del ambiente.* Simposio llevado a cabo en el XXII congreso Energía Rural International Consulting, Arequipa.

Eufracio et al. (2019). Evaluación experimental de la eficiencia de un colector solar de tubos evacuados sin y con tubo de calor. *El Reventón Energético, Vol.* 17, 7-17. Recuperado de: http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/ing/n19/1390-650X-ing-19-00089.pdf

Flores Z. C. (2018). Diseño de una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de Puno. *(Tesis de Pregrado).* Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Recuperado de Diseño de una terma solar de tubos al vacío para las condiciones ambientales de Puno: Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8685/Flores_Zamalloa_Christian_Joaqu%C3%ADn.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Infante, V.A. (2007). Perspectivas de la situación energética mundial. *Revista de ingeniería*, 74-78.

Kreith, F. y Manglik, R. (2012). *Principios de transferencia de calor.* México: CENGAGE Learning.

Lannelli. (2017). Eficiencia en el calentamiento de agua sanitaria Argentina. *Energia Renovables y Medio Ambiente*.39, 21-29. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/320382890_Eficiencia_en_el_calentamiento_de_agua_sanitaria_en_Argentina.

Municipalidad Provincial de San Ignacio. (18 de Diciembre de 2019). *Municipalidad Provincial de San Ignacio*. Recuperado de Municipalidad Provincial de San Ignacio: http://munisanignacio.gob.pe/division-politica/

Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios . (2013). Recuperado de http://www.madrid.org/bdccm/normativa/PDF/Instalaciones/Instalaciones%20termicas/Normas%20Tratadas/ESRd10272007.pdf

Rurales, C. F. y Toro Escobar, L. (2019). Diseño y construcción de un sistema de captación y acondicionamiento de agua de lluvia, aser calentada por un colector solar plano con efecto termofisón, para uso domestico sanitario. *(Tesis de Pregrado).* Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador., Quito, Ecuador. Recuperado de https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20145/1/CD%209597.pdf

Rotoplas. (2020). Recuperado de https://www.rotoplas.com.pe/tanque-de-agua-garantaa-de-por-vida-1100-litros/p

Sánchez, P. y Iparraguirre, L. (2014). Diseño y construción y evaluación de colectores solares para calentamiento de agua sanitaria en la Institucion Educativa Cristiana Bereshi de Chimbote. *Tesis de pregrado*. Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de : http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/1924

Sodimac. (2020a). Recuperado de https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/308900/tubo-pvc-3-4%22x-5-m-cr

Sodimac. (2020b). Recuperado de https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/308536/tubo-cpvc-3-4%22x-5-m

Van Horne J. y Wachowicz Jr. M. (2010). *Fundamentos de Administración Financiera* (Vol. 13). México: Pearson Educación.

Weather Spark. (15 de Diciembre de 2019). Recuperado de Weather Spark: https://es.weatherspark.com/y/19305/Clima-promedio-en-San-Ignacio-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o

DEDICATORIAS

Este proyecto se lo dedico a Dios quién constantemente me dio fuerzas y sabiduría para poder realizarlo.

A mis padres, por darme la vida y lo necesario para salir adelante y cumplir mis sueños; y también a mi novia por su apoyo incondicional.

A todos mis seres queridos por estar siempre presentes, dándome consejos y ayudándome durante toda mi formación profesional.

Edvin Santos Quintana

AGRADECIMIENTOS

A Dios;

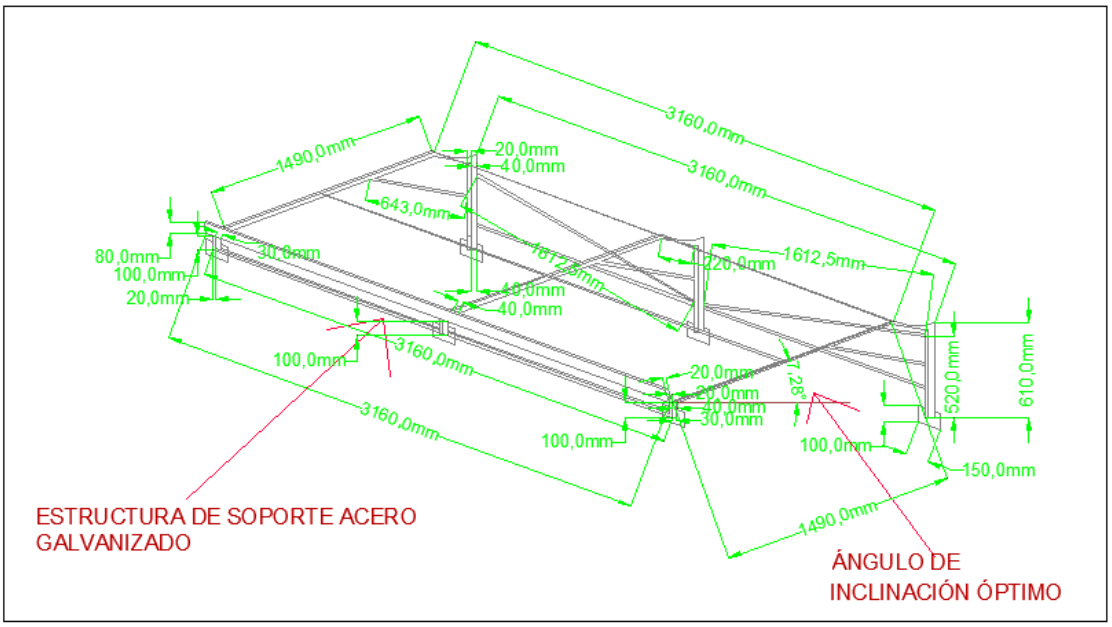
Por darme la fuerza, sabiduría y valor para lograr cumplir uno de mis sueños.

