



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



CÁLCULO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA PISCINAS DE QUINTAS VACACIONALES DE LA ZONA SUR ORIENTAL DE LA CIUDAD DE LOJA.

*Tesis de grado previo a optar por el
Título de Ingeniero en Electromecánica*

Autor: Juan Carlos Vega Vélez

Director: Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

LOJA - ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN

Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema se versa en “**CÁLCULO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA PISCINAS DE QUINTAS VACACIONALES DE LA ZONA SUR ORIENTAL DE LA CIUDAD DE LOJA**”, previa a la obtención del título de **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**, realizado por el señor egresado: Juan Carlos Vega Vélez, la misma cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 10 de abril del 2017



Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **JUAN CARLOS VEGA VELEZ** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresarme a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula: 1105648016

Fecha: 11 de Julio del 2017

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, **JUAN CARLOS VEGA VELEZ** declaro ser autor de la tesis titulada: **“CÁLCULO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA PISCINAS DE QUINTAS VACACIONALES DE LA ZONA SUR ORIENTAL DE LA CIUDAD DE LOJA”**, como requisito para optar el grado de: **INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja a los once días del mes de julio del dos mil diecisiete.

Firma: 

Autor: Juan Carlos Vega Vélez

Cédula: 1105648016

Dirección: Loja (Sauces Norte, Salvador Dalí Y Pasaje Goya)

Correo electrónico personal: juan.krlos.26@gmail.com

Correo electrónico institucional: jcvegav@unl.edu.ec

Teléfono: 072541274 **Celular:** 0959230410

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc.

Tribunal de grado: Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc

Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta, Mg. Sc

Ing. Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, Mg. Sc

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Beatriz.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Gonzalo.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis hermanas, Ximena y María.

Por estar conmigo y apoyarme siempre, las quiero mucho.

Finalmente a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le agradezco a Dios por darme la vida, la inteligencia y la fuerza necesaria para culminar mi carrera profesional de forma exitosa.

También le agradezco inmensamente a mi director de tesis, Ing. Milton León Tapia, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haberme tenido la paciencia del mundo para guiarme y apoyarme durante todo el desarrollo de mi tesis.

A mi familia y amigos por todo el cariño, paciencia y comprensión obsequiada a lo largo de toda mi carrera universitaria.

Y para finalizar, agradezco a la Universidad Nacional de Loja por haberme abierto las puertas para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo incondicional para seguir adelante día a día.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AURORIA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
TABLA DE CONTENIDOS.....	vii
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN.....	2
2.1. ABSTRACT.....	4
3. INTRODUCCIÓN.....	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
4.1. Eficiencia Energética.....	8
4.2. Colectores solares.....	8
4.3. Tipos de colectores solares para calentar agua.....	9
4.3.1 Colectores de placa plana con cubierta.....	9
4.3.2. Colectores CPC estacionarios.....	11
4.3.3. Colectores de placa plana sin cubierta.....	12
4.3.4. Colectores de tubos de vacío.....	13
4.4. Componentes.....	16
4.5. ¿Qué colector es el adecuado para cada situación?.....	17
4.6. Eficiencia de un colector solar.....	18
4.7. Bomba para piscinas.....	19
4.8. Mantas térmicas.....	21
4.8.1. Cómo Trabaja.....	21
4.8.2. Tipos de mantas Térmicas.....	21
4.8.3. Otros Beneficios.....	22
4.9. Filtración y tipos de filtros.....	23
4.9.1. Filtro de arena.....	23

4.9.2. Filtro de cartucho.....	24
4.9.3. Filtro de diatomáceas.....	25
4.10. Intercambiadores de Calor para Piscinas.....	26
4.10.1. ¿Dónde iría colocado el intercambiador de calor?.....	27
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
5.1. MATERIALES.....	29
5.2. MÉTODOS.....	29
5.2.1. Pérdidas de calor en el vaso de la piscina.....	29
5.2.1.1. Pérdidas por evaporación.....	30
5.2.1.2. Pérdidas por radiación.....	36
5.2.1.3. Pérdidas por Convección natural.....	36
5.2.1.4. Pérdidas por conducción.....	38
5.2.1.5. Pérdidas por Renovación.....	40
5.2.2. CÁLCULOS DE LA CINEMÁTICA SOLAR.....	40
5.2.2.1. Cálculo de la irradiancia solar sobre una superficie.....	40
5.2.2.2. Determinación de la Declinación Solar (δ) y energía incidente...43	
5.2.2.3. Ángulo horario de la salida del sol (W_s).....	44
5.2.2.4. Determinación de la radiación solar extraterrestre sobre una superficie normal al sol (H_o).....	45
5.2.2.5. Cálculo de la radiación diaria por unidad de área de una superficie horizontal (H').....	45
5.2.2.6. Cálculo de la Radiación Difusa Diaria que cae sobre una superficie horizontal (H_d').....	45
5.2.2.7. Determinación de la Radiación Solar Horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H).....	45
5.2.2.8. Determinación de la Radiación Difusa Horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H_d).....	46
5.2.2.9. Determinación del valor del Ángulo de Incidencia Horario de la Radiación Solar Directa sobre el calentador solar (θ_i).....	47
5.2.2.10. Determinación del Ángulo Cenital (θ_z).....	48
5.2.2.11. Cálculo de la Relación de la Radiación Solar Directa sobre una superficie inclinada y la Radiación Solar Directa sobre una superficie horizontal (R_b).....	48
5.2.2.12. Determinación de los valores de la Radiación Solar Horaria que cae sobre la superficie del equipo solar (H_t).....	49

5.2.3. Cálculo de la potencia necesaria para calentar el agua de la piscina.....	50
5.2.4. potencia requerida en la piscina (Qrp).....	50
5.2.5. Dimensionamiento del sistema auxiliar.....	51
6. RESULTADOS.....	52
6.1. Cálculo Y Diseño Del Sistema De Calentamiento Solar Para Piscinas.....	52
6.1.2. Pérdidas De Calor En La Piscina.....	53
6.2. Cálculo de la cinemática solar.....	65
6.2.1. Valor de la declinación del sol para el día medio de cada mes.....	65
6.2.2. Ángulo horario de salida del Sol (Ws).....	65
6.2.3. Cálculo de la radiación extraterrestre (Ho).....	66
6.2.4. Cálculo de la radiación diaria por unidad de área de una superficie horizontal (H´).....	66
6.2.5. Cálculo de la radiación difusa diaria que cae sobre una superficie horizontal (Hd´).....	67
6.2.6. Determinación de la radiación solar horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H).....	67
6.2.7. Determinación de la radiación difusa horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (Hd).....	68
6.2.8. Determinación del valor del ángulo de Incidencia horario de la radiación solar directa sobre el calentador solar (θ_t).....	72
6.2.9. Determinación del ángulo cenital (θ_z).....	73
6.2.10. Cálculo de la relación entre la radiación solar directa sobre una superficie inclinada y la radiación solar directa sobre una superficie horizontal (Rb).....	74
6.2.11. Determinación de los valores de la radiación solar horaria que cae sobre la superficie del colector solar (Ht).....	75
6.3. Selección del calentador en base a los datos de los fabricantes.....	77
6.4. Cálculo de la Eficiencia del Colector Solar.....	81
6.5. Cálculo del Área Media del Colector.....	83
6.6. Estimación del número de colectores requeridos.....	84
6.7. Cálculo de la potencia necesaria para calentar el agua de la piscina.....	86
6.8. Potencia requerida en la piscina (Qrp).....	86
6.9. Manta térmica.....	87
6.9.1. Pérdidas de energía utilizando la manta térmica.....	88

6.10. Sistema auxiliar.....	89
6.10.1. Dimensionamiento del sistema auxiliar.....	89
6.11. Sistema de Bombeo.....	92
6.12. Análisis Económico.....	94
➤ INFORMACIÓN INICIAL.....	94
➤ PROPUESTA TÉCNICA.....	94
➤ OFERTA ECONÓMICA.....	95
➤ GARANTÍA.....	96
➤ DIAGRAMA DE INSTALACIÓN.....	96
7. DISCUSIÓN.....	97
8. CONCLUSIONES.....	98
9. RECOMENDACIONES.....	99
10. BIBLIOGRAFÍA.....	100
11. ANEXOS.....	103

1. TÍTULO

CÁLCULO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA PISCINAS DE QUINTAS VACACIONALES DE LA ZONA SURORIENTAL DE LA CIUDAD DE LOJA.

2. RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño de un sistema solar de calentamiento de agua para piscinas de quintas vacacionales de la zona Suroriental de la ciudad de Loja, que tiene como finalidad de reemplazar la energía convencional por energía alternativa, para lo cual se tomó las dimensiones (largo, ancho, profundidad mínima y máxima), de cinco piscinas ubicadas en diferentes puntos de dicha región.

Con las medidas obtenidas se procedió a calcular una piscina promedio, las cuales nos ayudará para realizar los cálculos de pérdidas de calor en la piscina como son por evaporación, radiación, convección, conducción, y por renovación del agua las cuales provocan que la temperatura de la piscina disminuya.

Concluidos los cálculos de pérdidas de calor se realizó el cálculo de la cinemática solar, empezando con el valor de la declinación del sol para el día medio de cada mes, utilizando el mes de julio que es el día en donde hay menos radiación solar en el zona suroriental de la ciudad de Loja (Malacatos, Vilcabamba). Para calcular el valor del ángulo de Incidencia horario de la radiación solar directa sobre el calentador solar se determinó que el ángulo de inclinación que deben tener los colectores es de catorce grados con respecto a la horizontal.

Con los datos obtenidos se pudo calcular el número de colectores solares que se necesitarían para calentar dicha piscina así como también para satisfacer las pérdidas de calor. A continuación se seleccionó el colector marca SUNSET-SUN blue 21 de alto rendimiento que son proporcionados por la empresa lojana SolGas.

Se obtuvo la eficiencia media utilizando otros tres tipos de colectores solares (Termocan Serie Neo, Solaria 2.2 AL, TopSon F3-1) de diferentes empresas y distribuidores de la ciudad de Loja, así como también se calculó un área de captación media.

Luego se determinó que con la utilización de una manta térmica por la noche se reducirían el número de pérdidas en la piscina. Y por último se detalla el costo que tendría la implementación del sistema de calentamiento por colectores solares, que con ayuda de la empresa SolGas y del Ing. Oscar André S. se puede realizar, estimando una distancia de diez metros desde el cuarto de máquinas hasta la ubicación de los colectores.

2.1. ABSTRACT

The present work describes the design of a solar water heating system for pools of holiday farms in the southeast of the city of Loja, whose purpose is to replace conventional energy with alternative energy, for which the dimensions (Length, width, minimum and maximum depth) of five swimming pools located in different points of the region.

With the measures obtained we proceeded to calculate an average pool, which will help us to calculate heat losses in the pool as they are by evaporation, radiation, convection, conduction, and by water renewal which causes the temperature of the pool diminish.

After calculating the heat losses, the calculation of the solar kinematics was performed, starting with the value of the decline of the sun for the average day of each month, using the month of July, which is the day when there is less solar radiation in the Southeastern area of the city of Loja (Malacatos, Vilcabamba). In order to calculate the angle of incidence of direct solar radiation on the solar heater, it was determined that the angle of inclination that the collectors must have is fourteen degrees with respect to the horizontal and that these should be oriented to the west.

With the data obtained it was possible to calculate the number of solar collectors that would be needed to heat said pool as well as to satisfy the heat losses. Next, the high-performance SUNSET-SUN blue 21 collector was selected and supplied by the local company SolGas.

The average efficiency was obtained using three other types of solar collectors (Termocan Serie Neo, Solaria 2.2 AL, TopSon F3-1) of different companies and distributors of the city of Loja, as well as an average catchment area.

Then it was determined that with the use of a thermal blanket at night would reduce the number of losses in the pool. And lastly, the cost of installing the solar collector heating

system will be detailed. With the help of SolGas and Engineer Oscar André S., it can be done, estimating a distance of ten meters from the engine room to the location of the collectors

3. INTRODUCCIÓN

En la provincia de Loja, de manera particular, en las parroquias rurales de Malacatos y Vilcabamba y lugares aledaños, un importante número de familias lojanas de clase media, como resultado de su desempeño profesional, tienden a incrementar su patrimonio físico, mediante la adquisición de quintas vacacionales las mismas que preferentemente se ubican en los lugares antes mencionados, motivados por las bondades climatológicas de las parroquias surorientales de la capital lojana.

En dichos centros de esparcimiento familiar, es común, que los propietarios, hagan los esfuerzos económicos necesarios, para construir y/o implementar piscinas recreativas privadas, a efectos de incrementar sus posibilidades de diversión y descanso.

Dichas piscinas, por su naturaleza familiar, sus dimensiones son tales que la capacidad de agua acumulada en las mismas oscila entre 25 – 50 metros cúbicos y suelen ser abastecidas, ya sea por agua potable de la red, o por agua obtenida mediante perforación de pozos o por abastecimiento del agua de los ríos ubicados en sitios cercanos a la instalación de las piscinas.

En algunos casos y coincidiendo con la posición económica de los propietarios, el agua de las piscinas es calentada mediante sistemas de calefacción que usan gas licuado de petróleo, energía eléctrica y en muy pocas ocasiones mediante sistemas solares (caso de residentes extranjeros).

Debido al cambio estratégico que atraviesa nuestro país, con el cambio de matriz energética, el uso de gas licuado de petróleo para efectos de cocción y/o calentamiento de agua, pronto se convertirá en un rubro importante en cuanto se refiere a los costos del gas licuado de petróleo, por este motivo, la implementación de sistemas alternativos de calentamiento de agua, constituyen un importante incentivo para el desarrollo de métodos de calentamiento que involucren el uso de energías alternativas como la energía solar, la

misma que se constituye en una energía limpia, amigable con la conservación del medio ambiente y que no contribuye al fenómeno actual de calentamiento global del planeta.

Las posibilidades de implementar sistemas solares de calentamiento de agua para quintas vacacionales en el sector suroriental de la provincia de Loja, se ven favorecidos por la naturaleza del clima persistente en dichos sectores, ya que son sitios que poseen una abundante radiación solar directa, que favorece el funcionamiento de todo equipamiento solar además de que dichos sistemas son relativamente accesibles desde el punto de vista económico y poseen una longevidad de funcionamiento de entre 10 a 15 años con un costo de mantenimiento prácticamente reducible a cero.

Para desarrollar el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

Desarrollar la metodología para calcular y seleccionar un sistema de calentamiento solar de agua para piscinas de quintas vacacionales de la zona suroriental de la ciudad de Loja.

Objetivos específicos

- ✓ Determinar los parámetros básicos para dimensionar el sistema.
- ✓ Calcular y diseñar el sistema de calentamiento solar para piscinas de quintas vacacionales.
- ✓ Calcular la eficiencia del sistema.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Eficiencia Energética

La eficiencia energética es la mejora del aprovechamiento de la energía manteniendo el mismo nivel de servicios energéticos. Es decir:

- En un menor uso de la energía para obtener el mismo confort.
- Es la combinación de la preservación del medio ambiente y el aprovechamiento de los recursos.

Para conseguir una mayor eficiencia energética se proponen nuevas soluciones a las ya conocidas por todos, como son las energías renovables, o también denominadas energías limpias. No se trata de reducir o limitar nuestras acciones energéticas, sino usar los recursos de manera eficiente para lograr un mayor aprovechamiento de la energía. [1]

4.2. Colectores solares

Los colectores solares son dispositivos utilizados para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido, que puede ser agua o aire. La energía solar, puede ser utilizada para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas. [2]

Desde su primera invención, hace 120 años, se han desarrollado diversas formas de colectores solares térmicos, que van de los colectores planos a los colectores parabólicos y helióstatos. Se estima que en todo el mundo, el área instalada de colectores solares supera los $58 \times 10^6 \text{ m}^2$. En Argentina el uso de colectores solares con este fin es muy bajo en contraste con otros países como los europeos y China. [2]

Para calentar agua a temperatura media, para calefacción de espacios y para procesos industriales, las aplicaciones más utilizadas son los colectores planos, en los cuales el área de la superficie absorbadora es la misma que el área total del colector; o

tubulares, en los que el absorbedor se encuentra dentro de un tubo de vidrio al vacío. Estos últimos pueden incluir, ya sea dentro o fuera del tubo, espejos cilindro-parabólicos para centrar la energía solar en el absorbedor. Temperaturas de 40 a 70°C son alcanzadas fácilmente por los colectores planos; el uso de superficies selectivas y reflectores junto a la retención de calor, hace que los colectores de tubos de vacío alcancen temperaturas significativamente más elevadas. [2]

Un colector necesita ser seleccionado cuidadosamente de acuerdo a la temperatura del fluido que debe proporcionar, para la aplicación prevista y de acuerdo al clima del lugar en el cuál va a estar emplazado. Un colector diseñado para aplicaciones en las que se necesitan fluidos a alta temperatura no resulta más eficiente cuando operan a bajas temperaturas.[2]

4.3. Tipos de colectores solares para calentar agua

- Colectores de placa plana con cubierta (Glazed flat-platecollectors)
- Colectores Concentradores Parabólicos Compuestos (CPC) Estacionarios
- Colectores de placa plana sin cubierta (Unglazed flat-platecollectors)
- Colectores de tubos de vacío (Evacuated-tubecollectors)

4.3.1 Colectores de placa plana con cubierta

Los colectores de placa plana son los más usados para calentar agua en los hogares y para los sistemas de calefacción. Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y de una placa absorbidora de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector (Figura 1). [2]

Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados

para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de 30 -70 °C. Son los más utilizados para calentar agua en sistemas domésticos y comerciales y en piscinas cubiertas.[2]

Un colector de placa plana consiste en un absorbedor, una cubierta transparente, un marco, y aislación. La cubierta transparente transmite una gran cantidad de la luz de onda corta del espectro solar y al mismo tiempo, sólo deja pasar muy poca radiación de onda larga (calor emitido por el absorbedor) produciendo un efecto invernadero. [2]

Además, la cubierta transparente evita que el viento y las brisas se lleven el calor (convección). Junto con el marco, la cubierta protege el absorbedor de las condiciones meteorológicas adversas. Típicamente el marco está fabricado de materiales de aluminio y de acero galvanizado, también se utiliza plástico reforzado con fibra de vidrio. [2]

Estos colectores demostraron poseer una muy buena relación precio/calidad y tienen una amplia gama de posibilidades para su montaje (en el techo, como parte del techo, o solos).[2]

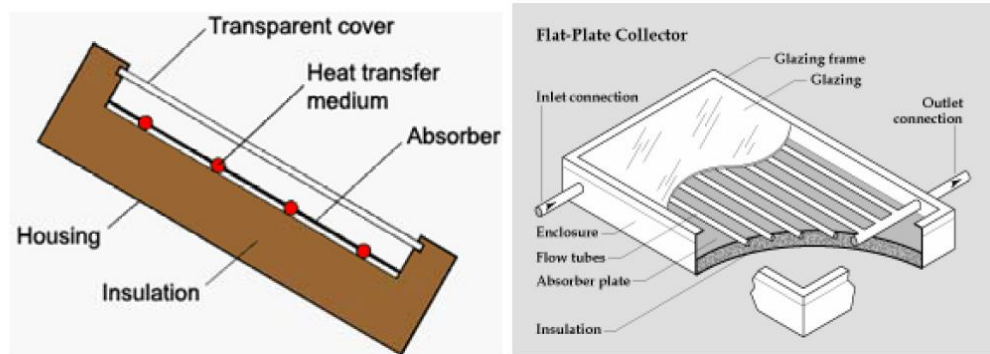


Figura 1: Esquema del colector de placa plana con cubierta

Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)



Figura 2: Foto de un colector solar de placa plana con cubierta

Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)

4.3.2. Colectores CPC estacionarios

Su funcionamiento e instalación es exactamente la misma que los colectores de placa plana convencionales.

