



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN
CALENTADOR SOLAR COMO SISTEMA COMPLEMENTARIO
PARA UNA PISCINA DE 360 METROS CÚBICOS DE AGUA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

CHRISTIAN JONATHAN JURADO SALGUERO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN
CALENTADOR SOLAR COMO SISTEMA COMPLEMENTARIO
PARA UNA PISCINA DE 360 METROS CÚBICOS DE AGUA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: CHRISTIAN JONATHAN JURADO SALGUERO

DIRECTOR: ING. JUAN PABLO CHUQUIN VASCO

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Christian Jonathan Jurado Salguero

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Christian Jonathan Jurado Salguero, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 12 de agosto de 2022

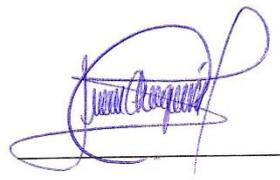
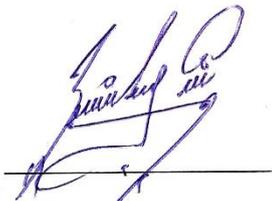
A handwritten signature in black ink, appearing to be 'C. J. Salguero', written in a cursive style.

Christian Jonathan Jurado Salguero

180473186-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR COMO SISTEMA COMPLEMENTARIO PARA UNA PISCINA DE 360 METROS CÚBICOS DE AGUA**” realizado por el señor **CHRISTIAN JONATHAN JURADO SALGUERO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Msc. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-08-12
Ing. Msc. Juan Pablo Chuquin Vasco DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-08-12
Ing. Msc. Javier José Gavilanes Carrión MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-08-12

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, que me ha dado la inteligencia, sabiduría y fuerza necesarias para salir adelante en esta carrera.

A mis padres y hermanos que siempre estuvieron dándome ánimos para seguir adelante, apoyándome con su cariño y buenos consejos que me ayudaron a cumplir el objetivo planteado.

Christian Jonathan Jurado Salguero

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional tanto en lo emocional como en lo económico en estos años de estudio. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a mis profesores y personal administrativo por la posibilidad de estudiar en sus instalaciones y recibir los conocimientos impartidos en la misma.

Christian Jonathan Jurado Salguero

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Delimitación	2
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i>	2
1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i>	3
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
CAPÍTULO II	
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1. Energía Solar	5
2.2. Aplicaciones de la energía solar.....	6
2.3. Radiación solar	6
2.4. Tipos de radiación solar	6
2.5. Insolación	7
2.6. Formas de transferencia de calor en colectores solares	8
2.7. Conducción	8
2.8. Convección	8
2.9. Radiación	8
2.10. Captadores solares generalidades	9
2.11. Aprovechamiento solar	9
2.11.1. <i>Colectores estacionarios</i>	9
2.11.2. <i>Colectores con seguimiento solar</i>	9
2.12. Reflectividad de la superficie.....	9
2.13. Colector de tubos al vacío	10

2.14.	Concentrador solar cilindro parabólico.....	10
2.15.	Tubo absorbedor	12
2.16.	Calentador solar de placas planas	13
2.17.	Temperatura ambiente dentro de la piscina.....	13
2.18.	Temperatura confort de la piscina	13
2.19.	Pérdidas de calor en una piscina cubierta	14
2.20.	Temperatura fílmica	14
2.21.	Humedad Relativa.....	15
2.22.	Presión ambiental.....	15
2.23.	Presión de vapor.....	15
2.24.	Densidad de un fluido.....	16
2.25.	Longitud característica	16
2.26.	Número de Grashof.....	16
2.27.	Número de Prandtl.....	17
2.28.	Número de Nusselt.....	17
2.29.	Coefficiente de transferencia de calor por convección	18
2.30.	La razón de la transferencia de calor por convección natural	18
2.31.	Emisividad del agua	19
2.32.	Constante de Stefan-Boltzmann	19
2.33.	Pérdida de calor por radiación del agua hacia las superficies circundantes	19
2.34.	Coefficiente de conducción térmico del material.....	20
2.35.	Factor de forma	20
2.36.	Perdida de calor por conducción.....	20
2.37.	Expansividad volumétrica	21
2.38.	Difusividad de la masa de vapor de agua.....	21
2.39.	Número de Schimidt.....	22
2.40.	Número de Sherwood	22
2.41.	Coefficiente de transferencia de masa.....	22
2.42.	Razón de transferencia de masa	23
2.43.	Perdidas de calor por evaporación.....	23
2.44.	Perdida de calor por renovación diaria de agua	23
2.45.	Transferencia de calor entre el sol y el vidrio transparente	24
2.46.	Flujo volumétrico que pasa por los paneles y el aumento de temperatura	24
2.47.	Transferencia de calor entre la placa y el fluido de trabajo.....	25
2.48.	Coefficiente de transferencia de calor	25
2.49.	Área total de los tubos en contacto con la placa plana.....	25
2.50.	Conductividad térmica.....	26