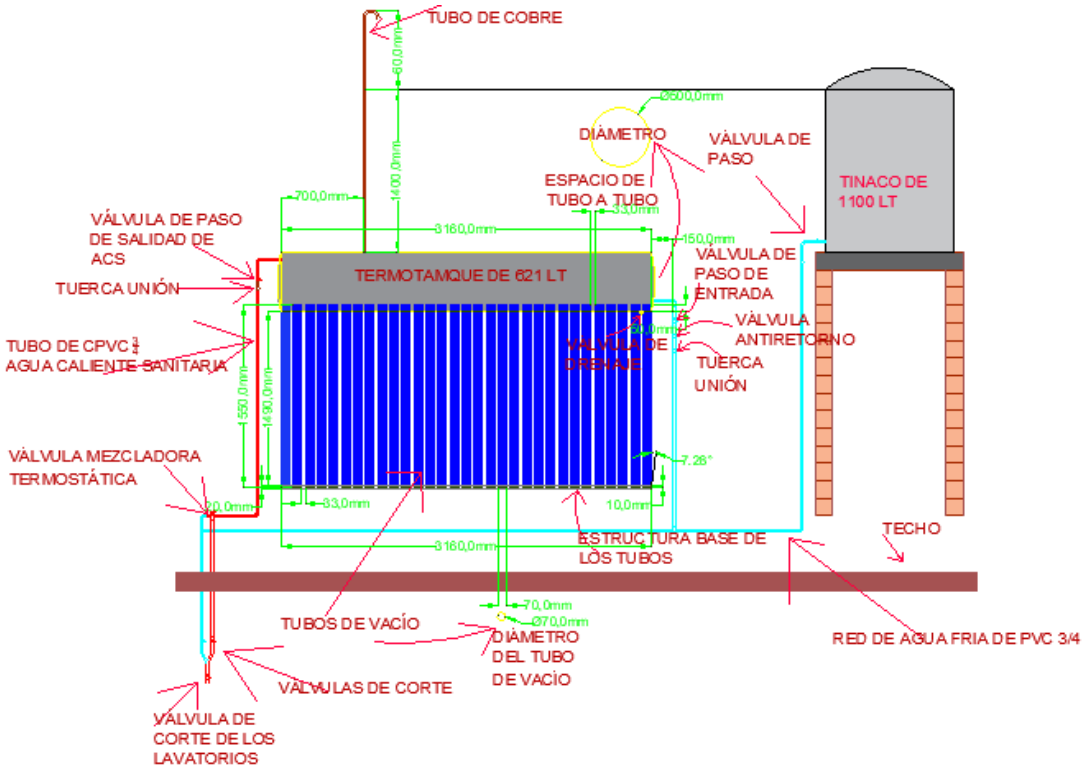
A mis padres;

Por darme la vida y el apoyo constante para cumplir este sueño y a mi novia Kely por su apoyo incondicional.

ANEXOS

Anexo 1. Plano en vista frontal 2D





Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Tubos al vacío

(Alibaba, 2019a)

Anexo 3. Válvula mezcladora Termostática 3/4

Fuente: (Alibaba, 2019b)

Anexo 4. Válvula de paso de CPVC 3/4

Fuente: (Alibaba, 2019c)

Anexo 5. Tubería de PVC

Fuente: Sodimac (2020a)

Anexo 6. Tubería de CPVC

Fuente: Sodimac (2020b)

Anexo 7. Tinaco Rotoplas

Fuente: Rotoplas (2020)

Figura 8. Revisión de diámetros de la tubería

Fuente: Fotografía tomada por el ejecutor del proyecto

Figura 9. Institución educativa donde se lleva a cabo el proyecto

Fuente: Fotografía tomada por el ejecutor del proyecto