



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA  
Y URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE  
AGUA PARA LA PISCINA OLÍMPICA MUNICIPAL  
“VIVERO FORESTAL” DE CHIMBOTE USANDO  
ENERGÍA SOLAR**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autores**

Bach. Crisologo Velasquez, Irwin Guillermo  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2507-3510>  
Bach. Perez Pelaez, Frank Steven  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7917-991X>

**Asesor**

**Dr. Olortegui Yume, Jorge Antonio**  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5734-040X>

**Línea de Investigación**

**Tecnología e innovación en desarrollo de la construcción y la  
industria en un contexto de sostenibilidad**

**Pimentel – Perú**

**2024**

**Diseño de un sistema de calentamiento de agua para la piscina olímpica  
municipal “Vivero Forestal” de Chimbote usando energía solar**

**APROBACION DEL JURADO**

---

**Mtro. VIVES GARNIQUE JUAN CARLOS**  
**Presidente del Jurado de Tesis**

---

**MSc. ROJAS CORONEL ANGEL MARCELO**  
**Secretario del Jurado de Tesis**

---

**Dr. OLORTEGUI YUME JORGE ANTONIO**  
**Vocal del Jurado de Tesis**



## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscriben la DECLARACIÓN JURADA, somos egresado(s) del Programa de Estudios de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

### **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA LA PISCINA OLÍMPICA MUNICIPAL “VIVERO FORESTAL” DE CHIMBOTE USANDO ENERGÍA SOLAR**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Crisologo Velasquez, Irwin Guillermo	DNI: 70562730	
Perez Pelaez, Frank Steven	DNI: 71043764	

Pimentel, 18 de noviembre de 2024

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a mi madre Betty quien siempre estuvo ahí donde más la necesitaba y es mi motivo más grande por salir cada día adelante, a mi padre Guillermo por brindarme su apoyo y sus consejos que me dieron aliento para seguir avanzando y no abandonar lo que un día comencé, Y a mi persona por haber obtenido este gran logro de mi vida.

### **Irwin Guillermo Crisologo Velásquez**

A mis padres, Hernán y Lita que han sido mi apoyo a lo largo de toda mi etapa académica, quienes me han acompañado y apoyado en todo momento. A mis hermanas, quienes me apoyaron en momentos difíciles con palabras de motivación, por ser la base que me ayudo a llegar hasta aquí y son parte fundamental para escribir estas palabras.

### **Frank Steven Pérez Peláez**

## **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios por habernos guiado en todo este transcurso de tiempo, de igual manera agradecemos a nuestros padres por habernos sacado adelante y nos dieron la oportunidad de formarnos profesionalmente.

A nuestro asesor, el MSc. Jorge Olortogui por su apoyo, brindándonos su conocimiento y motivándonos para concluir nuestra investigación.

Y a las personas que nos brindaron la información requerida, se agradece su apoyo incondicional.

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	4
Agradecimientos.....	5
Índice de contenidos.....	6
Indice de Figuras .....	7
Índice de tablas .....	9
Resumen.....	10
Abstract.....	11
I. INTRODUCCIÓN .....	12
1.1. Realidad Problemática .....	12
1.2. Formulación del Problema.....	20
1.3. Hipótesis .....	20
1.4. Objetivos .....	20
1.5. Teorías relacionadas al tema .....	21
II. MATERIALES Y MÉTODO.....	36
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	36
2.2. Variables, Operacionalización .....	36
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección .....	38
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ..	38
2.5. Procedimiento de análisis de datos .....	38
2.6. Criterios éticos .....	40
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
3.1. Resultados .....	41
3.2. Discusión .....	74
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
4.1. Conclusiones.....	76
4.2. Recomendaciones.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	79
ANEXOS .....	83

## Índice de Figuras

Fig. 1 Distribución anual de la irradiancia solar sobre la superficie de la tierra [30] .	22
Fig. 2 Diagrama esquemático de un sistema de calentamiento de agua. ....	23
Fig. 3 Clasificación de los colectores solares térmicos [32] .....	24
Fig. 4 a) Colector solar comercial b) Tubo de vacío.....	25
Fig. 5 Colector de tubo de vacío.....	26
Fig. 6 Colector de tubos de vacío en forma de U.....	27
Fig. 7 Tipos de tanque de almacenamiento de forma horizontal.....	28
Fig. 8 Tipos de tanque de almacenamiento ubicado de manera vertical.....	28
Fig. 9 Diagrama de flujo para el análisis de datos .....	39
Fig. 10 Energía solar incidente diario promedio en el invierno en Chimbote.....	41
Fig. 11 Energía solar incidente diario promedio en el invierno en Chimbote [43] .....	42
Fig. 12 Temperatura diaria promedio del agua por cada mes [43].....	43
Fig. 13 Temperatura ambiente máxima, mínima y promedio por cada mes [43].....	43
Fig. 14 Sistema de calentamiento de agua con colector solar .....	47
Fig. 15 Sistema de calentamiento de agua con colector solar y bomba de calor .....	48
Fig. 16 Sistema de calentamiento con colector solar, panel solar y bomba de calor .....	49
Fig. 17 Esquema de ubicación de componentes de la configuración 1 .....	52
Fig. 18 Esquema de ubicación de componentes de la configuración 2.....	53
Fig. 19 Esquema de ubicación de componentes de la configuración 3.....	54
Fig. 20 Esquema del sistema de calentamiento del agua de la piscina.....	56
Fig. 21 Esquema del intercambiador de calor y la piscina .....	57
Fig. 22 Esquema del tanque de almacenamiento .....	58
Fig. 23 Esquema de la bomba de calor .....	58
Fig. 24 Esquema del colector solar.....	59
Fig. 25 Diagrama de caja negra para el colector solar.....	60
Fig. 26 Grafica paramétrica para el numero de colectores solares .....	63

Fig. 27 Grafica paramétrica para la eficiencia de los colectores solares .....	64
Fig. 28 Grafica paramétrica para el numero tanques de almacenamiento .....	65
Fig. 29 TERMA Solar Magnum de 300 L .....	66
Fig. 30 Bomba de calor para piscinas – HTW-SWP-O-160LIO .....	67
Fig. 31 Intercambiador de calor de placas Alfa Laval.....	67
Fig. 32 Sistema de calentamiento de agua.....	68
Fig. 33 Disposición de colectores solares.....	69
Fig. 34 Sistema de bombeo.....	70
Fig. 35 Sistema de recirculación de agua fría.....	70



## Índice de tablas

Tabla I .....	25
Tabla II .....	37
Tabla III .....	45
Tabla IV .....	45
Tabla V .....	50
Tabla VI .....	55
Tabla VII .....	61
Tabla VIII .....	71
Tabla IX .....	72
Tabla X .....	73

## Resumen

Este trabajo de investigación se desarrolló con el fin de diseñar un sistema de calentamiento de agua con energía solar para la piscina olímpica municipal “Vivero Forestal” de la ciudad de Chimbote – Perú. Para el desarrollo del sistema de calentamiento se recolectó información por medio de entrevistas aplicados a los trabajadores de la piscina olímpica, esta información se empleó para determinar los requerimientos para el diseño y posteriormente estos requerimientos fueron empleados para proponer varios conceptos de diseño para el sistema de calentamiento, cada uno de los conceptos paso por una evaluación empleando una matriz de criterios ponderados y se seleccionó el concepto más adecuado acorde a los requerimientos iniciales. De igual manera se presentaron varias configuraciones para el sistema y se seleccionó la mejor configuración por medio de una matriz de criterios ponderados. Con las características iniciales definidas se realizó un modelo matemático para que mediante un análisis parámetro se pueda obtener el número de colectores solares y el número de tanques de almacenamiento. Los resultados mostraron que para calentar el agua de la piscina se requieren de 50 colectores con la misma cantidad de tanques, y para finalizar la evaluación económica arrojó un VAN de S/ 312,790.88 con un TIR de 15 % y un retorno de la inversión de 5.43 años, lo cual indica el sistema rentable.

Palabras clave: Energía solar, piscina, Calentamiento de agua.

## **Abstract**

This research work was developed in order to design a solar-powered water heating system for the municipal Olympic swimming pool “Vivero Forestal” in the city of Chimbote – Peru. For the development of the heating system, information was collected through interviews with the Olympic pool workers. This information was used to determine the design requirements and later these requirements were used to propose several design concepts for the heating system. Each of the concepts was evaluated using a weighted criteria matrix and the most appropriate concept was selected according to the initial requirements. Likewise, several configurations for the system were presented and the best configuration was selected through a weighted criteria matrix. With the initial characteristics defined, a mathematical model was created so that through a parameter analysis the number of solar collectors and the number of storage tanks could be obtained. The results showed that 50 collectors with the same number of tanks are required to heat the pool water, and to complete the economic evaluation, it showed a NPV of S/ 312,790.88 with an IRR of 15% and a return on investment of 5.43 years, which indicates the system is profitable.

Keywords: Solar energy, swimming pool, Water heating.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

En respuesta al crecimiento demográfico global y a las cada vez más estrictas regulaciones medioambientales, el uso de sistemas de energía renovable ha experimentado un notable aumento, destacándose la energía solar como una de las alternativas más prometedoras. La energía solar no solo se aplica en el ámbito doméstico para la refrigeración de espacios y la calefacción urbana, sino que también juega un papel crucial en la producción de agua dulce y en diversas tecnologías de secado y generación eléctrica [1]. La energía solar es aplicable en diversas regiones del mundo y ofrece una solución valiosa para mitigar el impacto ambiental negativo. Su adaptabilidad para diferentes contextos regionales, considerando aspectos energéticos, de optimización, y económicos, así como sus beneficios ecológicos, es una ventaja significativa.

En las regiones donde el frío severo es una constante, las personas más vulnerables sufren inevitablemente las peores penurias. Este problema es particularmente grave en las zonas rurales más remotas y pobres del país. Durante los meses más críticos, de mayo a septiembre, las temperaturas pueden descender por debajo de 0°C en las primeras horas de la mañana. Además, en invierno, las temperaturas promedio caen a 13.1°C, exacerbando la situación. Una solución innovadora que ha ganado atención recientemente es el uso de energía solar para complementar los sistemas de calefacción, pues su potencial para mejorar la calidad de vida en estas áreas es significativo [2].

Aprovechar la energía solar en regiones rurales y remotas puede ser una solución viable para mejorar la calidad de vida de las personas más afectadas por el frío. Estos sistemas pueden integrarse con tecnologías de almacenamiento de energía térmica para asegurar un suministro constante de calor, incluso durante las noches y días nublados. Además, los sistemas solares térmicos no solo ayudan a reducir los costos de energía, sino que también contribuyen a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que es beneficioso tanto para las comunidades locales como para el medio ambiente global [3].

Los colectores solares son una tecnología prometedora para enfrentar estos desafíos. Estos dispositivos capturan la energía del sol y la convierten en calor, que puede utilizarse para calentar agua o espacios [3]. Estos colectores pueden seguir funcionando incluso en condiciones de bajas temperaturas, proporcionando una fuente confiable de calor durante los meses más fríos. El uso de colectores solares para calentar piscinas es una práctica común en áreas con buena radiación solar. Este método es eficiente tanto técnica como económicamente, especialmente en regiones donde el agua de la red es fría y las temperaturas nocturnas bajan significativamente. El objetivo es mantener la temperatura del agua de la piscina entre 28-32°C durante todo el año, reduciendo así el consumo de energía eléctrica y/o combustibles [4]. La revisión bibliográfica y de autores previos como [10], [12], [14] indicaron que el calentamiento del agua de la piscina mediante energía solar era una vía promisoría a explorar en la solución al problema presente. En este aspecto la instalación de colectores solares es capaz de generar ingresos a lo largo de toda su vida útil, a pesar de que la inversión inicial suele ser bastante alta. Por esta razón, este tipo de instalaciones deben tener una previa evaluación económica que demuestra la rentabilidad del sistema, y en la cual se debe considerar la inversión inicial, los gastos de mantenimiento y la vida útil del sistema.

Cabe mencionar que existen colectores de baja temperatura para sistemas doméstico y de alta temperatura para generar electricidad, estos últimos pueden generar calor a temperaturas de hasta 300°C y se consideran la mejor alternativa a los sistemas de calefacción solar para la eficiencia energética a largo plazo [5]. La integración de colectores solares térmicos con bombas de calor ha dado lugar a una tecnología avanzada conocida como bomba de calor asistida por energía solar "SAHP", por sus siglas en inglés. Esta tecnología mejora la eficiencia del sistema y reduce el consumo de energía eléctrica. Buker y Riffat realizaron un análisis exhaustivo de los sistemas SAHP directos, aunque se ha identificado que uno de los principales desafíos son los costos de mantenimiento a largo plazo [7]. Investigaciones anteriores como la realizada por Freeman et al., analizaron diversos tipos de sistemas SAHP, incluyendo configuraciones en paralelo, serie y de doble fuente, concluyendo que los sistemas de fuente dual, con dos evaporadores, son particularmente

efectivos al extraer energía tanto de un tanque de almacenamiento como del aire ambiente con ayuda de una bomba de calor [8].

En todo el mundo se considera a la natación como un deporte que viene desarrollando en el ámbito educativo y como un deporte profesional. Por lo cual se recomienda que las instalaciones cuenten con una buena infraestructura adecuadas para poder realizar dicho deporte que tienes que cumplir con dichas especificaciones y también que cuente con un agua temperada lo cual demanda un costo elevado por el consumo de energía que se necesita. Calentar las piscinas es esencial por varias razones, en primer lugar, una piscina climatizada proporciona un entorno cómodo y agradable para los nadadores, permitiendo su uso durante todo el año, incluso en climas más fríos. Esto es especialmente importante para aquellos que utilizan la piscina con fines recreativos, terapéuticos o deportivos, ya que el agua a una temperatura adecuada puede mejorar la experiencia de natación y los beneficios para la salud. Además, mantener una temperatura constante ayuda a prevenir problemas de salud asociados con el agua fría, como los calambres musculares y el choque térmico. Desde una perspectiva económica, calentar la piscina puede aumentar el valor de la propiedad y atraer a más usuarios, como en el caso de hoteles y centros recreativos, que pueden así ofrecer servicios durante todo el año.

La piscina del Vivero Forestal que se encuentra ubicado en la dirección de la carretera Panamericana Norte Km 438 de la ciudad de Chimbote, Provincia del Santa, departamento de Ancash. Fue diseñado y construido por la Ex- Corporación Peruana del Santa, en un área total de 402,256 metros cuadrados en el año 1945, gracias a un convenio entre el Perú y el Servicio Cooperativo Interamericano de Salud del Gobierno de los Estados Unidos. Ya bajo la administración de la Diócesis el Vivero recibió apoyo del sector empresarial de Chimbote y se les dio mucho impulso a las actividades patronales, con motivo de la celebración religiosa en homenaje a San Pedrito, patrono de la ciudad.

La piscina "Vivero Forestal" durante sus 45 años de existencia ha contado con muchos clientes los cuales usan las instalaciones para relajarse en familia mientras que otros aprovechan esta estación para tomar clases de natación. Esto a su vez ha generado ingresos

importantes a la municipalidad. Sin embargo, esta ventaja económica se ve afectada durante la época de invierno en donde la temperatura disminuye a 13.1°C. Según estudios ya realizados el agua debería mantenerse temperada en el intervalo de 19 a 32 °C para poder brindar un servicio adecuado a los usuarios. Esto ha venido generando preocupación en la administración municipal, al cual ve mermado sus ingresos durante esta época del año. Una opción que ha tomado énfasis en estos últimos años en la gerencia es la posibilidad de usar energías renovables para temperar el agua de la piscina. En ese sentido hasta ahora la mejor opción que se tiene es usar energía solar mediante el calentamiento del agua usando colectores solares.

En este trabajo se diseñará un sistema de calentamiento para la piscina olímpica municipal “Vivero Forestal” de Chimbote siguiendo una metodología de diseño para climatizar la temperatura del agua de la piscina durante los meses de invierno, y con ello aumentar sus ingresos anuales.

### **Trabajos Previos**

Los trabajos más relevantes que anteceden al presente trabajo de investigación se detallan a continuación:

Saberi Shahmarvandi, et al. (N. Saberi Shahmarvandi, et al., 2022) en su estudio realizaron el análisis de calentadores de agua de placa plana utilizando energía solar (SWHS) en la ciudad de Shahrekord, Irán. En su trabajo los autores tuvieron como objetivo principal suministrar calefacción y agua caliente para uso sanitario y climatización de una piscina en un departamento residencial. Para el análisis se ha seleccionado tres casos de fracción denominados como: bajo, medio y alto, por otra parte, se ha utilizado el software Meteonorm 7.3 para obtener los datos climáticos. Los resultados mostraron que para la mayoría de los casos el suministro de calor se encuentra en el caso de alta fracción solar donde el porcentaje de calor solar suministrado es del 97.8% para el agua caliente sanitaria, 22.3% para la calefacción y 44.3% para la piscina. Con estos valores se puede lograr una reducción de más de 4 toneladas de CO<sub>2</sub> liberados a la atmosfera, además del diagrama de equilibrio energético se ha observado que el 60% de las pérdidas son ópticas

y térmicas. Del análisis económico se concluye que el costo de calor generado más bajo es de \$0.028/kW con un retorno de la inversión de 11.4 años para el caso de alta fracción solar [9].

Gonçalves, Palmero-Marrero y Oliveira (Gonçalves, Palmero-Marrero y Oliveira, 2019), realizaron un estudio para predecir el rendimiento energético de sistemas de calefacción solar en piscinas de cuatro ciudades brasileñas: Brasilia, Fortaleza, Porto Alegre y São Luís. Para el análisis los autores emplearon el método de la utilidad considerándose constante el área de las piscinas y los colectores solares con y sin protectores de vidrio, estos colectores fueron instalados con una inclinación igual a su latitud de cada ciudad y los datos de velocidad del viento, temperatura ambiental y radiación solar se tomaron de Meeonorm en cada ubicación. Para la simulación se tomó como constante los parámetros geométricos de cada colector y los resultados se generaron mediante un algoritmo computacional. Posteriormente se realizó un análisis estadístico mediante ANOVA para verificación de los datos obtenidos. De los resultados los autores indican que los colectores sin protector de vidrio tienen mejor rendimiento que sus similares sin protector. Para una temperatura de piscina de 30°C los resultados muestran que con colectores de 150 m<sup>2</sup> de área la fracción solar anual es del 37% para Brasilia, 69% para Fortaleza, 21% para Porto Alegre y 59% para Sao Luis, mientras que para una temperatura de 26 °C el área se incrementa a 200 m<sup>2</sup> mientras que la fracción solar anual en Brasilia y Porto Alegre aumentó hasta 79% y 44%, respectivamente. A nivel estadístico se concluye que la influencia de la velocidad del viento y la temperatura ambiental es significativamente diferente entre las cuatro ciudades [10].

Li, et al (Y. Li, et al, 2020) en su estudio desarrollaron un nuevo sistema que integra bombas de calor, colectores solares y tanque con materiales de cambio de fase (PCM) para el calentamiento de piscinas exteriores con el objetivo aumentar su disponibilidad en invierno. En este trabajo se dividió en dos problemas fundamentales: el dimensionamiento de los equipos, el cual se resolvió por medio de la implementación de varias fuentes de energía, el segundo problema estaba relacionado al diseño el cual se resolvió empleando



una selección de criterios múltiples para determinar el diseño óptimo. Para el análisis los autores emplearon los softwares TRNSYS y MATLAB para simular diferentes áreas para los colectores solares, la capacidad de calentamiento de las bombas de calor y los volúmenes de los tanques PCM. Los resultados muestran que el sistema es capaz de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en 67.5 % en comparación a un sistema convencional. Además, que el costo operativo diarios promedio estarían alrededor de \$ 24 por piscina, por lo cual la conclusión de los autores fue que el sistema de calefacción propuesto tiene aplicabilidad para su uso en piscinas al aire libre [11].

J. García Álvarez y J. J. Ortiz Picón (García y Ortiz, 2023) en su proyecto de titulación desarrollaron el diseño de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares para las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano en Ecuador. Para el desarrollo del diseño primero analizaron el proceso de calentamiento convencional a base de Diesel, y cuantificaron parámetros de funcionamiento como horas de uso, capacidad de la piscina, temperatura de confort requerida, consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>. En base a estos datos se realizó el diseño del sistema de calentamiento con energías solar. Los resultados mostraron que el sistema reduce las emisiones en 6724.39 kg de CO<sub>2</sub> empleando 16 colectores solares los cuales aportarían alrededor del 46% de la energía que requiere la piscina. Del análisis de rentabilidad económica se indica que la inversión para la implementación de este sistema es de \$ 41869.40 y el retorno de la inversión se realizaría en 3 años. Con esto se concluye que el benéfico a largo plazo es favorable [12].

C. J. Jurado Salguero (Jurado, 2022) en su trabajo realizó el diseño, construcción y automatización de un calentador solar como sistema complementario para una piscina de 360 metros cúbicos de agua en la provincia de Tungurahua, Ecuador. Para el diseño los autores consideraron diferentes tipos de colectores: placa plana, tubos al vacío y parabólico, optando por los colectores de placa plana. Al sistema se le aplicó un control automatizado para optimizar el funcionamiento y el control de la temperatura de salida de la piscina. El análisis económico determinó que el costo total del sistema asciende a \$

1715.6 con un ahorro anual de \$ 746.24 por lo cual es retorno de la inversión se estima en aproximadamente 2 años y 2 meses. Gracias a corto periodo de recuperación y beneficio anual se concluye que el sistema de calentamiento de la piscina es rentable a largo plazo [13].

Alex Carbajal Paucar y Rubén Mejía Almeida (Alex Carbajal y Mejía, 2021) diseñaron un sistema de calentamiento de agua por tubos al vacío con energía solar térmica de una piscina en Amaguaña. Los autores realizaron el análisis termodinámico del sistema mediante cálculos analíticos y de esta manera determinaron el número de colectores adecuados para cubrir la demanda energética de la piscina incluyendo las pérdidas de calor y con la finalidad de elevar la temperatura de 19 a 32 °C aproximadamente. Como resultado de la investigación se estableció que se requiere 30 colectores solares de tubos de vacío modelo SNCH-50 de 50 tubos cada uno con un área de cobertura individual de 7.86 m<sup>2</sup> para el sistema de climatización de la piscina. Del análisis financiero para determinar la rentabilidad del proyecto el valor del TIR es del 12 % con un periodo de recuperación de la inversión inicial de 4.65 años y un VAN de 2874.43 USD [14].

Emilio Alberto Gallo Zapata (Gallo, 2019) realizó un trabajo basado en el desarrollo de un sistema para la climatización de piscinas y obtención de agua caliente sanitaria empleando la energía solar. El desarrollo de este trabajo se dividió en tres partes fundamentales, la primera se enfocó en definir los aspectos generales y particulares del sistema para el desarrollo de los cálculos donde se incluye la energía disponible, el rendimiento del colector y la superficie captadora, en la parte siguiente se expusieron las condiciones de funcionamiento que abarcan aspectos como la ubicación geográfica, condiciones climáticas, horarios de atención y el número de usuarios diarios. Con los datos mencionados anteriormente el autor desarrolló el diseño del sistema y la selección de los componentes adicionales. Para finalizar el autor realizó un análisis económico incluyendo todos los gastos con el fin de determinar la rentabilidad del proyecto con respecto a un sistema convencional [15].

Boza Huarancca, Pelayo (Pelayo, 2019) realizó una propuesta de un colector solar térmico para la producción de agua caliente en la piscina de la Universidad del centro del Perú en el Valle del Mantaro. Para el proceso de diseño el autor inicialmente recopiló información sobre la ubicación geográfica y las condiciones medioambientales del lugar. Para determinar la carga térmica requerida realizó el balance energético considerando los diferentes métodos de pérdida de calor en la piscina, posteriormente realizó la selección del tipo de colector solar en base a la eficiencia, del cual optó por emplear un colector de placa plana sin cubierta. Los resultados arrojaron que la pérdida de calor en la piscina es de 310 kW en total de los cuales 224kW son pérdidas por evaporación. De esto se concluye que la cantidad de energía requerida es alta por lo cual la selección de los colectores solares de alta eficiencia es importante [16].

Arana Torres y Manayay Romero (Arana Torres y Romero, 2018) diseñaron un sistema de calentamiento mediante energía solar de una piscina en Lambayeque. Los autores realizaron cálculos fisicomatemáticos para dimensionar un sistema de calentamiento mediante colectores y paneles solares que incluía recirculación para mantener la temperatura a 26°C. Luego del cálculo se seleccionaron los componentes que este sistema requeriría. Como resultado de esta investigación se determinó que serían necesarios 45 colectores solares de polipropileno para satisfacer la demanda de calefacción de 636.322 kW-h y 82 paneles solares para cubrir una demanda extra de 72.8146 kW-h. Se determinó que la propuesta era rentable económicamente debido a los valores de los indicadores económicos VAN = S/. 9433,011.03 y TIR = 35% [17].