Estos colectores poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo Concentradores Parabólicos Compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y un mayor rendimiento. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección logrando una minimización de las pérdidas y alcanzando un rendimiento cercano al 50% (Figura 3). [2]

Son colectores concentradores, de alto rendimiento y alta calidad, de patente portuguesa.



Figura 3. a) Esquema de un colector CPC, b) Marcha de Rayos en un colector tipo CPC (Gentileza AO Sol)

Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)



Figura 4: Foto de un colector solar tipo CPC estacionario

Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)

4.3.3. Colectores de placa plana sin cubierta

Este tipo de colectores, sencillos y baratos, consisten en un absorbedor pero carecen de la cubierta transparente. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20°C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura. [2]

Actualmente, son utilizados para la calefacción de piscinas al aire libre, pero existen otros mercados, incluidos los de calefacción de temporada en las piscinas cubiertas, calefacción de agua para lavar coches, y calefacción del agua utilizada en piscicultura. También existe un mercado potencial de estos colectores para calentamiento de agua en lugares remotos, como campamentos de verano. [2]

Los absorbedores de estos colectores son generalmente de plástico negro tratado para resistir la luz ultravioleta, o están contruidos por tubos de metal o plástico recubiertos de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua (Figura 5). Dado que estos colectores no tienen cubierta, una gran parte de la energía solar absorbida se pierde principalmente por convección.[2]



Figura 5: Foto de un colector de placa plana sin cubierta

Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)

4.3.4. Colectores de tubos de vacío

Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados) cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calo-portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura. [2]

Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día. Estos colectores son hasta unos 30% más eficientes que los colectores planos, pero son bastante caros, por unidad de superficie suelen costar aproximadamente el doble que un colector de placa plana. [2]

En los últimos años la China ha perfeccionado la construcción de este tipo de colectores a precios competitivos con los colectores planos y ha entrado a competir con éxito en el mercado mundial. En la actualidad la China está produciendo el 70 % de los

colectores usados a nivel mundial. Están bien adaptados para aplicaciones industriales de calefacción y también puede ser una alternativa eficaz a los colectores de placa plana para la calefacción doméstica, especialmente en regiones donde hay poca radiación o escasa heliofanía. [2]

La técnica de vacío utilizada por los fabricantes de tubos fluorescentes, entre otros, se ha desarrollado hasta el punto de hacer rentable la producción en masa y la comercialización de sus equipos. Mediante la aplicación de esta tecnología, ha sido posible la construcción de los colectores solares de vacío que se comercializan en la actualidad y el mantenimiento de su elevado vacío. Debido a sus características geométricas, reciben el nombre de colectores de tubos de vacío. Existen dos tipos de colectores tubulares de vacío, según sea el método empleado para el intercambio de calor entre la placa y el fluido caloportador:

- De flujo directo.
- Con tubo de calor (heat pipe)[2]

De Flujo Directo: Estos consisten en un grupo de tubos de vidrio dentro de cada uno de los cuales hay una aleta de aluminio absorbedor, conectada a un tubo de metal (normalmente cobre) o tubo de vidrio. La aleta posee un recubrimiento selectivo que absorbe la radiación solar, e inhibe la pérdida de calor radiativo. El fluido de transferencia de calor es el agua y se distribuye a través de las tuberías, una para la entrada del líquido y el otro para la salida de fluidos (Figura 6). Los colectores de tubos de vacío de corriente directa vienen en varias variedades de acuerdo al tipo de tubería utilizada. [2]

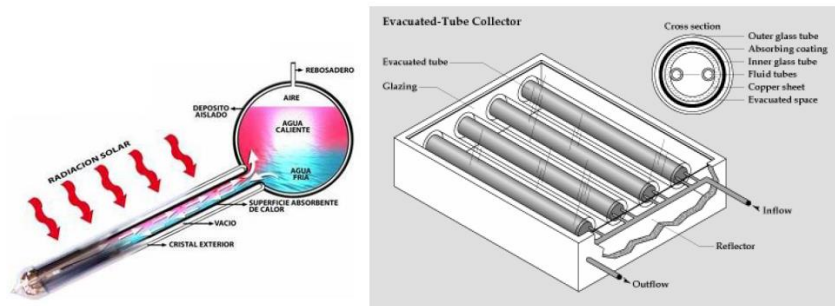


Figura 6: a) Tipo de Funcionamiento Tubo de Flujo Directo b) Colector de tubo de vacío de flujo directo

Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)



Figura 7: a) Foto de un colector Solar de Tubo de vacío de Flujo Directo b) Esquema de conexión de los tubos

Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)

Con tubo de Calor (Heat Pipe): En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido vaporizante que no puede salir del interior del tubo y que funciona como caloportador. Este fluido se evapora por efecto de la radiación solar, asciende hasta el extremo superior del tubo que se encuentra a temperatura inferior, esto hace que el vapor se condense, ceda su energía y retorne a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad a la parte inferior del tubo, donde al recibir más radiación, vuelve a evaporarse y comienza un nuevo ciclo (Figura 8). [2]

Los tubos de calor son considerados como los “superconductores” del calor, debido a su muy baja capacidad calorífica y a su excepcional conductividad (miles de veces superior a la del mejor conductor sólido del mismo tamaño). El uso del tubo de calor está muy extendido en la industria y, basándose en este principio de funcionamiento se fabrican los actuales colectores de vacío con tubo de calor.[2]

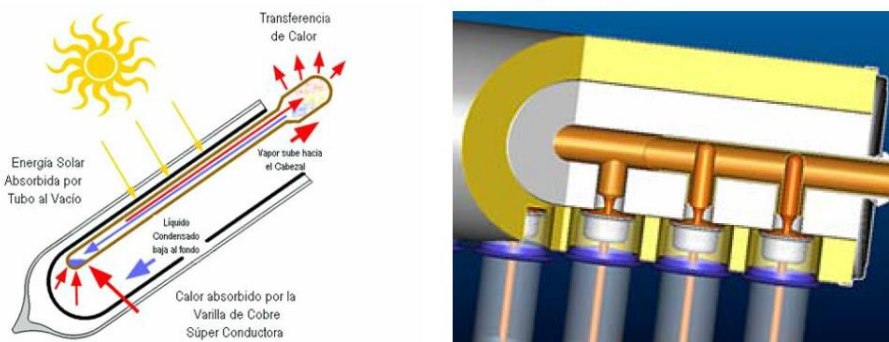


Figura 8: a) Funcionamiento del Tubo de Calor b) Colocación de tubos en el colector

Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)



Figura 9: a) Foto Colector Solar de Tubo de Vacío Heat Pipe b) Distintos tipos de Tubos de Calor

Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)

4.4. Componentes

Los SST incluyen una serie de elementos necesarios para el correcto funcionamiento y control de la instalación. Todos los materiales del SST deberán soportar las máximas presiones de trabajo que puedan alcanzarse en el SST, así como, después de alcanzar la presión máxima, el SST debe volver a su forma normal de funcionamiento, sin que el usuario tenga que hacer ninguna actuación.[3]



Figura 10: Componentes de un colector solar

Fuente: (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 20)

Dispositivo diseñado para captar la radiación solar incidente, transformarla en energía térmica y transmitir la energía térmica producida, a un fluido de trabajo que circula por su interior.[3]

Existen diferentes tipos de colectores y con distintas tecnologías de fabricación. En términos generales, se pueden clasificar en dos tipos principales;

- Colectores Solares Planos
- Colectores Solares de Tubos al Vacío.

Las conexiones del CST deberán diseñarse de forma de asegurar un circuito hidráulico equilibrado, mediante conexiones cruzadas, es decir, entrada por abajo y salida por arriba en el extremo diagonalmente opuesto.[3]

4.5. ¿Qué colector es el adecuado para cada situación?

El rango de temperaturas deseadas para el fluido que se calienta es el factor más importante cuando se elige el tipo de colector. Un absorbedor descubierto, no será apto para obtener temperaturas elevadas (Figura 11). La cantidad de radiación del lugar, la exposición a tormentas y granizo, y la cantidad de espacio que se necesita, deben ser cuidadosamente examinadas cuando se planifica un sistema solar. [2]

Los costos específicos de los colectores también son importantes. Los tubos colectores al vacío son sustancialmente más caros que los colectores de placa plana. Un buen colector no garantiza un buen sistema solar. [2]

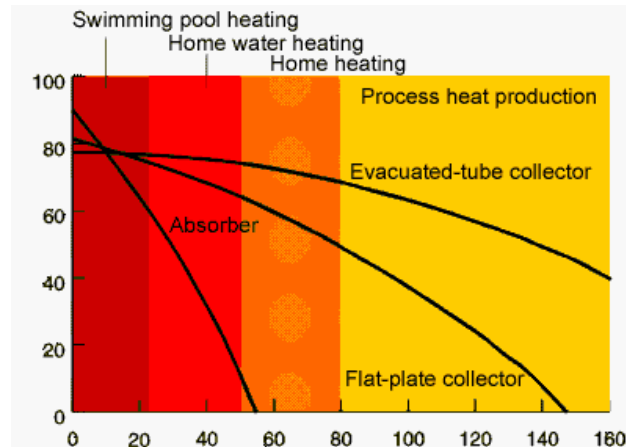


Figura 11: Variación de la eficiencia, en distintos tipos de colectores, en función de la diferencia de temperatura del agua entre la salida y la entrada del colector.

Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)

4.6. Eficiencia de un colector solar

La eficiencia de un colector solar se define como el cociente de la energía térmica útil frente a la energía solar total recibida. Además de las pérdidas térmicas existen las pérdidas ópticas. El factor de conversión u eficiencia óptica indica que porcentaje de los rayos solares que penetran en la cubierta transparente del colector (la transmisión) es absorbido. Básicamente, es el producto de la tasa de transmisión de la cubierta y la tasa de absorción del absorbedor (Figura 12). [2]

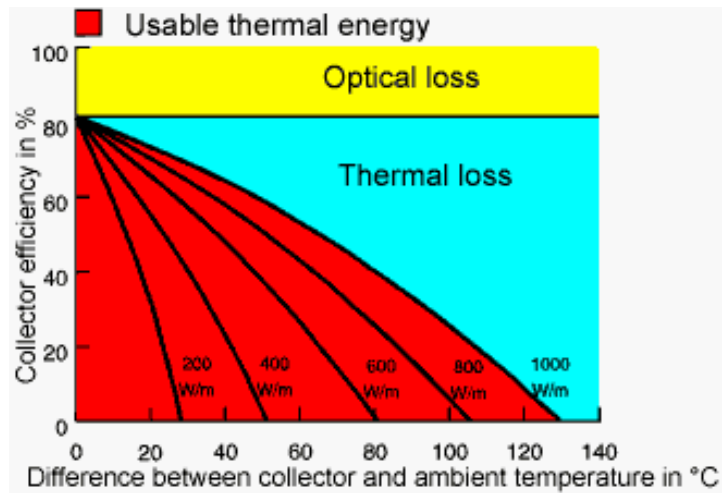


Figura 12: Eficiencia de Colectores Solares
 Fuente: (Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena, 2006)

En la tabla 1 se muestran valores típicos de los parámetros característicos eficiencia óptica (η_0) y coeficiente global de pérdidas (U_L) y rango normal de temperaturas de trabajo para distintos tipos de colectores:

Tabla 1: Parámetros Característicos de los distintos tipos de colectores solares

Tipo de Colector	Factor de Conversión (η_0)	Factor de Pérdidas Térmicas $U_L(W/m^2 \text{ } ^\circ C)$	Rango de Temperatura ($^\circ C$)
Sin Cubierta	0.9	15-25	10 - 40
Cubierta Simple	0.8	7	10 - 60
Cubierta Doble	0.65	5	10 - 80
Superficie Selectiva	0.8	5	10 - 80
Tubos de Vacío	0.7	2	10 -130

Fuente: CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar)

4.7. Bomba para piscinas.

Las bombas para piscinas son diferentes a las bombas que se emplean en otros usos, estas bombas deben tener las siguientes características:

- No se requiere que el agua bombeada fluya a muy alta presión pero sí que maneje grandes volúmenes de agua.

- Su diseño y construcción debe ser tal que produzca un alto vacío necesario para la aspiración y limpieza de la alberca.
- Deben estar construidas en materiales resistentes al sol, a la corrosión y a la acción de los químicos que se agregan al agua como lo es el cloro.
- Deben tener un canasto previo a la voluta de la bomba para evitar que hojas y material extraño llegue a la bomba y cause daños en la misma.
- Debe estar construida para uso continuo, intensivo y en condiciones extremas de calor, humedad y temperatura. [4]

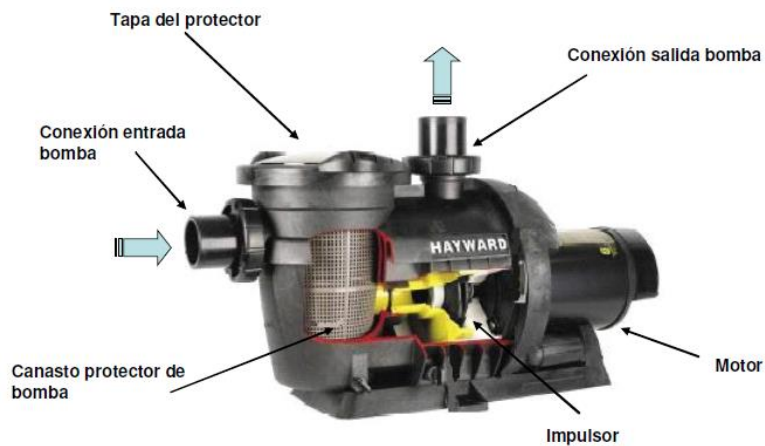


Figura 13. Bomba para piscina y sus componentes
 Fuente: (www.oocities.org/edrochac/sanitaria/albercas12.pdf)

4.8. Mantas térmicas

Las mantas térmicas son un producto necesario para conservar el calor del agua de su piscina y protegerla de la suciedad. Es la mejor manera de ahorrar en productos químicos y de conseguir una óptima climatización de su piscina ya que ayudan a conservar la temperatura y evitan las pérdidas de calor que se producen durante la noche. [5]



Figura 14. Mantas térmicas

Fuente: Ingerpool

4.8.1. Cómo Trabaja

Las piscinas pierden energía de varias formas, pero la causa más importante es la evaporación. Hacer evaporar agua requiere una cantidad impresionante de energía.

La cantidad de agua que se evapora en una piscina exterior depende de varios factores, como la temperatura de la piscina, la del aire, la humedad ambiente y la velocidad del viento sobre la superficie de la piscina. Cuanto mayor sea la temperatura de la piscina y la velocidad del viento, y menor la humedad, la evaporación será mayor. [6]

4.8.2. Tipos de mantas Térmicas

Los mejores materiales para las mantas son el polietileno con alta protección UV, el polipropileno o el Vinilo (PVC). Pueden ser transparentes u opacos.

Las piletas exteriores ganan calor del sol, absorbiendo entre el 75%–85% de la energía solar que llega a la pileta. Es por eso que se recomienda retirar la cubierta durante el día si este es soleado y colocarla nuevamente durante la noche. Mantener la pileta

cubierta todo el tiempo va a reducir la ganancia de calor por el sol entre un 15% - 40%, dependiendo del color de la misma. [6]



Figura 15. Tipos de Mantas térmicas

Fuente: Climatización para piscinas

4.8.3. Otros Beneficios.

La Manta térmica provee beneficios adicionales al ser usada de acuerdo a lo indicado:

- Manera más económica de calentar o mantener climatizada su piscina y al mismo tiempo reducir la emisión de gases que producen efecto invernadero.
- Es posible ahorrar entre el 50 al 70 % del costo de climatización.
- Conserva agua al evitar la evaporación.
- Reduce el consumo de químicos en la piscina entre un 35%–60%.
- Reduce el tiempo de limpieza de la piscina evitando que la tierra y otras impurezas lleguen a la piscina. [7]

4.9. Filtración y tipos de filtros

Los filtros que se pueden emplear en piscinas son: filtros de arena, de cartucho y de tierras diatomáceas.

4.9.1. Filtro de arena

Por tradición este tipo de filtro es el más empleado aun hoy en día. Como todos tiene sus ventajas y sus desventajas.



Figura 16. Filtro de arena

Fuente: Filtros equipos y sistemas para tratamiento de aguas

Este filtro consiste de un tanque que contiene arena, un distribuidor una rejilla de colección y una válvula de multipasos.

En el filtro de arena el agua pasa desde la parte superior a la parte inferior por medio de un distribuidor y se colecta en el fondo con un canasto de rejilla. Los sólidos son retenidos en el medio granular del filtro y el agua sale una vez filtrada y se regresa a la piscina para ser distribuida a lo largo de esta por los jets de la piscina. [8]

Eventualmente el filtro se satura con los sólidos retenidos por lo que se hace la limpieza de este.

En la limpieza del filtro se cambia la válvula de multipuertos de posición y el agua ahora fluye desde la parte inferior hacia la parte superior arrastrando así los sólidos retenidos en la parte superior del filtro. El flujo de agua cuando la válvula esta en esta posición es hacia el drenaje a donde se desechan los sólidos acumulados. Una vez que se limpia el filtro, se cambia la posición de la válvula y el agua fluye en forma normal desde arriba hacia abajo pasando por el lecho de arena pero el agua se envía al drenaje hasta que el agua salga clara. [8]

Cuando el agua está clara se cambia nuevamente la posición de la válvula y el filtro opera normalmente en su posición de filtración.

4.9.2. Filtro de cartucho

Este tipo de filtro es muy efectivo y simple de operar. Consiste de uno o más elementos de filtración de medio filtrante tal como fibras de celulosa, o poliéster plisado. La finalidad del plisado es tener el máximo de área en el mínimo de volumen. Periódicamente se limpia el filtro con un chorro de agua a presión y cuando el material está muy desgastado después de varios ciclos de limpieza, se cambia el elemento por uno nuevo. [8]

En este tipo de filtro el agua pasa a través del material filtrante y por simple tamizado los sólidos son retenidos y el agua pasa una vez que es filtrada.