2.51.	Número de Reynolds	26
2.52.	Número de Prandtl.....	27
2.53.	Capacidad calorífica a temperatura T_a	27
2.54.	Densidad del agua a temperatura T_a	27
2.55.	Viscosidad dinámica del fluido a temperatura T_a	28
2.56.	Calor generado por paneles de placa plana.....	28
2.57.	Flujo volumétrico	28
2.58.	Selección de bomba y tuberías.....	29
2.58.1.	<i>Ecuación de Bernoulli.....</i>	29
2.58.2.	<i>Perdidas por fricción</i>	29
2.58.3.	<i>Factor de fricción en tuberías</i>	30
2.58.4.	<i>Perdidas por longitud de tubería</i>	30
2.58.5.	<i>Perdidas por accesorios</i>	31
CAPÍTULO III		
3.	DISEÑO DEL CALENTADOR SOLAR	32
3.1.	Reconocimiento de la necesidad	32
3.2.	Análisis de alternativas	32
3.3.	Sistema de automatización.....	33
3.4.	Evaluación y selección.....	33
3.5.	Criterios de evaluación del módulo	33
3.6.	Análisis funcional	34
3.7.	Función: Selección del sistema solar térmico	34
3.8.	Función: Controlador para automatización.....	36
3.9.	Cálculos.....	38
3.9.1.	<i>Pérdidas por convección natural.....</i>	<i>38</i>
3.9.2.	<i>Pérdidas por radiación</i>	<i>41</i>
3.9.3.	<i>Pérdidas por conducción.....</i>	<i>42</i>
3.9.4.	<i>Pérdidas por evaporación.....</i>	<i>43</i>
3.9.5.	<i>Pérdidas por renovación.....</i>	<i>45</i>
3.9.6.	<i>Pérdidas totales de la piscina</i>	<i>46</i>
3.9.7.	<i>Número de paneles solares necesarios.....</i>	<i>47</i>
3.9.8.	<i>Cálculo de flujo volumétrico que pasa por los 4 paneles de placa plana</i>	<i>47</i>
3.9.9.	<i>Cálculo de la temperatura que puede aumentar los cuatro paneles en un día</i>	<i>50</i>
3.9.10.	<i>Cálculo de costo diario del Sistema complementario (quemador a Diésel) para calentar la piscina sin la instalación del sistema solar.</i>	<i>51</i>
3.9.11.	<i>Cálculo de la cantidad de Diésel que ahorra al implementar el sistema solar térmico con 4 paneles.....</i>	<i>53</i>