### **Justificación e importancia del estudio**

Se observa con anterioridad que hay una necesidad muy grande para mejorar la rentabilidad de la piscina en la época de invierno lo cual se vuelve una prioridad muy grande para el desarrollo económico de la ciudad de Chimbote, por lo cual se desarrolla este trabajo

de investigación que posee una justificación científica, el tema del sistema terma solar no es muy explotado en la carrera de la ingeniería mecánica eléctrica en el rubro de la energía renovable, realiza esta investigación para el conocimiento de las futuras investigaciones.

Esta investigación también se justifica en el ámbito social, debido al diseño del sistema terma solar la gente podrá hacer uso de la piscina todo el año. Por último, esta investigación también se justifica en el ámbito ambiental, la energía que es captada por el sol es una fuente de alternativa para disminuir la contaminación ambiental que se encuentra en la atmósfera de la planta. Porque además es una fuente de energía renovable, inagotable y no contaminante.

El Por qué se realiza esta investigación, para solucionar la problemática de la falta de rentabilidad y la falta de ingreso de personas en el periodo de invierno en la piscina de la ciudad de Chimbote.

Y el para qué se realiza esta investigación, para incrementar la rentabilidad de la piscina de la ciudad de Chimbote, realizando un diseño de sistema terma solar para calentar agua y así reducir la contaminación ambiental.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿Qué características técnicas y de configuración debe tener un sistema de calentamiento de agua para la piscina del “Vivero Forestal” que emplee energía solar para temperar el agua a la temperatura de confort durante los meses de invierno?

## **1.3. Hipótesis**

NO aplica

## **1.4. Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseñar un sistema de calentamiento de agua para la piscina “Vivero Forestal” de Chimbote usando energía solar para mantener el agua de la piscina a la temperatura de confort.

### **Objetivos específicos**

- Recolectar información relevante para el diseño del sistema de calentamiento de agua.
- Realizar el diseño conceptual y de configuración del sistema de calentamiento de la piscina.
- Modelar matemáticamente el proceso del sistema de calentamiento del agua de la piscina usando la parametrización de variables importantes.
- Elaborar los planos de instalación del sistema de calentamiento de agua.
- Realizar el análisis económico de la propuesta del sistema de calentamiento solar.

### **1.5. Teorías relacionadas al tema**

La energía solar es una fuente de energía renovable que se utiliza ampliamente en todo el mundo. Los calentadores de agua solares son la tecnología más prometedora y se pueden utilizar de manera efectiva para la generación de agua caliente en condiciones climáticas frías, es una solución adecuada para la producción de agua caliente. El principal equipo para aprovechar el calor solar son los colectores solares. En la actualidad, el colector solar más utilizado en el campo del aprovechamiento de la energía solar es el colector solar de tubo de vacío, el cual presenta alta eficiencia, fácil mantenimiento y baja pérdida de energía por vacío entre el absorbente y el tubo exterior [18]–[23]. Cada tubo está rodeado por un tubo de vidrio más grande para crear un vacío y minimizar las pérdidas térmicas, estos colectores tienen un rango de temperatura de funcionamiento más amplio y siguen siendo más eficientes a temperaturas más elevadas que los colectores de tipo placa plana [24]–[26]. Esta tecnología se basa en el uso de colectores solares para convertir la energía de la radiación solar de baja calidad en energía térmica de alta calidad y utilizarla, lo cual es muy importante para satisfacer la demanda energética a largo plazo y reducir las emisiones [27], [28].

El sol es la fuente de energía gratuita e inagotable más importante de la Tierra y proporciona energía limpia, asequible, gratuita y respetuosa con el medio ambiente. Esta energía llega a la tierra en forma de radiación solar y se puede medir por medio de dos magnitudes, la irradiancia solar que corresponde a la potencia de la radiación solar por unidad de área ( $W/m^2$ ) y la irradiación que es la cantidad de energía entregada por la radiación solar por unidad de área ( $Wh/m^2$ ). En teoría, la energía solar tiene el potencial de satisfacer la demanda energética mundial si la tecnología de almacenamiento y distribución es adecuada [29]. En la Figura 1 se muestra la distribución de la irradiancia sobre la superficie terrestre, se puede notar que la región cercana a la línea ecuatorial son las que presentan mayores valores de irradiancia anual, mientras que los polos la irradiancia es significativamente más baja.

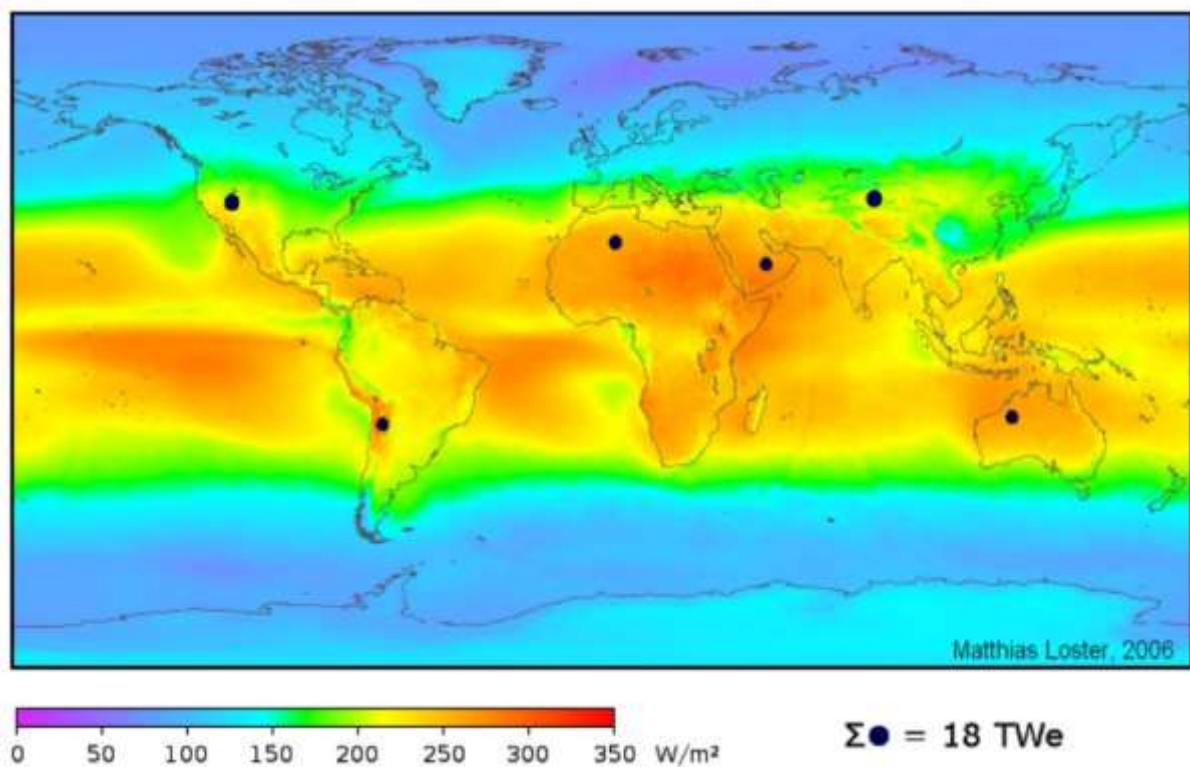


Fig. 1 Distribución anual de la irradiancia solar sobre la superficie de la tierra [30]

El potencial del sol para suministrar a la Tierra energía para satisfacer las necesidades humanas es enorme, pero está determinado por factores naturales como la latitud, la variación geográfica y el clima. Debido a esto, la entrada de luz solar a través de la atmósfera terrestre no es uniforme ni constante en intensidad, lo que hace que la recolección sea más compleja. La atmósfera de la Tierra recibe un promedio de aproximadamente  $342 \text{ W/m}^2$  de energía solar, de los cuales el 30% se dispersa o refleja hacia el espacio, dejando alrededor del 70% ( $239 \text{ W/m}^2$ ) para su uso [29].

En su concepto más sencillo los sistemas de calefacción solar para piscinas no requieren un tanque de almacenamiento externo, ya que la propia piscina se utiliza para el almacenamiento y, en la mayoría de los casos, se utiliza una bomba de filtrado de piscina para recircular el agua a través del colector. Otro concepto como el de la Figura 2 emplean un intercambiador de calor con dos flujos de agua, uno de los flujos proviene de los colectores solares con una mayor temperatura, mientras que el otro flujo se encuentra a menor temperatura es calentado. Las piscinas suelen funcionar a temperaturas entre  $24^\circ\text{C}$  y  $32^\circ\text{C}$ . Dado que hay una gran cantidad de agua en la piscina, la temperatura no cambia mucho, pero la cubierta dentro de la piscina reduce principalmente la pérdida de calor por evaporación [31].

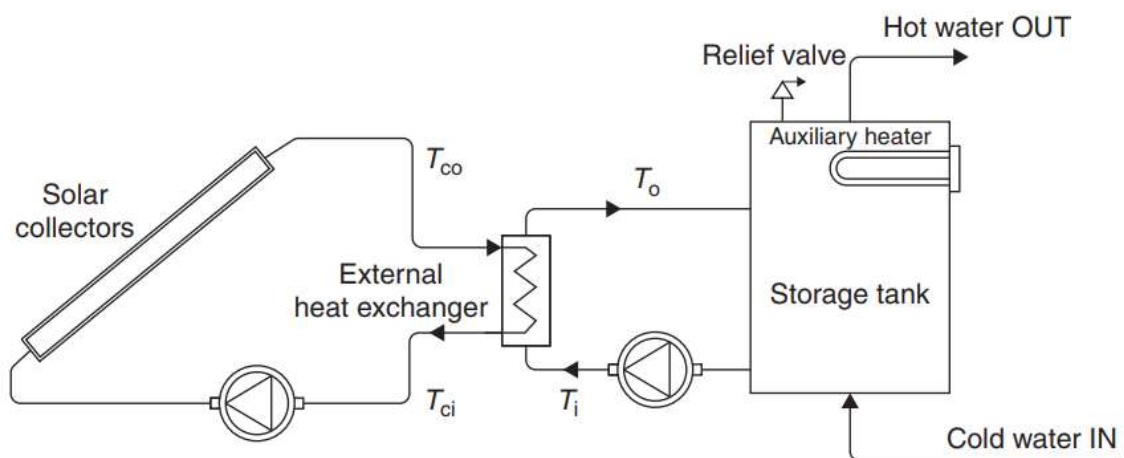


Fig. 2 Diagrama esquemático de un sistema de calentamiento de agua.

El equipo más importante en el equipo de calefacción solar o proceso de calefacción es el colector solar, que recoge la radiación solar entrante, la convierte en calor y transfiere este calor al fluido de trabajo que fluye, como aire, agua, aceite u otro fluido. La energía solar captada del fluido en circulación se transfiere directamente a instalaciones de tratamiento de agua caliente o ambiente o a un depósito de almacenamiento de energía térmica, del que se extrae calor para su posterior uso.

La clasificación de los colectores solares se detalla en la Figura 3.

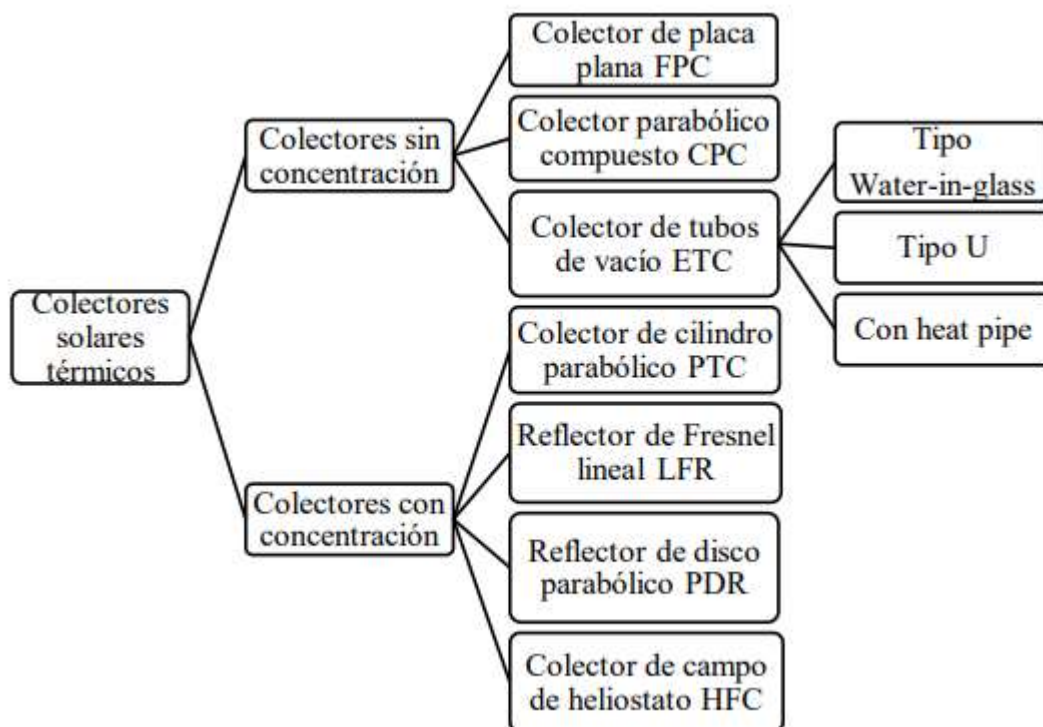


Fig. 3 Clasificación de los colectores solares térmicos [32]

Las termas solares de tubos al vacío son sistemas térmicos que utilizan la radiación solar con el fin de calentar agua a través de colectores hecho de tubos inclinados como se indica en la Figura 4, cada tubo contiene un tubo de forma concéntrico secundario procesado con una tinta oscuro selectivo que puede absorber la radiación solar. El espacio entre los tubos concéntricos está vacío. Este vacío reduce la pérdida de calor por conducción y convección. Los cabezales de tubo drenado se utilizan a menudo en temperaturas moderadas entre 60°C y 80°C y/o en climas muy fríos [33] – [35].



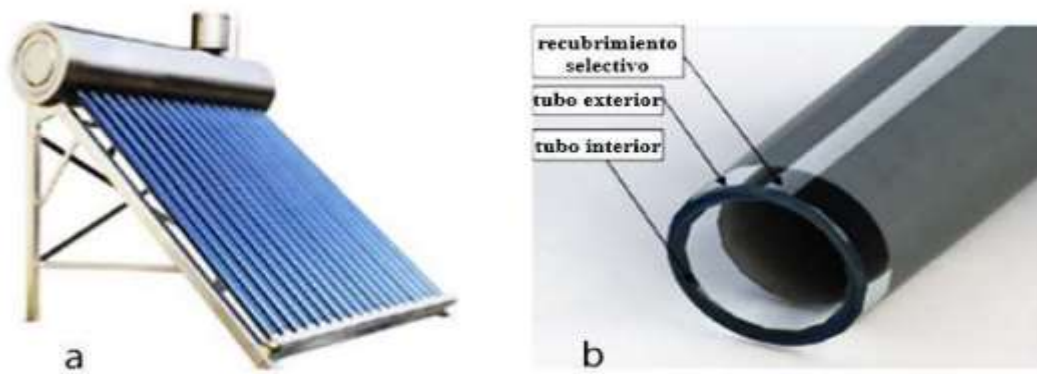


Fig. 4 a) Colector solar comercial b) Tubo de vacío

Los tubos de vacío operan permitiendo que la luz solar atraviese un tubo exterior transparente y sea absorbida por un tubo interior con un recubrimiento selectivo de color, diseñado para reflejar mínimamente. Al pasar la luz del sol a través del tubo exterior, se calienta el tubo interior. Para conservar el calor, se crea un vacío que permite el paso de la radiación solar, pero impide la pérdida de calor hacia el exterior. De esta manera, el tubo interior del colector solar almacena el calor de manera eficiente mientras recoge la radiación solar [36].

Tabla I

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE COLECTORES DE TUBOS DE VACÍO

Parámetros	Valor
Tubo de vidrio	Diámetro 65 mm
Espesor de vidrio	1.6 mm
Longitud del colector	1965 mm
Material de placa absorbente	Cobre
Recubrimiento	Selectivo
Área de absorción	0.1 m <sup>2</sup>

Un colector de tubos de vacío generalmente consta de entre 15 y 50 tubos llenos de agua conectados directamente a un tanque de almacenamiento horizontal, como se muestra en la Figura 5. Un tubo de vacío consta de un par de tubos de vidrio colocados concéntricamente uno detrás del otro y cerrados por un extremo. Crear una superficie selectiva en la superficie exterior del tubo interior y un vacío en el espacio anular entre los tubos interiores [37] – [39].

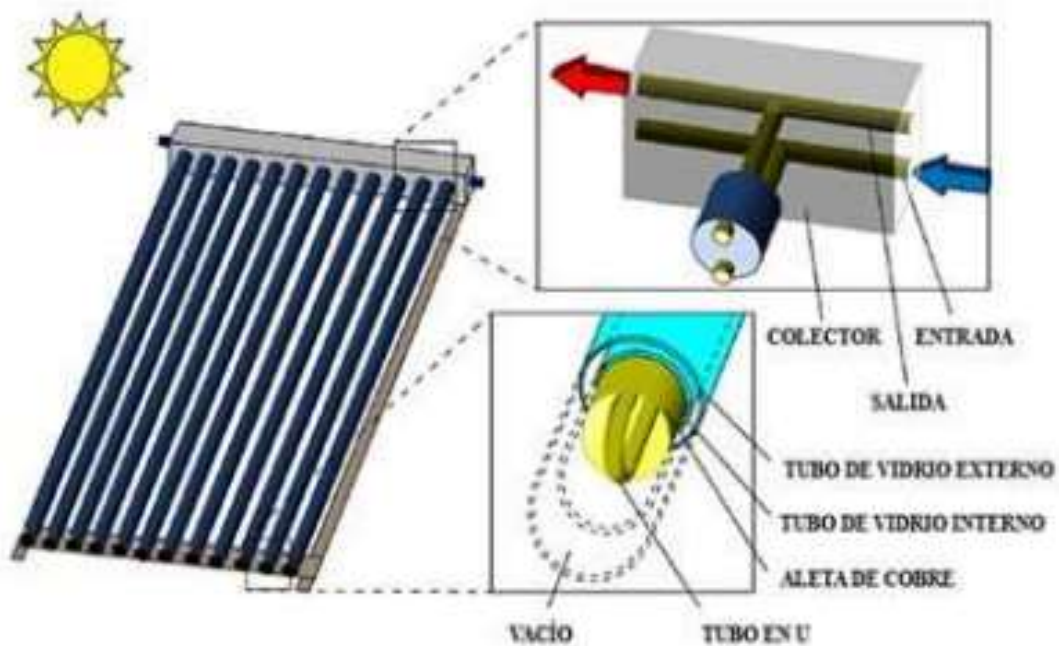


Fig. 5 Colector de tubo de vacío

La transferencia de calor depende del flujo natural de agua a través de una abertura en un extremo del tanque. La radiación solar calienta el agua, que asciende gradualmente por la parte superior de la tubería hasta un tanque de almacenamiento, donde el agua más caliente es reemplazada por agua más fría del tanque.

Estos colectores se caracterizan por llevar los tubos de calor generalmente fabricados de cobre colocados en el centro de los tubos de vacío, un tubo actúa como entrada y el otro como salida del fluido térmico, ambos tubos de cobre están unidos en el fondo del tubo de vacío en forma de U como se observa en la Figura 6, de ahí su nombre.



Fig. 6 Colector de tubos de vacío en forma de U

Además, puede tener aletas metálicas unidas a lo largo del tubo en U para aumentar la transferencia de calor entre la superficie interior del tubo de vacío y el fluido de trabajo [40]. Los tubos hechos de material de vidrio es un tubo que tiene un vacío con una superficie que absorbe la radiación solar en el lado que este el vacío del tubo de vidrio interior. El calor absorbido es trasladado a través de la pared del tubo interno provocando la eliminación por un fluido al contacto directo.

El tanque de almacenamiento se puede clasificar dependiendo de la ubicación puede ser vertical y horizontal, tanque de almacenamiento ubicado de manera horizontal se utiliza típicamente para los equipos compactados. Se encuentra por encima del colector y puede acumular el fluido de manera directa o también puede tener un sistema de intercambiador de calor de manera indirecto. Comúnmente estos diseños solo pueden resistir poca presión y mayormente solo se comercializan en volúmenes de 300, 200 y 150 litros. Pero también podemos encontrar tanque 10 000 litros y solamente se puede diseñar de manera horizontal pero aislado del sistema. En la Figura 7, se pueden ver dos tipos de tanques de almacenamiento. El primero se aprecia un tanque de flujo natural y con doble cobertura, y el segundo tanque en su interior se aprecia una serpentina.

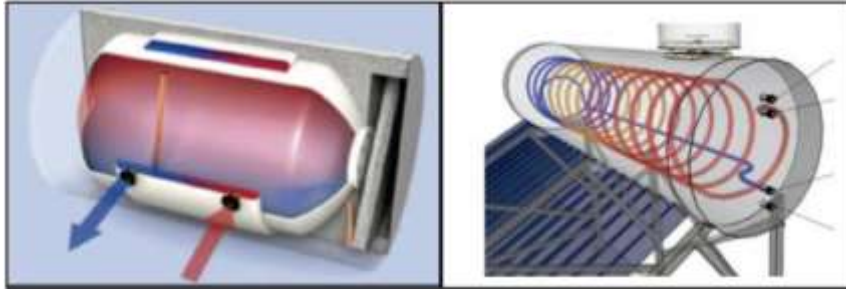


Fig. 7 Tipos de tanque de almacenamiento de forma horizontal

Tanque de almacenamiento ubicado de manera vertical se encuentra aislado, por diferentes tipos de serpentines o también como intercambiadores de calor y a la vez se puede utilizar de diferentes formas al mismo tiempo (agua caliente y calefacción). En general esos diseños son muy pesados y se encuentran con la capacidad de resistir hasta  $6 \text{ kg/cm}^2$  con volúmenes de hasta 300 litros.

El tanque de almacenamiento debe de contener el calor absorbido de la radiación del sol con las menores pérdidas posible. Para poder medir correctamente el sistema de calefacción solar es necesario conocer el coeficiente de pérdida de calor "U" del depósito de agua, expresado en  $(W/m^2 \text{ } ^\circ C)$ . teniendo los mismos principios que los colectores, el tanque de almacenamiento de cumplir los requisitos de la norma IRAM 210.003 que establece los métodos de determinación de rendimiento térmico, en la Figura 8, se puede apreciar a los diferentes tipos de tanques ubicado de manera vertical y de diferentes capacidades de volúmenes [41].



Fig. 8 Tipos de tanque de almacenamiento ubicado de manera vertical

Para determinar la demanda térmica que requiere la piscina para calentar la masa de agua que contiene se emplea el balance de energía de la ecuación siguiente:

$$Q_{colec} + Q_{solar} - Q_{perd} = m * Cp * \Delta T \quad (1)$$

Donde:

$Q_{colec}$ : Calor entregado por el colector solar hacia el agua (kW)

$Q_{solar}$ : Calor cedido al agua de la piscina por la radiación solar directa (kW).

$m$ : Masa de agua de la piscina (kg)

$Cp$ : Calor específico del agua (kJ/kg.K)

$\Delta T$ : Variación de la temperatura (K)

Para determinar el calor entregado por el colector se emplea la ecuación 2.

$$Q_{colec} = \eta * I * A_c \quad (2)$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia térmica del colector solar, (Adimensional)

$I$ : Irradiación solar promedio, (W/m<sup>2</sup>)

$A_c$ : Área del colector, (m<sup>2</sup>)

Siendo ( $\eta$ ) calculado por medio de la ecuación 3.

$$\eta = 0.765 - 3.653 * T - 0.012 * G * T^2 \quad (3)$$

$$T = \frac{T_m - T_a}{G} \quad (4)$$

Donde:

$T$ : Temperatura característica del panel, (°C.m<sup>2</sup>/W)

$T_m$ : Temperatura de operación, (°C)

$T_a$ : Temperatura ambiente, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$G$ : Radiación solar estándar, ( $1000 \text{ W/m}^2$ )

Además, se debe considerar la energía que recibe la misma piscina por la radiación solar que incide sobre ella ( $Q_{solar}$ ).

$$Q_{solar} = \alpha * I * A_s \quad (5)$$

Por otra parte, ( $Q_{perd}$ ) representa todas las pérdidas de calor hacia el medio ambiente en todas las modalidades de transferencia de calor, como se observa en la ecuación 2.

$$Q_{perd} = Q_{conv} + Q_{evap} + Q_{rad} \quad (6)$$

Siendo ( $Q_{conv}$ ) el calor perdido por convección, ( $Q_{evap}$ ) el calor perdido por evaporación y ( $Q_{rad}$ ) el calor perdido por radiación.