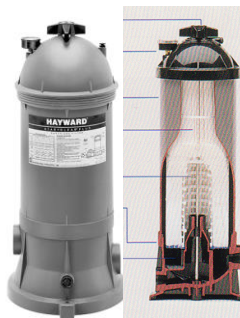


Figura 17. Filtro de cartucho

Fuente: Filtros equipos y sistemas para tratamiento de aguas

4.9.3. Filtro de diatomáceas

El filtro de diatomáceas es uno de los menos fáciles en su uso pero tiene la ventaja de ser uno de los más eficientes y que mejor calidad de agua produce. El filtro de diatomáceas consiste de un tanque o deposito que tiene en su interior un arreglo de lonas en forma de velas o de gajos en espiral procurando siempre aprovechar el máximo de área en todo el espacio disponible en el cuerpo del filtro. [8]



Figura 18. Filtro de diatomáceas

Fuente: Filtros equipos y sistemas para tratamiento de aguas

El medio filtrante que retiene las partículas que contaminan el agua no es la lona, sino que se agrega una mezcla o lechada de tierras diatomáceas y se vierte sobre el canasto de la bomba o a través de un medio similar (en los desnatadores de la alberca). Cuando la lechada pasa por las lonas, las partículas de diatomáceas se retienen y forman una capa que es realmente el medio filtrante. [8]

Una vez formada la capa filtrante en toda el área de las lonas del filtro, el filtro está listo para operación. Los finos poros y la geometría de las partículas de diatomácea retienen muy eficientemente los sólidos y el tamaño de los poros es tan fino como 0.2 micrones, lo cual produce un filtrado sumamente cristalino. [8]

Eventualmente como todos los filtros de diferente tipo, el medio de filtración se satura y debe limpiarse o cambiarse. Cuando se requiere el cambio de tierra, se desecha la

diatomácea saturada y se vierte una nueva lechada en el filtro para iniciar un nuevo ciclo de filtración. [8]

4.10. Intercambiadores de Calor para Piscinas

Los intercambiadores de calor para piscinas proporcionan de una forma muy cómoda el calentamiento del agua de la piscina dado que el calentado de la misma se puede realizar a través de una caldera, de cualquier bomba de calor tradicional o con paneles térmicos solares. Los intercambiadores de calor para piscinas son equipos que se encargan de transferir el calor para elevar la temperatura de la piscina. [9]



Figura 19. Intercambiadores de Calor

Fuente: <https://www.outlet-piscinas.com>

Los intercambiadores de calor para piscinas funcionan con dos entradas de agua y dos salidas. Dos entradas por las que circula el agua de la piscina y otras dos por los que circula el agua caliente que transferirá el calor al agua de la piscina. De esta manera ninguno de los dos flujos de agua se toca, transfiriendo el calor al agua de la piscina. [9]

Los materiales con los que normalmente se suelen fabricar los intercambiadores de calor para piscinas son titanio, acero inoxidable, una aleación de cuproníquel o con Teflón, ya que estos materiales son los más resistentes a la corrosión de la sal y el

cloro. Algunos intercambiadores de calor para piscinas pueden así mismo hacer el efecto contrario, enfriando el agua cuando nos situamos en climas cálidos. [9]

El proceso es similar al anterior, con la salvedad de que el intercambiador de calor para piscina en lugar de estar conectado a un equipo calefactor, recibe el agua fría desde los tubos de un equipo de refrigeración. [9]

La utilización de los intercambiadores de calor para piscinas es de fácil uso, ya que una vez conectado solo tiene que elegir la temperatura deseada y en poco tiempo notará el aumento de la temperatura del agua de la piscina. [9]

4.10.1. ¿Dónde iría colocado el intercambiador de calor?

Deberá estar montado sobre una base o pared fija y podrá estar situado tanto de forma horizontal como vertical.

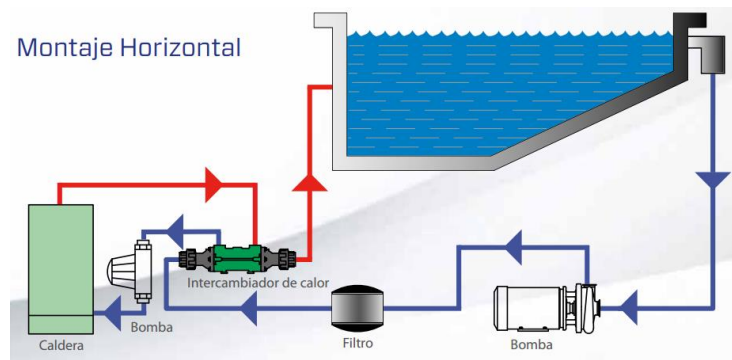


Figura 20. Montaje Horizontal

Fuente: EJ Bowman (Birmingham)

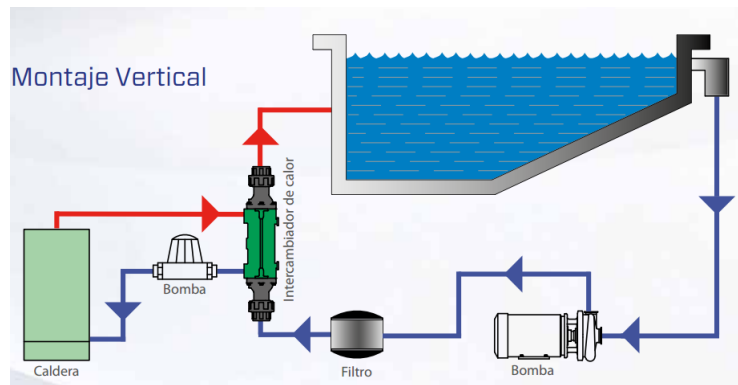


Figura 21. Montaje Vertical

Fuente: EJ Bowman (Birmingham)

El intercambiador irá conectado a dos circuitos de agua totalmente independientes:

1. Conexión al circuito de filtración del agua de la piscina.

Se colocará en línea de la siguiente manera: intercambiador de calor - bomba de piscina con filtro - equipo tratamiento del agua. [10]

2. Conexión al circuito (primario) de la calefacción.

Se instalará directamente en la caldera o colectores solares (circuito primario calefacción). [10]

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. MATERIALES

Los materiales que se utilizaron en la ejecución del presente proyecto son los siguientes:

- Computadora
- Manuales de construcción de Colectores Solares
- Metodología para encontrar la cinemática solar
- Materiales de oficina
- Flexómetro
- Internet
- Ente otros

5.2. MÉTODOS

Uno de los principales objetivos de este proyecto, es el plantear una metodología que permita el diseño de un sistema de calentamiento de piscinas con colectores solares.

Para empezar se calculó el balance térmico el cual ayudará a obtener un valor específico de las diferentes pérdidas que obtendrá el agua de la piscina al momento de ser calentada.

5.2.1. Pérdidas de calor en el vaso de la piscina

Las pérdidas de calor se pueden producir por diferentes factores tales como:

QE = Pérdidas por evaporación.

QR = Pérdidas por radiación de calor.

QC = Pérdidas por convección de calor.

QT = Pérdidas por conducción o transmisión.

QRE = Pérdidas por renovación del agua del vaso.

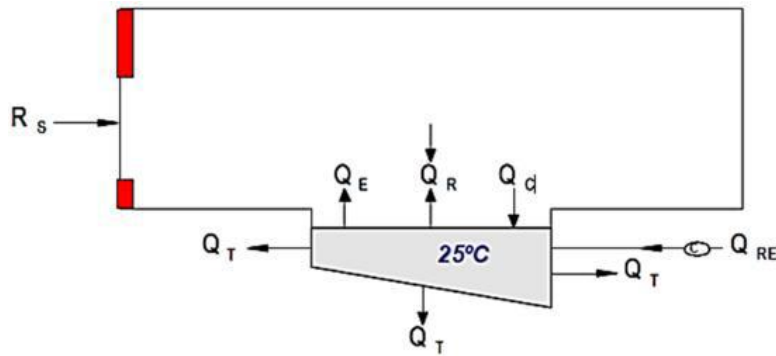


Figura 22. Esquema pérdidas de calor del vaso

Fuente: MAILLO Agustín. 2005.

5.2.1.1. Pérdidas por evaporación.

El agua al evaporarse del vaso de la piscina absorbe calor por lo que se produce un enfriamiento del sobrante del agua que no se evapora, es decir, disminuye la temperatura del agua del vaso. Por lo tanto, cuanto más evaporación exista más se enfriará el agua de la piscina y mayores serán las necesidades que habrá que aportar para mantener la temperatura de la misma. [11]

En la vaporización del agua de la piscina hacia el aire cuando estos estén a la misma temperatura se pueden dar dos casos:

1. Si el aire está saturado $HR = 100\%$ no habrá transferencia de calor o de masa en condiciones estables isotérmicas.
2. Si el aire no está saturado $HR < 100\%$ existe una diferencia de concentración de vapor de agua en la interface agua-aire y a una distancia por encima de esta.

Esta diferencia de concentración impulsa el agua hacia el aire, provocando la transferencia de masa, el calor requerido para la vaporización proviene del agua superficial, lo cual provoca una disminución de la temperatura del agua cercana a la superficie debido a

la pérdida de calor sensible, produciendo también una disminución en la presión de saturación y en la concentración de vapor en la interface. [12]

Si la razón de evaporación es alta, y por ende, la demanda de calor de vaporización es más alta que la cantidad de calor que puede ser suministrado desde las partes más bajas de la masa de agua y de los alrededores, el déficit se compensa a partir del calor sensible del agua en la superficie y, como consecuencia, la temperatura del agua en esta última disminuye más. [12]

El proceso continúa hasta que el calor latente de vaporización sea igual a la transferencia de calor hacia el agua en la superficie. Una vez que se alcanzan las condiciones estacionarias de operación y se estabiliza la temperatura de la interface, el balance de energía en una capa delgada del líquido en la superficie puede expresarse como: [12]

$$Q_{\text{sensible,transferido}} = Q_{\text{latente absorbido}} \quad [\text{W}] \quad (1)$$

$$Q_{\text{evap}} = m_v * h_{fg} \quad [\text{W}] \quad (2)$$

Dónde:

m_v = Razón de evaporación [Kg/s]

h_{fg} = Calor latente de vaporización del agua a la temperatura de la superficie. [KJ/Kg]

La razón de evaporación " m_v " está dada por la siguiente ecuación:

$$m_v = h_{\text{masa}} * A_s * (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty}) \quad [\text{Kg/s}] \quad (3)$$

Dónde:

h_{masa} = Transferencia de masa [m^2/s]

A_s = Area de la superficie de la piscina [m^2]

$\rho_{v,s}$ = Densidad de vapor saturado en la superficie [Kg/m^3]

$\rho_{v,\infty}$ = Densidad de vapor saturado lejos de la superficie [Kg/m^3]

La transferencia de masa " h_{masa} " está dada por la siguiente ecuación:

$$h_{\text{masa}} = \frac{\text{Sh} * D_{\text{AB}}}{L_c} \quad [\text{m/s}] \quad (4)$$

Dónde:

Sh = Número de Sherwood

D_{AB} = Difusividad de masa del vapor de agua en el aire a la temperatura promedio [m^2/s]

L_c = Longitud característica [m]

El número de Sherwood "Sh" está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Sh} = 0.15 (\text{Gr} * S_c)^{1/3} \quad (5)$$

Dónde:

Gr = Número de Grashof

S_c = Número de Schmidt

El número de Grashof "Gr" está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Gr} = \frac{g(\rho_\alpha - \rho_s)L_c^3}{\rho v^2} \quad (6)$$

Dónde:

g = Gravedad = 9.81 m/s^2

ρ_α = Sumatoria de densidades del vapor saturado y del agua saturada lejos de la superficie [Kg/m^3]

ρ_s = Sumatoria de densidades del vapor saturado y del agua saturada en la superficie [Kg/m^3]

L_c = Longitud característica [m]

ρ = Sumatoria de $\rho_\alpha + \rho_s$ [Kg/m^3]

ν = Viscosidad cinemática [m^2/s]

El número de Schmidt " S_c " está dada por la siguiente ecuación:

$$S_c = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad (7)$$

Dónde:

ν = Viscosidad cinemática [m^2/s]

D_{AB} = Difusividad de masa del vapor de agua en el aire a la temperatura promedio [m^2/s]

La difusividad de masa del vapor de agua en el aire a la temperatura promedio " D_{AB} " está dada por la siguiente ecuación:

$$D_{AB} = D_{\text{H}_2\text{O}-\text{aire}} = 1.87 * 10^{-10} \frac{T^{2.072}}{P} [\text{m}^2/\text{s}] \quad (8)$$

Dónde:

T = Temperatura de película o de la superficie [K]

P = presión atmosférica en la región sur oriental [Atm]

La longitud característica " L_c " está dada por la siguiente ecuación:

$$L_c = \frac{A}{P} [\text{m}] \quad (9)$$

Dónde:

A = Área de la superficie de la piscina [m^2]

P = Perímetro de la piscina [m]

Donde la Densidad de vapor saturado en la superficie " $\rho_{v,s}$ " está dada por la siguiente ecuación:

$$\rho_{v,s} = \frac{P_{v,s}}{R_v * T_s} \text{ [Kg/m}^3\text{]} \quad (10)$$

Dónde:

$P_{v,s}$ = Presión de Saturación del agua a la temperatura de confort [KPa]

R_v = Constante de los gases para el vapor = $0.4615 \text{ KPa} * \text{m}^3 / \text{Kg} * \text{K}$ · (Anexo 1)

T_s = Temperatura del fluido (temp de confort) = 30°C

La densidad del agua saturada en la superficie " $\rho_{a,s}$ " está dada por la siguiente ecuación:

$$\rho_{a,s} = \frac{P_{a,s}}{R_a * T_s} \text{ [Kg/m}^3\text{]} \quad (11)$$

Dónde:

$P_{a,s}$ = Presión Atmosférica menos la Presión de Saturación [KPa]

R_a = Constante de los gases para el aire seco = $0.287 \text{ KPa} * \text{m}^3 / \text{Kg} * \text{K}$ · (Anexo 1)

T_s = temperatura del fluido (temp de confort) = 30°C

La densidad de vapor saturado lejos de la superficie $\rho_{v,\alpha}$ está dada por la siguiente ecuación:

$$\rho_{v,\alpha} = \frac{P_{v,\alpha}}{R_v * T_\alpha} \text{ [Kg/m}^3\text{]} \quad (12)$$

Dónde:

$P_{v,\alpha}$ = Presión de vapor del aire lejos de la superficie del agua [KPa]

R_v = Constante de los gases para el vapor = $0.4615 \text{ KPa} \cdot \text{m}^3 / \text{Kg} \cdot \text{K}$. (Anexo 1)

T_α = Temperatura de la superficie = 21°C [13]

La densidad del agua saturada lejos de la superficie " $\rho_{a,\alpha}$ " está dada por la siguiente ecuación:

$$\rho_{a,\alpha} = \frac{P_{a,\alpha}}{R_a \cdot T_\alpha} \quad [\text{Kg}/\text{m}^3] \quad (13)$$

Dónde:

$P_{a,\alpha}$ = Presión atmosférica menos la presión de vapor del aire lejos de la superficie del agua [KPa]

R_a = Constante de los gases para el aire seco = $0.287 \text{ KPa} \cdot \text{m}^3 / \text{Kg} \cdot \text{K}$. (Anexo 1)

T_α = Temperatura de la superficie = 21°C [13]

La Temperatura de película o de la superficie T_f , está dada por la siguiente ecuación:

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2} \quad (14)$$

Dónde:

T_s = Temperatura del fluido (temp de confort) = 30°C

T_α = Temperatura de la superficie = 21°C [13]

5.2.1.2. Pérdidas por radiación:

Todos los cuerpos a una temperatura por encima de 0 K emiten radiación térmica, la radiación es un fenómeno volumétrico donde los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o reflejan radiación en diversos grados, la radiación no necesita un medio de transmisión y puede ocurrir en el vacío. [14]

Cuando una área superficial A_s con emisividad (ϵ) y que se encuentra a una temperatura absoluta (T_s), se encuentra completamente encerrada por una superficie negra que se halla a una temperatura T_{aire} y separadas por un medio gaseoso (aire) que no interviene en la radiación, la rapidez de transferencia de calor por radiación entre estas dos superficies se calcula con la fórmula de Stefan-Boltzmann: [14]

$$Q_{radiacion} = \epsilon * A_s * \sigma * (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad [W] \quad (15)$$

Dónde:

ϵ = Emisividad del agua = 0.95 (**Anexo 2**)

σ = Constante de Stefan-Boltzmann = $5,6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. (**Anexo 3**)

T_s = Temperatura del fluido (temp de confort) = $30^\circ\text{C} = 303^\circ\text{K}$

T_{alred} = Temperatura de la superficie = $21^\circ\text{C} = 294^\circ\text{K}$

A_s = Área de la piscina = 23.65 m^2

5.2.1.3. Pérdidas por Convección natural

La convección natural es el desplazamiento de masas de algún líquido o gas, cuando una masa de un fluido sufre un proceso de calentamiento sus moléculas se separan y se dispersan, causando que la masa del fluido llegue a ser menos densa; cuando llega a ser menos denso se desplazará hacia arriba u horizontalmente hacia una región fría, mientras que las masas menos calientes pero más densas del fluido descenderán o se moverán en un sentido opuesto al del movimiento de la masa más caliente. Mediante este mecanismo los

volúmenes más calientes transfieren calor a los volúmenes menos calientes de ese fluido. [14]

La transferencia de calor por convección se determina a partir de:

$$Q_{\text{conv}} = h_{\text{conv}} * A_s * (T_s - T_{\infty}) \text{ [W]} \quad (16)$$

Dónde:

h_{conv} = Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m²K]

A_s = Area de la piscina = 23.65m²

T_s = temperatura del fluido (temp de confort) = 30°C = 303K

T_{∞} = temperatura de la superficie = 21°C = 294 K

Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor en una placa plana horizontal se utiliza el número de Nusselt. [15]

$$Nu_L = 0.13 Gr_L * Pr^{1/3} \quad \text{para} \quad Gr_L * Pr < 2 * 10^8 \quad (17)$$

$$Nu_L = 0.16 * Pr^{1/3} \quad \text{para} \quad 2 * 10^8 < Gr_L * Pr < 2 * 10^{11} \quad (18)$$

El número de Rayleigh es igual al producto del número de Grashof y Prandtl demostrado en la siguiente ecuación:

$$Ra_L = Gr * Pr \quad (19)$$

Por lo que el número de Grashof se lo determina con la ecuación:

$$Gr = \frac{g * \beta * T_s - T_{\infty} * L_c^3}{\nu^2} \quad (20)$$

Dónde:

$$G = \text{Gravedad} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

β = Coeficiente de expansión volumétrica.

$$T_s = \text{Temperatura del fluido (temp de confort)} = 30^\circ\text{C} = 303^\circ\text{K}$$

$$T_\infty = \text{Temperatura de la superficie} = 21^\circ\text{C} = 294^\circ\text{K}$$

L_c = Longitud característica [m]

$$\nu = \text{Viscosidad cinemática} [\text{m}^2/\text{s}]$$

El número de Prandtl se lo obtiene por tablas utilizando la temperatura de película y la presión atmosférica. (**Anexo 4**).

Con los datos anteriormente mencionados se calcula el coeficiente de transferencia de calor con la ecuación

$$h_{conv} = \frac{Nu_L * k}{L_c} \text{ W/m}^2\text{K} \quad (21)$$

Dónde:

Nu_L = Número de Nusselt.

k = Conductividad térmica [W/m ° K]

L_c = Longitud característica [m]

5.2.1.4. Pérdidas por conducción:

En un sistema bidimensional en el que se involucran dos límites de temperatura, se puede definir un factor de forma conductivo “S” para calcular la pérdida de calor por conducción. [16]

$$Q_{cond} = k * S * (T_s - T_\infty) \text{ [W]} \quad (22)$$

Dónde:

$k =$ Coeficiente de conductividad térmica del material = $1.63 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ [17]

$T_s =$ Temperatura del agua de la piscina = 30°C

$T_\alpha =$ Temperatura exterior al cerramiento = 15.5°C [18]

$S =$ Factor de forma conductivo [m]

Para determinar el factor de forma conductivo en el vaso de la piscina, de deberá determinar el área de las paredes que están en contacto con el fluido.

En este caso se considerará las paredes de la piscina como placas planas cuyo factor de forma conductivo es:

$$S_{\text{pared}} = \frac{A}{L} \text{ [m]} \quad (23)$$

Dónde:

$A =$ Área de la pared [m^2]

$L =$ Espesor de los muros y piso de la piscina [m]

Para el espesor del piso y de los muros la normativa dice que deberían construirse con un mínimo de 0,20 m en alzados (muros) y 0,15 en soleras (piso). [19]

Para los bordes de las esquinas de la piscina se utilizará un factor de forma determinado por:

$$S = 0.54D \text{ [m]} \quad (24)$$

Dónde: $D =$ longitud del borde = 1.49m [20]

Para los Vértices se utiliza la ecuación:

$$S = 0.15 * L \text{ [m]} \quad (25)$$

5.2.1.5. Pérdidas por Renovación

La interacción entre los bañistas en la piscina, el consumo de agua por purgas para limpieza del fondo y filtros entre otras provocan pérdidas de agua, las mismas que deberán compensarse diariamente provocando pérdidas de calor, las cuales estarán en función de la temperatura del agua de la red y de la temperatura del agua de la piscina, para calcular dichas pérdidas se utiliza la siguiente relación: [14]

$$Q_{RE} = V_{RE} * \delta * C_p * (T_{AP} - T_R) \text{ [W]} \quad (26)$$

Dónde:

V_{RE} = volumen de agua de renovación (m^3).