3.10.	Selección de diámetro de tuberías y potencia de la bomba	54
3.10.1.	<i>Perdidas por fricción h_f</i>	55
3.10.2.	<i>Perdidas por accesorios h_L</i>	60
CAPÍTULO IV		
4.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	70
4.1.	Pruebas de funcionamiento.....	70
4.2.	Toma de datos de temperatura del agua.....	70
4.3.	Construcción.....	72
4.4.	Evaluación de costos de instalación.....	75
4.4.1.	<i>Costos directos</i>	75
4.4.2.	<i>Costos indirectos.....</i>	77
4.4.3.	<i>Costo total.....</i>	78
4.5.	Evaluación de costos de operación	78
4.6.	Automatización del sistema solar térmico	78
CONCLUSIONES.....		82
RECOMENDACIONES.....		83
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Condiciones confort de una piscina cubierta	14
Tabla 2-2:	Coeficiente de sombra SC y transmisividad solar para algunos tipos comunes de vidrio.....	24
Tabla 1-3:	Especificaciones del sistema solar térmico	32
Tabla 2-3:	Evaluación de los criterios más importantes para la selección del sistema solar térmico.	34
Tabla 3-3:	Evaluación de soluciones con respecto a Facilidad de instalación	35
Tabla 4-3:	Evaluación de soluciones con respecto al costo	35
Tabla 5-3:	Evaluación de soluciones con respecto a espacio disponible	35
Tabla 6-3:	Evaluación de soluciones con respecto al peso	36
Tabla 7-3:	Ponderaciones finales de las alternativas de solución para la selección del tipo de sistema solar térmico	36
Tabla 8-3:	Evaluación de los criterios más importantes para la selección del material del soporte estructural.....	37
Tabla 9-3:	Evaluación de soluciones con respecto a disponibilidad.....	37
Tabla 10-3:	Evaluación de soluciones con respecto a proceso constructivo.....	37
Tabla 11-3:	Evaluación de soluciones con respecto a costo	37
Tabla 12-3:	Ponderaciones finales de las alternativas de solución para la selección del sistema solar térmico.....	38
Tabla 13-3:	Flujo volumétrico y Volumen diario de los sistemas de calentamiento de la piscina.	51
Tabla 14-3:	Consumo de galones de Diésel para calentar la piscina y costos de consumo de Diésel utilizados para calentar la piscina según cálculos.	54
Tabla 1-4:	Temperatura del agua de la piscina sin la implementación del sistema solar térmico.	70
Tabla 2-4:	Temperatura del agua de la piscina con la implementación del sistema solar térmico.	71
Tabla 3-4:	Inclinación para la instalación de colectores solares.	73
Tabla 3-4:	Costos de materiales	75
Tabla 4-4:	Costo de mano de obra.....	76
Tabla 5-4:	Costos de equipos y herramientas	76
Tabla 6-4:	Costos de transporte.....	77
Tabla 7-4:	Costo directo total.	77

Tabla 8-4:	Costos de indirectos	77
Tabla 9-4:	Costos totales	78
Tabla 10-4:	Costos de operación	78

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Capacidad mundial de captadores solares para calentamiento de agua5
Ilustración 2-2:	Tipos de radiación7
Ilustración 3-2:	Colector con tubos al vacío.....10
Ilustración 4-2:	Concentrador solar cilíndrico parabólico11
Ilustración 5-2:	Calentador solar cilíndrico parabólico12
Ilustración 6-2:	Tubo absorbedor.....12
Ilustración 7-2:	Calentador de placa plana13
Ilustración 1-3:	Selección de bombas centrifugas67
Ilustración 2-3:	Especificaciones técnicas de la bomba APm0767
Ilustración 3-3:	Tipos de flujos en un intercambiador de calor68
Ilustración 4-3:	Disposición de paneles de placa plana.68
Ilustración 1-4:	Diseño de estructura para soporte de 4 paneles solares.73
Ilustración 2-4:	Construcción de estructura para soporte de 4 paneles solares de placa plana.73
Ilustración 4-4:	Instalación de 4 paneles solares de placa plana.....74
Ilustración 5-4:	Diseño para la instalación de la bomba centrifuga de 0.5HP75
Ilustración 7-4:	Diagrama eléctrico PID REX-C100 y SSR 40A79
Ilustración 8-4:	Instalación PID REX-C100 y SSR 40A.....79
Ilustración 9-4:	P&ID80
Ilustración 10-4:	Diseño total del sistema solar térmico de placas planas81
Ilustración 11-4:	Instalación total de sistema solar térmico de placas planas81