Para calcular el calor perdido por convección se emplea la ecuación 6.

$$Q_{conv} = A_s * h_{ca}(T - T_0) \quad (7)$$

Donde:

$A_s$ : Área superficial de la piscina ( $\text{m}^2$ )

$h_{ca}$ : Coeficiente de transferencia de calor ( $\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Para el caso de la evaporación se emplea la ecuación 7.

$$Q_{evap} = A_s * E * I_{fg} \quad (8)$$

Donde:

$E$ : Tasa de vaporización de la superficie del agua ( $\text{kg/m}^2\text{.h}$ )

$I_{fg}$ : Calor latente de vaporización (KJ/kg)

Para una piscina expuesta al exterior la tasa de vaporización se modela con la ecuación

8:

$$E = \frac{(C_1 + C_2 v)(p_w - p_a)}{I_{fg} * 1000} \quad (9)$$

Donde:

$C_1$  y  $C_2$ : Constantes

$v$ : Velocidad del viento sobre la superficie de la piscina (m/s)

$p_w$ : Presión parcial del vapor de agua saturado en la superficie del agua (Pa)

$p_a$ : Presión parcial del vapor de agua en el aire (Pa)

La pérdida de calor por radiación se puede determinar con la ecuación 9.

$$Q_{rad} = A_s * \varepsilon * \sigma * (T^4 - T_0^4) \quad (10)$$

Donde:

$\varepsilon$ : Emisividad del agua (Adimensional)

$\sigma$ : Constante de Stephan-Boltzmann ( $W/m^2 K^4$ )

### **Cálculo del intercambiador de Calor**

Para el cálculo de los flujos masicos que ingresan al intercambiador de calor se emplearon las ecuaciones siguientes:

$$\dot{Q}_{IC} = \dot{m}_P c_{pP} (T_{P,sal} - T_{P,ent}) \quad (11)$$

$$\dot{Q}_{IC} = \dot{m}_T c_{pT} (T_{T,ent} - T_{T,sal}) \quad (12)$$

Donde:

- $\dot{Q}_{IC}$ : Flujo de calor en el intercambiador de calor (kW)
- $\dot{m}_P$ : Flujo masico del circuito de agua de la piscina (kg)
- $\dot{m}_T$ : Flujo masico del circuito de agua del tanque (kg)
- $c_{pP}$ : Calor especifico flujo de agua de la piscina (kJ/kg.k)
- $c_{pT}$ : Calor especifico flujo de agua del tanque (kJ/kg.k)
- $T_{P,ent}$ : Temperatura de entrada del agua de la piscina (°C)
- $T_{P,sal}$ : Temperatura de salida del agua de la piscina (°C)
- $T_{T,ent}$ : Temperatura de entrada del agua del tanque (°C)
- $T_{T,sal}$ : Temperatura de salida del agua del tanque (°C)

### **Cálculo del tanque de almacenamiento**

El volumen del tanque se estima en base a la energía que debe almacenar, esta energía se obtiene de la ecuación 12.

$$E_T = Q_{perd} * t_{sum} * 3600 \quad (13)$$

Donde:

- $E_T$ : Energía calorífica almacenada en el tanque (kJ)
- $Q_{perd}$ : Calor perdido por la piscina (kW)
- $t_{sum}$ : Tiempo de suministro de agua caliente (h)

Con el valor de la energía requerida se estima la masa necesaria en el tanque con la ecuación siguiente:

$$m_T = \frac{E_T}{c_{pT} (T_{T,sal} - T_{T,ent})} \quad (14)$$



Donde:

$m_T$ : Masa de agua almacenada en el tanque, (kg)

$E_T$ : Energía calorífica almacenada en el tanque (kJ)

Para el volumen del tanque se emplea la ecuación:

$$V_T = \frac{m_T}{\rho_T} \quad (15)$$

Donde:

$V_T$ : Volumen de agua almacenada en el tanque, (m<sup>3</sup>)

$\rho_T$ : Energía calorífica almacenada en el tanque (kg/m<sup>3</sup>)

En una bomba de calor la relación entre el calor entregado y la potencia consumida se denomina coeficiente de desempeño (COP), el cual se expresa con la formula siguiente.

$$COP = \frac{Q_H}{W_{in}} \quad (16)$$

Donde:

$COP$ : Coeficiente de desempeño (Adimensional)

$Q_H$ : Calor entregado (kW)

$W_{in}$ : Trabajo de la bomba (kW)

### **Modelo matemático de un colector solar de tipo placa**

Para determinar el área de transferencia de calor del colector solar se emplea el balance de energía en el colector por medio de la ecuación siguiente:

$$\dot{Q}_{s,p} - \dot{Q}_{p,rad} - \dot{Q}_{p,conv} - \dot{Q}_{ins} = \dot{Q}_U \quad (17)$$

Donde:

$\dot{Q}_{s,p}$ : Calor absorbido por el colector solar (W)

$\dot{Q}_{p,rad}$ : Calor perdido por radiación (W)

$\dot{Q}_{p,conv}$ : Calor perdido por convección (W)

$\dot{Q}_{ins}$ : Calor perdido por el aislamiento (W)

$\dot{Q}_U$ : Calor útil entregado al agua (W)

El calor absorbido por el colector solar depende de la radiación y su área superficial.

$$\dot{Q}_{s,p} = A_p(\tau\alpha)\dot{q}_s \quad (18)$$

Las pérdidas de calor por radiación se expresan con la ecuación siguiente:

$$\dot{Q}_{p,rad} = A_c h_{p,rad}(T_p - T_c) \quad (19)$$

Las pérdidas de calor por convección se obtienen de la ecuación:

$$\dot{Q}_{p,conv} = A_c h_{p,conv}(T_p - T_c) \quad (20)$$

El calor perdido a través del aislamiento se calcula con la ecuación:

$$\dot{Q}_{ins} = A_c h_{ins}(T_{ins} - T_{amb}) \quad (21)$$

Finalmente, el calor útil entregado al agua se obtiene de la ecuación

$$\dot{Q}_U = \dot{m}C_p(T_o - T_i) \quad (22)$$

Por medio del Valor Actual Neto (VAN) se puede valorar las inversiones de un proyecto.

Del resultado del VAN podemos determinar si el proyecto es rentable o no, bajo uno de los siguientes escenarios:

- Si el VAN de un proyecto es positivo, el proyecto crea valor.
- Si el VAN de un proyecto es negativo, el proyecto destruye valor.
- Si el VAN de un proyecto es cero, el proyecto no crea ni destruye valor.

Para calcular el VAN se empleó la función de EXCEL que corresponde a la ecuación siguiente:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Q}{(1-i)^t} - I_0 \quad (23)$$

Donde:

*VAN*: Valor Actual Neto

*Q*: Flujo de caja en el periodo “t”

*n*: Numero de periodos

*i*: Tasa de descuento

*I*<sub>0</sub>: Inversión Inicial

Despejando la ecuación VAN para determinar la tasa de descuento que deje en cero a al VAN se obtiene la ecuación de la Tasa Interna de Descuento (TIR) cuya ecuación que corresponde a la función empleada en EXCEL es:

$$TIR = \frac{-I_0 + \sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n i \cdot Q_i} \quad (24)$$

Para emplear las ecuaciones anteriores es necesario contar con el flujo de caja, el cual se realizó para un lapso de 12 meses.

Para determinar el periodo de retorno de la inversión (PRI)

$$PRI = \frac{\textit{Inversion inicial}}{\textit{Flujo de caja efectivo anual}} \quad (25)$$

## II. MATERIALES Y MÉTODO

### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Tipo de investigación: según su objetivo la presente investigación del tipo aplicada, porque a través de conocimientos previos se busca resolver el problema planteado, el cual corresponde a calentar el agua de piscina empleando energía solar.

Diseño de Investigación: Se tendrá un diseño experimental basado en un modelo matemático para verificar el comportamiento del sistema posterior al diseño planteado. Según su número de veces es transversal porque los datos recopilados serán tomados en punto determinado de tiempo, por otra parte, es prospectivo porque con los datos obtenidos se predecirá el comportamiento futuro del sistema bajo los límites establecidos en el diseño.

### 2.2. Variables, Operacionalización

La variable independiente es la energía solar requerida, y sus indicadores son: la cantidad de radiación solar disponible, el área de superficie de captación y la demanda térmica. La variable dependiente es el calentamiento del agua de la piscina del Vivero Forestal y sus indicadores son el número de colectores, el número de tanques, la temperatura de salida del agua y el tiempo de calentamiento.

En la operacionalización de las variables se presenta la variable dependiente e independiente con sus definición conceptual y operacional, así como también la dimensiones e indicadores de cada variable. Para esta investigación con el enfoque cuantitativo las variables consideradas son del tipo numérico con escalas de medición de razón e intervalo. En la Tabla II, se encuentra ordenada la información para la operacionalización de variables.

Tabla II

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Energía solar requerida	Energía que se obtiene a partir de la radiación del sol y que se convierte en otros tipos de energía, para su uso en diferentes aplicaciones [41].	Se emplea la radiación del sol para luego transfórmalo en energía térmica para calentar cualquier fluido [42]	Parámetros de diseño	Radiación solar disponible	Registro bibliográfico	$W/m^2$	Numérica	Razón
				Superficie de captación	Ficha de registro	$m^2$	Numérica	Intervalo
				Demanda térmica	Ficha de registro	$kW$	Numérica	Razón
				Tiempo de calentamiento	Ficha de registro	horas (h)	Numérica	Intervalo
				Temperatura de salida de agua caliente	Ficha de registro	$^{\circ}C$	Numérica	Intervalo
Calentamiento de agua	Proceso por el cual se eleva la temperatura del agua a un valor determinado [].	Elevar la temperatura del agua de la piscina hasta alcanzar la temperatura de confort [].	Parámetros de solución del diseño	Numero de colectores	Ficha de registro	Adimensional	Numérica	Intervalo
				Numero de tanques	Ficha de registro	Adimensional	Numérica	Intervalo

### **2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección**

La población: Las 4 piscinas en la provincia del Santa Ancash

La muestra: La piscina del Vivero Forestal en la provincia del Santa en Ancash

Muestreo no probabilístico, de tipo de muestreo por conveniencia.

### **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

Como técnica se utilizó la observación y como instrumento la ficha de registro lo cual permitió conocer el ambiente donde se encuentra la piscina, y ver la cantidad de espacio disponible que se puede emplear para dimensionar los colectores solares; como ultima técnica se utilizó el análisis documental. Como instrumento la ficha de registro de datos permitió obtener información de las diferentes fuentes bibliográficas, analizando trabajos de investigación sobre la utilización de la energía térmica, radiación solar, termas solares, así como también información técnica, como manuales y catálogos para la selección de los componentes del sistema de calentamiento de agua.

### **2.5. Procedimiento de análisis de datos**

Esta investigación iniciará la recolección de información del Vivero Forestal de la Ciudad de Chimbote donde se realizará un análisis documental, exhaustivo de diferentes fuentes como: libros, artículos científicos, tesis de investigación científica, informes técnicos para obtener información técnica e instrumentación que me permitirá recolectar información por medio de la vista técnica, para lo cual se usara la técnica de análisis documental, el instrumento será la ficha de registro de datos de la radiación solar que se encuentran disponibles en la página de SENAMHI. Para identificar el lugar exacto de la piscina se empleó GOOGLE MAPS donde los datos de la posición se emplearon en los cálculos termodinámicos del dimensionamiento del conjunto de colectores solares. Para estos cálculos se empleó un software de ingeniería por medio del cual se realizó el análisis paramétrico. Al final se evaluó económicamente la investigación, mediante las ecuaciones del TIR y el VAN.

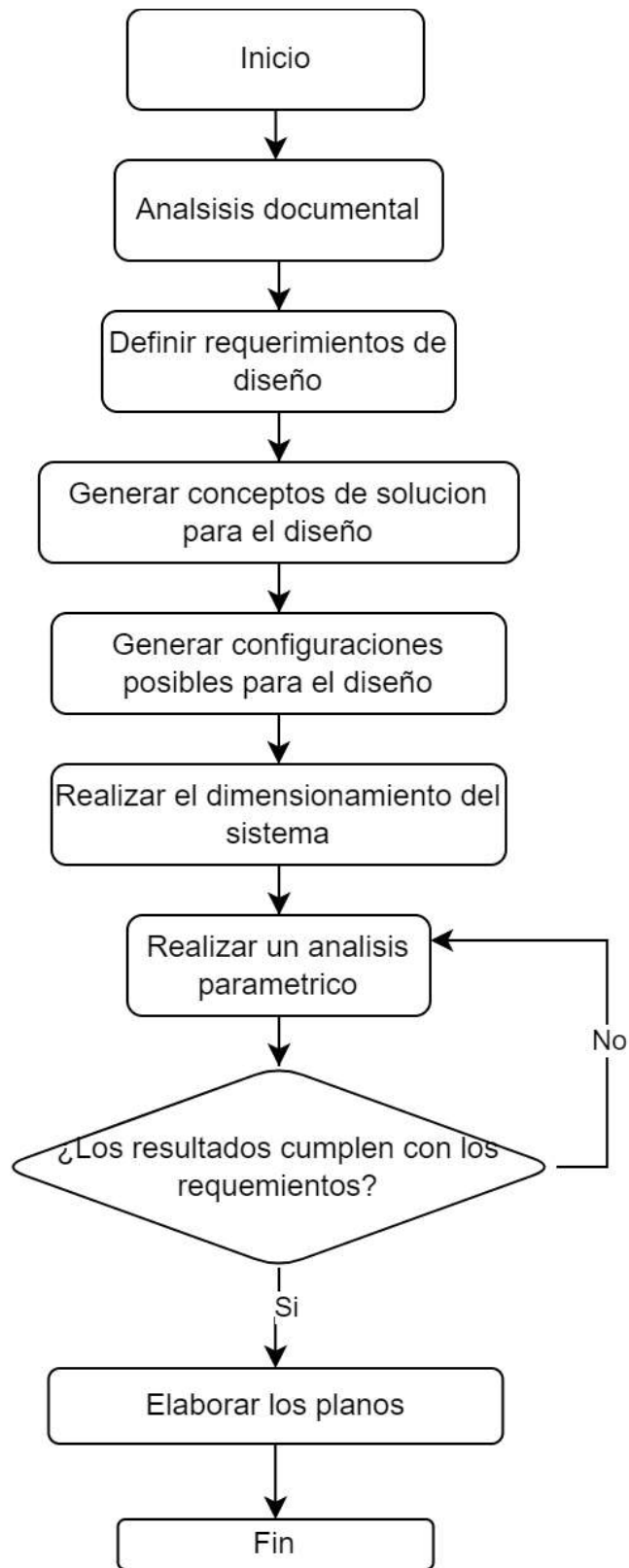


Fig. 9 Diagrama de flujo para el análisis de datos

## **2.6. Criterios éticos**

Esta investigación está dominada por principios éticos para proteger la autonomía y el respeto por los derechos de autor. Se comenzará realizando una búsqueda de diferentes fuentes de información confiables, de una manera responsable y ética; sin realizar plagio de otros autores de acuerdo con los comandos estándar IEEE y respetando sus ideas.

Como parte de este estudio, protegeremos de manera confiable los derechos de las personas que determinan libremente la participación de esta investigación, responsabilidad y el compromiso de los investigadores de llevar a cabo su trabajo de manera justa, imparcial y respetuosa hacia todos los involucrados, incluidos los participantes, la comunidad científica y la sociedad en general.

En el contexto de este proyecto de investigación, se dará especial atención al principio de justicia, es por ello por lo que es importante comunicar los resultados de manera clara y la integridad de la información obtenida en el estudio, para hacer esto, la evaluación de los resultados y el análisis exhaustivo se realizan utilizando el programa anti plagio TURNITIN que garantiza la originalidad y calidad de los resultados adquiridos.



### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### a) Recolectar información para el diseño del sistema de calentamiento

##### - Información sobre la piscina del Vivero Forestal

La ubicación exacta de la piscina del Vivero Forestal se obtuvo de los datos proporcionado por Google Maps donde las coordenadas GPS son 9°03'31.3"S 78°35'29.3"W. En la Figura 10 se puede ver la imagen entregada por Google Maps para estas coordenadas. La piscina que se encuentra en la imagen tiene como dimensiones 25 metros de largo, 12.5 metros de ancho y una profundidad promedio de 1.6 m, lo hace que la piscina tenga un volumen de 500 m<sup>3</sup>. Además, frente a la piscina se encuentra un edificio de con un área techada de 312.5 m<sup>2</sup> y a los alrededores áreas verde. Toda esta se encuentra disponible para la instalación de colectores solares para el sistema de calentamiento.



Fig. 10 Energía solar incidente diario promedio en el invierno en Chimbote

## b) Información sobre las condiciones climáticas en Chimbote

La información de las condiciones climáticas del Vivero Forestal en Chimbote se obtuvo de la plataforma online de Weather Spark, este sitio web contiene información detallada de la temperatura, el viento y la radiación solar en Chimbote.

La energía solar disponible para la ubicación del Vivero Forestal se puede ver en la Figura 11, el cual corresponde a la energía solar incidente por metro cuadrado durante los meses de invierno, se escogió este periodo debido a que el objetivo de la piscina es poder operar en la temporada de invierno calentando el agua de la piscina. Para efectos de diseño se tomó la peor condición posible en este periodo tiempo, el cual corresponde al mes de Junio con un valor de 5.8 kWh/m<sup>2</sup>, que a su vez equivale a una irradiación solar promedio diaria de 483.3 W/m<sup>2</sup>, por contraparte, en el mes de agosto la cantidad de energía que se puede obtener es de 6.7 5.8 kWh/m<sup>2</sup> lo que equivale a una irradiación solar promedio diaria de 558.3 W/m<sup>2</sup>. Con estos valores se puede estimar el área que debe tener el colector solar para entregar la potencia requerida.

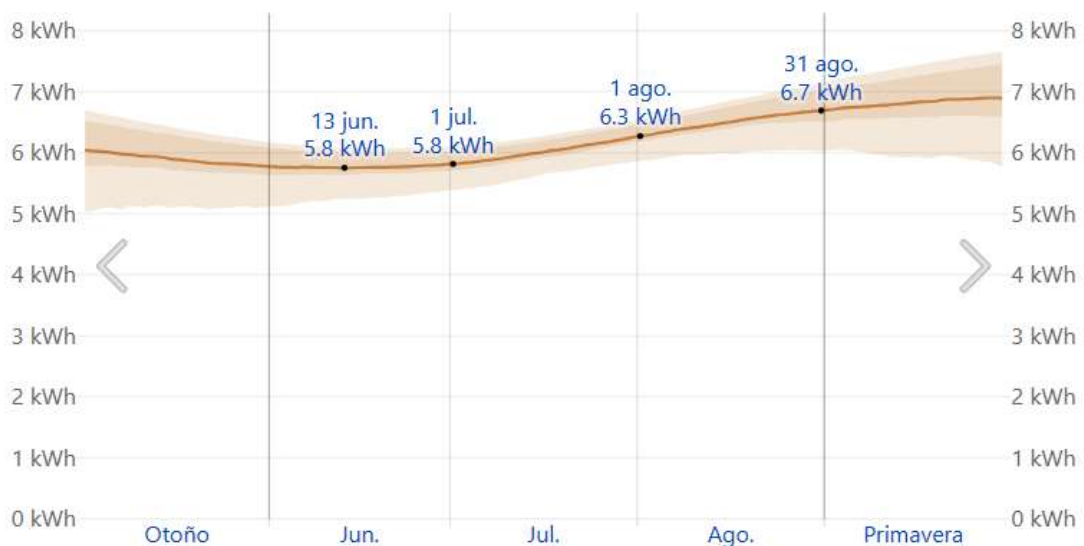


Fig. 11 Energía solar incidente diario promedio en el invierno en Chimbote [43]

De igual manera en la Figura 12 se presentan los datos de la temperatura promedio del agua en cada mes del año, se puede ver que la menor temperatura se

alcanza entre Septiembre y Octubre con un valor de 17 °C, pero para los meses de invierno la temperatura promedio es de 18 °C.

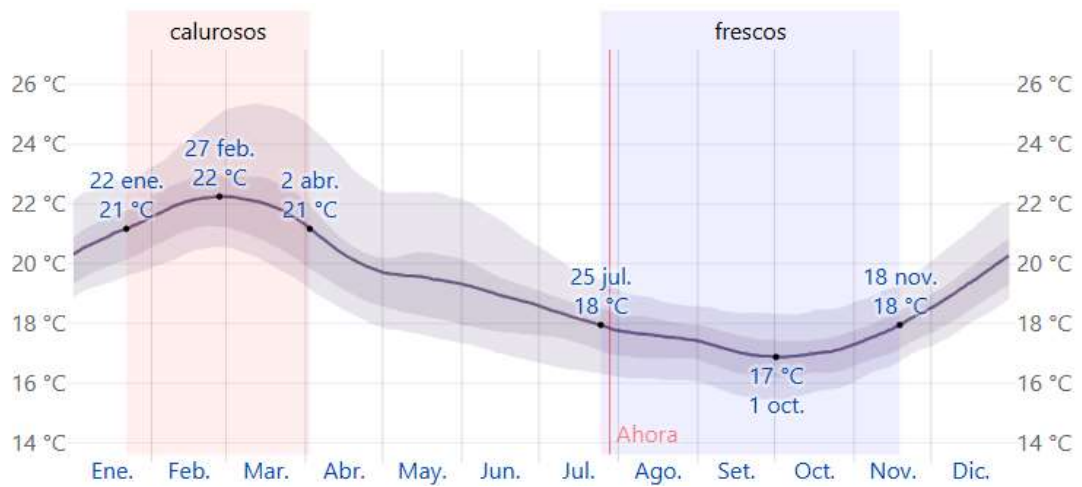


Fig. 12 Temperatura diaria promedio del agua por cada mes [43]

Para el caso de la temperatura ambiente la Figura 13 muestra información de los valores máximos y mínimos por cada mes. Para la temporada de invierno los valores promedios son 18 °C para el mes de Junio, 17 °C para Julio y 16 °C para Agosto.



Fig. 13 Temperatura ambiente máxima, mínima y promedio por cada mes [43]

### **c) Demanda térmica para el calentamiento de la piscina**

Con la información obtenida se realizó el cálculo de la demanda térmica para calentar la piscina durante el invierno, para el cálculo se consideró la temperatura ambiente promedio de la Figura 13. Para invierno la temperatura mínima promedio anual oscila entre 15 °C y 17 °C y la temperatura máxima oscila entre 18 °C y 20 °C para la misma temporada la temperatura promedio por hora en un día típico puede oscilar entre los 13 °C a los 18 °C, donde las horas más frías corresponden a las horas de la noche. Además de la Figura 12 se sabe que la temperatura a la que ingresa el agua a la piscina varía entre los 17 °C y los 18 °C. Para efectos de cálculo se considerará como condición crítica cuando el agua se encuentra a una temperatura de 15 °C y el medio ambiente a una temperatura promedio de 13 °C, siendo que este debe alcanzar la temperatura de confort de 30 °C, que es la temperatura máxima de confort encontrada en la revisión bibliográfica [44,45,46].

El cálculo de la demanda térmica considera el calor necesario para elevar la temperatura del agua de la piscina hasta la temperatura de confort. Considerando que el volumen máximo de la piscina es de 500 m<sup>3</sup> y la densidad del agua a la temperatura promedio de 22.5 °C la masa de agua total es de 498750 kg y requiere de 72.24 kW de potencia calorífica durante un periodo de 120 h para calentar el agua hasta la temperatura de confort. Este nivel de potencia se emplea la primera vez que se va a calentar la piscina y depende inversamente del tiempo de calentamiento; si se desea reducir el tiempo de calentamiento del agua se empleará una mayor cantidad de potencia, lo cual requerirá de una mayor cantidad de colectores. En la demanda también se considera las pérdidas de calor de la piscina hacia el medio ambiente, lo cual se puede dar principalmente por evaporación, convección y radiación. Para mantener el agua de la piscina caliente es necesario que el sistema de calentamiento entregue la misma cantidad de energía que se pierde. Los resultados de la demanda termia se resumen en la Tabla III.

Tabla III

DEMANDA TÉRMICA PARA EL CALENTAMIENTO DE LA PISCINA

<b>Característica</b>	<b>Limites</b>	<b>Unidades</b>
Volumen de agua	500	m <sup>3</sup>
Temperatura ambiente	13	° C
Temperatura inicial de agua de la piscina	15	° C
Temperatura final de agua de la piscina	30	° C
Tiempo de calentamiento del agua	120	h
Calor útil requerido	72.24	kW
Calor perdido por evaporación	0.16	kW
Calor perdido por convección	23.38	kW
Calor perdido por radiación	27.72	kW
Calor perdido total	51.26	kW

**d) Requerimientos de diseño para el sistema de calentamiento**

Con las estimaciones realizadas hasta este punto y la información obtenida de demanda térmica se ha elaborado la Tabla IV en la cual se presentan los requerimientos de diseño para el sistema de calentamiento. Estos requerimientos son las bases que delimitan la elaboración de conceptos de diseño. Para efectos de diseño se consideró la condición más crítica para el sistema de calentamiento.

Tabla IV

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

<b>Característica</b>	<b>Limites</b>	<b>Unidades</b>
Área superficial de la piscina	312.5	m <sup>2</sup>
Área disponible para los colectores	315	m <sup>2</sup>
Temperatura de confort	30	° C
Tiempo de calentamiento	120	h

## **e) Diseño conceptual y de Configuración**

### **- Diseño Conceptual**

En el diseño conceptual se ha propuesto tres conceptos de diseño para el sistema de calentamiento de agua de la piscina del “Vivero Forestal”. Estos conceptos de diseño tienen como prerrequisito emplear como fuente de energía la energía solar. Para cada concepto se ha realizado una descripción de sus componentes junto a las ventajas y desventajas que los caracterizan.