δ = densidad del agua a la $\Delta T = 997.4 \text{ kg} / m^3$ (**Anexo 5**)

C_p = calor específico del agua a la $\Delta T = 4.1808 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C} = 1.1613\text{Wh/Kg } ^\circ\text{C}$ (**Anexo 5**)

T_{AP} = temperatura del agua de la piscina (30°C)

T_R = temperatura del agua de la red (16°C) [21]

En las piscinas públicas deberá haber una aportación de agua nueva, las normativas regulan que ésta será diariamente el 5 % del volumen del agua del vaso.

Luego se calculó la cinemática solar y se seleccionó el tipo de colector para más adelante poder designar el número de colectores solares que se utilizaran.

5.2.2. CÁLCULOS DE LA CINEMÁTICA SOLAR

5.2.2.1. Cálculo de la irradiancia solar sobre una superficie

Consideremos por ahora el cálculo de la radiación directa sobre una superficie. El flujo de energía sobre una superficie determinada depende no sólo de la irradiancia que exista, sino también de la orientación que tenga la superficie en cuestión respecto de la dirección de propagación de la radiación. La irradiancia será máxima sobre un plano que

esté en posición normal a la dirección de propagación de la radiación (es decir, que le dé "de frente"). En cambio, será mínima si el plano es paralelo a la radiación (es decir "de canto"). [22]

La radiación extraterrestre que incide sobre la Tierra está sujeta a las variaciones geométricas y a las condiciones físicas del propio Sol.

Por otro lado, la órbita que describe la Tierra alrededor del Sol no es circular, sino cuasielíptica. La pequeña excentricidad de la órbita hace que, alrededor del 4 de enero, cuando la Tierra se encuentra en el perihelio (mínima distancia al Sol) la radiación solar extraterrestre sea máxima. Por otro lado, alrededor del 1 de julio -seis meses después- la Tierra se encuentra en el afelio (máxima distancia al Sol) y entonces la radiación solar extraterrestre es mínima. [22]

Para el estudio de equipos que hacen uso de la potencialidad solar es necesario encontrar los valores de la radiación por hora para ello se utiliza el método de Duffie – Beckman para encontrar el comportamiento de la radiación solar a lo largo del día, para ello es necesario tomar en cuenta los siguientes elementos necesarios para la comprensión del procedimiento. [22]

\emptyset (**Phi**) Simboliza la **latitud geográfica** del lugar que toma valores positivos hacia el norte de la línea ecuatorial y negativos hacia el sur ($- 90^\circ \leq \emptyset \leq 90^\circ$). [22]

La ciudad de Loja tiene una latitud Sur de $3^\circ 59' 35''$ por lo que el valor de

$\emptyset = - 3.9931^\circ$ [22]

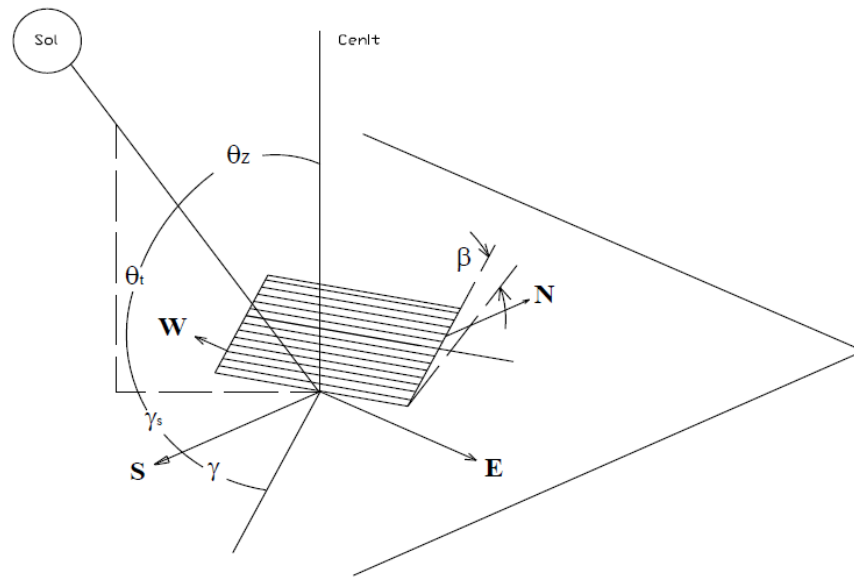


Figura 23. Ángulos formados por el sol con la horizontal

Fuente: Alekks Padilla. Cálculos de la cinemática solar

δ (Delta) Declinación solar. La declinación es el ángulo entre la línea Sol-Tierra y el plano ecuatorial celeste. [22]

β (Beta) Pendiente del plano sobre el cual incide la radiación, esto es, su inclinación respecto de la horizontal. [22]

γ (Gamma) Acimut de la superficie, y el ángulo que forma la normal a la superficie, respecto del meridiano local. [22]

ω (Omega) Ángulo horario, esto es, el desplazamiento angular del Sol, al este o al oeste del meridiano local, debido a la rotación de la Tierra a la velocidad angular de 15° por hora (360° en 24 horas). Negativo por la mañana y positivo por la tarde. [22]

En la tabla 2 se proporciona la conversión de día del mes “i” al número de día “n” en el año

Tabla 2. Ecuaciones para convertir el día del mes, en el número de día del año.

Mes	“n” para el i-esimo día del mes
Enero	i
Febrero	31 + i
Marzo	59 + i
Abril	90 + i
Mayo	120 + i
Junio	151 + i
Julio	181 + i
Agosto	212 + i
Septiembre	243 + i
Octubre	273 + i
Noviembre	304 + i
Diciembre	334 + i

Fuente: Alekks Padilla. Cálculos de la cinemática solar

En caso de año bisiesto se añadirá uno más a partir del mes de Marzo. Por ejemplo en la casilla Marzo se pondría d+60, en la casilla Abril d+91, etc

5.2.2.2. Determinación de la Declinación Solar (δ) y energía incidente.

La declinación solar es cero el día que comienza la primavera y el día que comienza el otoño (equinoccios). En estos días, el Sol se encuentra en el ecuador celeste, que es la extrapolación del ecuador terrestre en la bóveda celeste. El valor de la declinación solar varía a lo largo del año, de $23,45^\circ$ (21 de junio), a $- 23,45^\circ$ (21 de diciembre). La declinación solar puede calcularse aproximadamente mediante la ecuación. [22]

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left(360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right) \quad (27)$$

Donde “n” es el número de día del año

5.2.2.3. Ángulo horario de la salida del sol (W_s)

Para calcular el ángulo de salida y puesta solar basta con aplicar la condición de altura solar y obtenemos su valor con la siguiente ecuación:

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan \varnothing * \tan \delta) \quad (28)$$

Se debe tener muy en cuenta que para el sur en nuestro caso Ecuador se debe considerar la latitud con signo negativo.

$$\varnothing = \text{latitud} - 3.9931^\circ [22]$$

5.2.2.4. Determinación de la radiación solar extraterrestre sobre una superficie normal al sol (H_o)

El presente valor se determina según John A. Duffie [23], para cada día del año y también la constante solar GSC que tiene un valor de 1367 W/m^2 , con la utilización de la siguiente ecuación:

$$H_o = \frac{24 * 3600 * G_{sc}}{\pi} * \left(1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \right) \left[\cos \varnothing * \cos \delta * \sin W_s + \left(\frac{\pi * W_s}{180}\right) * \sin \varnothing * \sin \delta \right] \left[\frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 * \text{h}} \right] \quad (29)$$

Dónde: “ G_{sc} ” es la Constante Solar y tiene un valor de 1367 W/m^2

5.2.2.5. Cálculo de la radiación diaria por unidad de área de una superficie horizontal (H')

$$H' = K_T * H_o \left[\frac{KJ}{m^2 * h} \right] \quad (30)$$

Dónde:

K_T = Índice de Nubosidad o Factor de Turbiedad de la atmósfera y tiene en cuenta la transparencia de la atmósfera por efectos de nubes, polvo, aerosoles, ozono, etc.).

$$Kt = \frac{12204}{H_o} \quad (31)$$

5.2.2.6. Cálculo de la Radiación Difusa Diaria que cae sobre una superficie horizontal (H_d)'

$$H_d' = f(Kt) * H' \left[\frac{KJ}{m^2 * h} \right] \quad (32)$$

Según Liu and Jordan [24], $f(Kt)$ viene dada por la siguiente expresión:

$$f(Kt) = 1.3903 - 4.0273 * Kt + 5.5315 * Kt^2 - 3.1080Kt^3 \quad (33)$$

5.2.2.7. Determinación de la Radiación Solar Horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H)

$$H = K * H' \left[\frac{KJ}{m^2 * h} \right] \quad (34)$$

Siendo: “K” la relación entre la Radiación Solar Horaria y la Radiación Solar

Diaria y se calcula por la siguiente expresión:

$$K = \left(\frac{\pi}{24}\right) * (a + b * \cos W) * \left[\frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - \left[\left(\frac{\pi * W_s}{180}\right) * \cos W_s\right]} \right] \quad (35)$$

Dónde:

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin (W_s - 60) \quad (35.1)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin (W_s - 60) \quad (35.2)$$

W = Ángulo Horario que toma valor 0 para el mediodía solar y varía 15° cada hora.

W = 75°, W = 60°, W = 45°, W = 30°, W = 15°, W = 0° [22]

5.2.2.8. Determinación de la Radiación Difusa Horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H_d).

En John A. Duffie [23] aparece la ecuación de la relación entre la radiación difusa horaria y la radiación difusa diaria sobre una superficie horizontal como función de la longitud del día. De esta ecuación se obtienen los valores de “K_d” y se calcula la radiación difusa horaria.

$$H_d = K_d * H_d' \quad \left[\frac{KJ}{m^2 * h} \right] \quad (36)$$

Los valores de “K_d” se los encuentra por la siguiente formula:

$$K_d = \left(\frac{\pi}{24}\right) * \left[\frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - \left[\left(\frac{\pi * W_s}{180}\right) * \cos W_s\right]} \right] \quad (37)$$

5.2.2.9. Determinación del valor del Ángulo de Incidencia Horario de la Radiación Solar Directa sobre el calentador solar (θ_t).

Para el cálculo del ángulo de incidencia se tiene en cuenta que el valor de $\beta = \phi + 10$, en este caso se trabaja con 14 grados, de inclinación por pruebas experimentales realizadas por León Tapia Milton [25]. Por lo tanto tenemos:

$$\phi = 3.9931^\circ, \beta = 14^\circ, \delta = 20.1^\circ$$

El Ángulo de Incidencia de la Radiación Solar sobre el calentador solar, viene dado por:

$$\cos \theta_t = (\sin \delta * \sin \phi * \cos \beta - \sin \delta * \cos \delta * \sin \beta * \cos \gamma + \cos \delta * \cos \phi * \cos W) (\cos \delta * \sin \phi * \sin S * \cos \gamma * \cos W + \cos \delta * \sin \delta * \sin \gamma * \sin W) \quad (38)$$

En la mayoría de las aplicaciones de esta ecuación, la única variable a lo largo del día es el ángulo horario W . Todo lo demás suele ser constante en una fecha y lugar determinados. Debido a esto, la ecuación tiene un gran número de constantes que, al aplicarla, simplifican mucho la expresión. [22]

Teniendo en consideración que el ángulo cenital γ es “1” [22]. Luego aplicando identidades trigonométricas la expresión nos queda de la siguiente manera:

$$\cos \theta_t = \cos[\phi + \beta] * \cos \delta * \cos W + \sin[\phi + \beta] * \sin \delta \quad (39)$$

Dónde:

β = Ángulo de Inclinación de la superficie captadora.

ϕ = Latitud de Loja

δ = Declinación Solar para el día medio del mes de Julio

W = Ángulo Horario que toma valor 0 para el mediodía solar y varía 15° cada hora. [22]

5.2.2.10. Determinación del Ángulo Cenital (θ_z).

Los valores del ángulo cenital se calculan a partir de la ecuación (38) donde se lo calculan sobre una superficie horizontal con lo que $\beta = 0$ entonces $\sin \beta = 0$ y $\cos \beta = 1$ con lo que desaparecen algunos términos de la expresión.

Para este cálculo se debe tener muy en cuenta que la cubierta está dirigida u orientada al norte y por ende el acimut $\gamma = 0^\circ$, por lo que el ángulo cenital se lo obtiene con el uso de la siguiente formula:

$$\cos \theta_z = \sin \delta * \sin \phi + \cos \delta * \cos \phi * \cos W \quad (40)$$

5.2.2.11. Cálculo de la Relación de la Radiación Solar Directa sobre una superficie inclinada y la Radiación Solar Directa sobre una superficie horizontal (R_b).

Este coeficiente nos da la relación entre la radiación que incide sobre una superficie inclinada y la que incide sobre una superficie horizontal como se observa en la Figura 24.

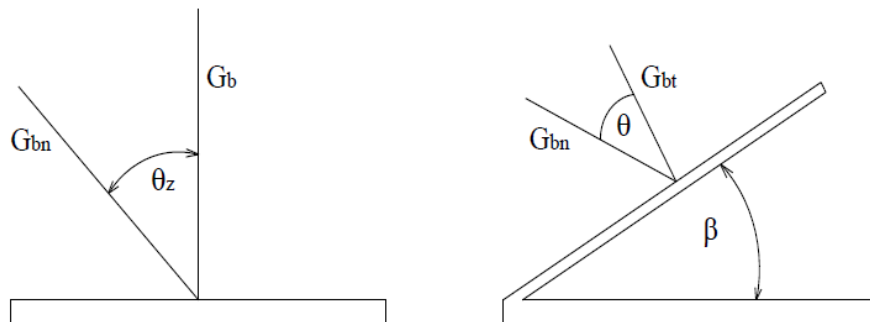


Figura 24. Radiación directa en superficies horizontal e inclinada

Fuente: Alekks Padilla. Cálculos de la cinemática solar

Y viene dada por la siguiente expresión:

$$R_b = \frac{H_t}{H} = \frac{H_n \cos \theta_t}{H_n \cos \theta_z} \quad (41)$$

Eliminando términos semejantes tenemos:

$$R_b = \frac{\cos \theta_t}{\cos \theta_z} \quad (42)$$

5.2.2.12. Determinación de los valores de la Radiación Solar Horaria que cae sobre la superficie del equipo solar (H_t).

La Radiación Solar Horaria se calcula por la siguiente ecuación:

$$H_t = (H - H_d) * R_b + \left[H_d * \left(\frac{1 + \cos S}{2} \right) \right] + \left[H * \frac{(1 - \cos S) * \rho_t}{2} \right] \left[\frac{KJ}{m^2 * h} \right] \quad (43)$$

Dónde:

H = Radiación horaria que incide sobre una superficie horizontal [KJ/m²]

H_d = Radiación difusa horaria que cae sobre un plano horizontal [KJ/m²]

R_b = Relación entre la radiación directa sobre una superficie inclinada y la radiación sobre una superficie horizontal [KJ/m²]

S = ángulo de inclinación del colector

ρ_t = Reflexividad de la tierra (ρ_t = 0.2). (valor usual). [22]

5.2.3. Cálculo de la potencia necesaria para calentar el agua de la piscina.

La potencia necesaria para calentar el agua establecida, según recomendaciones de los fabricantes, se calcula con la siguiente ecuación: [11]

$$P_0 = \frac{V * \delta * C_p * (T_{AP} - T_R)}{t} \quad [W] \quad (44)$$

Dónde:

P_0 = Potencia necesario para calentar el agua de la piscina [W]

V = volumen de agua de la piscina (m^3).

δ = densidad del agua a la diferencia de temperatura entre la de confort y la de la red = $997.4 \text{ kg} / m^3$ (**Anexo 5**)

C_p = calor específico del agua a la diferencia de temperatura entre la de confort y la de la red = $4.1808 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C} = 1.1613\text{Wh/Kg } ^\circ\text{C}$ (**Anexo 5**)

T_{AP} = temperatura del agua de la piscina (30°C)

T_R = temperatura del agua de la red (16°C) [21]

t = Tiempo de puesta en régimen

5.2.4. Potencia requerida en la piscina (Q_{rp}).

Para la potencia requerida en la piscina se debe considerar la potencia necesaria para calentar el agua de la piscina así como también reponer el calor que se pierde a través de las paredes de la piscina.

$$Q_{rp} = P_0 + Q_r \quad [W] \quad (45)$$

Dónde:

P_0 = Calor necesario para calentar el agua de la piscina [W]

Q_r = Total de pérdidas generadas en la piscina [W]

5.2.5. Dimensionamiento del sistema auxiliar.

Para la selección del calefón primero se debe conocer la energía necesaria para calentar el volumen del agua de la piscina para ello se utiliza la ecuación siguiente:

$$P * t = C_p * m * \Delta T \quad [\text{Wh}] \quad (46)$$

Dónde:

P = Potencia del calefón. [W]

t = Tiempo de calentamiento del agua. [h]

C_p = Calor específico del agua a la diferencia de temperatura entre la de confort y la de la red $\Delta T = (30^\circ - 16^\circ\text{C}) = 4.1808 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C} = 1.1613 \text{ Wh/Kg } ^\circ\text{C}$ (**Anexo 5**)

m = Masa total de agua que corresponde a un volumen de 35.24 m³.

ΔT = Diferencia de temperatura entre la de confort y la del suministro. (30°C – 16°C)

6. RESULTADOS

6.1. Cálculo y Diseño del Sistema de Calentamiento Solar para Piscinas

6.1.1. Características Principales Del Sistema

Las dimensiones medidas en las diferentes piscinas de los cantones Vilcabamba y Malacatos se detallan en la tabla 3. Donde se sacó una media para obtener las dimensiones de una piscina en particular. Figura 25

Tabla 3. Datos relacionados a las dimensiones de la piscina

Dimensiones de Piscinas				
Piscina N°	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad	
			Mínima (m)	Máxima (m)
1	6	3,2	1,42	1,6
2	6	3,2	1,43	1,55
3	7,5	3,7	1,17	1,7
4	8	2,2	1,5	1,5
5	9	3,9	1,2	1,83
Medias				
	7,3	3,24	1,344	1,636
Profundidad media (m)				1,49
Área Superficial (m²)				23,65
Volumen (m³)				35.24

Fuente: Autor

Por lo tanto las dimensiones con las que se trabajara serán: de largo 7.3m, de ancho 3.24m, la profundidad mínima de 1.344m y la profundidad máxima de 1.636m, dándonos una profundidad media de 1.49m, un área superficial de 23.65m² y un volumen de 35.24m³, como se muestra en la Figura 25. De las cisco piscinas ni una contaba con manta

térmica o cubierta por lo que los cálculos se los realizaran para este tipo de piscinas que se encuentran expuestas al medio ambiente.



Figura 25. Diagrama general de la piscina
Fuente: Autor

6.1.2. Pérdidas De Calor En La Piscina

Las pérdidas que se pueden dar en la piscina son por evaporación, radiación, convección, conducción, y por renovación del agua las cuales provocan que la temperatura de la misma disminuya, el objetivo es compensar esas pérdidas en la piscina y con ayuda del colector llegar a tener una temperatura de confort la cual varíe entre 28° a 32°C. [26]

Para los siguientes cálculos se tomara el valor intermedio es decir se trabajara con una temperatura de confort de 30°.