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DIAGRAMA ELÉCTRICO

ANEXO B: PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN BAÑOS

ANEXO C: MANUAL DE OPERACIÓN DEL CONTROLADOR REX C-100

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue diseñar, construir y automatizar un sistema solar térmico para una piscina de 360 metros cúbicos de agua, con la utilización de la energía solar mediante colectores solares que utiliza energía renovable para su funcionamiento. Se determinó la mejor opción de colectores solares tomando en cuenta su eficacia, rentabilidad y facilidad de instalación en una piscina de 360 metros cúbicos de agua, tomando en cuenta que existen diferentes tipos como: placa plana, tubos al vacío, parabólico. En los países que han implementado estas tecnologías han dado excelentes resultados, sin embargo, se comprobó si las condiciones del lugar son ideales para su aplicación, con variables como: las horas de sol, el clima, la humedad relativa, temperatura ambiente, etc. Para la aplicación del proyecto se realizó la construcción y la implementación del sistema solar térmico de colectores de placa plana en el sector de Rio Verde de Baños de Agua Santa de la provincia de Tungurahua, Ecuador, los factores climáticos de la zona son impredecibles, con días soleados, nublados y de lluvia. Se Analizó la factibilidad del y la reducción de costos de operación del proyecto, finalmente se automatizó el sistema solar térmico para optimizar el funcionamiento y para poder controlar la temperatura de salida, con una termocupla tipo K y un controlador PID (Rex C-100) que activa una bomba hidráulica de 0.5 HP cuando la temperatura llega a 40 grados centígrados. Se concluye que para recuperar la inversión del proyecto del sistema solar térmico se necesita aproximadamente dos años y dos meses con costo de instalación es de 1715.6 dólares y el ahorro aproximado es 786.24 dólares anuales. Se recomienda dar mantenimiento constante a los paneles de placa plana para así garantizar su rendimiento.

Palabras clave: <SISTEMA SOLAR TÉRMICO>, <PANELES SOLARES>, <COLECTORES DE PLACA PLANA>, <PISCINA CUBIERTA>, <AUTOMATIZADO>, <ENERGÍA RENOVABLE>.

0228-DBRA-UPT-2023



SUMARY

The objective of this project was to design, build and automate a solar thermal system for a pool of 360 cubic meters of water, with the use of solar energy through solar collectors that use renewable energy for its operation. The best option of solar collectors was determined considering its efficiency, profitability and ease of installation in a pool of 360 cubic meters of water, taking into account that there are different types such as: flat plate, vacuum tubes, parabolic. In the countries that have implemented these technologies, they have given excellent results, however, it was verified if the conditions of the place are ideal for their application, with variables such as: hours of sunshine, climate, relative humidity, ambient temperature, etc. For the application of the project, the construction and implementation of the solar thermal system of flat plate collectors was carried out in the sector of Rio Verde de Baños de Agua Santa in the province of Tungurahua, Ecuador, the climatic factors of the area are unpredictable, with sunny, cloudy and rainy days. The feasibility of the project and the reduction of operating costs were analyzed, finally the solar thermal system was automated to optimize the operation and to be able to control the outlet temperature, with a type K thermocouple and a PID controller (Rex C-100) which activates a 0.5 HP hydraulic pump when the temperature reaches 40 degrees Celsius. It is concluded that to recover the investment of the solar thermal system project, it takes approximately two years and two months with an installation cost of 1715.6 dollars and the approximate savings is 786.24 dollars per year. Regular maintenance of flat plate panels is recommended to ensure their performance.

Keywords: <SOLAR THERMAL SYSTEM>, <SOLAR PANELS>, <FLAT PLATE COLLECTORS>, <INCOVERED POOL>, <AUTOMATED>, <RENEWABLE ENERGY>.

Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema Mgs.

CI: 0603357062

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de calentamiento de agua utilizados en diferentes aplicaciones en su mayoría utilizan energías no renovables como son los combustibles fósiles, el cual está causando un daño en el medio ambiente y aumentando la huella de carbono. Para calentar una piscina, por su gran cantidad de agua se utiliza calentadores con quemadores de Diésel o gas GLP que emiten gases de combustión al medio ambiente y producen la energía necesaria para elevar la temperatura del agua. En nuestro país Ecuador el precio de los combustibles fósiles al presente año 2022 son relativamente bajos en comparación a otros países, por lo cual el costo para calentar una piscina no es tan elevado y no resulta tan necesario buscar otras alternativas (Burbano, 2006, p.85).