### **Concepto de solución N° 1. Sistema de calentamiento de agua con colector solar**

El primer concepto de diseño (Figura 14) emplea un colector solar (CS) para calentar el agua que posteriormente es llevado hacia el tanque de almacenamiento de agua (T) por medio de una bomba (B1), como la temperatura es mayor que la temperatura requerida se emplea un intercambiador de calor (IC) para transferir el calor hacia la zona de baja temperatura, la bomba (B2) se encarga de recircular el fluido de alta temperatura mientras que la bomba (B3) se encarga de llevar el agua de la piscina hacia el intercambiador de calor. En este sistema la regulación de temperatura se realiza por medio del control del flujo de agua caliente hacia el intercambiador de calor y sistema de sensado. La principal ventaja de este concepto de diseño radica en la capacidad del tanque de almacenar agua caliente para su uso en horas en las que la radiación solar es escasa o ausente como por ejemplo las horas de la noche. La mayor desventaja se encuentra en el costo de fabricación y el aislamiento térmico ya que es necesario evitar pérdidas de calor en el tanque para aumentar la disponibilidad del agua caliente, por otra parte, la eficiencia total del sistema se ve afectada por la cantidad de equipos y la eficiencia individual de cada uno de ellos, también como gasto adicional se debe considerar el consumo de energía eléctrica que necesitan las bombas hidráulicas.

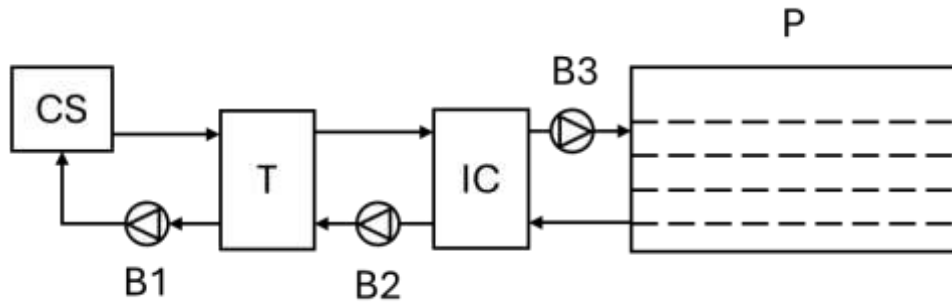


Fig. 14 Sistema de calentamiento de agua con colector solar

### Concepto de solución N° 2. Sistema de calentamiento de agua con colector solar y bomba de calor

En este concepto el sistema de calentamiento que se muestra en la Figura 15 está conformado por un colector solar (CS) que trabaja en conjunto con una bomba de calor, el cual a su vez está conformado por un evaporador (EV), un compresor (CM), una válvula de expansión (VE) y un condensador (CD) que se encarga de ceder su calor hacia el flujo de agua que se almacena en el tanque (T), el tanque de almacenamiento a su vez transfiere el calor al agua de la piscina mediante un intercambiador de calor (IC) hacia el circuito de baja temperatura que llega a la piscina (P).

Para el transporte del agua se emplean bombas hidráulicas (B1, B2, B3 y B4) en cada uno de sus respectivos circuitos tal y como se observa en la Figura 15. Las ventajas de este concepto son el aprovechamiento de calor del tanque de almacenamiento en horas de la noche y una mayor eficiencia debido a la bomba de calor el cual es más eficiente cuanto mayor es la temperatura que llega al evaporador. Como puntos negativos se tienen el aspecto económico ya que al haber mayor cantidad de componentes la inversión inicial será mayor en comparación con el concepto de diseño 1, además el circuito de la bomba de calor y tanque deben estar bien aislado para evitar pérdidas de calor elevados; finalmente otro punto a considerar es el consumo de energía eléctrica de las bombas hidráulicas que en este caso son cuatro.

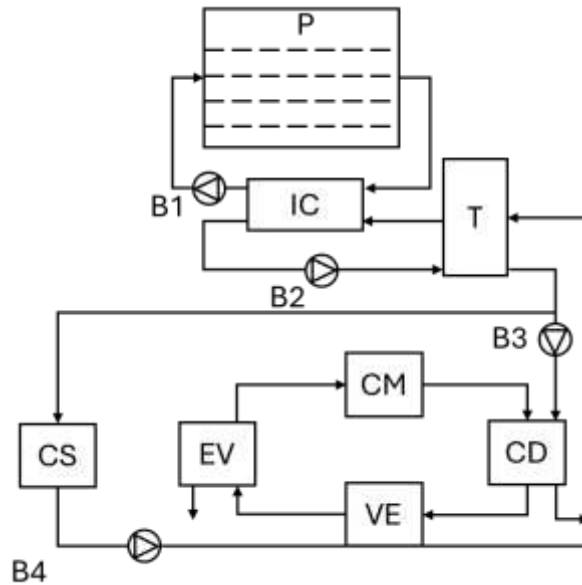


Fig. 15 Sistema de calentamiento de agua con colector solar y bomba de calor

**Concepto de solución N° 3. Sistema de calentamiento de agua con colector solar, panel solar y bomba de calor**

Para el tercer concepto de solución que se muestra en la Figura 16 el sistema está compuesto por un colector solar (CS) que calienta el agua que recircula la bomba (B4) hacia el evaporador (EV) de la bomba de calor, por su parte, el compresor (CM) hace recircular el fluido hacia el condensador (CD) y luego hacia la válvula de expansión (VE), el calor cedido por el condensador hacia el agua es impulsado por la bomba (B3) hacia el tanque de almacenamiento (T). Posteriormente el agua almacenada en el tanque se emplea para calentar el agua de la piscina (P) que impulsado por la bomba (B1) hacia el intercambiador de calor (IC). Adicionalmente, se emplea un sistema de paneles solares (PS) y un banco de baterías (BB) para suministrar de energía eléctrica al grupo de bombas. La principal ventaja de este concepto es la independencia energética ya que la energía eléctrica que consumen las bombas es suplida por los paneles solares y el calentamiento del agua se realiza por medio del colector solar y la bomba de calor. La mayor desventaja es la alta inversión inicial, además del diseño de un sistema de control más sofisticado que monitoree y regule todos los equipos, otra de



las desventajas es que se requiere de una mayor superficie libre para la instalación de los paneles solares.

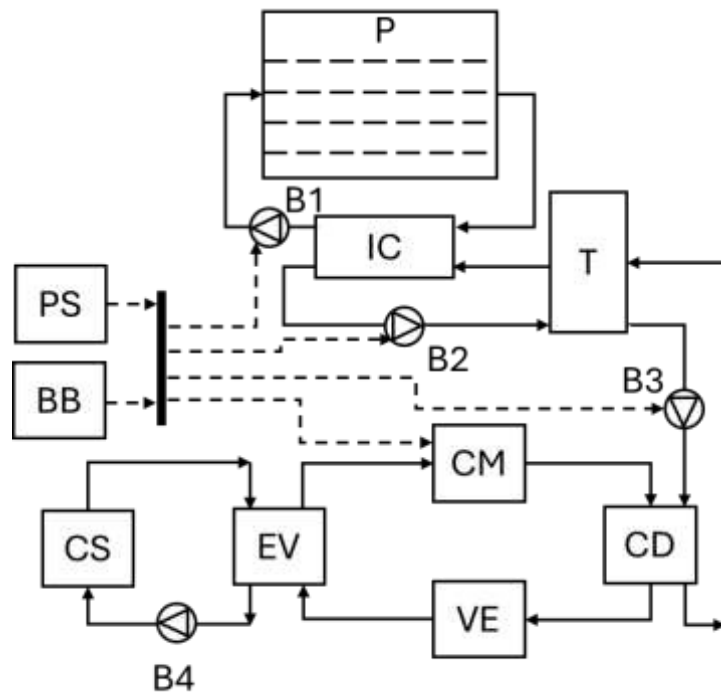


Fig. 16 Sistema de calentamiento con colector solar, panel solar y bomba de calor

Tomando los tres conceptos de diseño se ha realizado la selección del mejor concepto posible para el diseño del sistema de calentamiento, teniendo como base los siguientes criterios de evaluación: bajo costo de fabricación, simplicidad de diseño, menor área ocupada, mayor eficiencia energética. Como se puede ver en la Tabla V los criterios de mayor influencia en la selección del diseño es el bajo costo de fabricación, y el área disponible para los colectores. Para la calificación de los conceptos se ha empleado una escala numérica donde el "1" indica que el concepto no cumple con el criterio de evaluación y el número "5" significa que el concepto cumple totalmente.

Los resultados de la Tabla V muestran que el concepto más adecuado para el diseño es el concepto 2, el cual combina la tecnología del colector solar y la bomba de calor para calentar el agua de la piscina durante las horas del día.

Tabla V

MATRIZ DE SELECCIÓN PONDERADA PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL

Criterio		Conceptos de solución						
		Importancia	Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
			Valoración	Calificación	Valoración	Calificación	Valoración	Calificación
Bajo costo de fabricación		40%	5	2	4	1.6	3	1.2
Simplicidad de diseño		20%	5	1	4	0.8	3	0.6
Menor área ocupada		30%	1	0.3	3	0.9	3	0.9
Mayor eficiencia energética		10%	1	0.1	4	0.4	5	0.5
		100%		3.4		3.7		3.2
Calificación	Valor							
No cumple	1							
Cumple ligeramente	2							
Cumple medianamente	3							
Cumple en su mayoría	4							
Cumple totalmente	5							

## **f) Diseño de Configuración**

Habiendo definido previamente el concepto de diseño, ahora se presentan tres posibles configuraciones para el concepto ganador. En cada configuración se describe la disposición de los componentes del sistema de calentamiento con sus respectivas ventajas y desventajas. Para la selección de la configuración óptima se emplearon los mismos criterios de evaluación del diseño conceptual.

### **Configuración 1. Sistema de colector solar y bomba de calor sobre el edificio**

En esta primera configuración se emplea el área disponible sobre el edificio que se encuentra frente a la piscina (ver Figura 17), este edificio cuenta con un área disponible de 315 m<sup>2</sup> que corresponde al área techada. En esta configuración los colectores solares estarían ubicados en el techo del edificio (zona morada en la Figura 17) y la bomba de calor con el tanque de almacenamiento se ubicarían en una zona especial cerca al edificio. Una de las principales ventajas de esta configuración es la seguridad de la instalación pues el sistema de colectores al estar en el techo está lejos de las zonas transitables de los bañistas, otra ventaja es el menor costo de fabricación pues no se requiere una estructura adicional para soportar los colectores solares. Como desventajas se puede resaltar una menor eficiencia, ya que el circuito de tuberías debe ser lo suficiente largo para llevar el agua caliente desde el techo hacia el tanque y después hacia la piscina, generando mayores pérdidas de calor conforme el recorrido de la tubería sea mayor. La otra desventaja es que el área disponible es limitada lo cual impacta en la cantidad de colectores solares que se pueden emplear. En la Figura 17 se observa en color celeste la piscina con sus respectivas medidas a escala, en color azul se encuentran los toldos que proporcionan sombra a los usuarios, en color naranja se identifican las edificaciones, y en color morado el área disponible para la instalación de colectores.

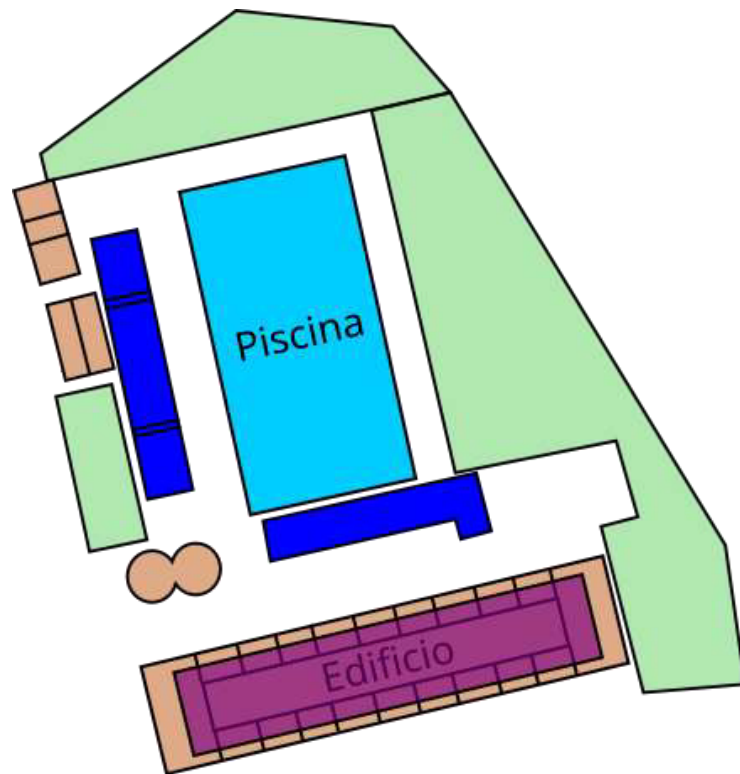


Fig. 17 Esquema de ubicación de componentes de la configuración 1

### **Configuración 2. Sistema de colector solar y bomba de calor sobre el área no techada del Vivero Forestal**

En la segunda configuración se propone realizar una nueva estructura para ubicar los colectores solares más cerca de la piscina, en la Figura 18 se puede ver en color morado el área designada para esta configuración, donde los toldos serán reemplazados por estructuras nuevas que se encargaran de soportar el peso de los colectores a la vez que generan sombra para los bañistas. La ventaja más resaltante en esta configuración es una mayor eficiencia del sistema debido a que la red de tuberías sería significativamente menor. Por otra parte, entre las desventajas se puede mencionar el mayor costo de inversión ya que se deberá diseñar y fabricar una construcción dedicada a los colectores solares y que sea segura para los bañistas, otra desventaja es el área limitada para esta construcción el cual, si no es suficiente para la carga térmica que se desea conseguir, se deberá exigir mayor potencia a la bomba de calor.

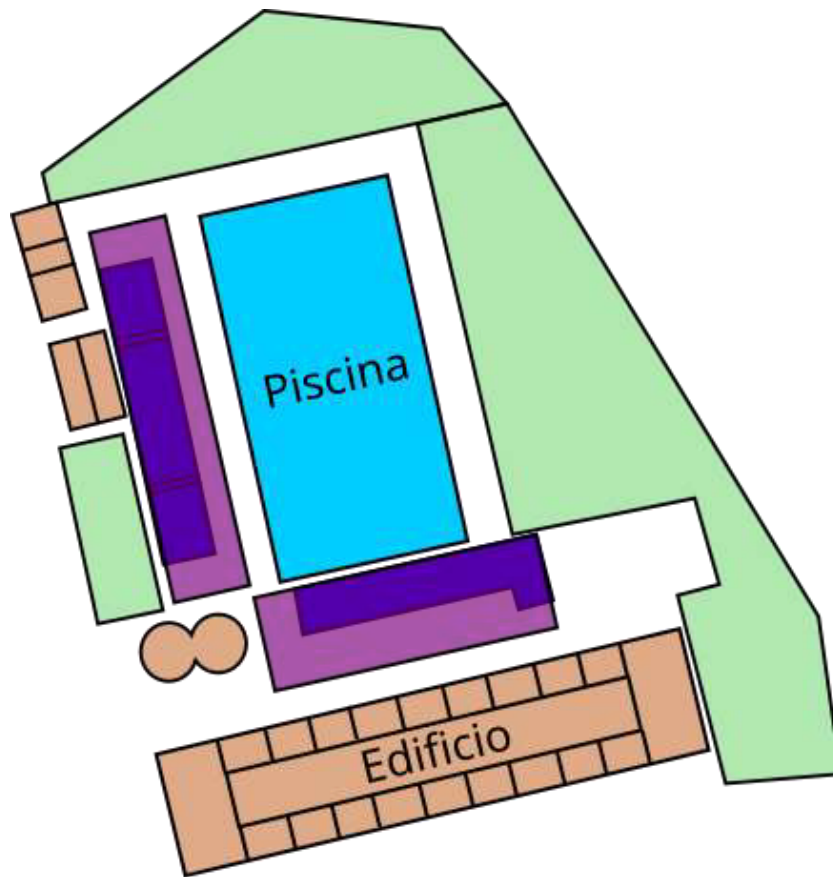


Fig. 18 Esquema de ubicación de componentes de la configuración 2

### **Configuración 3. Sistema de colector solar y bomba de calor sobre las áreas verdes**

En la última configuración se propone disponer de las áreas verdes alrededor de la piscina como puede ver en la Figura 19, en esta figura las zonas en morado representan las áreas cubiertas por los colectores solares. La ventaja de esta configuración es la mayor área aprovechada permitiendo que la exigencia de potencia calorífica sobre la bomba de calor sea menor, además como los colectores se encontrarían alrededor de la piscina la red de tuberías sería significativamente más corta, por su parte, las desventajas de esta configuración son: un mayor costo inicial, menor seguridad para los equipos, reducción de áreas verdes y mayor complejidad en el diseño.

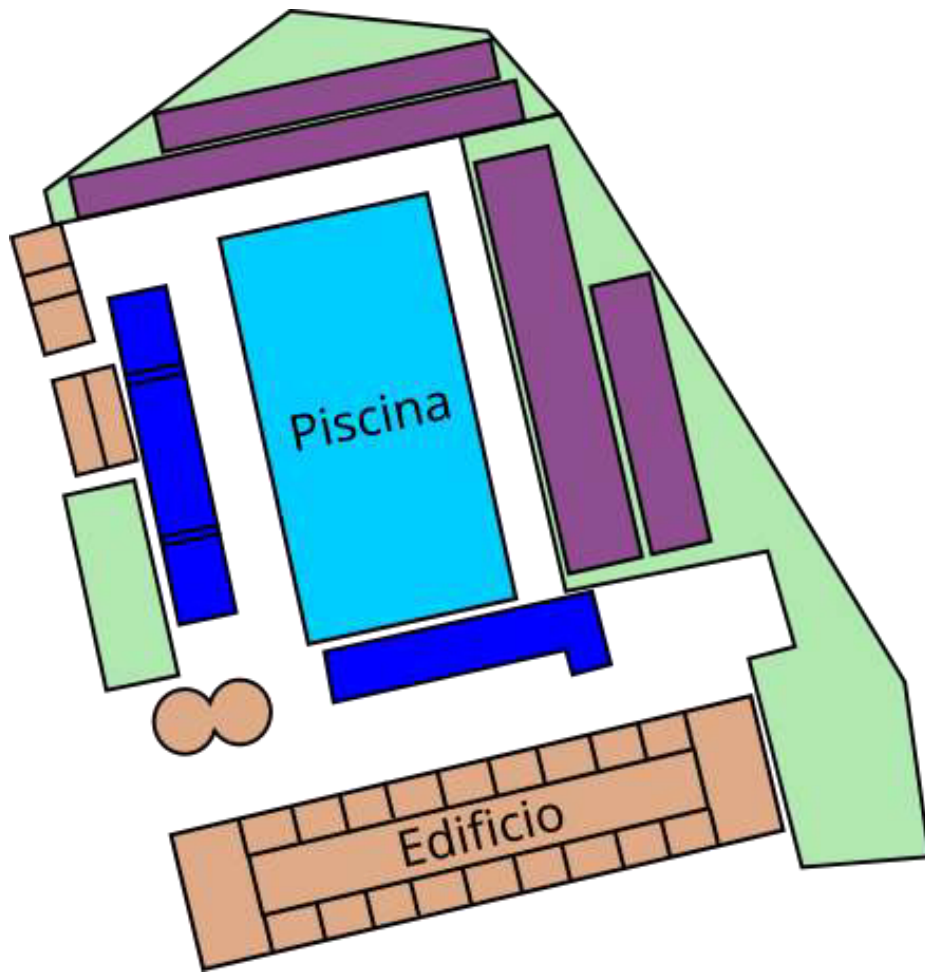


Fig. 19 Esquema de ubicación de componentes de la configuración 3

Los resultados de la evaluación de las tres configuraciones se pueden observar en la Tabla VI, donde los criterios de evaluación fueron: bajo costo de fabricación, simplicidad de diseño, menor área ocupada y mayor eficiencia energética. La escala de calificación empleada va desde el valor 1 que indica que no cumple, hasta el valor 5 que indica que la configuración cumple completamente. Después de obtener la calificación de cada configuración se observa que la configuración 1 es la opción más adecuada.

Tabla VI

MATRIZ DE SELECCIÓN PONDERADA PARA EL DISEÑO DE CONFIGURACIÓN

Criterio		Conceptos de solución						
		Importancia	Configuración 1		Configuración 2		Configuración 3	
			Valoración	Calificación	Valoración	Calificación	Valoración	Calificación
Bajo costo de fabricación		40%	5	2	3	1.2	1	0.4
Simplicidad de diseño		20%	4	1.2	3	0.9	2	0.6
Menor área ocupada		30%	4	0.4	3	0.3	1	0.1
Mayor eficiencia energética		10%	1	0.2	4	0.8	5	1
		100%		3.8		3.2		2.1
Calificación	Valor							
No cumple	1							
Cumple ligeramente	2							
Cumple medianamente	3							
Cumple en su mayoría	4							
Cumple totalmente	5							

### g) Modelado matemático del sistema de calentamiento del agua

En la Figura 20 se observa el esquema del modelo del sistema de calentamiento de la piscina olímpica del “Vivero Forestal” de Chimbote. En la figura podemos apreciar las partes que componen el diseño propuesto, este sistema se encarga de calentar el agua de la piscina por medio de un intercambiador de calor de flujo cruzado, el cual recibe el fluido caliente desde un tanque de almacenamiento. El tanque de almacenamiento se encargará de suministrar agua caliente en horarios donde no se disponga de energía solar, específicamente el horario nocturno. Por otra parte, La bomba de calor trabaja en conjunto con el colector solar para suministrar la energía necesaria para calentar el agua de la piscina. Antes del intercambiador de calor se instalarán unas válvulas selectoras poder cambiar el flujo de agua del colector por el flujo de agua de la bomba de calor, esto con el fin de poder usar la bomba de calor cuando la radiación solar sea escasa o durante las horas de la noche.

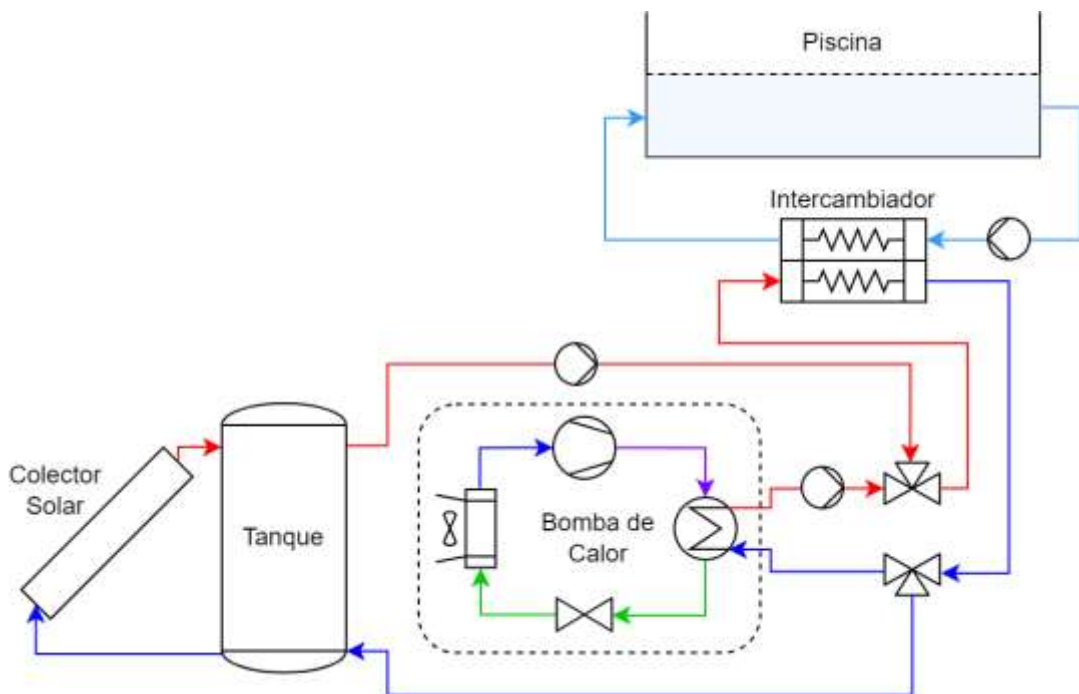


Fig. 20 Esquema del sistema de calentamiento del agua de la piscina

Para el modelo matemático cada uno de los equipos han sido definidos en base a su comportamiento termodinámico.