6.1.2.1. Pérdidas por evaporación

La Temperatura de película o de la superficie se calcula con la Ecuación (14):

$$T_f = \frac{T_s + T_\alpha}{2}$$

$$T_f = \frac{30^\circ\text{C} + 21^\circ\text{C}}{2} = 25.5^\circ\text{C} = 298.5\text{K}$$

A continuación se obtienen las Propiedades del agua a la Temperatura de Confort (30°C):
(Anexo 5)

Presión de saturación:

$$P_{vs} = 4.246 \text{ KPa} = 0.04246 \text{ bar}$$

Entalpia de vaporización

$$h_{fg} = 2431 \text{ KJ/Kg}$$

Tomando en cuenta que la presión atmosférica en la región sur orientales es de 935.6 hPa [27] tenemos que:

$$93.56 \text{ kPa} * \frac{1 \text{ atm}}{101.3 \text{ kPa}} = 0.9234 \text{ atm}$$

Para las propiedades del aire se toma el valor de la temperatura de película de 25.5°C.
(Anexo 4)

Conductividad térmica

25°C 0.02551 W/m K

25.5°C K

30°C 0.02588 W/m K

Interpolando tenemos que:

$$K = 0.025547 \text{ W/m}^\circ \text{ K}$$

Número de Prandtl

25°C 0.7296

25.5°C Pr

30°C 0.7282

Interpolando tenemos que:

$$Pr = 0.72946$$

Difusividad térmica

25°C	$2.141 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2$
25.5°C	α
30°C	$2.208 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2$

Interpolando tenemos que:

$$\alpha = 2.1477 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2$$

A este valor lo dividimos para 0.9234 atm y tenemos:

$$\alpha = \frac{2.1477 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2}{0.9234} = 2.3259 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Viscosidad cinemática

25°C	$1.562 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
25.5°C	α
30°C	$1.608 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Interpolando tenemos que:

$$v = 1.5666 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

A este valor lo dividimos para 0.9234 atm y tenemos:

$$v = \frac{1.5666 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}{0.9234} = 1.6966 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

El Coeficiente de expansión volumétrica es igual a:

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{298.5 \text{ K}} = 3.350 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

➤ **Densidad del vapor saturado y del agua saturada en la superficie y lejos de la superficie**

El aire en la superficie está saturado por lo que se asume que la presión de vapor en esa superficie es igual a la presión de saturación del agua a la temperatura superficial. La presión de vapor del aire lejos de la superficie del agua es: [28]

$$P_{v,\alpha} = \phi * P_{\text{sat}@T\alpha}$$

Dónde:

ϕ = humedad relativa de la Region = 61% [29]

$P_{\text{sat}@T\alpha}$ = Presion de saturacion a 21° = 2.505 KPa. (**Anexo 5**)

$$P_{v,\alpha} = 0.61 * 2.505\text{KPa}$$

$$P_{v,\alpha} = 1.528 \text{ KPa}$$

Si se consideran al vapor de agua y al aire como gases ideales, y se observa que la presión atmosférica total es igual a la suma de la presión de vapor y del aire seco se determinan las densidades correspondientes como sigue: [30]

La Densidad del vapor saturado en la superficie se la calcula con la ecuación (10):

$$\rho_{vs} = \frac{P_{v,s}}{R_v * T_s} = \frac{4.246\text{KPa}}{0.4615 \text{ KPa} * \text{m}^3 / \text{Kg} * \text{K} * (303\text{K})} = 0.0304 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

La densidad del agua saturada en la superficie se la calcula con la ecuación (11):

$$\rho_{a,s} = \frac{P_{a,s}}{R_a * T_s} = \frac{(93.56 - 4.246) \text{KPa}}{0.287 \text{ KPa} * \text{m}^3 / \text{Kg} * \text{K} * (303\text{K})} = 1.0271 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Ahora sumamos la densidad del vapor saturado en la superficie con la densidad del agua saturada en la superficie y tenemos:

$$\rho_s = \rho_{v,s} + \rho_{a,s} = 0.0304 + 1.0271 = 1.0575 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

La Densidad del vapor saturado lejos de la superficie se la calcula con la ecuación (12):

$$\rho_{v,\alpha} = \frac{P_{v,\alpha}}{R_v * T_\alpha} = \frac{1.528 \text{ KPa}}{0.4615 \text{ KPa} * \text{m}^3 / \text{Kg} * \text{K} * (294\text{K})} = 0.0113 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

La densidad del agua saturada lejos de la superficie se la calcula con la ecuación (13):

$$\rho_{a,\alpha} = \frac{P_{a,\alpha}}{R_a * T_\alpha} = \frac{(93.56 - 1.528) \text{KPa}}{0.287 \text{ KPa} * \text{m}^3 / \text{Kg} * \text{K} * (294\text{K})} = 1.0907 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Hacemos la misma sumatoria con la densidad del vapor saturado lejos de la superficie con la densidad del agua saturada lejos de la superficie y tenemos:

$$\rho_\alpha = \rho_{v,\alpha} + \rho_{a,\alpha} = 0.0113 + 1.0907 = 1.1020 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

El área de la superficie superior de la piscina es igual a:

$$A_s = 37.3\text{m} * 3.24\text{m} = 23.65\text{m}^2 \text{ y su perímetro es } p = 2(7.3 + 3.24)\text{m} = 21.08\text{m}.$$

Por lo tanto, la longitud característica se lo obtiene con la ecuación (9):

$$L_c = \frac{A}{P} = \frac{23.65\text{m}^2}{21.08\text{m}} = 1.1219\text{m}$$

Entonces, si se usan las densidades (en lugar de las temperaturas), ya que la mezcla no es homogénea, el número de Grashof es: Ecuación (6)

$$G_r = \frac{g(\rho_a - \rho_s)L_c^3}{\rho v^2}$$

$$G_r = \frac{(9.81 \text{ m/s}^2) * \left(1.1020 \text{ Kg/m}^3 - 1.0575 \text{ Kg/m}^3\right) * (1.1219 \text{ m})^3}{(1,1020 + 1,0575) \text{ Kg/m}^3 * \left(1.6966 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}\right)^2}$$

$$G_r = 9.917 * 10^8$$

$$G_r * P_r = (9.917 * 10^8)(0.72946) = 7,234 * 10^8$$

Se calcula la difusividad de masa del vapor de agua en el aire con la ecuación (8), a la temperatura de película de 25.5°C o 298.5°K

$$D_{AB} = D_{\text{H}_2\text{O-aire}} = 1.87 * 10^{-10} \frac{T^{2.072}}{P} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{AB} = 1.87 * 10^{-10} \frac{(298.5 \text{ K})^{2.072}}{0.9234 \text{ Atm}} = 2.720 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

El número de Schmidt lo obtenemos con la ecuación (7):

$$S_c = \frac{v}{D_{AB}}$$

$$S_c = \frac{1.6966 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}{2.720 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 0.624$$

Determinamos el número de Sherwood con la ecuación (5).

$$Sh = 0.15 (Gr * S_c)^{1/3}$$

$$Sh = 0.15 * (9.917 * 10^8 * 0.624)^{1/3}$$

$$Sh = 127.824$$

El coeficiente de transferencia de masa se lo calcula a partir de la ecuación (4):

$$h_{\text{masa}} = \frac{Sh * D_{AB}}{L_c}$$

$$h_{\text{masa}} = \frac{127.824 * (2.720 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})}{1.1219\text{m}}$$

$$h_{\text{masa}} = 0.0031 \text{ m/s}$$

La razón de transferencia de masa y la razón de transferencia de calor por evaporación se lo calcula con la ecuación (3):

$$m_v = h_{\text{masa}} * A_s * (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty})$$

$$m_v = 0.0031 \text{ m/s} * 23.65\text{m}^2 * (0.0304 - 0.0113) \text{ Kg/m}^3$$

$$m_v = 1.4 * 10^{-3} \text{ Kg/s} = 5.04 \text{ Kg/h}$$

Una vez obtenido todos los valores reemplazamos en la ecuación (2) y tendremos el valor de las pérdidas por evaporación.

$$Q_{\text{evap}} = m_v * h_{fg} = \left(1.4 * 10^{-3} \text{ Kg/s}\right) * \left(2431 \text{ KJ/Kg}\right) = 3.4034\text{KW}$$

6.1.2.2. Pérdidas por radiación:

Para el cálculo de las pérdidas por radiación utilizaremos la ecuación (15).

$$Q_{\text{radiacion}} = \varepsilon * A_s * \sigma * (T_s^4 - T_{\text{alred}}^4)$$

$$Q_{\text{radiacion}} = 0.95 * 23.65\text{m}^2 * 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2(\text{K})^4 * [(30^\circ\text{C})^4 - (21^\circ\text{C})^4]$$

$$Q_{\text{radiacion}} = 1220.034 \text{ W} = 1.220\text{KW}$$

6.1.2.3. Pérdidas por Convección natural sobre la superficie de la piscina (Placa horizontal)

Para el cálculo de las pérdidas por convección natural necesitamos el número de Rayleigh que es igual al producto del número de Grashof y Prandtl demostrado en la ecuación (19).

$$Ra_L = Gr * Pr = \frac{g * \beta * T_s - T_\alpha * L_c^3}{\nu^2} * Pr$$

$$Ra_L = \frac{(9.81 \text{ m/s}^2) * (3.350 * 10^{-3} \text{ K}^{-1}) * (303 \text{ K} - 294 \text{ K}) * (1.1219\text{m})^3}{(1.6966 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2} * 0.72946$$

$$Ra_L = 1.0584 * 10^9$$

Al reconocer que éste es un problema de convección natural con superficie horizontal caliente viendo hacia arriba, se determina que el número de Nusselt y el coeficiente de transferencia de calor por convección con las ecuaciones (17) y (21) respectivamente.

$$Nu_L = 0.13Gr_L * Pr^{1/3} \quad \text{para } Gr_L * Pr < 2 * 10^8$$

$$Nu_L = 0.16 (Gr * Pr)^{1/3} = 0.16 * (Ra_L)^{1/3}$$

$$Nu_L = 0.16(1.0584 * 10^9)^{1/3} = 163.056$$

$$h_{conv} = \frac{Nu_L * k}{L_c}$$

$$h_{conv} = \frac{163.056 * 0.025547 \text{ W/mK}}{1.1219\text{m}} = 3.713 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Obtenidos los siguientes valores calculamos el valor de las pérdidas por convección natural con la ecuación (16).

$$Q_{conv} = h_{conv} * A_s * (T_s - T_\infty)$$

$$Q_{conv} = 3.713 \text{ W/m}^2 \text{ K} * 23.65\text{m}^2 * (303 \text{ K} - 294 \text{ K})$$

$$Q_{conv} = 790.312 \text{ W} = 0.790 \text{ kW}$$

6.1.2.4. Pérdidas por conducción:

En un sistema bidimensional en el que se involucran dos límites de temperatura, se puede definir un factor de forma conductivo “S” para calcular la pérdida de calor por conducción.³

Para calcular las pérdidas por conducción hay que determinar el factor de forma conductivo en el vaso de la piscina, de deberá determinar el área de las paredes que están en contacto con el fluido utilizando la ecuación (23).

Área de paredes laterales:

$$A_1 = \text{Largo} * \text{profundidad media} = (7.3 * 1.49) = 10.877 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{pared}} = \frac{A}{L} = \frac{10.877 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}} = 54.385 \text{ m}$$

Área de pared frontal y posterior:

$$A_2 = \text{Ancho} * \text{profundidad media} = (3.24 * 1.49) = 4.828 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{pared}} = \frac{A}{L} = \frac{4.828 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}} = 24.14 \text{ m}$$

Área del piso:

$$A_3 = 23.65 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{pared}} = \frac{A}{L} = \frac{23.65 \text{ m}^2}{0.15 \text{ m}} = 157.667 \text{ m}$$

Para el cálculo de los Bordes se utiliza la ecuación (24):

$$S = 0.54D$$

$$S = 0.54 * 1.49 \text{ m} = 0.805 \text{ m}$$

Para los Vértices se utiliza la ecuación (25):

$$S = 0.15 * L$$

$$S = 0.15 * 0.20 \text{ m} = 0.03 \text{ m}$$

Por lo que tenemos 5 secciones de paredes, 8 bordes y 4 esquinas o vértices de tal forma que el factor de forma total será:

$$S = (5 * S_{pared}) + (8 * S_{borde}) + (4 * S_{esquinas})$$

$$S = [(2 * 54.385m) + (2 * 24.14m) + 118.250m] + (8 * 0.805) + (4 * 0.03)$$

$$S_{piscina} = 275.3m + 6.44m + 0.12m = 281.86m$$

Y la pérdida de calor por conducción se calcula con la ecuación (22):

$$Q_{cond} = k * S * (T_s - T_{\infty})$$

$$Q_{cond} = (1.63 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}) * (281.86m) * (30^{\circ}\text{C} - 15.5^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{cond} = 6661.761W = 6.662KW$$

6.1.2.5. Pérdidas por Renovación

El agua de la piscina deberá de ser renovada por recirculación, previa filtración y desinfección de ésta, durante las 24 horas del día, para que en todo momento el agua se encuentre en las condiciones sanitarias apropiadas.

En las piscinas públicas deberá haber una aportación de agua nueva, las normativas (de construcción y mantenimiento de piscinas NIDE), regulan que ésta será diariamente el 5 % del volumen del agua del vaso.

$$V_{RE} = 5\% * V_{total} = 0.05 * 35.24m^3 = 1.762 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Una vez obtenido el volumen de renovación se utiliza la ecuación (26) para calcular las pérdidas por renovación.

$$Q_{RE} = V_{RE} * \delta * C_p * (T_{AP} - T_R)$$

$$Q_{RE} = \left(1.762 \text{ m}^3/\text{dia}\right) * \left(997.4 \text{ Kg}/\text{m}^3\right) * \left(1.1613 \text{ Wh}/\text{kg}^\circ\text{C}\right) * (30 - 16)^\circ\text{C}$$

$$Q_{RE} = 28572.46 \text{ W} * \text{h}/\text{dia} = 28.573 \text{ kW} * \text{h}/\text{dia}$$

$$Q_{RE} = 28.573 \text{ kW} * \text{h} * \frac{1 \text{ dia}}{24\text{h}} = 1.191 \text{ kW}$$

6.1.2.6. Cálculo de las pérdidas totales:

Para el cálculo de las pérdidas totales sumamos todas las pérdidas anteriormente obtenidas como se muestra a continuación:

$$Q_{Total} = Q_{evap} + Q_{rad} + Q_{conv} + Q_{cond} + Q_{RE}$$

$$Q_{Total} = 3.4034\text{KW} + 1.220\text{KW} + 0.790\text{KW} + 6.662\text{KW} + 1.191 \text{ kW}$$

$$Q_{Total} = 13.266 \text{ Kw}$$

6.2. Cálculo de la cinemática solar

6.2.1. Valor de la declinación del sol para el día medio de cada mes.

Para realizar el cálculo de la declinación utilizaremos las Ecuaciones para convertir el día del mes, en el número de día del año ubicadas en la Tabla 2.

Como tenemos que el mes más frío en la región sur oriental de la ciudad de Loja (Vilcabamba, Malacatos) es el mes de julio se tiene que, $181 + i$, donde i es el número de días escogidos de dicho mes, en este caso se escoge el día 16 por lo que obtenemos que: $(n = 181 + i = 181 + 16 = 197)$ [31]

Entonces una vez ya obtenido el número del día del año se utiliza la ecuación (27) para calcular la declinación solar:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left(360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right)$$

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left(360 \left(\frac{284 + 197}{365} \right) \right)$$

$$\delta = 20.101^\circ$$

6.2.2. Ángulo horario de salida del Sol (W_s).

Para este cálculo se debe tener en cuenta que para el sur del Ecuador se debe considerar la latitud con signo negativo. $\emptyset = \text{latitud} - 3.9931^\circ$

Utilizando la ecuación (28) tenemos que:

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan \emptyset * \tan \delta)$$

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan -3.9931 * \tan 20.1)$$

$$W_s = 88.454^\circ$$

6.2.3. Cálculo de la radiación extraterrestre (H_o)

Para el cálculo de la radiación extraterrestre se utiliza la ecuación (29)

$$H_o = \frac{24 * 3600 * G_{sc}}{\pi} * \left(1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \right) \\ \left[\cos \varnothing * \cos \delta * \sin W_s + \left(\frac{\pi * W_s}{180}\right) * \sin \varnothing * \sin \delta \right]$$

$$H_o = \frac{24 * 3600 * 1367}{\pi} * \left(1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * 197}{365}\right) \right) \\ \left[\cos -3.9931 * \cos 20.101 * \sin 88.454 + \left(\frac{\pi * 88.454}{180}\right) * \sin -3.9931 * \sin 20.101 \right]$$

$$H_o = 32733646.59 \frac{J}{m^2 * h}$$

$$H_o = 3.273 * 10^4 \frac{KJ}{m^2 * h}$$

6.2.4. Cálculo de la Potencia Instantánea diaria por unidad de área de una superficie horizontal (H')

Para el cálculo de la radiación diaria primero se tiene que calcular el Índice de Nubosidad o Factor de Turbiedad de la atmósfera con la ecuación (31)

$$K_t = \frac{12204}{H_o}$$

$$K_t = 0.37$$

Ya obtenido el valor de nubosidad calculamos la Radiación diaria con la ecuación (30):

$$H' = Kt * H_0$$

$$H' = 0.37 * 3.273 * 10^4 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 * \text{h}}$$

$$H' = 1.211 \times 10^4 \left(\frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 * \text{h}} \right)$$

6.2.5. Cálculo de la radiación difusa diaria que cae sobre una superficie horizontal (Hd').

Primeramente se obtiene el factor del índice de nubosidad con la ecuación (33):

$$f(Kt) = 1.3903 - 4.0273 * Kt + 5.5315 * Kt^2 - 3.1080Kt^3$$

$$f(Kt) = 1.390 - 4.027 * (0.37) + 5.531 * (0.37)^2 - 3.108(0.37)^3$$

$$f(Kt) = 0.5$$

Luego se aplica la ecuación (32) para el cálculo de la radiación difusa.

$$H_d' = f(Kt) * H'$$

$$H_d' = 0.5 * 1.211 \times 10^4 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 * \text{h}}$$

$$H_d' = 6.055 \times 10^3 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 * \text{h}}$$

6.2.6. Determinación de la radiación solar horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (H).

Se empieza calculando la relación entre la radiación solar horaria y la radiación solar horaria “K”

Los cálculos de K se los realiza para los ángulos de cada una de las horas del día, considerando que el sol avanza 15° cada hora, para ello se utiliza la ecuación (35):

$$K = \left(\frac{\pi}{24}\right) * (a + b * \cos W) * \left[\frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - \left[\left(\frac{\pi * W_s}{180}\right) * \cos W_s\right]} \right]$$

Dónde:

a es igual : Ecuación (35.1)

$$a = 0.409 + 0.5016 * \sin(W_s - 60)$$

$$a = 0.409 + 0.5016 * \sin(88.454 - 60)$$

$$a = 0.648$$

b es igual: Ecuación (35.2)

$$b = 0.6609 - 0.4767 * \sin(W_s - 60)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 * \sin(88.454 - 60)$$

$$b = 0.434$$

El Ángulo Horario “W” toma valor 0 para el mediodía solar y varía de 15° en 15° cada hora del día. W = 75°, W = 60°, W = 45°, W = 30°, W = 15°, W = 0°

Con estos valores obtenidos ya se podrá calcular la relación entre la radiación solar horaria y la radiación solar horaria “K”

$$K = \left(\frac{\pi}{24}\right) * (0.648 + 0.434 * \cos 45) * \left[\frac{\cos 45 - \cos 88.454}{\sin 88.454 - \left[\left(\frac{\pi * 88.454}{180}\right) * \cos 88.454\right]} \right]$$

$$K = 0.0887 \text{ para } W = 45^\circ$$

Ahora en la ecuación (34) ya se puede reemplazar los valores encontrados anteriormente para W = 45°.

$$H = K * H'$$

$$H = 0.0887 * 1.211 \times 10^4 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 * \text{h}}$$

$$H = 1074.157 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 * \text{h}}$$

Ahora se halla los valores de “K” (Relación entre la radiación solar horaria y la radiación solar horaria) y “H” (Radiación Solar horaria por unidad de área sobre una superficie horizontal) para cada hora del día, representado en la tabla 4

Tabla 4. Radiación Solar Horaria por unidad de Área.