El presente proyecto consiste en implementar un sistema solar térmico en una piscina de 360 metros cúbicos de agua para disminuir el consumo de combustibles fósiles. Tomando en cuenta que no puede sustituirlo en su totalidad porque depende del sol y no es constante todos los días del año, hay días soleados, nublados o lluviosos, esto provoca que la producción de energía solar dependa del clima. Para determinar si el proyecto es factible evaluaremos la disminución del consumo de Diésel mensualmente y en cuanto tiempo se recuperará la inversión, debemos tomar en cuenta que muchas veces este tipo de proyectos no son tan rentables debido al costo, pero la ayuda que estamos dando al medio ambiente lo hace viable y aplicable.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

A lo largo de los años se ha dado un incremento considerable de contaminación debido a la industrialización de procesos y actividades humanas, en su mayoría por la utilización de energías no renovables, por lo tanto, ha provocado realizar investigaciones sobre las energías alternativas y como disminuir el consumo de combustibles fósiles. Las energías alternativas más utilizadas son: solar que proviene de sol, eólica que proviene del viento e hidráulica que proviene del agua, también existen otros tipos de energía renovables como son: biomasa o biogás, geotérmica, mareomotriz, etc. La fuente de energía calórica más grande que poseemos y con la que disponemos durante casi todo el año es el Sol, usado en distintos lugares principalmente para la generación de electricidad y calentamiento de agua. Los países pioneros en la utilización de energía solar son: Alemania, China, Italia, Japón, Estados Unidos, España. Todos estos países tienen como objetivo que para el año 2030, el 90% de la energía sea proveniente de recursos naturales, para reducir el impacto ambiental. (Energy, 2015).

Dentro del diseño de calentadores solares se han desarrollado diferentes tecnologías que evitan al máximo las fugas de calor, de esta manera se evita la pérdida de calor por.(Echeverría, 2017). A lo largo del tiempo los calentadores solares han ido cambiando y al pasar los años son cada vez más eficientes y económicos, con lo cual aumenta la cantidad de agua que calentamos y al final del día resulta más factible su aplicación, los avances en los paneles solares buscan tener una eficiencia del 100% para así aprovechar al máximo la energía que nos proporciona el sol. En Ecuador, se ha venido realizando nuevos proyectos para el aprovechamiento de la energía solar para la obtención de energía eléctrica, según un balance de energía realizado por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad en abril del 2017, la energía solar representa 0,32% de la energía total producida, generando 26,48 MW. (Arias, 2018).

1.2. Delimitación

1.2.1. *Delimitación espacial*

El presente trabajo se desarrolla en la parroquia Rio Verde, cantón Baños, provincia de Tungurahua del territorio nacional del Ecuador. Con el Fin de buscar una alternativa para disminuir el consumo de combustibles fósiles utilizados para elevar la temperatura de las piscinas.

1.2.2. *Delimitación sectorial*

El estudio y desarrollo de este trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo, en base al objetivo 1 el cual indica; Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas en donde cita lo siguiente: “Se debe implementar modalidades alternativas de educación para la construcción de una sociedad educadora en los niveles que mayor atención requieren. Los diálogos en busca de la plurinacionalidad, la pluriculturalidad, la educación laica, entre otras, destacan la importancia de una ciudadanía con conocimiento, para lo cual se busca fortalecer la educación técnica, tecnológica y superior”.

1.3. *Formulación del problema*

Las energías renovables cada día es un tema de mayor interés y van aumentando considerablemente dentro del área de investigación y principalmente en el área de ingeniería porque queremos ayudar al planeta con la disminución de contaminación con gases nocivos para el medio ambiente producto de la combustión de derivados del petróleo o gas GLP que están provocando graves daños hacia el medio ambiente especialmente con el efecto invernadero y el debilitamiento de la capa de ozono.

Los paneles solares que producen energía eléctrica o energía térmica son una opción viable en contra de la contaminación que emiten los calentadores tradicionales (GLP, diésel), la principal fuente que provee energía es la solar que es relativamente inagotable y gratuita. En la piscina destinada para la instalación del sistema solar térmico se usa un quemador de diésel que usa 1 galón de diésel por hora, con un promedio de 25 galones a la semana por lo tanto al mes aproximadamente son 100 galones de diésel con un costo en Ecuador por galón de 1.75 dólares Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARC) (Petroecuador, 2022), como resultado, la piscina aproximadamente gasta 175 dólares en diésel mensualmente sin considerar costos de transporte y consumo de energía eléctrica del quemador de diésel.