### Intercambiador de calor.

El intercambiador de calor tiene la función de transmitir el calor desde el fluido caliente (agua del tanque) hacia el fluido frío (agua de la piscina), como se puede ver en la Figura 21 el intercambiador de calor recibe el flujo masico de la piscina ( $T_0 = 15^\circ C$ ) en un entorno donde la temperatura ambiente es  $T_{amb} = 13^\circ C$ , para esta condición el flujo masico de agua caliente que viene del tanque es  $\dot{m}_T$  con una temperatura máxima de  $T_{tanque} = 45^\circ C$ .

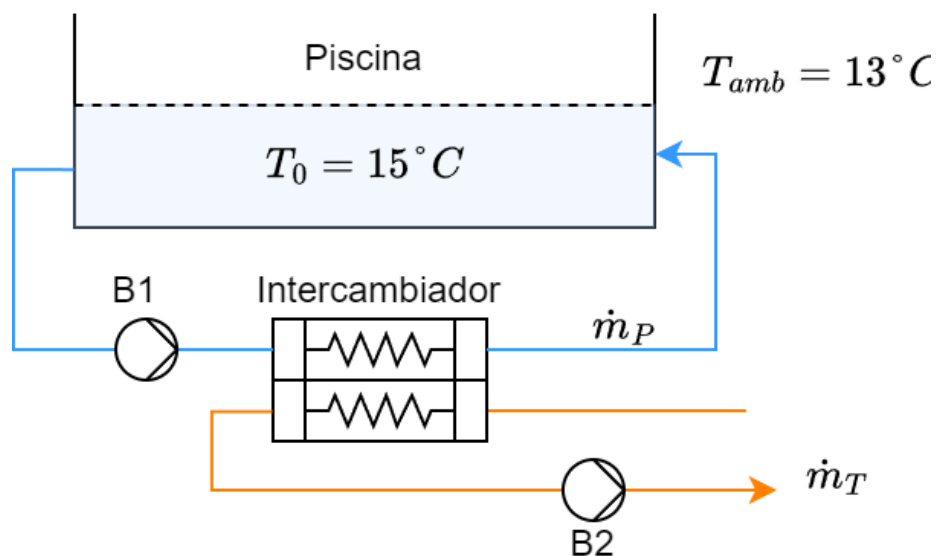


Fig. 21 Esquema del intercambiador de calor y la piscina

### Tanque de almacenamiento.

El tanque se encarga de almacenar el agua caliente para poder usarlo en las horas de la noche, el volumen de tanque depende la temperatura del fluido que debe almacenar y del flujo de agua caliente que se debe suministrar. Durante las horas del día el tanque dejara pasar el fluido de agua caliente directamente hacia el intercambiador de calor solo si el agua del tanque se encuentra a una temperatura de  $45^\circ C$  (ver Figura 22). Como el volumen del tanque puede llegar a ser bastante alto el volumen total se dividirá en unidades pequeñas con relación a la cantidad de colectores que se estime necesario. El volumen del tanque se estima que debe ser

capaz de suministrar agua caliente por un lapso de entre 7 a 12 aproximadamente, donde el periodo más importante es desde las 6:30 pm hasta las 10:30 pm que corresponde al horario nocturno de la piscina.

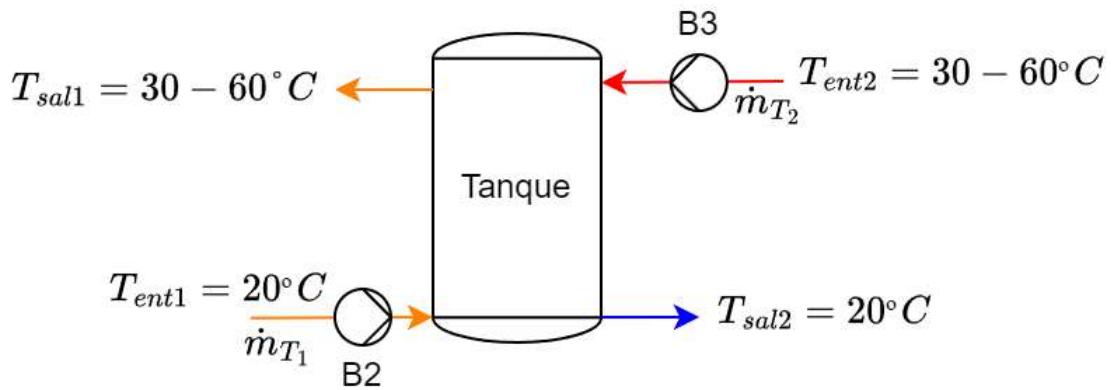


Fig. 22 Esquema del tanque de almacenamiento

### Bomba de calor

La bomba de calor esquematizado en la Figura 23 se encarga de aprovechar la energía calorífica de una zona de menor temperatura hacia una zona a mayor temperatura. En este diseño la bomba de calor se emplea para suministrar calor al agua que se dirige al tanque cuando los colectores no tienen la energía suficiente para calentar el agua. La bomba de calor entrara en acción principalmente cuando la temperatura del agua entregada por el colector sea menor o igual a  $35^{\circ}C$ .

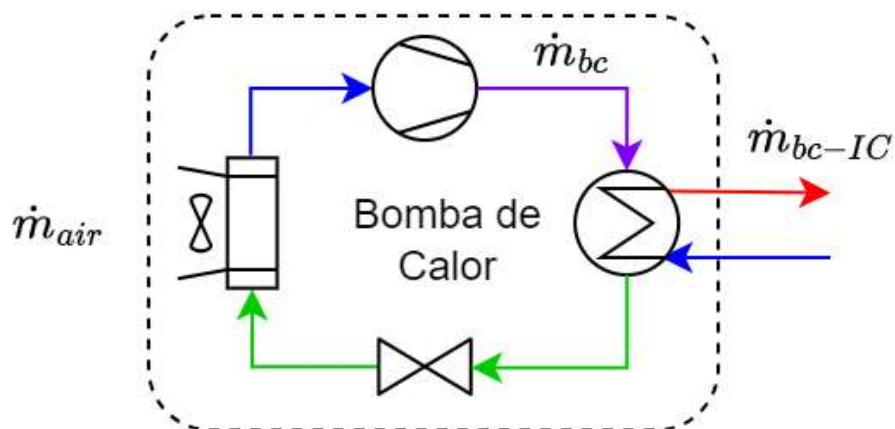


Fig. 23 Esquema de la bomba de calor

## Colector Solar

El colector solar aprovechará la energía del sol para calentar el agua, la superficie total del todo conjunto de colectores dependerá del flujo masico de agua caliente que se debe suministrar, la irradiación promedio anual y la variación de la temperatura que se desea alcanzar. Como se puede ver en la Figura 24 el flujo total  $\dot{m}_c$  corresponde a la suma de todos los flujos masicos de cada uno de los colectores individuales colocados en paralelo.

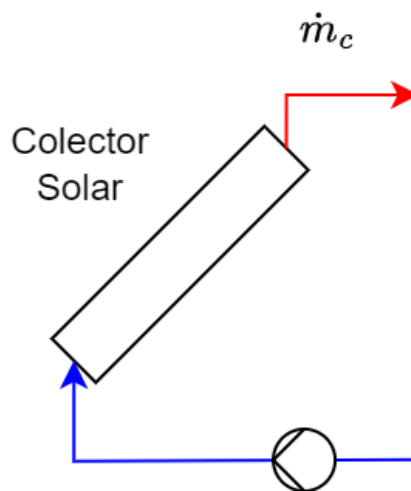


Fig. 24 Esquema del colector solar

### h) Análisis paramétrico

La parametrización se realizó empleando el diagrama de la Figura 25 donde las variables de diseño que se consideraron fueron la temperatura de salida del agua del colector, el cual debe estar como mínimo  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura de confort ( $T_{conf} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y el ángulo de inclinación de los colectores solares. Para el caso de los parámetros se tomó en consideración la información de la demanda térmica (Tabla III) y de los requerimientos de diseño (Tabla IV). Por su parte, las variables de solución fueron la cantidad de colectores y de tanque que son necesarios para aprovechar la energía solar y elevar la temperatura del agua de la piscina hasta la temperatura de confort.

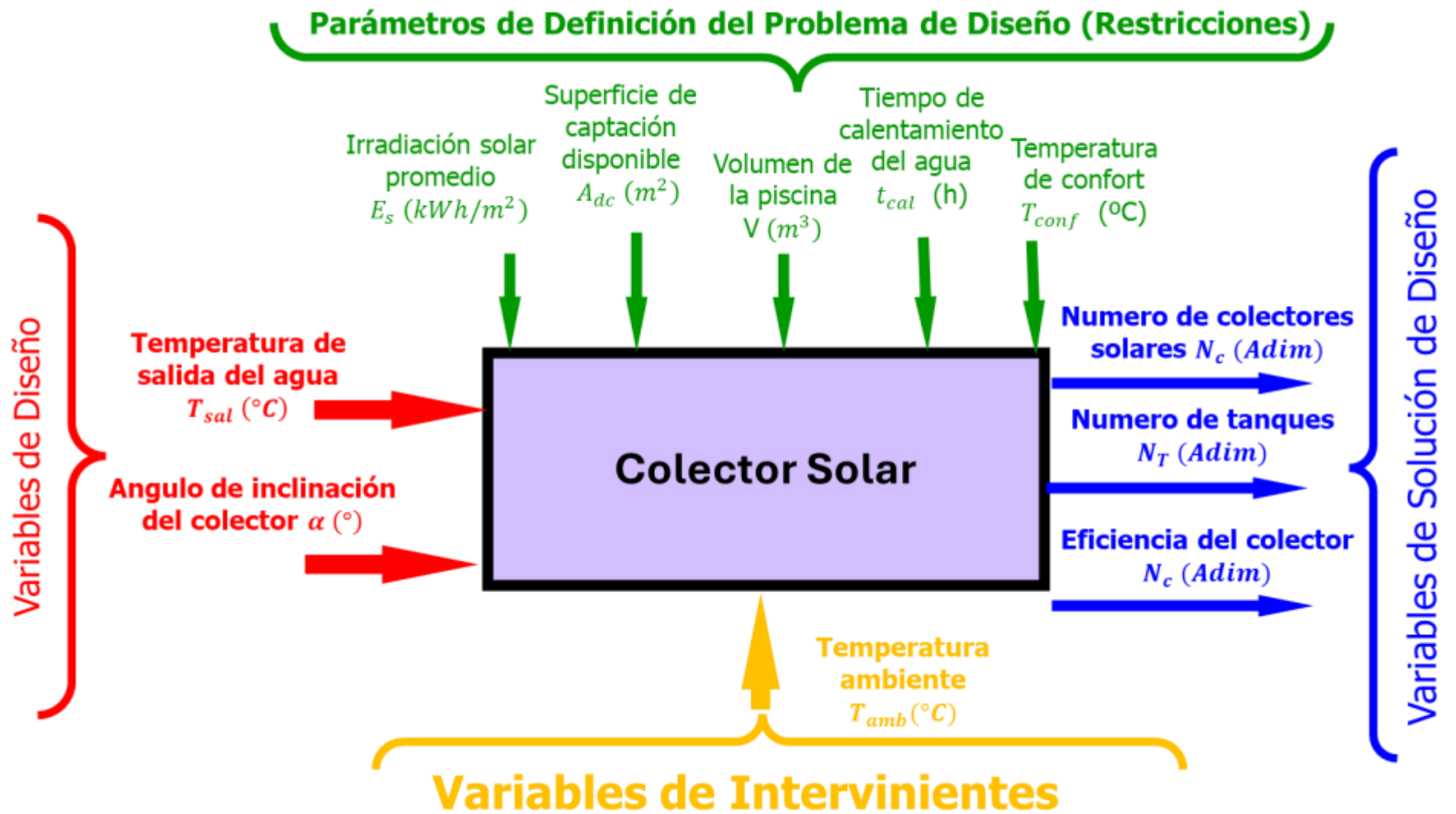


Fig. 25 Diagrama de caja negra para el colector solar

Tabla VII

TABLA DE VARIABLES

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE/PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	RANGO O VALOR
Parámetros de diseño	Irradiación solar promedio	$E_s$	$kWh/m^2$	5.8
	Superficie de captación disponible	$A_{dc}$	$m^2$	315
	Volumen de la piscina	$V$	$m^3$	500
	Tiempo de calentamiento del agua	$t_{cal}$	$h$	120
	Temperatura de confort	$T_{conf}$	$^{\circ}C$	30
Variables de Diseño	Temperatura de salida del agua de los colectores	$T_{sal}$	$^{\circ}C$	30 – 60
	Angulo de inclinación del colector	$\alpha$	$^{\circ}$	20 – 50
Variables de Solución	Numero de colectores solares	$N_c$	Adimensional	A determinar
	Numero de tanques	$N_T$	Adimensional	A determinar
Variables intervinientes	Temperatura ambiente	$T_{amb}$	$^{\circ}C$	13

Para el análisis paramétrico se empleó el balance de energía de la ecuación 17, del cual se despejó el área requerida por los paneles solares ( $Ap_2$ ) y se dividió entre el área de un solo panel comercial ( $Ap_1$ ); con esta relación se pudo obtener el número de paneles solares ( $N_p$ ). Al realizar el desarrollo de la ecuación 17 se obtiene la ecuación 26 que corresponde al cálculo del número de paneles.

$$N_p = \frac{Ap_2}{Ap_1} = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{Ap_1 * ((\tau\alpha)q_s + (T_p - T_c) * (h_{p,rad} + h_{p,conv}) + h_{ins}(T_{ins} - T_{amb}))} \quad (26)$$

Para obtener las curvas paramétricas de la eficiencia de los paneles se emplea el área ( $A_{p2}$ ) para calcular la cantidad de energía captada por los paneles. En la ecuación 27 la eficiencia se determina como la relación entre la energía que ingresa ( $\dot{Q}_{s,p}$ ) y la energía útil que se aprovecha ( $\dot{Q}_U$ ).

$$\eta_p = \frac{\dot{Q}_U}{\dot{Q}_{s,p}} = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{A_{p2}(\tau\alpha)\dot{q}_s} \quad (27)$$

Para el calculo del número de tanques se divido el volumen de agua necesaria para calentar la piscina, cuando no hay energía solar, entre el volumen total de un solo tanque comercial. El volumen total de agua se calcula a partir de la cantidad de energía requerida para calentar el agua ( $E_{tanque}$ ) como se puede ver en la ecuación 28.

$$N_{Tanq} = \frac{V_{tanque}}{V_{t1}} = \frac{\frac{E_{tanque}}{\rho_{agua} * C_p T * (T_o - T_i)}}{V_{t1}} \quad (28)$$

Con el objetivo de resolver las ecuaciones 26, 27 y 28 se escribió en el código en Matlab del Anexo 01 el cual arrojó los resultados de las Figuras 26, 27 y 28. Para este cálculo las variables analizadas fueron el número de colectores solares, la eficiencia del colector y el número de tanques en función con la temperatura de salida de agua del colector, para este análisis el rango de medición de la variable independiente ( $T_o$ ) toma valores desde los 30 °C hasta los 60 °C. Por otra parte, el ángulo de inclinación del colector se ha considerado como parámetro, siendo que a cada valor de inclinación le corresponde una curva dentro de cada grafica paramétrica, los valores de inclinación que se han tomado van desde los 20° hasta los 50° de inclinación.

Para los resultados de la Figura 26 se puede ver que para que el agua alcance una mayor temperatura a la salida del colector la cantidad de paneles es mucho mayor, mientras que para ángulos de inclinación mayores el número de colectores disminuye.

Para seleccionar la opción correcta se consideró que la temperatura mínima del fluido de trabajo debe estar 10 °C por encima de la temperatura de confort, además como se desea obtener la menor cantidad de colectores posibles en la Figura 26 los puntos seleccionados indican que para los ángulos de inclinación máximo y mínimo la cantidad de colectores debe ser aproximadamente 50 unidades con lo cual se podría entregar agua caliente a 45 °C.

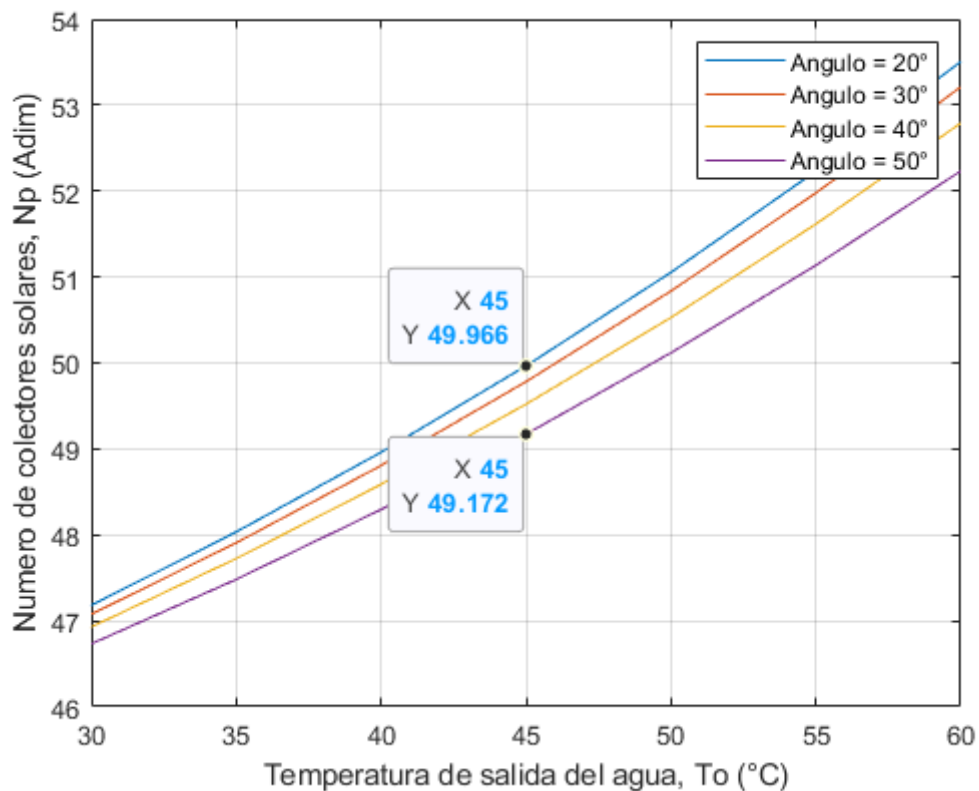


Fig. 26 Gráfica paramétrica para el número de colectores solares

En el caso de la eficiencia la Figura 27 presenta la gráfica paramétrica donde se relaciona la eficiencia del colector con la temperatura de salida del fluido de trabajo. Observando la gráfica se puede ver que la eficiencia tiende a ser menor a temperaturas más altas, para la temperatura de 45 °C el ángulo de inclinación con mayor eficiencia es 50° con un valor de 86.97 %.

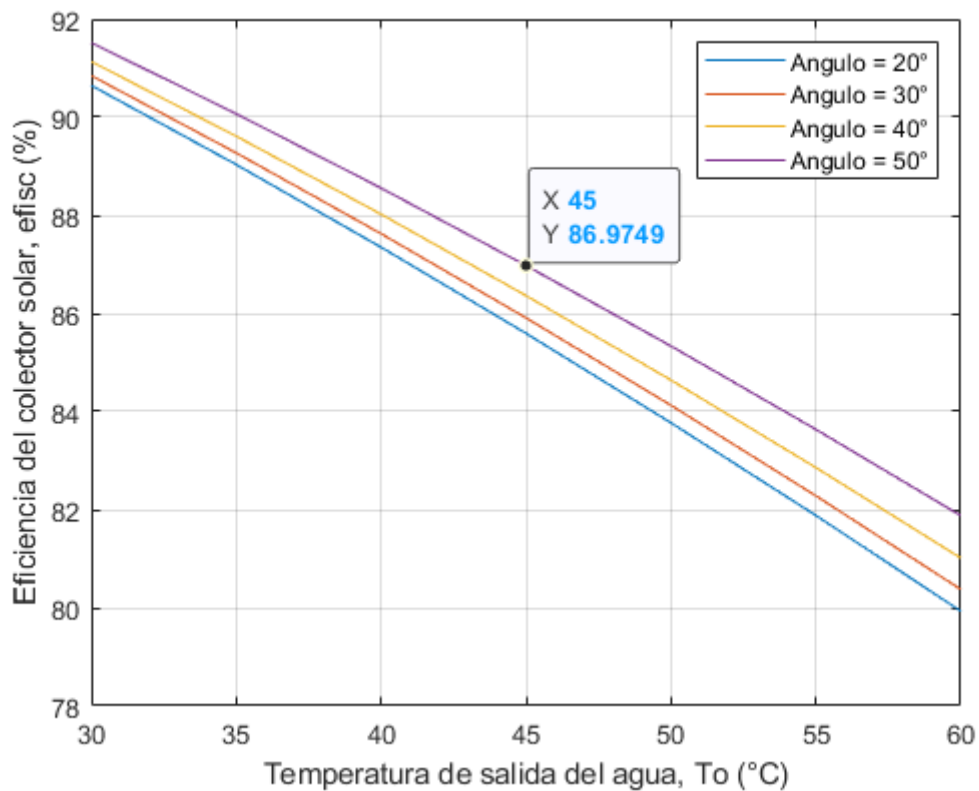


Fig. 27 Grafica paramétrica para la eficiencia de los colectores solares

La Figura 28 muestra la relación entre el número de tanques de almacenamiento y la temperatura del agua. Para el cálculo se consideró que cada tanque individual tiene una capacidad de 300 litros y sabiendo que la temperatura de salida es de 45 °C la cantidad de tanques adecuados es de aproximadamente 50 unidades, lo que permitirá entregar agua caliente durante 12h, tiempo durante el cual se entregara una potencia de 51.26 kW que es igual a la pérdida de calor efectiva de la piscina.

En la Figura 28 se puede ver que el número de tanques se reduce conforme aumenta la temperatura del agua, para estos casos si la energía que se puede aprovechar del sol permite abastecer el consumo de energía de la piscina durante las horas del día, el excedente de energía se puede usar para calentar el agua almacenada en los tanques a una temperatura mayor, con lo cual se tendrá mayor tiempo de disponibilidad de agua caliente.



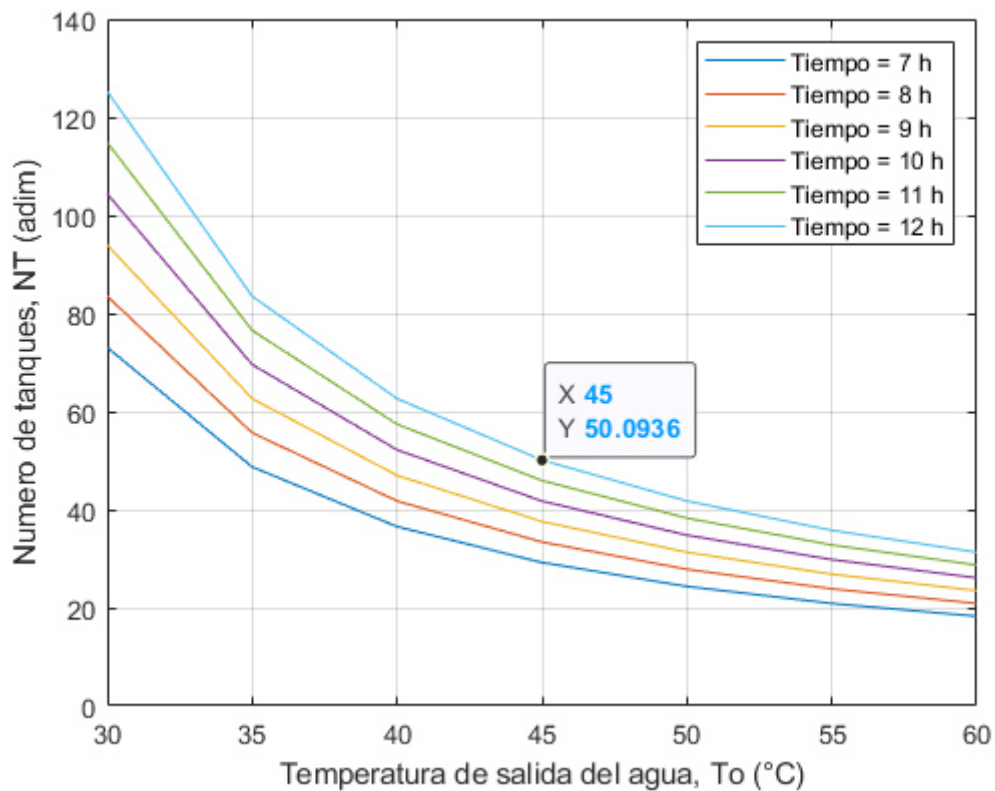


Fig. 28 Gráfica paramétrica para el número tanques de almacenamiento

### i) Elaboración de planos de instalación

Previo a la elaboración de los planos de instalación se debe definir los equipos que serán parte del sistema. Con los resultados de la parametrización de la sección anterior se realizó la selección de los componentes del sistema de calentamiento de agua de la piscina del Vivero Forestal.

- Selección de componentes estándar

#### **Colector solar y tanque de almacenamiento**

El colector solar se ha seleccionado del catálogo de la empresa TERMOINOX, el cual tiene una amplia variedad de equipos para el calentamiento de agua. El colector seleccionado pertenece a la categoría de TERMA Solar Magnum de 300 L (Anexo 02). Según la descripción del fabricante es ideal para zonas con baja irradiación solar y posee un área de captación de 5.29 m<sup>3</sup>.