Ángulo Horario W (°)	Horas del día	K	H (kJ/m ² h)
75 °	6 - 7	0.0242	293.062
	17 - 18		
60 °	7 - 8	0.0559	676.949
	16 - 17		
45 °	8 - 9	0.0887	1074.157
	15 - 16		
30 °	9 - 10	0.1173	1420.503
	14 - 15		
15 °	10 - 11	0.1368	1656.648
	13 - 14		
0 °	11 - 12	0.1437	1740.207
	12 - 13		

Fuente: Autor

6.2.7. Determinación de la radiación difusa horaria por unidad de área que cae sobre una superficie horizontal (Hd).

El cálculo de la radiación difusa horaria se la realiza con la Ecuación (36):

$$H_d = K_d * H_d'$$

Dónde K_d es igual: Ecuación (37)

$$K_d = \left(\frac{\pi}{24} \right) * \left[\frac{\cos W - \cos W_s}{\sin W_s - \left[\left(\frac{\pi * W_s}{180} \right) * \cos W_s \right]} \right]$$

$$K_d = \left(\frac{\pi}{24} \right) * \left[\frac{\cos 45 - \cos 88.454}{\sin 88.454 - \left[\left(\frac{\pi * 88.454}{180} \right) * \cos 88.454 \right]} \right]$$

$$K_d = 0.0929 \text{ para } W = 45^\circ$$

Reemplazando los valores en la ecuación anterior tenemos:

$$H_d = K_d * H_d'$$

$$H_d = 0.0929 * 6.055 \times 10^3 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 * \text{h}}$$

$$H_d = 562.51 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 * \text{h}}$$

Ahora se halla los valores de “ K_d ” y “ H_d ” para cada hora del día, representado en la tabla 5.

Tabla 5. Radiación difusa horaria por unidad de área

Ángulo Horario W(°)	Horas del día	Kd	Hd (KJ /m² h)
75 °	6 - 7 17 - 18	0.0317	191.944
60 °	7 - 8 16 - 17	0.0646	391.153
45 °	8 - 9 15 - 16	0.0929	562.51
30 °	9 - 10 14 - 15	0.1146	693.903
15 °	10 - 11 13 - 14	0.1283	776.857
0°	11 - 12 12 - 13	0.1330	805.315

Fuente: Autor

La suma de los valores de “Hd” debe darnos aproximado con el valor de la radiación difusa diaria.

$$\sum Hd \approx H_d$$

$$6038 \text{ KJ /m}^2 \text{ h} \approx 6055 \text{ KJ /m}^2 \text{ h}$$

6.2.8. Determinación del valor del ángulo de Incidencia horario de la radiación solar directa sobre el calentador solar (θ_t).

Para el cálculo del ángulo de incidencia el valor de β se lo obtiene con $\beta = \phi + 10$, en este caso se trabaja con 14 grados, de inclinación León Tapia Milton (1984). Por lo tanto tenemos:

$$\phi = 3.9931^\circ, \beta = 14^\circ, \delta = 20.1^\circ$$

En la mayoría de las aplicaciones de esta ecuación, la única variable a lo largo del día es el ángulo horario W . Todo lo demás suele ser constante en una fecha y lugar determinados.

El ángulo de Incidencia de la Radiación Solar sobre el calentador solar, está dado por la ecuación (39):

$$\cos \theta_t = \cos[\phi + \beta] * \cos \delta * \cos W + \sin[\phi + \beta] * \sin \delta$$

$$\cos \theta_t = \cos[3.9931^\circ + 14^\circ] * \cos 20.1^\circ * \cos 45^\circ + \sin[3.9931^\circ + 14^\circ] * \sin 20.1^\circ$$

$$\cos \theta_t = 0.7377, \text{ para } W = 45^\circ$$

$$\theta_t = \arccos(\cos \theta_t)$$

$$\theta_t = \arccos(0.7377)$$

$$\theta_t = 42.464$$

Los resultados de " θ_t " como de " $\cos \theta_t$ " se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Ángulo de incidencia horario

Ángulo Horario $W(^{\circ})$	Horas del día	ϕt	$\text{Cos } \phi t$
75°	6 - 7 17 - 18	70.281	0.3374
60°	7 - 8 16 - 17	56.441	0.5528
45°	8 - 9 15 - 16	42.464	0.7377
30°	9 - 10 14 - 15	28.394	0.8797
15°	10 - 11 13 - 14	14.327	0.9689
0°	11 - 12 12 - 13	2.144	0.9993

Fuente: Autor

6.2.9. Determinación del ángulo cenital (θ_z).

El ángulo cenital se lo calcula para todas las horas a partir de la ecuación (40):

$$\cos \phi z = \text{sen } \delta * \text{sen } \phi + \text{cos } \delta * \text{cos } \phi * \text{cos } W$$

$$\cos \phi z = \text{sen } 20.1^{\circ} * \text{sen } 3.9931^{\circ} + \text{cos } 20.1^{\circ} * \text{cos } 3.9931^{\circ} * \text{cos } 45^{\circ}$$

$$\cos \phi z = 0.6864, \text{ para } W = 45^{\circ}$$

$$\phi z = \text{acos}(\cos \phi z)$$

$$\phi z = \text{acos}(0.686)$$

$$\phi z = 46.654$$

Los resultados de “ ϕ_z ” como de “ $\text{Cos}\phi_z$ ” se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Ángulo cenital

Ángulo Horario $W(^{\circ})$	Horas del día	ϕ_z	$\text{Cos } \phi_z$
75 °	6 - 7 17 - 18	74.55	0.2664
60 °	7 - 8 16 - 17	60.502	0.4924
45 °	8 - 9 15 - 16	46.654	0.6864
30 °	9 - 10 14 - 15	33.353	0.8353
15 °	10 - 11 13 - 14	21.736	0.9289
0 °	11 - 12 12 - 13	16.096	0.9608

Fuente: Autor

6.2.10. Cálculo de la relación entre la radiación solar directa sobre una superficie inclinada y la radiación solar directa sobre una superficie horizontal (R_b).

Para el cálculo de la relación entre la radiación solar directa sobre una superficie inclinada y la radiación solar directa sobre una superficie horizontal se utiliza la ecuación (42).

$$R_b = \frac{\cos \theta_t}{\cos \theta_z}$$

$$R_b = \frac{\cos 42.464^{\circ}}{\cos 46.655^{\circ}}$$

Rb = 1.075, para W = 45°

Los resultados de “Rb” para los diferentes tipos de ángulos se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Valores Rb para cada hora del día

Ángulo Horario W (°)	Horas del día	øt	øz	Rb
75 °	6 - 7 17 - 18	70.281	74.55	1.267
60 °	7 - 8 16 - 17	56.441	60.502	1.123
45 °	8 - 9 15 - 16	42.464	46.654	1.075
30 °	9 - 10 14 - 15	28.394	33.353	1.053
15 °	10 - 11 13 - 14	14.327	21.736	1.043
0 °	11 - 12 12 - 13	2.144	16.096	1.040

Fuente: Autor

6.2.11. Determinación de los valores de la radiación solar horaria que cae sobre la superficie del colector solar (Ht).

La Radiación Solar Horaria se calcula por la ecuación (43):

$$H_t = (H - H_d) * R_b + \left[H_d * \left(\frac{1 + \cos S}{2} \right) \right] + \left[H * \frac{(1 - \cos S) * \rho_t}{2} \right]$$

$$H_t = [(1074.157 - 562.51) * 1.075] + \left[562.51 * \left(\frac{1 + \cos 14}{2} \right) \right] \\ + \left[1074.157 * \frac{(1 - \cos 14) * 0.2}{2} \right]$$

$$H_t = 1107.367 \text{ KJ}/\text{hm}^2$$

Los resultados de “Ht” para los diferentes tipos de ángulos se presentan en la tabla 9. Así como también se detallan los resultados obtenidos en los cálculos anteriores.

Tabla 9. Radiación horaria que cae sobre la superficie del colector

Ángulo Horario W (°)	Horas del día	H (kJ/m² h)	Hd (KJ /m² h)	Rb	Ht (kJ/m² h)	Ht (W/m²)
75 °	6 – 7 17 – 18	293.062	191.944	1.267	318.08	88.356
60 °	7 – 8 16 – 17	676.949	391.153	1.123	708.303	196.751
45 °	8 – 9 15 – 16	1074.157	56.51	1.075	1107.367	307.602
30 °	9 – 10 14 – 15	1420.503	693.903	1.053	1452.926	403.591
15 °	10 – 11 13 – 14	1656.648	776.857	1.043	1687.862	468.851
0 °	11 – 12 12 – 13	1740.207	805.315	1.040	1770.811	491.892

Fuente: Autor

6.3. Selección del calentador en base a los datos de los fabricantes.

Se seleccionó colectores solares planos marca SUNSET–SUN blue 21 proporcionados por la empresa SolGas, cuyas características se detallan en la tabla 10.

Tabla 10. Especificaciones del colector de placa plana SolGas

Datos técnicos		
Tipo de colector	SUNblue [®] 21	SUNblue [®] 25
Superficie del colector	2,15 m ²	2,51 m ²
Superficie de la placa	2,0 m ²	2,3 m ²
Longitud	1.870 mm	2.160 mm
Ancho	1.150 mm	1.150 mm
Altura	95 mm	95 mm
Peso neto	34 kg	39 kg
Capacidad	1,13 litros	1,3 litros
Resistencia máxima a la presión	10 bar	10 bar
Temperatura máxima en reposo	203 °C	203 °C
Flujo recomendado	50 L/h por m ² (flujo bajo: 20 L/h)	50 L/h por m ² (flujo bajo: 20 L/h)
Caída de presión	10 mb	10 mb
Garantía de funcionamiento (excepto vidrio)	10 años	10 años
a1	3.745 W/m ² K	3.501 W/m ² K
a2	0.015 W/m ² K	0.0172 W/m ² K
Contraseña de Homologación	GPS 8543	GPS 8544

Fuente: Energía solar térmica de SUNSET

Los colectores SOLGAS (Figura 26), alcanzan eficiencias ópticas del 80%, cuentan con certificados de calidad y garantía de 3 años por defectos de fabricación y materiales. [32]

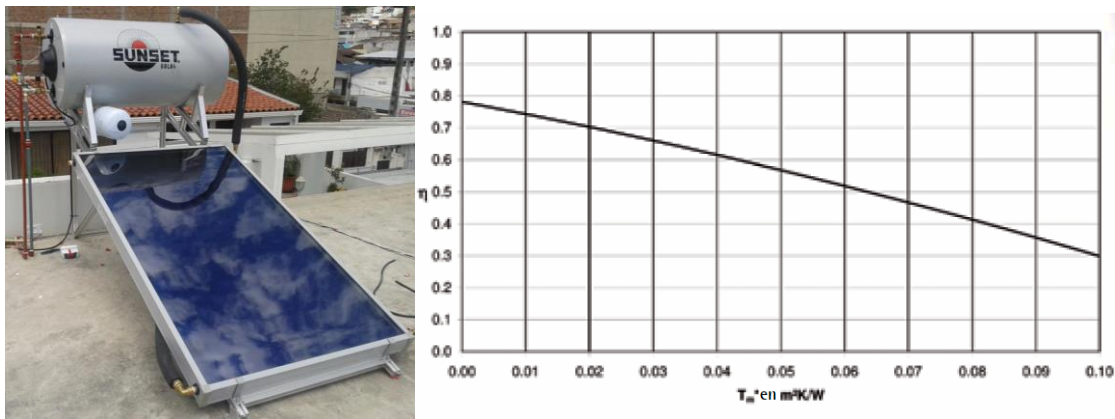


Figura 26. Colectores SOLGAS y Curva de Rendimiento

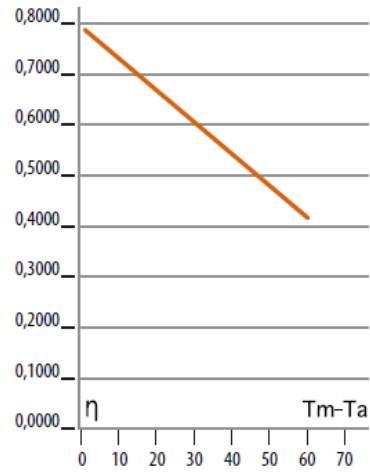
Fuente: Agua Caliente Sanitaria con Energía Solar Térmica. SolGas

También se obtuvo otros tipos de colectores que mayormente utilizan distribuidores de la ciudad o como también del país los cuales se detallan a continuación.

➤ **Termocan Serie Neo cuyas características se detallan en la tabla 11.**

Tabla 11. Característica del colector Termocan

CARACTERÍSTICAS DE LOS COLECTORES						
Modelo		NEO	NEO	NEO	NEO	AH
		18	20	24	26	26
Largo	mm	1.861	2.098	2.098	2.177	1.257
Anch	mm	1.056	1.056	1.256	1.256	2.176
Fondo	mm	94,5	94,5	94,5	94,5	96,0
Area total	m ²	1,97	2,22	2,64	2,73	2,74
Area útil	m ²	1,77	2,00	2,41	2,50	2,50
Cap. Fluido	L	1,40	1,50	1,70	1,80	2,22
Caudal R.	l/h	80	90	108	117	117
Salidas		4x22	4x22	4x22	4x22	4x22
η	%	75,70	75,70	75,70	76,90	75,90
a1	W/m ² K	3,994	3,994	3,994	3,957	4,241
a2	W/m ² K	0,009	0,009	0,009	0,010	0,003
certificaciób n NPS		5511	5611	6011	6111	30409
SOLAR KEYMARK		011-751517 F				ND



Fuente: Catalogo Termocan. 2011



Figura 27 Colector Termocan
Fuente: Catalogo Termocan. 2011

➤ **Captador Solaria 2.2 AL** cuyas características se detallan en la tabla 12.

Tabla 12. Características del Captador Solaria 2.2 AL

SOLARIA-2.2 AL	
DIMENSIONES	
Largo total (mm)	1.930
Ancho total (mm)	1.160
Fondo total (mm)	90
Área total (m ²)	2.34
Área total absorbedor (m ²)	2.01
Peso en vacío (kg)	40
Capacidad de fluido (l)	1,25
PRESIONES Y RESISTENCIA TÉRMICA	
Presión máxima servicio (bares)	10
Presión máxima de prueba (bares)	20
Resistencia térmica máxima (C°)	199
CURVAS DE RENDIMIENTO INSTANTÁNEO Y REGISTRO	
Rendimiento óptico η_p	79,1%
K1	3,78 W/(m ² K)
K2	0,0155 W/(m ² K ²)

Fuente: Catalogo Solar Térmica. 2008

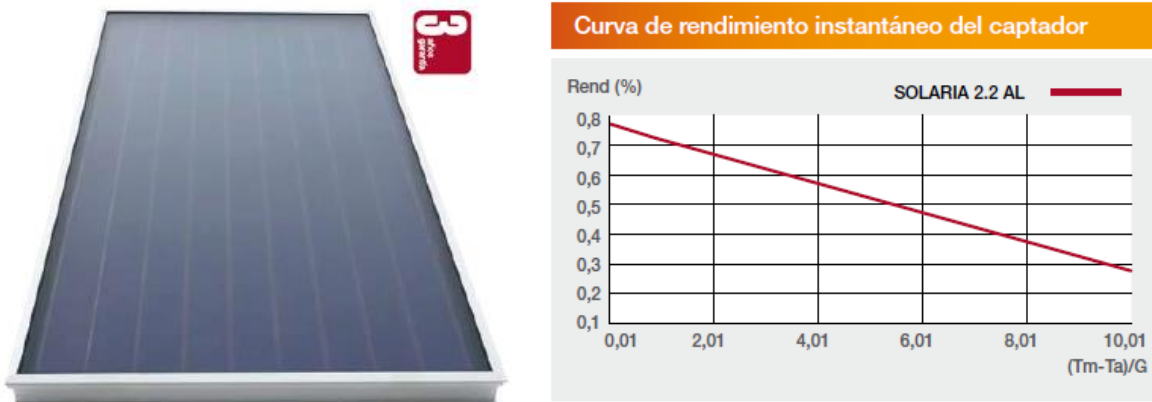


Figura 28. Colector Solaria 2.2 AL

Fuente: Catalogo Solar Térmica. 2008

➤ **Captadores solar de alto rendimiento TopSon F3-1**

Tabla 13. Características del Captador TopSon F3-1

Datos Técnicos*		F3-Q	F3-1	CFK-1
Modelo TopSon		F3-Q	F3-1	CFK-1
Largo	A mm	2099	2099	2099
Ancho	B mm	1099	1099	1099
Profundo	C mm	110	110	110
Distancia entre conexiones	D mm	900	1900	1900
Conexiones (en la pieza de conexión)	G	3/4"	3/4"	3/4"
Ángulo de inclinación		15° - 90°	15° - 90°	15° - 90°
Absorción de energía**	%	79,4	80,4	76,7
Coefficiente de transmisión de calor k1 **	W/(m² K²)	3,494	3,235	3,669
Coefficiente de transmisión de calor k2 **	W/(m² K²)	0,015	0,0117	0,018
Temperatura de parada máx. (en seco)	°C	198	194	196
Eficacia visual (factor de conversión) K50° **	%	95,4	94	95,2
Capacidad térmica efectiva C **	kJ/(m² K)	8,073	5,85	4,723
Presión de régimen admisible	bar	10	10	10
Superficie del captador	m²	2,3	2,3	2,3
Superficie útil	m²	2,0	2,0	2,0
Capacidad	Ltr.	1,9	1,7	1,1
Peso (vacío)	kg	41	40	36
Caudal admisible	Ltr./h	45 - 90	45 -90	90
Fluido calorportante		ANRO	ANRO	ANRO
Certificado Solar-Keymark		011-75S92F	011-75260F	011-75S91F
Certificado homologación		NPS-11209	NPS-7708	NPS-28709

** Valores según EN 12975
* Reservado el derecho de modificaciones técnicas

Fuente: Catalogo Sistemas de energía solar Wolf

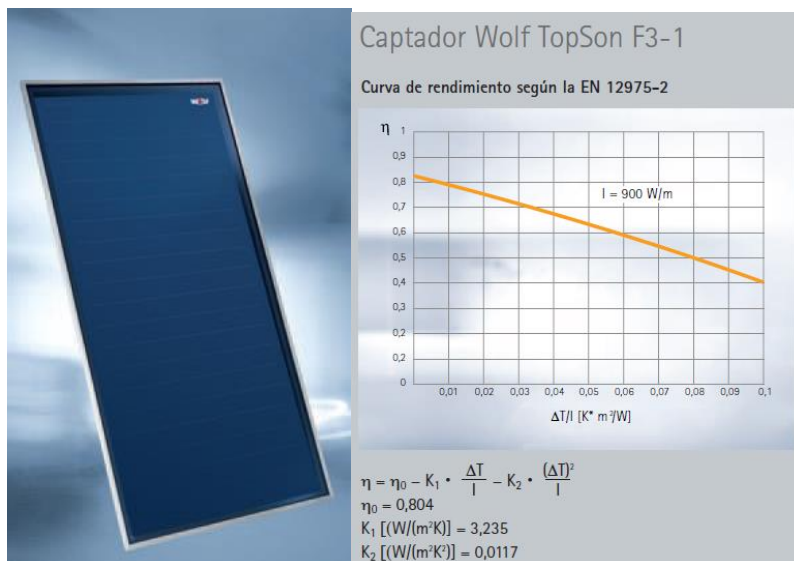


Figura 29. Colector TopSon F3-1
Fuente: Catalogo Sistemas de energía solar Wolf

6.4. Cálculo de la Eficiencia del Colector Solar

De los cuatro modelos antes mencionados se obtuvieron las eficiencias ópticas Tabla 14. Las cuales servirán para calcular la eficiencia del colector solar.