La terma solar seleccionada presenta dos colectores solares 2.5 m<sup>2</sup> con un tanque de almacenamiento aislado térmicamente y montado sobre una estructura que también sostiene a los colectores y los ubica a un ángulo de 30°.



Fig. 29 TERMA Solar Magnum de 300 L

### **Bomba de calor**

La bomba de calor se dimensiono para suministrar 1/3 de la potencia necesaria para compensar las pérdidas de calor en la piscina, por lo tanto, la potencia de la bomba de calor será de 12 kW el cual será entregado cuando el suministro de energía desde los tanques de almacenamiento no tenga la energía adecuada o la temperatura del agua caliente sea muy baja. En condiciones normales la mayor parte de la energía para calentar la piscina durante la noche se obtendrá del agua almacenada en los tanques y la bomba de calor funcionará como sistema auxiliar.

Para seleccionar la bomba de calor se empleó el catálogo de la empresa HTW que se encuentra en el Anexo 03. En la Figura 30 se muestra la imagen de la bomba de calor seleccionado, el cual tiene una capacidad de 16 kW, que es mayor a 12 kW estimados anteriormente, y un COP de 5.5.



Fig. 30 Bomba de calor para piscinas – HTW-SWP-O-160LIO

### Intercambiador de calor

Para el intercambiador de calor se decidió usar el catálogo de la empresa Alfa Laval que se puede ver en el Anexo 04. El intercambiador de calor de placas posee una alta eficiencia, un tamaño reducido. En la Figura 31 se presenta un intercambiador de calor de placas Alfa Laval modelo CB20, este intercambiador fue seleccionado debido a que posee un caudal máximo de  $8.8 \text{ m}^3/\text{h}$  que es mayor a los  $4.16 \text{ m}^3/\text{h}$  que requiere el flujo de agua fría de la piscina y los  $3.83 \text{ m}^3/\text{h}$  del flujo de agua caliente que viene del tanque.



Fig. 31 Intercambiador de calor de placas Alfa Laval



El detalle de la ubicación de los colectores solares se encuentra en la Figura 33, en la cual se puede ver que cada colector se encuentra distribuido en un arreglo rectangular. Cada unidad está compuesta por dos colectores solares con un área de captación de 2.5 m<sup>2</sup> cada uno y un tanque de almacenamiento de 300 L.

Los colectores se encuentran conectados por tuberías de ½" formando cuatro circuitos en paralelo (ver Figura 33), estos circuitos luego se conectan a tuberías de 1" para el agua caliente y el agua fría de retorno, estas tuberías luego se dirigen hasta el cuarto de bombeo.

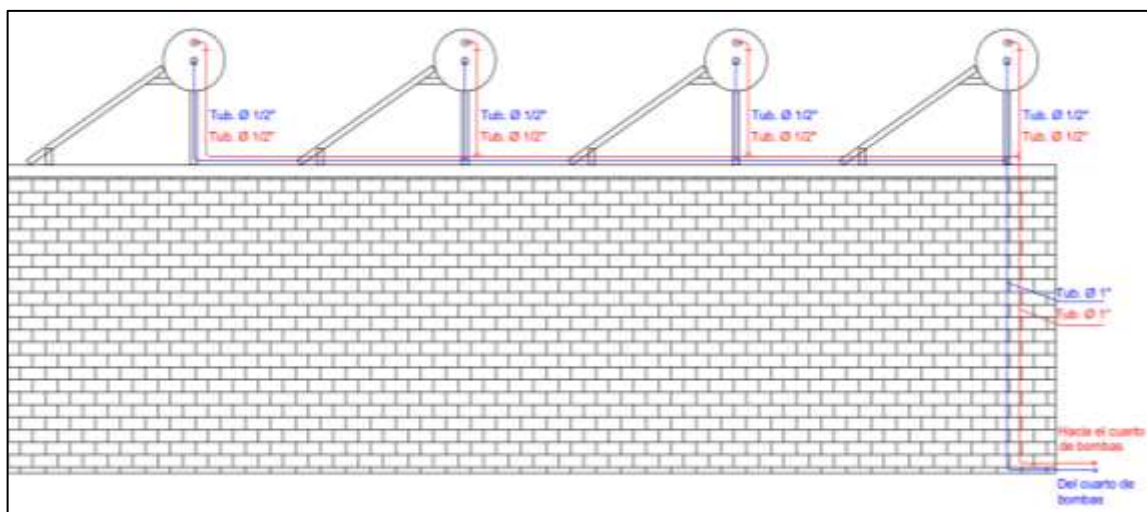


Fig. 33 Disposición de colectores solares

En el cuarto de bombeo (ver Figura 34). ubicado en el primer nivel hay dos bombas de agua, una de ellas trabaja con el circuito de agua caliente que viene de los colectores, mientras que la segunda bomba trabaja con el circuito de la bomba de calor. El agua caliente de ambos circuitos es direccionada por una válvula selectora la cual permitirá el flujo del agua caliente de la bomba de calor cuando la temperatura del agua de los colectores sea menor o igual a 35 °C. El agua caliente luego se hará pasar a través del intercambiador de calor de placas para calentar el agua fría de la piscina.

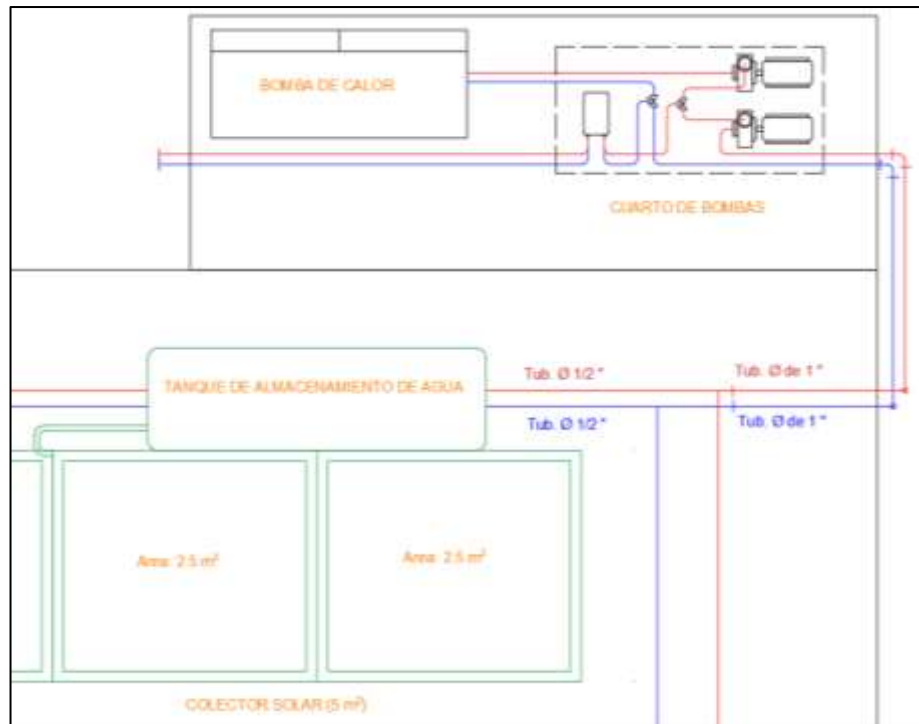


Fig. 34 Sistema de bombeo

Cerca de la piscina se encuentra el sistema de recirculación de agua el cual dispone de una bomba de agua, un filtro y válvula selectora manual (ver Figura 35). El filtro de la piscina posee un lecho de granos de arena el cual se encarga de retener partículas pequeñas, como el polvo y polen. En este circuito el agua caliente se hace pasar por la válvula selectora y el filtro antes de ser enviado hacia los Skimmer que se encuentran a un lado de la piscina, por el otro extremo se encuentran las boquillas de retorno por donde es succionado el agua de la piscina por la bomba de recirculación.

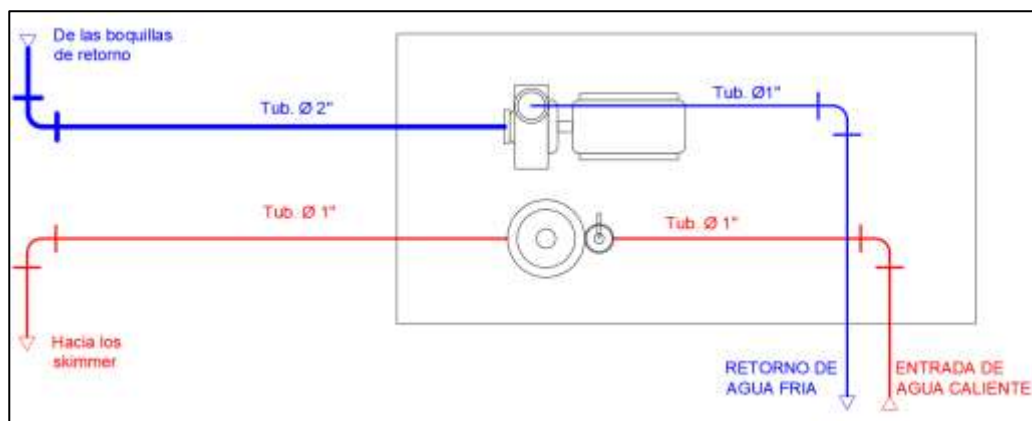


Fig. 35 Sistema de recirculación de agua fría

### k) Análisis económico

Para la evaluación económica del proyecto se inició con el presupuesto de la Tabla VII donde se detallan los equipos, componentes y servicios para la instalación del sistema de calentamiento de agua de la piscina "Vivero Forestal".

Tabla VIII  
PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

<b>EQUIPOS</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL</b>
Colector solar con tanque de 300L	50	S/ 5,200.00	S/ 260,000.00
Intercambiador de calor de placas - Alfa Laval CB30	1	S/ 860.88	S/ 860.88
Electrobomba Centrífuga Werken 0.5 HP 90L/min Aluminio	2	S/ 249.00	S/ 498.00
Electrobomba Jet Werken 1 HP XJM100L Mon Jet Cam Metal 60L/min	1	S/ 359.00	S/ 359.00
Bomba de calor Thermor Alfea Excellia Duo Al 14T	1	S/ 37,435.00	S/ 37,435.00
<b>SUBTOTAL</b>			S/ 299,152.88
<b>COMPONENTES</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL</b>
Válvula selectora Hydraforce LSV1-6T-N	2	S/ 194.00	S/ 388.00
Tubo x 5m 3/4 cpvc - agua caliente (5 m)	12	S/ 54.70	S/ 656.40
Codo 90° 3/4 cpvc - agua caliente	24	S/ 3.90	S/ 93.60
<b>SUBTOTAL</b>			S/ 1,138.00
<b>SERVICIOS EXTERNOS</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>SUB TOTAL</b>
Instalación de equipos	1	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00
Obras Civiles	1	S/ 9,800.00	S/ 9,800.00
Costos de mantenimiento	1	S/ 200.00	S/ 200.00
<b>SUBTOTAL</b>			S/ 12,500.00

El detalle de los costos de la Tabla VIII se puede resumir en el balance final de la Tabla IX, del cual al sumar los subtotales se tiene que la inversión total para la instalación del sistema de calentamiento de la piscina es de S/ 312,790.88.

Tabla IX  
PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA

<b>BALANCE FINAL</b>	
<b>EQUIPOS</b>	S/ 299,152.88
<b>ACCESORIOS</b>	S/ 1,138.00
<b>SERVICIOS EXTERNOS</b>	S/ 12,500.00
<b>TOTAL</b>	S/ 312,790.88

### **Beneficio Económico**

El cálculo del beneficio económico se basa en el aumento de la recaudación diaria en la piscina, actualmente la piscina tiene una recaudación promedio diario de S/. 300.00 en los turnos de la mañana y la tarde. Para el caso de implementar el sistema de calentamiento de la piscina se espera habilitar el turno noche para que la piscina aumente su recaudación; considerando que cumpliendo con el aforo máximo la recaudación promedio diario puede aumentar en S/. 150.00, y multiplicando por 6 días a la semana y 4 semanas al mes en un año el beneficio total sería de S/. 57,600.00.

Pasando los datos al flujo de caja de la Tabla X se obtiene los resultados del análisis económico teniendo como referencia los indicadores VAN, TIR y PRI. Para el caso del VAN el valor resultante es de S/ 312,790.88 que al ser mayor a cero indica que el sistema es rentable económicamente, por su parte, la TIR de 15% al ser mayor que la tasa de interés nos afirma que el sistema es rentable, finalmente con el PRI se puede ver que el tiempo de retorno de la inversión es de 5.43 años.



Tabla X  
RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

<b>Tiempo (años)</b>	<b>Flujo de Caja</b>	<b>Movimientos</b>
<b>Inversión</b>	-S/ 312,790.88	Costo inicial (S/.)
<b>1</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>2</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>3</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>4</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>5</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>6</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>7</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>8</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>9</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>10</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>11</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>12</b>	S/ 57,600.00	Beneficio (S/año)
<b>Total de Ingresos</b>	S/ 691,200.00	
<b>Tasa de interés</b>	7%	
<b>Inversión inicial</b>	S/ 312,790.88	
<b>VAN</b>	S/ 144,707.85	
<b>TIR</b>	15%	
<b>PRI</b>	5.43	

### 3.2. Discusión

La primera fase del desarrollo de este trabajo de tesis consistió en recopilar información relevante para delimitar el diseño del sistema de calentamiento del agua de la piscina. La primera fuente de información fue la revisión bibliográfica en la que se incluyó la ubicación de la piscina y las condiciones climáticas. Datos técnicos como las dimensiones de la piscina y las dimensiones del área disponible para los colectores se obtuvieron por medio de visitas al Vivero Forestal. Toda la información fue posteriormente procesada para identificar los requerimientos de diseño; se pudo identificar que los requerimientos están orientados a aspectos técnicos y económicos, en el primer caso se requiere que la piscina alcance la temperatura de confort la cual es de 30 °C, además esta condición se debe mantener principalmente en las épocas más frías pues el vivero tiene el objetivo de prestar sus servicios todo el año. En base a esto se realizó el dimensionamiento del sistema de calentamiento de agua, donde se consideraron el calor necesario para el calentar el agua y las pérdidas de calor por convección, radiación y evaporación. Empleando una metodología de diseño se elaboraron tres posibles conceptos de solución para el problema de diseño, de los cuales uno de ellos tuvo una mayor puntuación en la matriz de criterios ponderados. El concepto ganador combina un sistema basado en colectores solares con una bomba de calor, de igual manera mediante una matriz de evaluación se determinó que la mejor configuración para el sistema de calentamiento consistirá en ubicar los colectores en la azotea del edificio que esta frente a la piscina. Realizar el diseño del sistema de calentamiento de agua basado en una metodología de diseño permite tener un flujo de trabajo más ordenado y acorde a los objetivos específicos planteados en este trabajo, a diferencia del método de la utilidad empleado por Gonçalves, Palmero-Marrero y Oliveira (2022) donde consideraron constantes los parámetros técnicos de los colectores solares y los parámetros medioambientales como la velocidad del viento, la temperatura ambiente y la radiación fueron obtenidas de un software.

A pesar de que la mayoría de los antecedentes concuerdan con la estimación de la carga térmica, algunos de ellos orientan sus objetivos a reducir el CO<sub>2</sub>, tal es el caso de Gonçalves, Palmero-Marrero y Oliveira (2022), Li, et al. (2020) y García y Ortiz (2023), donde la principal diferencia radica en la configuración del sistema; para el caso de Gonçalves, Palmero-Marrero y Oliveira (2022) su sistema de calentamiento consistió en colectores solares que cubrían un área de 150 m<sup>2</sup> que luego se empleó para analizar el rendimiento de colectores con y sin cubierta, siendo la primera las de mayor rendimiento. Para el caso de Li, et al. (2020) incluyeron en su sistema materiales con cambio de fase (PCM) con la intención de aumentar la disponibilidad del agua caliente en invierno y reducir el CO<sub>2</sub>. Materiales de cambio de fase (PCM) en este trabajo no han sido considerados debido al alto costo y la baja disponibilidad que existe en el país.

En contraste a los antecedentes, este trabajo de investigación no planteo como objetivo la reducción de CO<sub>2</sub> debido a que la piscina no cuenta con un sistema de calentamiento que emplee combustible previo a sistema de calentamiento propuesto, en este caso el sistema está orientado a aumentar la disponibilidad de la piscina empleando la energía del sol como fuente primaria.

Otro aspecto característico de este sistema es el beneficio económico, que depende en gran manera de la cantidad de colectores solares que deben ser instalados para cubrir la demanda energética. Como se puede ver en los resultados son necesarios 50 colectores de 5 m<sup>2</sup> de área de captación con un tanque 300 L cada uno, para este sistema la inversión total es de S/ 312,790.88 el cual se puede recuperar en aproximadamente 5.4 años si mantiene un flujo de caja positivo anual de S/. 57,600.00. Este tiempo de retorno de la inversión es mucho menor a lo presentado por Shahmarvandi, et al. (2022) el cual estimo 11.4 años; pero es mayor al tiempo de retorno de la inversión de García y Ortiz (2023) con 3 años y Jurado (2022) con 2 años con 2 meses.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

La revisión bibliográfica y de autores previos como Gonçalves y Oliveira (2019); García y Ortiz (2023) y autores (Alex Carbajal y Mejía, 2021) indico que el calentamiento del agua de la piscina mediante energía solar era una vía promisorio a explorar en la solución al problema presente.

La demanda térmica asociada al calentamiento de la piscina se calculó en 72.24 kWh. Obtenida la demanda térmica y con la información obtenida de la institución se determinó que los requerimientos de diseño para el sistema de calentamiento de agua serian área superficial de la piscina 312.5 m<sup>2</sup>, Área disponible para los colectores 315 m<sup>2</sup>, Temperatura de confort: 30°C y el tiempo de calentamiento 120 h.

En base a esto se realizó el dimensionamiento del sistema de calentamiento de agua, donde se consideraron el calor necesario para el calentar el agua y las pérdidas de calor por convección, radiación y evaporación

Se evaluaron tres conceptos de diseño para el sistema de calentamiento de agua utilizando una matriz de selección de criterios. La mejor opción resultó ser un sistema combinado de colectores solares y bomba de calor. Además, se propusieron diferentes configuraciones y la opción más favorable utiliza el área disponible en la azotea del edificio principal del vivero.

Para determinar la cantidad de colectores se realizó el modelo matemático del sistema de calentamiento del agua de la piscina en función de la temperatura de salida de agua y el ángulo de inclinación del panel. De los resultados se determinó que la cantidad adecuada de colectores y tanques era 50 cada uno con un tanque de 300 L, con los cuales se logra entregar un flujo de agua a 45 °C para calentar la piscina durante el día,

mientras que en la noche se emplearía el agua almacenados en los tanques.

Para la elaboración de planos fue necesario definir los componentes del sistema, donde el principal de ellos fueron los colectores solares que estarán instalados en la azotea del edificio del vivero. Los planos de instalación incluyo disposición de los colectores, el recorrida de la tubería y la ubicación de los componentes del sistema.

El análisis de ingeniería económica arrojó un VAN de S/ 312,790.88, el cual al ser positivo y mayor a cero indica que el proyecto genera más dinero que su costo inicial. Además, el TIR del 15%, lo cual indica que la rentabilidad es positiva, además por medio del PRI se sabe que la inversión será recuperada en aproximadamente 5.5 años.

#### **4.2. Recomendaciones**

Para la implementación del sistema se proponen las siguientes recomendaciones:

- Usar el agua caliente almacenado en los tanques cuando hayan alcanzado la temperatura de 45 °C, y durante la noche cortar el suministro de agua cuando la temperatura sea igual o menor a 20 °C, esto es para permitir que los tanques de almacenamiento aislados mantenga esa temperatura hasta que los colectores vuelvan a captar la energía solar durante las horas del día y evitar pérdidas de calor en las tuberías.
- Debido al consumo de que posee la bomba de calor se deberá usar en casos extremos cuando las temperaturas sean menores a las estimadas en este trabajo o cuando el nivel de irradiación sea inferior al valor promedio anual calculado.
- Es necesario establecer una rutina de mantenimiento a los colectores solares con tareas de limpieza de la superficie de captación, debido a esto impacta

directamente sobre el rendimiento del colector.

- Restringir el acceso a la azotea del edificio para evitar que personal no autorizado manipule los colectores solares.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Ahmadi, A., Ehyaei, M. A., Doustgani, A., Assad, M. E. H., Hmida, A., Jamali, D. H., ... & Razmjoo, A. (2021). Recent residential applications of low-temperature solar collector. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123549.
- [2] M. Mozafarifard, A. Azimi, H. Sobhani, G. F. Smaisim, D. Toghraie, y M. Rahmani, «Numerical study of anomalous heat conduction in absorber plate of a solar collector using time-fractional single-phase-lag model», *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 34, p. 102071, jun. 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.102071.
- [3] Kumar, A., Said, Z., & Bellos, E. (2021). An up-to-date review on evacuated tube solar collectors. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 145(6), 2873-2889.
- [4] Rivasplata Cabanillas, C. E., Estalla Llanque, F. J., Coaquira Miranda, E. E., Arias Santana, V. A., & Mena Ordoñez, S. S. (2020). Experimental data on the solar heating of a closed pool with polycarbonate cover.
- [5] G. F. Smaisim, A. M. Abed, S. K. Hadrawi, y A. Shamel, «Modeling and Thermodynamic Analysis of Solar Collector Cogeneration for Residential Building Energy Supply», *J. Eng.*, vol. 2022, pp. 1-6, jul. 2022, doi: 10.1155/2022/6280334.
- [6] Ahmed, S. F., Khalid, M., Vaka, M., Walvekar, R., Numan, A., Rasheed, A. K., & Mubarak, N. M. (2021). Recent progress in solar water heaters and solar collectors: A comprehensive review. *Thermal Science and Engineering Progress*, 25, 100981.
- [7] Buker, M. S., & Riffat, S. B. (2016). Solar assisted heat pump systems for low temperature water heating applications: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 399-413.
- [8] Freeman, T. L., Mitchell, J. W., & Audit, T. E. (1979). Performance of combined solar-heat pump systems. *Solar energy*, 22(2), 125-135.
- [9] N. Saberi Shahmarvandi, et al. «Effects of different target solar fractions on providing heat required for space heating, sanitary hot water, and swimming pool in Iran: a case study in cold climate». *Journal of Engineering*, 2022, vol. 2022.
- [10] Gonçalves, R. S., Palmero-Marrero, A. I., & Oliveira, A. C. «Analysis of swimming pool solar heating using the utilizability method». *Energy Reports*, 2020, vol. 6, p. 717-724.
- [11] Y. Li, et al. «A study on the integration of air-source heat pumps, solar collectors, and PCM tanks for outdoor swimming pools for winter application in subtropical climates». *Journal of Building Performance Simulation*, 2020, vol. 13, no 6, p. 662-683.
- [12] J. García Álvarez y J. J. Ortiz Picón. «Diseño de un sistema de calentamiento de agua mediante colectores solares térmicos para las piscinas de la Unidad Educativa Fiscomisional Técnico Salesiano». 2023. Tesis de Licenciatura.
- [13] C. J. Jurado Salguero. «Diseño, construcción y automatización de un calentador solar

- como sistema complementario para una piscina de 360 metros cúbicos de agua». 2022.
- [14] Carvajal Paucar, A. P., & Mejía Almeida, R. D. «Diseño y análisis de implementación de un sistema de calentamiento de agua por tubos de vacío con energía solar térmica para la piscina de 360 m<sup>3</sup> del Club Castillo de Amaguaña». 2021. Tesis de Licenciatura.
- [15] E. Gallo Zapata. «Climatización de piscinas y obtención de agua caliente sanitaria, con energía solar». 2019.
- [16] P. Boza Huarancca. «Propuesta de colector solar térmico para la producción de agua caliente en la piscina de la UNCP». 2019.
- [17] Manayay Romero, A., & Arana Torres, J. C. «Diseño del sistema de calentamiento de agua con energía solar y recirculación automatizada para la piscina del Centro de Esparcimiento del Colegio de Ingenieros de Lambayeque», 2018.
- [18] Z. Xu, Y. Bie, F. Chen, G. Królczykg, J. Tu, y Z. Li, «Photo-thermal design and analysis of a novel CPC coupled solar air evacuated tube collector», *Appl. Therm. Eng.*, vol. 228, p. 120541, jun. 2023, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2023.120541.
- [19] C. Zhu, X. Dong, S. Yan, Y. Cui, y Q. Luo, «Air-Type Vacuum-Tube Solar Collector Design and Heat Collection Performance Test», *Energies*, vol. 15, n.o 15, p. 5679, ago. 2022, doi: 10.3390/en15155679.
- [20] L. Evangelisti, R. De Lieto Vollaro, y F. Asdrubali, «Latest advances on solar thermal collectors: A comprehensive review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 114, p. 109318, oct. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.109318.
- [21] K. Chopra, A. K. Pathak, V. V. Tyagi, A. K. Pandey, S. Anand, y A. Sari, «Thermal performance of phase change material integrated heat pipe evacuated tube solar collector system: An experimental assessment», *Energy Convers. Manag.*, vol. 203, p. 112205, ene. 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112205.
- [22] A. Kotb, M. B. Elsheniti, y O. A. Elsamni, «Optimum number and arrangement of evacuated-tube solar collectors under various operating conditions», *Energy Convers. Manag.*, vol. 199, p. 112032, nov. 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112032.
- [23] T. Abu Hamed y S. Alkharabsheh, «Design and performance analysis of a new evacuated tube solar air heaters equipped with fins and coils», *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 39, n.o 10, pp. 997-1008, nov. 2020, doi: 10.1080/14786451.2020.1798446.
- [24] R. Práválie, C. Patriche, y G. Bandoc, «Spatial assessment of solar energy potential at global scale. A geographical approach», *J. Clean. Prod.*, vol. 209, pp. 692-721, feb. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.239.
- [25] J. Gambade, H. Noël, P. Glouannec, y A. Magueresse, «In-situ assessment of a solar vacuum tube collectors installation dedicated to hot water production», *Energy Rep.*, vol. 8, pp. 605-615, nov. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.10.160.
- [26] M. Y. Li, B. Li, C. Liu, S. Su, H. Xiao, y C. Zhu, «Design and experimental investigation