Tabla 14. Eficiencia media

MODELO	EFICIENCIA ÓPTICA
SUNSET-SUNblue21 (SolGas)	80%
Termocan Serie Neo	75,70%
Solaria 2.2 AL	79,1%
TopSon F3-1	80.4%

Fuente: Autor

Una vez obtenidos los valores de las eficiencias ópticas se procede a calcular la eficiencia de cada uno de los colectores anteriormente mencionados. Utilizando a norma EN12975-2 para Colectores Solares, nos dice que la eficiencia de un colector se la obtiene por la siguiente ecuación:

$$\eta = \eta_0 - K_1 * \frac{\Delta T}{I} - K_2 * \frac{(\Delta T)^2}{I}$$

Dónde:

η_0 = Eficiencia Óptica

K_1, K_2 = Coeficiente de Transmision de calor $W/m^2 K$

ΔT = Diferencia de temperaturas entre el fluido y el ambiente [K]

I = Radiación que cae sobre la superficie del colector al medio día [W/m^2]

Entonces tenemos que:

- La eficiencia del colector SUNSET–SUN blue 21es igual a:

$$\eta = 0.80 - 3.745 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} * \frac{(303 - 294)\text{K}}{491.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} - 0.015 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^2} * \frac{(303 - 294)^2 \text{K}^2}{491.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

$$\eta = 0.80 - 0.069 - 0.002$$

$$\eta = 0.729$$

- La eficiencia del colector Termocan Serie Neo igual a:

$$\eta = 0.757 - 3.994 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} * \frac{(303 - 294)\text{K}}{491.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} - 0.009 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^2} * \frac{(303 - 294)^2 \text{K}^2}{491.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

$$\eta = 0.757 - 0.073 - 0.0015$$

$$\eta = 0.683$$

- La eficiencia del colector Solaria 2.2 AL igual a:

$$\eta = 0.791 - 3.78 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} * \frac{(303 - 294)\text{K}}{491.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} - 0.0155 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^2} * \frac{(303 - 294)^2 \text{K}^2}{491.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

$$\eta = 0.791 - 0.0692 - 0.0026$$

$$\eta = 0.719$$

- La eficiencia del colector TopSon F3-1igual a:

$$\eta = 0.804 - 3.235 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} * \frac{(303 - 294)\text{K}}{491.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} - 0.0117 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^2} * \frac{(303 - 294)^2 \text{K}^2}{491.89 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

$$\eta = 0.804 - 0.0592 - 0.0019$$

$$\eta = 0.743$$

A continuación en la tabla 14.1 se detallan las eficiencias de los diferentes tipos de colectores antes mencionados, cuyo valor servirá para posteriormente poder obtener el número de colectores necesarios para el sistema:

Tabla 14.1. Eficiencia media

MODELO	EFICIENCIA DEL COLECTOR	
SUNSET-SUNblue21 (SolGas)	0.729	72.9%
Termocan Serie Neo	0.683	68.3%
Solaria 2.2 AL	0.719	71.9%
TopSon F3-1	0.743	74.3%
Eficiencia Media	0.719	71.9%

Fuente: Autor

6.5. Cálculo del Área Media del Colector

Para el cálculo del área se toma las dimensiones (largo y ancho) de los colectores anteriormente mencionados, con las cuales se obtendrá un área promedio que nos servirá para próximos cálculos. Tabla 15

Tabla 15. Área Media del Colector

MODELO	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m²)
SUNSET-SUNblue21 (SolGas)	1,870	1,150	2,15
Termocan Serie Neo	2,098	1,056	2,22
Solaria 2.2 AL	1,930	1,160	2,24
TopSon F3-1	2,099	1,099	2,31
Área Promedio			2,23

Fuente: Autor

6.6. Estimación del número de colectores requeridos

El cálculo se realiza considerando el funcionamiento de la piscina en régimen de ESTADO ESTABLE; es decir, cuando el agua de la piscina ya se ha calentado hasta alcanzar la temperatura de confort de 30°C.

En esas condiciones, el calor ganado a través de los colectores solares debido a la irradiación solar incidente, deberá ser el requerido para satisfacer las pérdidas de calor de la piscina a 30°C.

El cálculo se hará considerando 6 horas de incidencia solar significativas, las cuales se presentan en el horario de 09H00 a 15H00.

De la tabla 9, se toma el valor de la irradiación solar Total:

$$H_t = 14090.698 \text{ KJ/m}^2$$

Como un colector tipo tiene 2.23 m² de área, se tiene:

$$H_{t1} = 2.23 \text{ m}^2 * 14090.698 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2} = 31422.257 \text{ KJ}$$

Se tiene que las pérdidas totales de calor son:

$$Q_{\text{total}} = 13.266 \text{ KW} = 13.266 \text{ KJ/s}$$

Considerando las pérdidas de calor durante 6 horas:

$$6 \text{ horas} = 6 \text{ h} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 21600 \text{ s}$$

La pérdida será

$$Q_T = Q_{\text{Total}} * 21600 \text{ s}$$

$$Q_T = 13.266 \frac{\text{KJ}}{\text{s}} * 21600 \text{ s}$$

$$Q_T = 286545.6 \text{ KJ}$$

El balance de energía en la piscina para estado estable es:

$$Q_R = N * Ht1$$

Siendo “N” el número de colectores

Bajo estas condiciones la eficiencia (rendimiento) del sistema será:

$$n = \frac{\text{Energia Util}}{\text{Energia Recibida}} = \frac{Q_T}{N * Ht1}$$

Siendo:

Q_t = Energia Util para satisfacer las pérdidas termicas

$N * Ht1$ = Energia recibida por la irradiacion solar

n = Eficiencia promedio de un colector solar = 0.719

Despejando “N” de la ecuación anterior tenemos:

$$N = \frac{Q_T}{n * Ht1}$$

$$N = \frac{286545.6 \text{ KJ}}{0.719 * 31422.257 \text{ KJ}}$$

$N = 12.68$ colectores solares

Esto quiere decir que necesitamos 13 colectores solares para poder calentar el agua de la piscina a una temperatura de confort.

6.7. Cálculo de la potencia necesaria para calentar el agua de la piscina.

Las piscinas medidas están construidas de hormigón por lo que se tomara en cuenta los siguientes parámetros:

- Piscinas de hormigón normales: 1°C por cada 2 h
- Piscinas de hormigón grandes o pesadas: 1°C por cada 4 h

Como las piscinas medidas entrarían en el rango de hormigón normal el tiempo de puesta en régimen para un $\Delta T = (30 - 16) ^\circ\text{C} = 14^\circ\text{C}$ seria de 28 horas.

Por lo tanto tenemos que:

t = tiempo de puesta en régimen es de 28 horas.

Entonces el calor necesario para calentar el agua de la piscina se lo calcula con la ecuación (44):

$$P_0 = \frac{V * \delta * C_p * (T_{AP} - T_R)}{t}$$
$$P_0 = \frac{35.24\text{m}^3 * 997.4 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 1.1613 \text{ Wh}/\text{kg}^\circ\text{C} * (30^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C})}{28\text{h}}$$
$$P_0 = 20414.177 \text{ W} = 20.414 \text{ KW}$$

6.8. Potencia requerida en la piscina (Qrp).

Para la potencia requerida en la piscina se debe considerar la potencia necesaria para calentar el agua de la piscina así como también reponer el calor que se pierde a través de las paredes de la piscina. Ecuación (45)

$$Q_{rp} = P_0 + Q_r$$

Dónde:

P_0 = Potencia necesaria para calentar el agua de la piscina = 20414.177 W

Q_r = Total de pérdidas generadas en la piscina = 13266 W

Entonces utilizando la ecuación (45) calculamos el calor requerido en la piscina:

$$Q_{rp} = 20414.177 \text{ W} + 13266 \text{ W}$$

$$Q_{rp} = 33680.177 \text{ W} = 33.68 \text{ kW}$$

6.9. Manta térmica

Para poder seleccionar una Manta térmica debemos conocer el área de la piscina

$$A_{piscina} = 23.65\text{m}^2$$

Ya teniendo el área se puede seleccionar el tipo manta que se vaya a utilizar, en este caso se recomienda la manta térmica de burbujas de polietileno con orillo cosido. Figura 30



Figura 30. Manta térmica de polietileno con orillo cosido para cubrir la piscina

Fuente: www.ingerclima.com/manta-termica-burbuja-piscinas/2-14-10-14.htm

Es la más popular y económica de todas. Consiste en una superficie plástica con doble burbuja de aire (como el plástico de embalar) con un enrollador manual. Su montaje es sumamente sencillo y para ponerlo, tan solo hay que tirar del extremo de la manta e ir desenrollándolo sobre la lámina de agua de la piscina. Para recogerlo se utiliza una manivela que se encuentra en el enrollador.

6.9.1. Pérdidas de energía utilizando la manta térmica

Para el análisis de la manta térmica se toma el 60% de las pérdidas de evaporación, en base a los fabricantes de mantas térmicas.

Donde las pérdidas por evaporación son:

$$Q_{\text{evap}} = 3403.4 \text{ W}$$

El 60% de 3403.4 W es igual a 2042.04 W

Por lo tanto utilizando la manta térmica tendremos las siguientes perdidas:

Tabla 16. Pérdidas utilizando la manta térmica

Pérdidas	Totales [W]
P. evaporación	2042.04
P. radiación	1220.034
P. convección	790.312
P. conducción	6662
P. renovación	1191
Total[w]	11905.386

Fuente: Autor

Ahora se calculara calor requerido en la piscina (Q_{rp}) con la utilización de la manta térmica: Ecuación (45)

$$Q_{rp} = P_0 + Q_r$$

Dónde:

P_0 = Potencia necesaria para calentar el agua de la piscina = 20414.177 W

Q_r = Total de pérdidas generadas en la piscina = 11905.386 W

Entonces utilizando la ecuación (45) calculamos la potencia requerida en la piscina utilizando la manta térmica:

$$Q_{rp} = 20414.177 \text{ W} + 11905.386 \text{ W}$$

$$Q_{rp} = 32319.56 \text{ W} = 32.32 \text{ kW}$$

Lo que demuestra que con la utilización de la manta térmica, ayuda a que la piscina tenga menor cantidad de pérdidas y que mantenga su temperatura durante un mayor intervalo de tiempo.

6.10. Sistema auxiliar

El sistema auxiliar servirá para las localidades que no cuenten con un sistema de calentamiento ya previsto ya sea por calefones de GLP que es el más común u otro sistema de los conocidos (bomba de calor, calefones eléctricos o intercambiadores de calor).

También servirá para cubrir la demanda energética, cuando la radiación no sea la suficiente por las condiciones climáticas o ante una posible avería del sistema de calentamiento solar.

Para ello es necesario la instalación de un calefón cuya función es elevar la temperatura del agua de la piscina hasta la temperatura de confort de 30°C

6.10.1. Dimensionamiento del sistema auxiliar.

Los calefones irán conectados en paralelo al sistema de calentamiento por energía solar estos ayudarán a cubrir la demanda de energía térmica cuando la temperatura del agua de la piscina no alcance el nivel de confort con el sistema solar.

Para la selección del calefón primero se debe conocer la energía necesaria para calentar el volumen del agua de la piscina: Para ello se utiliza la ecuación (46)

$$P * t = C_p * m * \Delta T$$

Para el cálculo de la masa del agua se debe tener los datos del volumen de la piscina y la densidad del agua:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Despejando la masa tenemos:

$$m = \rho * V$$

Dónde:

$$V = 35.24 \text{ m}^3$$

$$\rho = 997.315 \text{ Kg/m}^3 \text{ (Anexo 5)}$$

Entonces tenemos que:

$$m = 997.315 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 35.24 \text{m}^3$$

$$m = 34440.581 \text{ Kg}$$

Ya obtenidos los datos reemplazamos en la ecuación (46) y calculamos la energía necesaria del calefón:

$$P * t = 4.181 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * 34440.581 \text{ Kg} * (30^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C})$$

$$P * t = 2015944.9 \text{ KJ}$$

Como se puede apreciar el valor de la energía necesaria es alta, por lo que el tiempo de calentamiento de la piscina es decisivo para la elección del calefón. En base a esto se establece un periodo de calentamiento de las 9H00 a las 19H00 dándonos un total de 10 horas de uso, por lo que la potencia del calefón sería:

$$P = \frac{2015944.9 \text{ KJ}}{10 * 3600\text{s}} = 55.998 \text{ KW}$$

Con la ponencia obtenida se seleccionó el calefón BOSCH GWH16 (Anexo 6), con una potencia de 27.9 KW, para poder cubrir la potencia necesaria se debe instalar dos calefones en paralelo.

El calefón trabajaría en el calentamiento inicial de la piscina, para los demás días se necesita hacer un recalentamiento de la misma en un menor periodo de tiempo ya que al transcurrir la noche se produce una perdida aproximada a 2°C, este periodo de tiempo se lo calcula con la ecuación (46)

$$P * t = C_p * m * \Delta T$$

Despejamos el tiempo “t”

$$t = \frac{C_p * m * \Delta T}{P_c}$$

$$t = \frac{4.181 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * 34440.581 \text{ Kg} * (30^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C})}{55.8 \text{ KW}}$$

$$t = 5161.15 \text{ s} = 1.43 \text{ horas}$$

Es decir que para que la temperatura del agua de la piscina alcance los 30°C para su uso diario, se requiere encender el sistema con 1.43 horas de anticipación.

6.11. Sistema de Bombeo.

Como el sistema de calentamiento es por circulación forzada se seleccionó la bomba emitida en la proforma por la empresa SolGas cuyo modelo es el P7-350/7 de 3.5HP, las características de la misma se detallan en las tablas 17 y 18.

Tabla 17. Características de la bomba P7-350/7

Características	
Cuerpo bomba	Acero inoxidable AISI 304
Soporte motor	Aluminio
Rodete/Difusor	Noryl reforzado con fibra de vidrio (GFN2V)
Sello mecánico	Cerámica/Grafito (hasta 6 estadios)
Eje motor	Acero inoxidable AISI 303
Cojinete guía intermedio eje	Latón/AISI 304
Junta cuerpo bomba	HNBR
Fluido	Aguas limpias y líquidos no agresivos ni viscosos, exentos de sustancias sólidas
Temperatura del líquido	-5 - +35 °C
Altura máxima aspiración	7 m
Presión de trabajo	max 8,5 bar
Temperatura ambiente	max 40 °C
Caudal máximo	160 l/min
Altura máxima	74 m
Ø aspiración	1 1/4"
Ø impulsión	1"
Motor	2 polos a inducción 230/400 V - 50 Hz
Protección térmica	Incluida
Clase de aislamiento	F
Grado de protección	IP44

Fuente: <http://www.campeongroup.es/es/motores-termicos-electrobombas/electrobombas-superficie/superficie-foras/electrobomba-p7-350-7-t-info>

Tabla 18. Características de la bomba P7-350/7

TIPO	P2		P1	AMPERE	Q (m ³ /h - l/min)												
	(HP)	(kW)			3 ~ (kW)	3x400 V	0	0,6	1,2	1,8	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6
P7-350/7 T	3,5	2,57	-	5,5	50 Hz	0	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	170
					H (m)												
						87	86	85	84	83	79	75	69	62	52	41	32

Fuente: <http://www.campeongroup.es/es/motores-termicos-electrobombas/electrobombas-superficie/superficie-foras/electrobomba-p7-350-7-t-info>

Las dimensiones de la bomba P7-350/7 se detallan en la Figura 31 y en la tabla 19 respectivamente:.

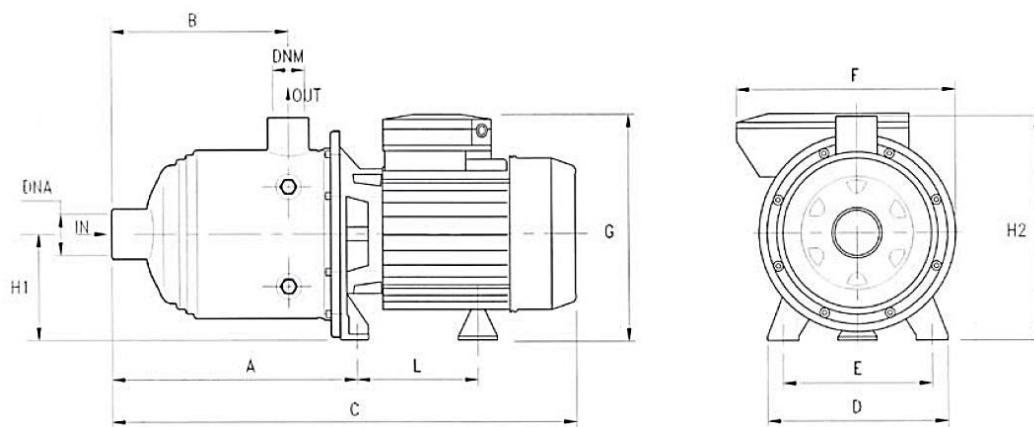


Figura 31. Dimensiones de la bomba P7-350/7

Fuente: <http://www.campeongroup.es/es/motores-termicos-electrobombas/electrobombas-superficie/superficie-foras/electrobomba-p7-350-7-t-info>

Tabla 19. Dimensiones de la bomba P7-350/7

TIPO	DIMENSIONES (mm)												PESO (kg)
	A	B	C	D	E	F	G	L	H1	H2	DNA	DNM	
P7-350/7 T	238,8	175	M 503	164	140	201	M 229	M 148,2	M 103	M 203	1 1/4"G	1"G	18,6
			T 459				T 211	T 128,2	T 98	T 198			

Fuente: <http://www.campeongroup.es/es/motores-termicos-electrobombas/electrobombas-superficie/superficie-foras/electrobomba-p7-350-7-t-info>

6.12. Análisis Económico

Con la ayuda de la empresa SOLGAS se ha realizado una estimación de costos que tendría la instalación considerando una distancia de 10 metros desde el cuarto de máquinas hasta la ubicación de los colectores solares la cual se detalla a continuación:

➤ Información Inicial

Tipo de la piscina	Residencial
Área	23,6 m ²
volumen	35,16 m ³
Cubierta	No
Uso	De preferencia fines de semana
Uso cobertor térmico	De no usar sistema auxiliar, se sugiere la utilización del cobertor térmico

Se requiere mantener la piscina a una temperatura promedio de 30°C

➤ Propuesta Técnica

Paneles solares SOLGAS ofrece un sistema de calentamiento de agua con captadores solares vidriados de alta absorción térmica, de circuito cerrado con circulación forzada, con un intercambiador de calor y sistema de control automático de la instalación, diseñado específicamente para cubrir las pérdidas de calor por evaporación, convección y radiación de la piscina y suplir las necesidades de agua caliente de la residencia.