- of a phase change energy storage air-type solar heat pump heating system», *Appl. Therm. Eng.*, vol. 179, p. 115506, oct. 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115506.
- [27] S. K. Pathak, V. V. Tyagi, K. Chopra, y A. Sari, «Thermal performance and design analysis of U-tube based vacuum tube solar collectors with and without phase change material for constant hot water generation», *J. Energy Storage*, vol. 66, p. 107352, ago. 2023, doi: 10.1016/j.est.2023.107352.
- [28] G. Li, S. Wang, H. Li, Q. Wang, K. Huang, y C. Ding, «Experiment of a novel collector design with concentrators and heat storage cores», *Appl. Therm. Eng.*, vol. 224, p. 120046, abr. 2023, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2023.120046.
- [29] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, y K.-H. Kim, «Solar energy: Potential and future prospects», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pp. 894-900, feb. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.094.
- [30] Energy Institute. (27 de Julio de 2024). *Statistical Review of World Energy*. <https://www.energyinst.org/statistical-review#regional-overview>
- [31] S. Kalogirou, *Solar energy engineering: processes and systems*, Second edition. Amsterdam; Boston: Elsevier, AP, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014.
- [32] L. Kumar, M. Hasanuzzaman, y N. A. Rahim, «Global advancement of solar thermal energy technologies for industrial process heat and its future prospects: A review», *Energy Convers. Manag.*, vol. 195, pp. 885-908, sep. 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.05.081.
- [33] F. Cortés, C. Murray, I. Muñoz, y W. Platzer, «INFORME CSET-2016-PU-001-SP Estudio de Tecnologías Solar Térmica para Producción de Calor en la Industria».
- [34] M. Imtiaz Hussain, C. Ménézo, y J.-T. Kim, «Advances in solar thermal harvesting technology based on surface solar absorption collectors: A review», *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 187, pp. 123-139, dic. 2018, doi: 10.1016/j.solmat.2018.07.027.
- [35] M. Á. L. Serrano, «COLECTORES SOLARES TÉRMICOS».
- [36] M. A. Sabiha, R. Saidur, S. Mekhilef, y O. Mahian, «Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 1038-1054, nov. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.016.
- [37] C. Cisneros-Ramírez y C. Recalde-Moreno, «Modelación matemática de un colector solar de tubos evacuados todo cristal/Mathematical modeling of an all glass evacuated tube solar collector», . ISSN, vol. 19, n.o 1.
- [38] M. Ghazouani, M. Bouya, y M. Benaissa, «A new methodology to select the thermal solar collectors by localizations and applications», en 2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Marrakech, Morocco: IEEE, dic. 2015, pp. 1-5. doi: 10.1109/IRSEC.2015.7455058.

- [39] S. Madala, «STATIONARY NONIMAGING CONCENTRATORS – A COMPREHENSIVE STUDY AND DESIGN IMPROVEMENTS».
- [40] K. Chopra, V. V. Tyagi, A. K. Pandey, y A. Sari, «Global advancement on experimental and thermal analysis of evacuated tube collector with and without heat pipe systems and possible applications», *Appl. Energy*, vol. 228, pp. 351-389, oct. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.06.067.
- [41] Energías renovables en el Ecuador situación actual, tendencias y perspectivas. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2015.
- [42] M. Nuñez, J. Correa, G. Herrera, P. Gómez, S. Morón, y N. Fonseca, «Research Article - Reception Date: May 14, 2018- Acceptance Date: August 27, 2018», *Sustain. ENERGY*, vol. 3, n.o 1, 2018.
- [43] Weather Spark (s.f.). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Chimbote Perú. <https://es.weatherspark.com/y/19904/Clima-promedio-en-Chimbote-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#Figures-Temperature>
- [44] Bayraktar, N., Abed, F. M., & ALI, H. H. M. (2022). Design, Simulation, Construction of Swimming Pools: A Comprehensive Review. *NeuroQuantology*, 20(8), 8922.

## ANEXOS

### ANEXO 01: Código en Matlab para el cálculo paramétrico

```
% CalenPiscina:
% Fecha: 03/04/2024
% -----
clc, clear, close all

%TABLAS DE PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA

T=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','A3:A42');
P=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','B3:B42');
rho1=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','C3:C42')
rhoV=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','D3:D42')
hfg=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','E3:E42')
Cpl=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','F3:F42')
Cpv=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','G3:G42')
kl=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','H3:H42');
mul=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','J3:J42')
muv=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','K3:K42')
Prl=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','L3:L42')
Prv=readmatrix('Propiedades_Agua_Saturada.xlsx','sheet','Agua saturada con T','Range','M3:M42')

% CALCULO DE LA DEMANDA TERMICA -----
% Parametros
Ltch = 30;           %(m) Longitud de la zona techada
Atch = 10;          %(m) Ancho de la zona techada
Lps = 25;           %(m) Longitud de la piscina
Aps = 12.5;         %(m) Ancho de la piscina
Pps = 1.6;          %(m) Profundidad de la piscina
% V_h2o = Lps*Aps*Pps;   %(m3) Volumen de agua en la piscina
V_h2o = 500;        %(m3) Volumen de agua en la piscina
Den_h2o = interp1(T,rho1,30);   %(kg/m3) Densidad del agua a 30 °C
Cp_h2o = interp1(T,Cpl,30)/1000; %(kJ/kg.K) Calor especifico del agua
V_recir = 25;       %(m3) Porcentaje de volumen de circulacion de a
%
Temp_agua = 7;      %(°C) Temperatura de entrada de agua a la pisci
Temp_amb = 13;     %(°C) Temperatura del ambiente durante la tempo
```

```

% Calor generado -----
Es = 5.8; % (kWh) Energía solar incidente diario promedio
Adc = 315; % (m^2) Área disponible para los colectores sola
I = 1000*Es/12; % (W/m^2) Irradiación promedio diario en Chimbot
alfa = 0.1; % (Adim) Coeficiente de absorptancia

% Calculos
As = Lps*Aps; % (m2) Área superficial de la piscin
% Calor requerido
t_cal = 120; % (h) Tiempo de calentamiento
m_h2o = Den_h2o*V_h2o; % (kg) Masa de agua en la piscina
Qu = (m_h2o/(t_cal*3600))*Cp_h2o*(Temp_conf-Temp_agua); % (kW) Calor útil requerido
Qr = alfa*I*As/1000; % (kW) Calor entregado a la piscina

% Resultados
disp('DIMENSIONAMIENTO-----')
fprintf('Volumen de agua : %4.2f m^3\n',V_h2o)
fprintf('Calor util requerido : %4.2f kW\n',Qu)
fprintf('Calor por irradiacion solar : %4.2f kW\n',Qr)

% PERDIDAS DE CALOR [2] -----
C1 = 235;
C2 = 206;
u = 1.3; % (m/s) Velocidad del viento medido
Psat_30 = 4246.69; % (Pa) Presión de saturación del vapor
Psat_13 = 1498.06; % (Pa) Presión de saturación del vapor
pw = Psat_30; % (Pa) Presión parcial del vapor de agua
pa = 0.6*Psat_13; % (Pa) Presión parcial del vapor de agua
ifg = 2484.31; % (J/kg) Calor latente de vaporización
hca = 4.4; % (W/m2.°C) Coeficiente de transferencia
epsi = 0.9; % (Adim) Emisividad del agua [2]
rho = 5.6697*10^-8; % (W/m2.K^4) Constante de Stephan-Boltzmann

E0 = (0.00005*(u/0.15)^0.7)*(pw-pa); % (kg/m2.h) Tasa de evaporación
Qevap = (As*E0*ifg/3600)/1000; % (kW) Calor perdido por evaporación

Qrad = As*epsi*rho*((Temp_conf+273)^4 - (Temp_amb+273)^4)/1000; % (kW) Calor perdido por radiación
Qperd = Qconv + Qevap + Qrad; % (kW) Calor perdido total
disp('PERDIDAS DE CALOR -----')
fprintf('Calor perdido por evaporacion : %4.2f kW\n',Qevap)
fprintf('Calor perdido por conveccion : %4.2f kW\n',Qconv)
fprintf('Calor perdido por radiacion : %4.2f kW\n',Qrad)
fprintf('Calor perdido total : %4.2f kW\n',Qperd)

% CALCULO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR -----
Temp_tanq_sal1 = 45; % (°C) Temperatura del agua a la salida del tanque
Temp_tanq_ent1 = 20; % (°C) Temperatura del agua a la entrada del tanque
TpromP = (Temp_conf+Temp_agua)/2; % (°C) Temperatura promedio del agua en la piscina
TpromT = (Temp_tanq_sal1+Temp_tanq_ent1)/2; % (°C) Temperatura promedio del agua en el tanque
Dtub = 0.0254; % (m) Diámetro medio del tubo
Ntub = 7; % (Adim) Número de tubos
%
CpP = interp1(T,Cp1,TpromP)/1000; % (kJ/kg.k) Calor específico a la temperatura promedio
CpT = interp1(T,Cp1,TpromT)/1000; % (kJ/kg.k) Calor específico a la temperatura promedio
rhoT = interp1(T,rho1,TpromT); % (kg/m3) Densidad del agua a la temperatura media
%
mP = Qu/(CpP*(Temp_conf-Temp_agua)); % (kg) Flujo másico de agua de la piscina
mT = Qu/(CpT*(Temp_tanq_sal1-Temp_tanq_ent1)); % (kg) Flujo másico de agua del tanque
VP = mP*3600/Den_h2o; % (m3/hr) Flujo másico de agua de la piscina
VT = mT*3600/Den_h2o; % (m3/hr) Flujo másico de agua del tanque
%

```

```

%
disp('INTERCAMBIADOR DE CALOR -----')
fprintf('Flujo masico de agua de la piscina (mP) : %4.2f kg/s\n',mP)
fprintf('Flujo masico de agua del tanque (mT) : %4.2f kg/s\n',mT)
fprintf('Flujo volumetrico de agua de la piscina (VP) : %4.2f m3/hr\n',VP)
fprintf('Flujo volumetrico de agua del tanque (VT) : %4.2f m3/hr\n',VT)
fprintf('Flujo volumetrico de la bomba de la piscina (VBP) : %4.2f L/min\n',VP*1000/60)
fprintf('Flujo volumetrico de la bomba del tanque (VBT) : %4.2f L/min\n',VT*1000/60)
fprintf('Flujo de calor (Qu) : %4.2f kW\n',Qu)

% CALCULO DEL COLECTOR SOLAR -----
% Modelo de un colector solar de tipo placa - [3]
qs = I; % (W/m2) Radiacion Solar
tau_alpha = 0.699; % (Adim) Absorptancia - transmitancia efectiva
kins = 0.028; % (W/m.°C) Conductividad termica del aislamiento - Espuma de pol
Lins = 0.05; % (m) Espesor del aislamiento
Tins = 20; % (°C) Temperatura del aislamiento
Tamb = 13; % (°C) Temperatura ambiente
kair = 0.02476; % (W/m.°C) Conductividad termica del aire
Lair = 0.05; % (m) Espacio de aire entre la cubierta y el colector
g = 9.81; % (m/s^2) Acleracion de la gravedad
bet = 0.00367; % (K^-1) Coeficiente de expansion volumetrica
v = 1.798e-5; % (m^2/s) Viscosidad cinematica
alphap = 2.487e-5; % (m^2/s^2) Difusividad termica
rho_boltz = 5.67e-8; % (W/m^2.K^4) Coeficiente de Stefan Boltzmann
ec = 0.89; % (Adim) Emisividad de la cubierta de vidrio
ep = 0.05; % (Adim) Emisividad de la placa del colector
%
phi = 20:10:60; % (°) Angulo de inclinacion del colector solar
To = 30:5:90; % (°C) Temperatura de salida del agua
Ti = 20; % (°C) Temperatura de entrada del agua
Tp = To+5; % (°C) Temperatura de la placa
Tc = Tp/2; % (°C) Temperatura de la cubierta
% Ap = 70*35; % (m^2) Area superficial del colector tipo placa

% Ac = 0.9*Ap; % (m^2) Area superficial de la cubierta de vidrio
Ap1 = 5; % (m^2) Area de un colector solar
%
Ap2 = zeros(length(phi),length(To));

for i = 1:length(To)
    for j = 1:length(phi)
        hins = kins/Lins; % (W/m^2.°C) Coeficiente de transferencia de calor
        Ra = (g*bet*(Tp(i)-Tc(i))*Lair^3)/(v*alphap); % ( ) Numero de Rayleigh
        Nu_a = (1-(1708/(Ra*cosd(phi(j)))));
        Nu_b = (((Ra*cosd(phi(j)))/5830)^(1/3))-1);
        Nuair = 1+1.44*((1-1708*(sind(1.8*phi(j)))^(1.6)))/(Ra*cosd(phi(j))))*Nu_a+Nu_b; % (Adim) Numero
        hp_conv = kair*Nuair/Lair; % (W/m^2.°C) Coeficiente de transferencia de calor
        hp_rad = rho_boltz*((Tc(i)+273)^2 + (Tp(i)+273)^2)*((Tc(i)+Tp(i)+2*273)/((1/ec)+(1/ep)+1));
        Ap2(j,i) = Qu*1000/(tau_alpha*qs-0.9*((Tp(i)-Tc(i))*(hp_rad+hp_conv)+hins*(Tins-Tamb)));
    end
end
Ac2 = 0.9*Ap2; % (m^2) Area superficial de la cubierta de vidrio
Np = (Ap2/Ap1); % (Adim) Numero de colectores solares
%
Qins = Ac2*hins*(Tins - Tamb); % (W) Perdida de calor por el aislamiento
% Qu = Aw*hw*(Tp-Tw); % (W) Calor util entregado al agua
% Qu = mT*CpT*(To-Ti)*1000; % (W) Calor util entregado al agua
Qu = Qu*1000; % (W) Calor util entregado al agua
Qp_conv = Ac2*hp_conv.*(Tp-Tc); % (W) Calor perdido por conveccion
Qp_rad = Ac2*hp_rad.*(Tp-Tc); % (W) Calor perdido por radiacion
Qsp = Ap2*(tau_alpha)*qs; % (W) Calor entregado por radiacion solar
Qp = (Qins+Qp_conv+Qp_rad); % (W) Calor perdido total
efics = 100*Qu./Qsp; % (%) Porcentaje de perdidas de energia

```

```

% Graficas
S_ang = {zeros(length(phi),1)};
for k = 1:length(phi)
    S_ang{k} = ['Angulo = ',num2str(phi(k)),'°'];
end

% subplot(1,2,1)
plot(To,Np)
xlabel('Temperatura de salida del agua, To (°C)')
% ylabel('Area total del colector solar, Ap2 (m^2)')
ylabel('Numero de colectores solares, Np (Adim)')
legend(S_ang)
grid
figure
% subplot(1,2,2)
plot(To,efics)
xlabel('Temperatura de salida del agua, To (°C)')
ylabel('Eficiencia del colector solar, efisc (%)')
legend(S_ang)
grid

% Resultados
disp('COLECTOR SOLAR -----')
fprintf('Irradiacion promedio diario en Chimbote : %4.2f W/m2\n',I)
fprintf('Area de un colector solar : %4.2f m^2\n',Ap1)

% CALCULO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO -----
VolTCS = 200; % (L) Volumen del tanque de un solo colecto
TiempSum = 7:1:12; % (h) Tiempo de suministro de agua caliente
VolTanque = zeros(length(TiempSum),length(To));

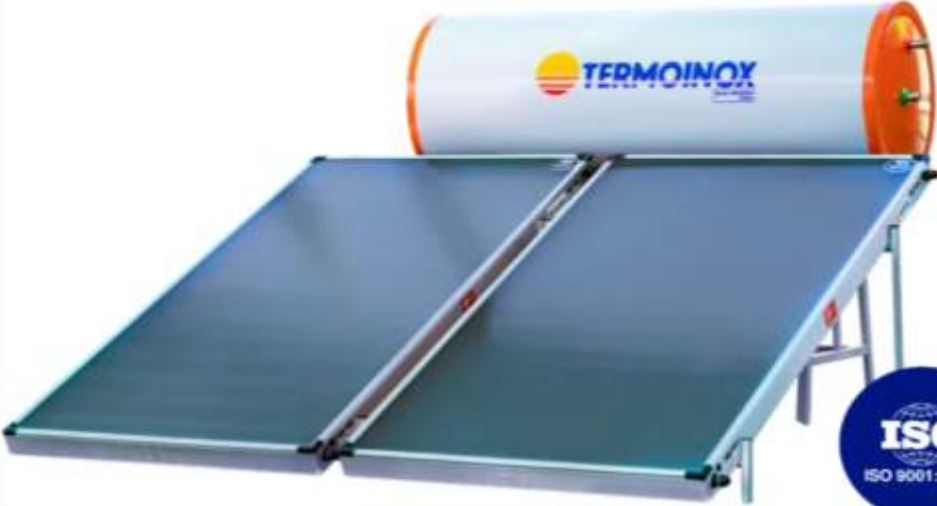
for i = 1:length(To)
    for j = 1:length(TiempSum)
        %
        Etanque = (Qperd-Qr)*TiempSum(j)*3600; % (kJ) Energia almacenada en el tanque
        mtanque = Etanque/(CpT*(To(i)-Ti)); % (kg) Masa de agua en el tanque
        VolTanque(j,i) = mtanque/rhoT; % (m^3) Volumen de agua en el tanque
        % Dtanque = 1.5; % (m) Diametro del tanque
        % Ltanque = VolTanque/(pi*(Dtanque^2)/4); % (m) Longitud del tanque
    end
end


NT = VolTanque/(VolTCS/1000);
%
S_ts = {zeros(length(TiempSum),1)};
for k = 1:length(TiempSum)
    S_ts{k} = ['Tiempo = ',num2str(TiempSum(k)),' h'];
end
%
figure
plot(To,NT)
xlabel('Temperatura de salida del agua, To (°C)')
ylabel('Numero de tanques, NT (adim)')
legend(S_ts)
grid
%
disp('TANQUE DE ALMACENAMIENTO -----')
fprintf('Temperatura a la entrada del tanque : %4.2f °C\n',Ti)
fprintf('Temperatura a la salida del tanque : %4.2f °C\n',To(4))
fprintf('Flujo masico maximo de agua del tanque (mT) : %4.2f kg/s\n',mT)
fprintf('Volumen de agua en el tanque : %4.2f m^3\n',VolTanque(4))

```

## ANEXO 02: Ficha de la terma solar

**FICHA TÉCNICA COMERCIAL**  
**TERMA SOLAR MAGNUM 300 Litros**





**INFORMACIÓN DEL PRODUCTO**

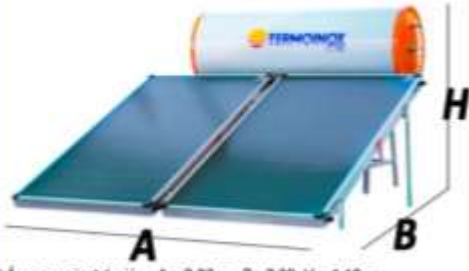
INFORMACION GENERAL TERMA SOLAR MAGNUM	CARACTERÍSTICAS GENERALES
<p>La Terma solar, es un aparato térmico e hidráulico que calienta el agua utilizando la energía del sol como fuente principal proveedora, sin depender de las fuentes convencionales como la electricidad, gas y petróleo. Sus partes son:</p> <p><b>Tanque Térmico:</b> Su función es conservar el agua caliente hasta su utilización. Fabricado en acero inoxidable, revestido con material aislante de poliuretano expandido.</p> <p><b>Colelector Solar:</b> Su función es coleccionar la energía luminosa del sol y transformarla en energía calorífica para luego transmitir ese calor hacia el agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Tanque interno en Acero inoxidable.</li> <li>* Posee Vidrio Solar Prismático para mayor absorción.</li> <li>* Diseñado para conservar agua caliente las 24 horas del día.</li> <li>* Certificaciones: ISO 9001/ Solar KeyMark - Alemania</li> <li>* Sistema Duplex - Solar y Eléctrico.</li> <li>* Peso Aprox: 122 Kg</li> <li>* Incluye Anodo de sacrificio - Magnetrón 25</li> <li>* Área Total: 5.28 m<sup>2</sup></li> <li>* Numero de ductos: 8 - 10</li> </ul>

**DATOS GENERALES**


TANQUE TÉRMICO: DATOS TÉCNICOS	COLECTOR SOLAR: DATOS TÉCNICOS
Presión de Trabajo: 40 m.c.a.	Presión de Trabajo: 40 m.c.a.
Presión de prueba: 120 m.c.a.	Cubierta transparente: Vidrio templado extraduro - prismático
Sistema Auxiliar: Eléctrico (Opcional)	Presión de prueba: 120 m.c.a.
Temperatura estimada: Entre 50°C - 65°C / día - Rad. >6.50 Kwh /m2- día	Union Tubo (Aleta): Extrucción cobre aluminio - 100% contacto
Fluido de trabajo: Agua Potable (No dura)	Fluido de trabajo: Agua Potable (No dura)
	Condensados: Inserto dispositivo Anti Foggin
	Soldadura Aleta tubo: Ultrasonido

**DATOS ESPECIFICOS POR CAPACIDAD**

DESCRIPCION	Unidad	TTAP300L304
Capacidad	L	300
Peso en Vacío (Aprox)	kg	46
Peso en Bruto (Aprox)	kg	346
<b>TANQUE EXTERNO</b>		
Diametro de la Tapa Externa	mm	610
Longitud Tanque Externo	mm	1640
<b>DISPOSICION DE NIPLES (Norma Tec. NPT)</b>		
Ingreso Agua Fría	Pulg.	1/2
Salida de Agua Caliente	Pulg.	1/2
Recirculacion/ Sifon	Pulg.	3/4
Resistencia Eléctrica	Pulg.	1 (3000w)



\* Área para instalación : A = 2.30 m , B = 2.30, H = 1.10 m



\* Orientación hacia el norte, lugar soleado y techo resaca.  
 \* Medidas aproximadas

## ANEXO 03: Catalogo HTW Bombas de calor para piscina

**HTW**



### LION

Bomba de calor para piscinas

7kW
13kW
16kW
19kW

EER
1.5

COP
5.8

- COPs superiores a 12
- Compresor DC Inverter
- Ventilador DC Invertir
- Intercambiador de 18mm



		HTW-SWP-0-070LJO	HTW-SWP-0-110LJO	HTW-SWP-0-140LJO	HTW-SWP-0-190LJO	
CÓDIGO EAN		8435483817326	8435483817319	8435483817302	8435483817371	
Alimentación eléctrica	V,F,Hz	220-240V (1 Fase - 50Hz)				
<b>RENDIMIENTO</b>						
Ambiente 27°C / Agua 26°C / Humedad 88%						
Capacidad calefacción	Capacidad	<b>kW</b>	1,82 ~ 7,24	1,97 ~ 11,66	3,25 ~ 16,00	3,50 ~ 18,70
		<b>Btu</b>	6210 ~ 24700	6698 ~ 39944	11050 ~ 54400	11900 ~ 63560
	Consumo	<b>kW</b>	0,15 ~ 1,28	0,16 ~ 2,00	0,30 ~ 2,91	0,32 ~ 3,65
		<b>COP</b>	-	12,13 ~ 5,06	12,57 ~ 5,84	10,83 ~ 5,50
Ambiente 19°C / Agua 26°C / Humedad 78%						
Capacidad calefacción	Capacidad	<b>kW</b>	1,29 ~ 6,64	1,79 ~ 8,62	3,55 ~ 12,60	3,55 ~ 14,00
		<b>Btu</b>	4740 ~ 19340	6095 ~ 29308	8670 ~ 43840	8570 ~ 47600
	Consumo	<b>kW</b>	0,24 ~ 1,28	0,29 ~ 1,91	0,44 ~ 2,80	0,47 ~ 3,24
		<b>COP</b>	-	5,79 ~ 4,41	6,17 ~ 4,52	5,80 ~ 4,50
Ambiente 19°C / Agua 20°C / Humedad 64%						
Capacidad refrigeración	Capacidad	<b>kW</b>	1,10 ~ 4,25	1,37 ~ 6,56	2,40 ~ 10,00	2,80 ~ 10,00
		<b>Btu</b>	3750 ~ 14500	4658 ~ 22803	8160 ~ 34100	9520 ~ 40000
	Consumo	<b>kW</b>	0,24 ~ 1,33	0,27 ~ 1,79	0,53 ~ 2,94	0,63 ~ 3,43
		<b>EER</b>	-	4,68 ~ 3,20	5,07 ~ 3,66	4,63 ~ 3,40
Ambiente 35°C / Agua 18°C						
Capacidad refrigeración	Capacidad	<b>kW</b>	0,24 ~ 2,07	0,34 ~ 3,12	0,50 ~ 4,90	0,48 ~ 5,64
	Consumo	<b>kW</b>	0,21 ~ 1,41	0,23 ~ 2,60	0,41 ~ 3,32	0,40 ~ 3,64
<b>CARACTERÍSTICAS</b>						
Caudal de agua	m <sup>3</sup> /h	2,4	3,7	5,2	6,0	
Presión sonora	dB(A)	39	43	44	44	
Presión máx. tras.	L/h	3,1/4,4	3,1/4,4	3,1/4,4	3,1/4,4	
Temperatura del agua	Refrigeración	°C	28 ~ 35	28 ~ 35	28 ~ 35	28 ~ 35
	Calefacción	°C	9 ~ 40	9 ~ 40	9 ~ 40	9 ~ 40
Refrigerante	Tipo	-	R32	R32	R32	
	Carga	Kg	0,35	0,48	0,65	0,67
Marca del compresor		Rotary (Mitsubishi)	Rotary (Mitsubishi)	Rotary (Mitsubishi)	Rotary (Mitsubishi)	
Nivel de resistencia al agua		IPX4	IPX4	IPX4	IPX4	
<b>DIMENSIONES Y PESO</b>						
Dimensiones netas (AnxAlxP)	mm	1000x605x418	1000x605x418	1045x767x453	1160x802x490	
Dimensiones brutas (AnxAlxP)	mm	1030x615x435	1030x615x435	1130x780x480	1210x880x510	
Peso neto/bruto	Kg	42/51	46/58	66/80	76/90	
<b>CONEXIONES</b>						
Entrada agua	mm	ØDN50	ØDN50	ØDN50	ØDN50	
Salida agua	mm	ØDN50	ØDN50	ØDN50	ØDN50	
Desagüe	mm	ØDN20	ØDN20	ØDN20	ØDN20	
PVP	€	<b>1.910€</b>	<b>2.090€</b>	<b>2.530€</b>	<b>3.975€</b>	



## ANEXO 04: Catalogo intercambiador de calor Alfa Laval



### CB30 /CBH30 / CBP30 de Alfa Laval

#### Intercambiador de calor de placas termosoldadas

##### Introducción

Los intercambiadores de calor de placas soldadas Alfa Laval CB ofrecen transferencia de calor eficiente con un tamaño reducido.