Con la finalidad de bajar costos y mejorar el rendimiento del sistema de calentamiento solar, la propuesta se la realiza bajo la consideración del uso **de cobertor térmico en la piscina; el cual una vez instalados los paneles debe ser usado durante todas las noches para evitar el enfriamiento de la piscina calentada durante el día.**

➤ Oferta Económica

Descripción: Diseño, instalación y puesta en marcha de un sistema de calentamiento de agua por medio de energía solar para uso en piscina y calentamiento de agua para consumo:

ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	13	u.	Captadores solares planos de alto rendimiento y soporte para techo plano, 2 m ² superficie captadora, 95% de absorción.	\$ 399.06	\$ 5,187.78
2	1	u.	Equipo de bombeo P7, incluye válvulas de seguridad y sistema de llenado del circuito.	\$ 758.22	\$ 758.22
3	1	u.	Regulador SOLAR TERRA	\$ 429.75	\$ 429.75
4	1	u.	Intercambiador de calor tubular de acero inoxidable MF-135, resistente al agua clorada.	\$ 575.07	\$ 575.07
5	1	u.	Tanque de expansión 25 lts	\$ 38.50	\$ 38.50
6	1	u.	Tablero de control	\$ 259.00	\$ 259.00
7	1	u.	Líquido caloportadorgerante 11Kg	\$ 2.20	\$ 2.20
8	26	m.	Tubería de cobre 3/4, tipo M	\$ 15.36	\$ 399.36
9	26	u.	Aislante térmico 3/4"x(1.8 m.)	\$ 3.94	\$ 102.44
10	1	u.	Estructuras para techo plano	\$ 250.00	\$ 250.00
11	1	u.	Control de temperatura, sondas	\$ 117.56	\$ 117.56
12	1	u.	Accesorios de cobre, tubos PVC y accesorios: codos, tes. Válvulas de compuerta, válvulas de bola. Suministros	\$ 500.00	\$ 500.00
14	7	días	Mano de obra para instalación	\$ 85.00	\$ 595.00
				TOTAL	\$9,214.06

Este valor NO incluye el IVA

Nota: la cotización se la realizó considerando una distancia de 10 metros desde el cuarto de máquinas hasta la ubicación de los colectores solares.

La instalación contempla: la ubicación de los equipos en el sitio, el suministro, instalación y mano de obra de la tubería, accesorios y sistemas de seguridad para el correcto funcionamiento, instalación y soportes para captadores solares y la puesta en marcha del sistema.

No incluye: Precio de cobertor y recogedor, se debe definir con cliente la opción que desee.
Tampoco incluye: instalación ni suministro de equipos auxiliares de energía.
 Rubros adicionales de obra civil y albañilería no incluye.

**Forma de pago: 60% a la firma del contrato y 40% a contra entrega de los equipos.
Vigencia de la oferta: 30 días**

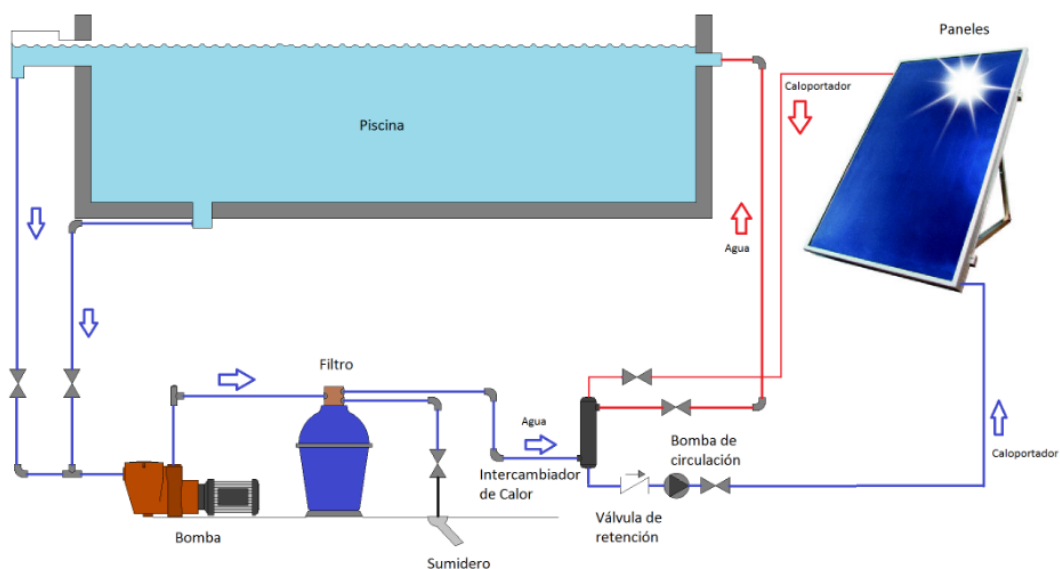
➤ **Garantía**

Todos los equipos tiene una garantía de 5 años y una vida útil de hasta 25 años.
IMPORTANTE: El sistema es de procedencia Alemana, la diferencia con otros sistemas similares de menor precio es la garantía de conservar el rendimiento solar de fábrica durante su vida de uso

➤ **Diagrama de instalación (Solo con fines orientativos)**



SISTEMAS PARA PISCINAS



Atentamente:

Oscar André S.

SOLGAS S.A.

infosolgas@solgas.com.ec

7. DISCUSIÓN

En el presente proyecto de tesis se desarrolló una metodología para calcular y seleccionar un sistema de calentamiento solar de agua para piscinas de quintas vacacionales de la zona suroriental de la ciudad de Loja.

Para que la metodología del sistema de calentamiento solar sirva para todos los residentes que cuenten con una quinta vacacional y que deseen implementar un sistema de calentamiento de agua para su piscina se realizó medidas de cinco piscinas ubicadas en diferentes puntos de la región suroriental las cuales se detallaron en la tabla 3, donde se observa que el largo de una piscina promedio es de 7.3m, el ancho de 3,24m y la profundidad media de 1.49m, dándonos un área y un volumen de $23,65\text{m}^2$ y $35,24\text{m}^3$ respectivamente.

La piscina deberá alcanzar la temperatura de confort que va desde los 28°C a los 32°C , para los cálculos se utilizó la temperatura 30° que es la temperatura media. Para que esta temperatura se alcance se debe tener en cuenta las pérdidas de calor que la piscina sufre durante el día y principalmente por las noches. Es por ello que se recomienda la utilización de una manta térmica por las noches para que de esa forma las pérdidas principalmente la por evaporación se reduzcan en gran cantidad.

Al realizar los cálculos de la cinemática solar es conveniente utilizar como dato el día medio del mes en el que haya menos radiación solar es decir el mes más frío del año. Los colectores solares de alto rendimiento proporcionan más eficacia al momento de calentar una piscina ya que cuentan con un alto índice de efectividad y un gran porcentaje de eficiencia del sistema a diferencia de los otros.

De no contar con un sistema de calentamiento auxiliar se sugiere la instalación de uno ya sea calefones eléctricos o a gas, ya que este ayudará cuando el sistema de calentamiento solar sufra algún tipo de avería o que las condiciones climáticas no sean las sufrientes para alcanzar la temperatura de confort.

8. CONCLUSIONES

- Se determinaron los parámetros básicos que sirvieron para dimensionar el sistema como el área y volumen de la piscina así como también las pérdidas de calor que pueden generarse en el vaso de la piscina tanto por evaporación, radiación, convección, conducción y por renovación de agua dándonos un valor total de pérdidas de 13.266 KW.
- Se calculó y diseño un sistema de calentamiento solar para piscinas de quintas vacacionales teniendo en cuenta que para el cálculo de la cinemática solar se debe utilizar el mes más frío de dicha región, así como también se determinó que el ángulo de inclinación que debe tener los colectores sobre la horizontal es de 14° , y para que la piscina puede calentarse a la temperatura de confort de 30° se requiere instalar 13 colectores. También se estableció un sistema auxiliar para el calentamiento de la piscina utilizando dos calefones de marca BOSCH de 27,9 KW.
- Se determinó la eficiencia del sistema de calentamiento por colectores solares utilizando como dato la eficiencia óptica que se encuentra en los catálogos e implementando la norma EN12975-2 obteniéndose una eficiencia de 71.9%.

9. RECOMENDACIONES

- Adquirir una manta térmica de burbujas de polietileno para evitar las pérdidas por evaporación en la piscina que puedan producirse a lo largo de la noche.
- Para las localidades que no cuente con un sistema auxiliar para el calentamiento de la piscina, se recomienda la instalación de uno ya que este ayudará a cubrir la demanda energética cuando la radiación sea insuficiente o ante una posible avería del sistema de calentamiento solar.
- Al momento de comprar los colectores solares se recomienda la utilización de los Módulos de alto rendimiento ya que son mucho más eficientes que los colectores convencionales y que estén diseñados principalmente para el calentamiento de piscinas.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] **DAVID FUENTES CANTERO.** Instalación de colectores solares para suministro de ACS en Valencia,
- [2] **Cora Placco, Luis Saravia, Carlos Cadena.** COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE,
- [3] **Ministerio de Vivienda y Urbanismo.** MANUAL SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS, - www.Minvu.cl
- [4] www.oocities.org/edrochac/sanitaria/albercas12.pdf bomba
- [5] <https://www.outlet-piscinas.com/cubiertas/mantas-termicas>
- [6] http://solarpool.com.ar/mantas_termicas
- [7] <http://www.climatizacionparapiscinas.es>
- [8] <http://filtrosyequipos.com/festa/FESTA/albercas/albercas1.pdf>
- [9] <http://www.piscinaplus.com/intercambiadores-de-calor-para-piscinas/>
- [10] <https://www.outlet-piscinas.com/blog/intercambiadores-calor-piscina/>
- [11] **MAILLO Agustín. 2005.** Climatización de piscinas cubiertas
- [12] **Yanus A. Cengel. 2011.** Transferencia de calor
- [13] <http://www.ec.viajandox.com/loja/malacatos-A306>
- [14] **Criollo Cumbe Adrián Vicente & Pogo Guamán Álvaro Miguel. (2011).** “Diseño de un sistema dual de calentamiento de agua, por medio de energía solar y glp y diseño estructural de la cubierta para la piscina de la hostería “Los Juanes” en el Cantón Santa Isabel”. Cuenca.
- [15] J.P.Holman, Transferencia de Calor, Capítulo 7

- [16] J.P.Holman, Transferencia de Calor, Capítulo 3
- [17] Conductividad térmica y densidad.PDF - editorial.dca.ulpgc.es
- [18] Miguel Antonio Ramón Álvarez. “Cálculo y Diseño del sistema de Calefacción, para la sala de neonatología del Hospital Isidro Ayora de Loja con la Utilización de energía solar”
- [19] Manual de Piscinas y normativas. Cuesa Sport, s.1.
- [20] Fundamentos de transferencia de calor Frank P. Incropera,David P. DeWittpag 171
- [21] Eduardo Patricio Jumbo Sarango. “Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua por energía solar y vapor para el Hospital “Isidro Ayora” de la ciudad de Loja”
- [22] **Alekks Padilla.** Cálculos de la cinemática solar
- [23] **Duffie, John A. y Beckman, William A. (1980).** Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley Interscience.
- [24] **Liu, B.Y.H. and Jordan, R. C. 1960.** “The interrelationship and characteristic distributionof direct, diffuse and total solar radiation”.Solar Energy, 4, No.3.
- [25] **León Tapia Milton. 1984.** Diseño y Construcción de un colector Solar de Placa Plana de doble exposición. Guayaquil, Ecuador.
- [26] <http://www.esconorte.com.uy/pdf/Folleto%20Piscinas.pdf>
- [27] <http://www.tutiempo.net/Estaciones/Loja/>
- [28] Transferencia_de_Calor_y_Masa_4ta_ed._-_Yunus_Cengel, Pag 844
- [29]<http://www.worldmeteo.info/es/america-del-sur/ecuador/vilcabamba/tiempo-137190/>
- [30] Transferencia_de_Calor_y_Masa_4ta_ed._-_Yunus_Cengel

[31] <https://es.climate-data.org/location/693795/>

[32] Agua Caliente Sanitaria con Energía Solar Térmica. SolGas

[33] **Minister of Natural Resources Canada. (2005).** Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering and Cases. Canadá:

[34] **CENSOLAR** (Centro de Estudios de la Energía Solar)

[35] <http://www.piscinaplus.com/intercambiadores-de-calor-para-piscinas/>

11. ANEXOS

Anexo 1. Propiedades de varios gases Ideales

Properties of Various Ideal Gases (at 300 K)

Gas	Formula	Molar Mass M[kg/kmol]	Gas constant R[kJ/kg.K]	Specific Heat at Const. Press.	Specific Heat at Const. Vol.	Specific Heat Ratio k = Cp/Cv
				Cp[kJ/kg.K]	Cv[kJ/kg.K]	
Air	--	28.97	0.287	1.005	0.718	1.4
Argon	Ar	39.948	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butane	C4H10	58.124	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Carbon Dioxide	CO2	44.01	0.1889	0.846	0.657	1.289
Carbon Monoxide	CO	28.011	0.2968	1.04	0.744	1.4
Ethane	C2H6	30.07	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Ethylene	C2H4	28.054	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helium	He	4.003	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hydrogen	H2	2.016	4.124	14.307	10.183	1.405
Methane	CH4	16.043	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Neon	Ne	20.183	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Nitrogen	N2	28.013	0.2968	1.039	0.743	1.4
Octane	C8H18	114.231	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxygen	O2	31.999	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propane	C3H8	44.097	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Steam	H2O	18.015	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

Fuente: https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property_tables/gas/idealGas.html

Anexo 2. Emisividades de las superficies

TABLA A-18

Emisividades de las superficies (*conclusión*)

b) No metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ	Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ
Alúmina	800-1 400	0.65-0.45	Papel blanco	300	0.90
Aluminio, óxido de	600-1 500	0.69-0.41	Revoque blanco	300	0.93
Asbesto	300	0.96	Porcelana vidriada	300	0.92
Asfalto, pavimento de	300	0.85-0.93	Cuarzo, áspero, vidrio	300	0.93
Ladrillo			Caucho		
Común	300	0.93-0.96	Duro	300	0.93
De arcilla refractaria	1 200	0.75	Suave	300	0.86
Carbono, filamento de	2 000	0.53	Arena	300	0.90
Tela	300	0.75-0.90	Silicio, carburo de	600-1 500	0.87-0.85
Concreto	300	0.88-0.94	Piel humana	300	0.95
Vidrio			Nieve	273	0.80-0.90
De ventana	300	0.90-0.95	Suelo, tierra	300	0.93-0.96
Pyrex	300-1 200	0.82-0.62	Hollín	300-500	0.95
Pyroceram	300-1 500	0.85-0.57	Teflón	300-500	0.85-0.92
Hielo	273	0.95-0.99	Agua profunda	273-373	0.95-0.96
Magnesio, óxido de	400-800	0.69-0.55	Madera		
Mampostería	300	0.80	Haya	300	0.94
Pinturas			Roble	300	0.90
De aluminio	300	0.40-0.50			
Negra, laca, lustrosa	300	0.88			
De aceite, todos los colores	300	0.92-0.96			
De base (primer) roja	300	0.93			
Acrílica blanca	300	0.90			
Esmalte blanco	300	0.90			

Fuente: Transferencia de Calor y Masa 4ta ed. Yunus Cengel

Anexo 3. Constantes Físicas

Algunas constantes físicas

Constante universal de los gases	$R_u = 8.31447 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$ $= 8.31447 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 0.0831447 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 82.05 \text{ L} \cdot \text{atm/kmol} \cdot \text{K}$ $= 1.9858 \text{ Btu/lbmol} \cdot \text{R}$ $= 1545.35 \text{ ft} \cdot \text{lbf/lbmol} \cdot \text{R}$ $= 10.73 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
Aceleración estándar de la gravedad	$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ $= 32.174 \text{ ft/s}^2$
Presión atmosférica estándar	$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$ $= 1.01325 \text{ bar}$ $= 14.696 \text{ psia}$ $= 760 \text{ mmHg} (0^\circ\text{C})$ $= 29.9213 \text{ inHg} (32^\circ\text{F})$ $= 10.3323 \text{ mH}_2\text{O} (4^\circ\text{C})$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ $= 0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$
Constante de Boltzmann	$k = 1.380650 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Velocidad de la luz en vacío	$c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ $= 9.836 \times 10^8 \text{ ft/s}$
Velocidad del sonido en aire seco a 0°C y 1 atm	$C = 331.36 \text{ m/s}$ $= 1089 \text{ ft/s}$
Calor de fusión del agua a 1 atm	$h_f = 333.7 \text{ kJ/kg}$ $= 143.5 \text{ Btu/lbm}$
Calor de vaporización del agua a 1 atm	$h_{fg} = 2257.1 \text{ kJ/kg}$ $= 970.4 \text{ Btu/lbm}$

Fuente: Transferencia de Calor y Masa 4ta ed. Yunus Cengel

Anexo 4. Propiedades del aire a la presión de 1 atm

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1964, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermann, IFVPlenum, NY, 1970, ISBN 0-306057020-8.

Fuente: Transferencia de Calor y Masa 4ta ed. Yunus Cengel

Anexo 5. Propiedades del agua saturada

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T°C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu Pr$. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

Fuente: Transferencia de Calor y Masa 4ta ed. Yunus Cengel

Anexo 6. Características del calefón BOSCH

2.4. CALEFÓN BOSCH.

8 | Indicaciones sobre el aparato

EC

2.10 Datos técnicos

Datos técnicos	Símbolo	Unidades	GWH10...	GWH13...	GWH16...
Potencia y caudal					
Potencia útil nominal	Pn	kW	17,4	22,6	27,9
Potencia útil mínima	Pmin	kW	7,9	7,9	7,9
Potencia útil (margen de regulación)		kW	7,9 - 17,4	7,9 - 22,6	7,9 - 27,9
Consumo calorífico nominal	Qn	kW	20,0	26,3	32,1
Consumo calorífico mínimo	Qmin	kW	10,4	10,7	9,1
Datos referentes al gas*					
Presión de conexión					
Gas natural H	G20	mbar	20	20	20
G.L.P. (Butano/Propano)	G30/G31	mbar	28/37	28/37	28/37
Consumo					
Gas natural H	G20	m ³ /h	2,18	2,8	3,5
G.L.P. (Butano/Propano)	G30/G31	kg/h	1,6	2,1	2,6
Número de inyectores			12	14	18
Datos relativos a parte de agua					
Presión máxima admisible**	pw	bar	12	12	12
Selector de temperatura todo girado en el sentido de las agujas del reloj					
Elevación de temperatura		°C	50	50	50
Margen de caudales		l/min	2 - 5,1	2 - 7	2 - 8,6
Presión mínima de funcionamiento	pwmin	bar	0,1	0,1	0,2
Presión mínima para caudal máximo		bar	0,25	0,35	0,5
Selector de temperatura todo girado en el sentido contrario					
Elevación de temperatura		°C	25	25	25
Margen de caudales		l/min	4 - 11	4 - 14	4 - 17
Presión mínima de funcionamiento		bar	0,2	0,2	0,2
Presión mínima para caudal máximo		bar	0,6	1	1,3
Valores de los gases quemados***					
Caudal		g/s	13	17	22
Temperatura		°C	160	170	180

Tab. 4

* Hi 15°C - 1013 mbar - seco: Gas natural 34.2 MJ/m³ (9.5 kWh/m³)

GLP: Butano 45.72 MJ/kg (12.7 kWh/kg) - Propano 46.44 MJ/kg (12.9 kWh/kg)

** Considerando el efecto de la dilatación del agua, no debe sobrepasarse este valor.

*** Para potencia calorífica nominal

Fuente: Catálogo calentadores Bosch