##### Aplicaciones

- Refrigeración y calentamiento de HVAC
- Refrigeración
- Refrigeración de aceite
- Refrigeración y calentamiento industrial

##### Ventajas

- Compact
- Fácil de instalar
- Autolimpieza
- No requiere demasiado mantenimiento
- Todas las unidades han sido sometidas a pruebas de presión y estanqueidad
- Sin juntas

##### Diseño

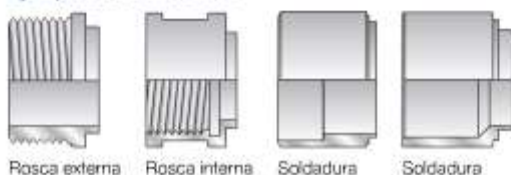
El material de soldadura sella y mantiene las placas juntas en los puntos de contacto, garantizando con ello la eficacia de la transferencia de calor y la resistencia a la presión. Utilizando tecnologías de diseño avanzadas y una verificación exhaustiva se garantiza el máximo rendimiento y una mayor vida útil.

Bajo pedido, se pueden solicitar intercambiadores con diferentes presiones nominales.

La unidad se puede entregar con un sistema de distribución refrigerada para un rendimiento óptimo del evaporador.

Basados en componentes estándar y un concepto modular, cada unidad está fabricada a medida para satisfacer los requisitos específicos de cada instalación.

##### Ejemplos de conexiones



## Datos técnicos

### Materiales estándar

Placas de cubierta	Acero inoxidable
Conexiones	Acero inoxidable
Placas	Acero inoxidable
Material de relleno de termosoldadura	Cobre

## Dimensiones y peso

### Dimensiones y peso <sup>1</sup>

Una medida (mm)	13 + (2,31 * n)
Una medida (pulgadas)	0,51 + (0,09 * n)
Peso (kg) <sup>2</sup>	1,2 + (0,11 * n)
Peso (lb) <sup>2</sup>	2,65 + (0,24 * n)

<sup>1</sup> n = número de placas

<sup>2</sup> Excluyendo las conexiones

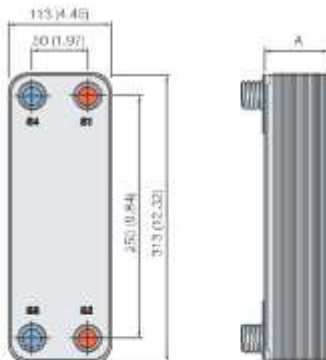
### Datos estándar

Volumen por canal, litros (gal)	0,054 (0,0143)
Tamaño máx. de partículas mm (pulg.)	1 (0,039)
Caudal máx. <sup>1</sup> m <sup>3</sup> /h (gpm)	14 (81,6)
Dirección de flujo	Paralelo
Número mín. de placas	4
Número máx. de placas	150

<sup>1</sup> Agua a 5 m/s (16,4 pies/s) (velocidad de conexión)

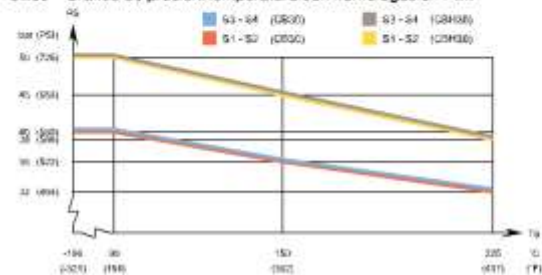
## Plano de dimensiones

Medidas en mm (pulgadas)

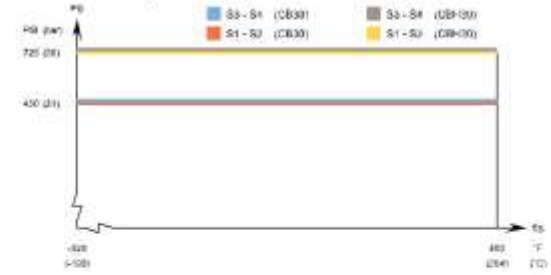


## Presión y temperatura de funcionamiento

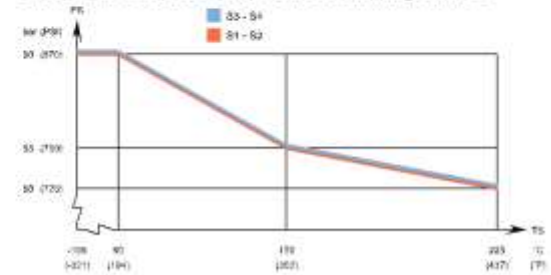
### CB30 – Gráfico de presión/temperatura con homologación PED



### CB30 – Gráfico de presión/temperatura con homologación UL



### CBP30 – Gráfico de presión/temperatura con homologación PED



Diseñado para vacío completo.

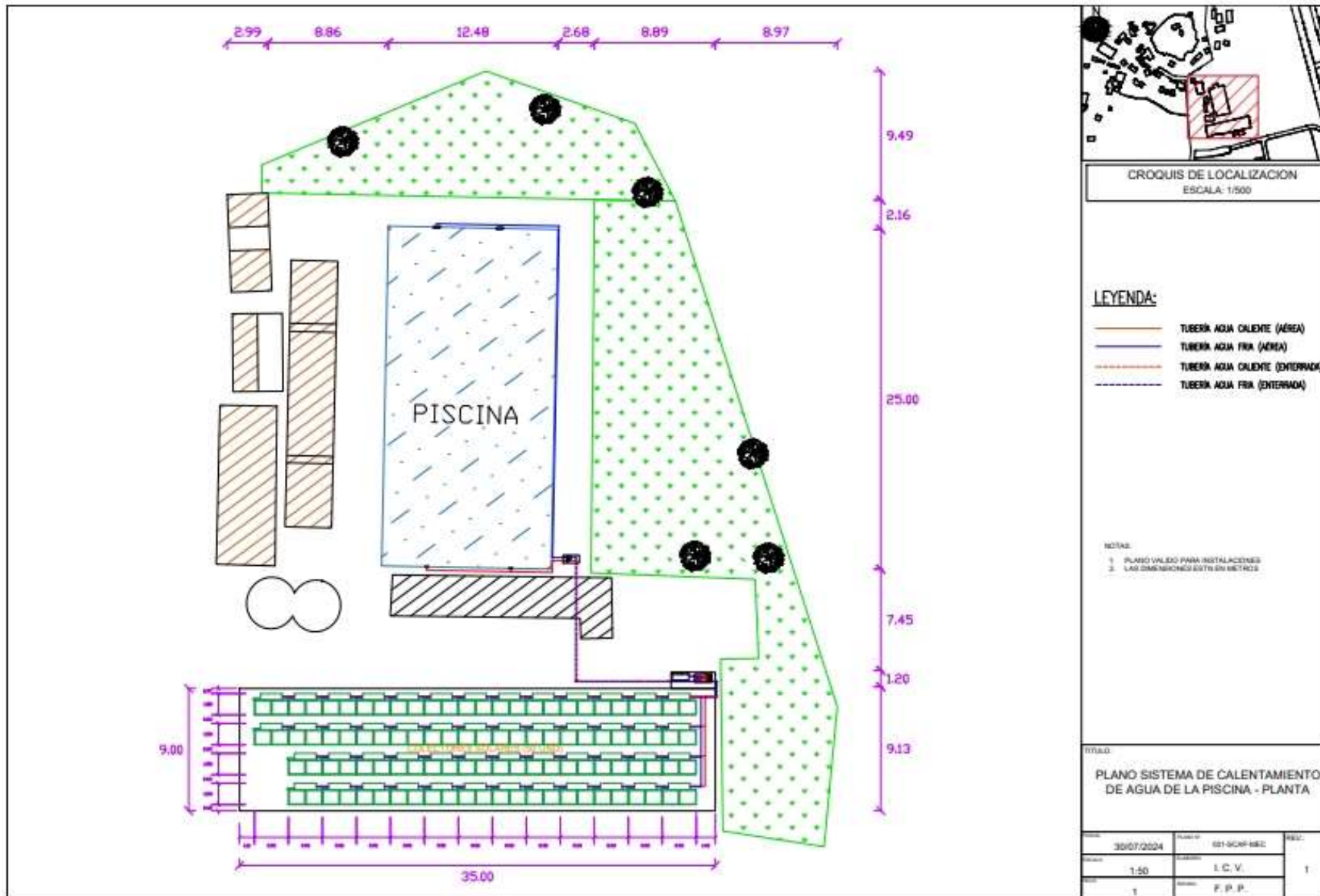
Los intercambiadores de calor de placas Alfa Laval están disponibles con una amplia gama de certificados de recipientes a presión. Para obtener más información, póngase en contacto con su representante de Alfa Laval.

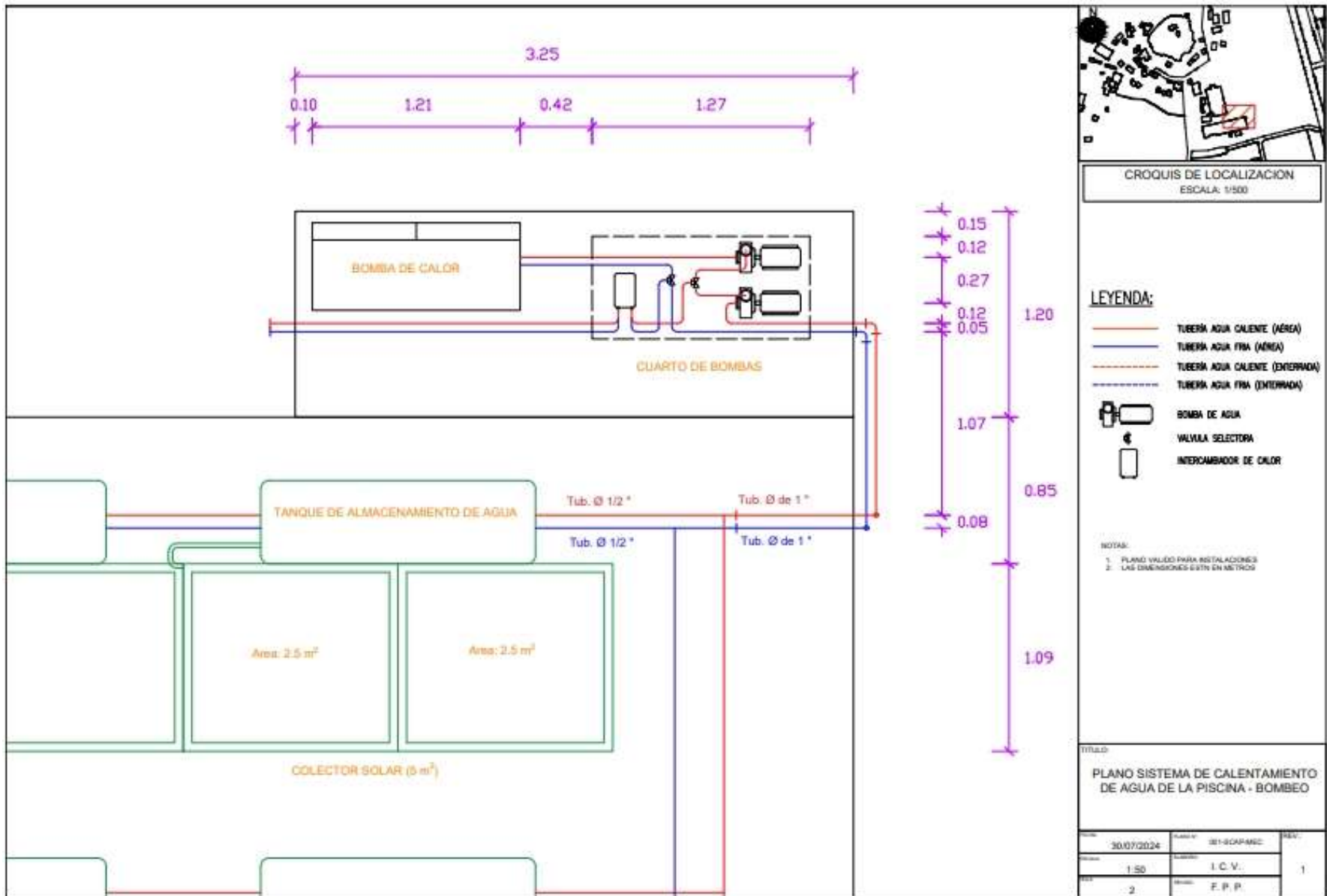
**NOTA:** Los anteriores valores se ofrecen únicamente a título informativo. Para obtener los valores exactos, utilice los planos generados por el configurador Alfa Laval o póngase en contacto con su representante local Alfa Laval.

## Aprobaciones marinas

CBM30 se puede entregar con certificado de clasificación marítima (ABS, BV, CCS, ClassNK, DNV-GL, KR, LR, RINA, RMRS)

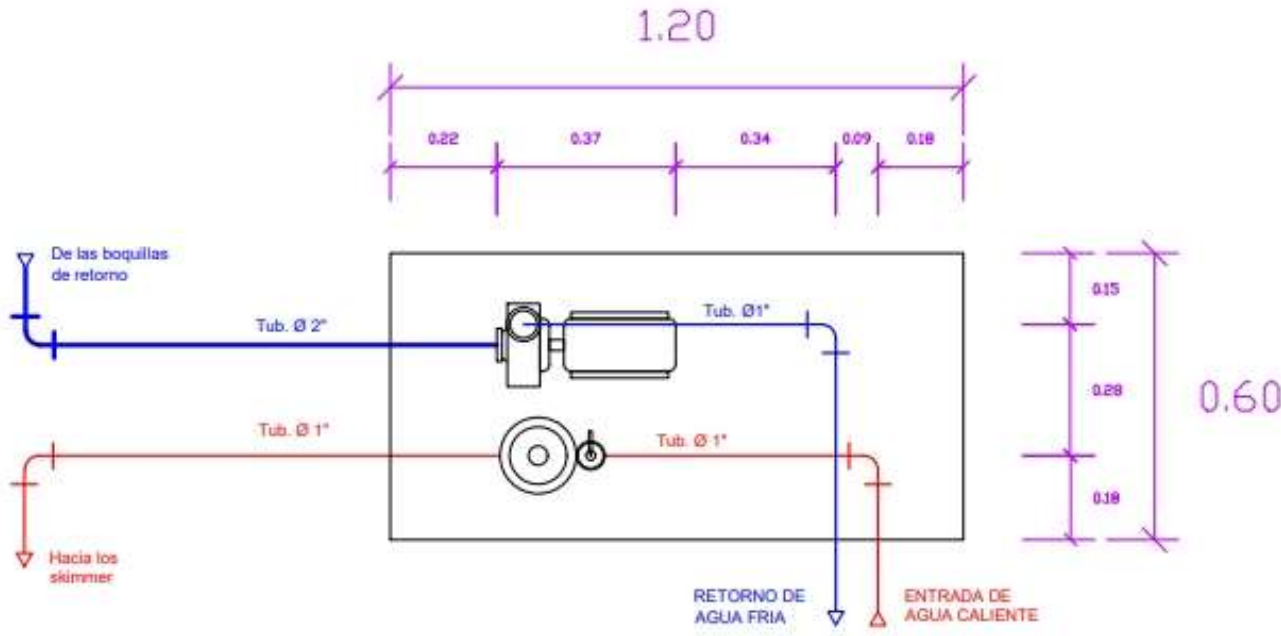
**ANEXO 05: Planos de instalación del sistema de calentamiento de agua**







CROQUIS DE LOCALIZACION  
ESCALA: 1/500



- LEYENDA:**
- TUBERÍA AGUA CALIENTE (AÉREA)
  - TUBERÍA AGUA FRIA (AÉREA)
  - TUBERÍA AGUA CALIENTE (ENTERRADA)
  - TUBERÍA AGUA FRIA (ENTERRADA)
  - BOMBA DE AGUA
  - FILTRO DE AGUA
  - VÁLVULA SELECTORA

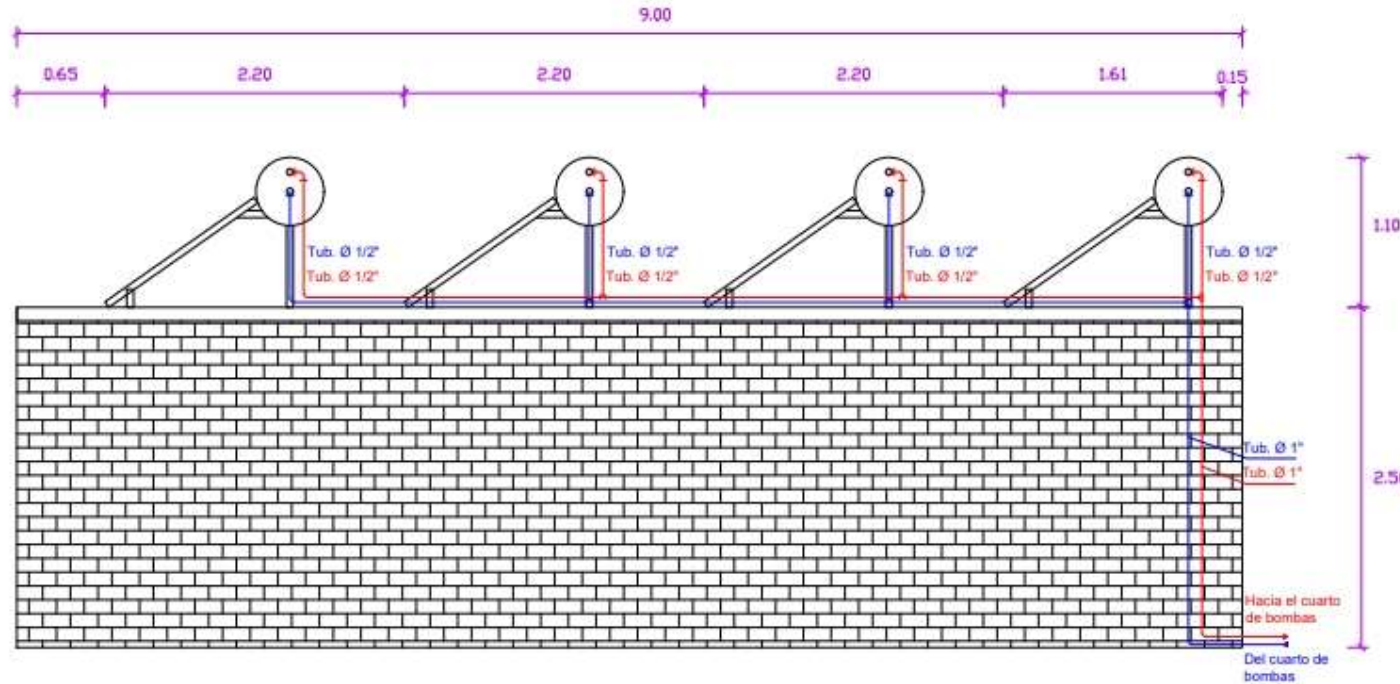
- NOTAS:**
1. PLANO VALEDO PARA INSTALACIONES
  2. LAS DIMENSIONES ESTÁN EN METROS

TÍTULO:  
PLANO SISTEMA DE CALENTAMIENTO  
DE AGUA DE LA PISCINA - BOMBEO

FECHA: 30/07/2024	PROYECTO: 301 SCAP-MSC	HOJA: 1
ESCALA: 1/50	PROYECTISTA: I. C. V.	
HOJA: 3	PROYECTISTA: F. P. P.	



CROQUIS DE LOCALIZACION  
ESCALA: 1/500



**LEYENDA:**

- TUBERÍA AGUA CALIENTE (AÉREA)
- TUBERÍA AGUA FRÍA (AÉREA)
- - - TUBERÍA AGUA CALIENTE (ENTERRADA)
- - - TUBERÍA AGUA FRÍA (ENTERRADA)

**NOTAS:**

1. PLANO VALIDO PARA INSTALACIONES
2. LAS DIMENSIONES ESTÁN EN METROS

TÍTULO:

PLANO SISTEMA DE CALENTAMIENTO  
DE AGUA DE LA PISCINA -  
COLECTORES SOLARES

FECHA:	30/07/2024	PLANO Nº:	001-SCAP-MEC	REV.:	
ESCALA:	1:50	DISEÑADO:	I. C. V.		1
FOLIO:	4	REVISADO:	F. P. P.		

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS\_CRISOLOGO&PEREZ\_TURNITIN.docx**

AUTOR

**Irwin Guillermo Y Frank Steven Crisologo Velasquez y Perez Pelaez**

RECUENTO DE PALABRAS

**14006 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**70842 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**68 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**5.1MB**

FECHA DE ENTREGA

**Nov 19, 2024 5:19 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Nov 19, 2024 5:21 AM GMT-5****● 20% de similitud general**

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

- 19% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 10% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado



**ACTA DE CONTROL DE REVISIÓN DE  
SIMILITUD DE LA INVESTIGACIÓN**

Código:	F3.PP2-PR.02
Versión:	02
Fecha:	18/04/2024
Hoja:	1 de 1

Yo, **Silvia Yvone Gastiaturú Morales**, coordinador de investigación del Programa de Estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica, he realizado el control de originalidad de la investigación, el mismo que está dentro de los porcentajes establecidos para el nivel de Pregrado, según la Directiva de similitud vigente en USS; además certifico que la versión que hace entrega es la versión final de la Tesis titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA LA PISCINA OLÍMPICA MUNICIPAL "VIVERO FORESTAL" DE CHIMBOTE USANDO ENERGÍA SOLAR.**, elaborado por el (los) Bachiller(es):

**CRISOLOGO VELASQUEZ IRWIN GUILLERMO  
PEREZ PELAEZ FRANK STEVEN**

Se deja constancia que la investigación antes indicada tiene un índice de similitud del **20%**, verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el software de similitud TURNITIN.

Por lo que se concluye que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con lo establecido en la Directiva sobre índice de similitud de los productos académicos y de investigación vigente.

Pimentel, 19 de noviembre de 2024

**Dra. Gastiatuuri Morales Silvia Yvone**

**Coordinador de Investigación**

**DNI N° 16481433**