El cantón Baños de Agua Santa de la provincia de Tungurahua (Ecuador) donde está ubicada la piscina que se propone la implementación del proyecto, existen centros turísticos y este proyecto

podría extrapolarse a otras piscinas y así disminuir considerablemente la contaminación que se produce.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Diseñar, construir y automatizar un sistema solar térmico para una piscina de 360 metros cúbicos de agua.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Determinar la mejor alternativa de diseño.
- Diseñar el sistema solar térmico que permita elevar la temperatura del agua de la piscina como sistema complementario.
- Construir el sistema de calentamiento de agua.
- Automatizar el calentador de agua.
- Evaluar la disminución del consumo de diésel.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Energía Solar

La fuente de energía por excelencia en la tierra es la energía solar (Williamson, 2014). Está es una energía renovable, relativamente inagotable y no contaminante que poco a poco ha venido siendo objeto de investigación para su desarrollo y aplicación en la industria y en la vida cotidiana. En la figura 1-2 se visualiza que China es el país con el mayor desarrollo de calentadores de agua a nivel mundial, seguido por Estados Unidos, Alemania, Turquía.

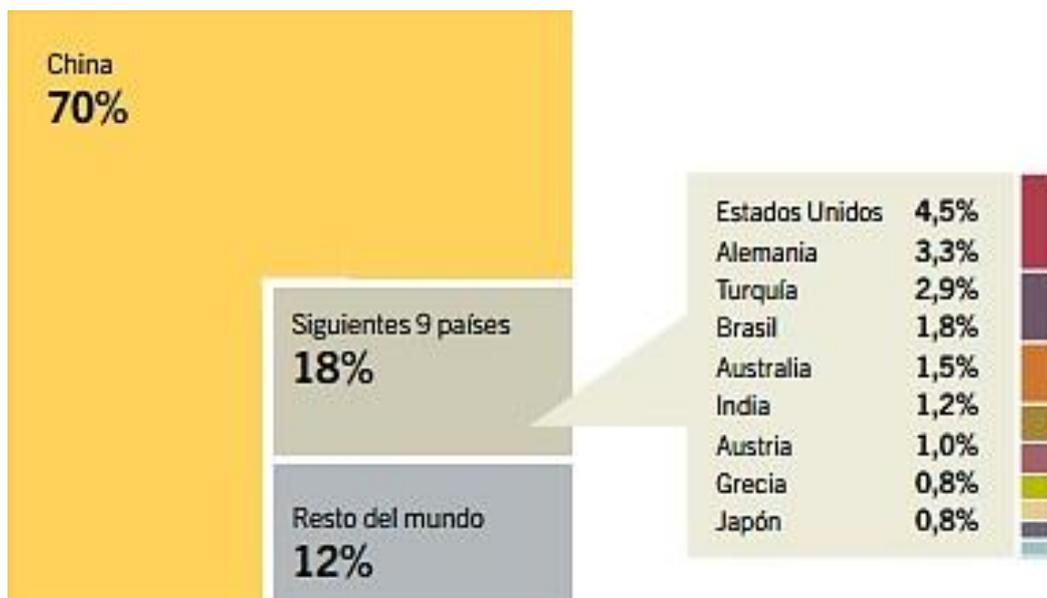


Ilustración 1-2: Capacidad mundial de captadores solares para calentamiento de agua
Fuente: (Williamson, 2014)

La energía solar es la que llega a la tierra en forma de luz, calor y rayos ultravioleta procedentes del Sol, generado por un proceso de fusión nuclear. Cada año el Sol arroja sobre la tierra cuatro mil veces más energías que la que se consume, lo que demuestra que esta fuente energética está aún poco explotada con relación a sus posibilidades.

La Tierra recibe $1,7 * 10^{14}$ [kW] de energía solar térmica, lo cual es equivalente a la potencia eléctrica de 170 millones de reactores solares nucleares. Si bien la energía solar se ve como una solución para disminuir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, sus altos costos han hecho que esta industria se vea afectada, en un mundo tan competitivo donde interesa vender más, el costo es determinante para la decisión del consumidor. (Arellano, 2017).

2.2. Aplicaciones de la energía solar

Con el uso de diferentes materiales y en diferentes sistemas se pueden obtener una gran variedad de aplicaciones, las cuales son: (Arellano, 2017)

- *Directa.* - Es la energía que llega directamente a la tierra, por ejemplo, en la iluminación.
- *Térmica.* - En este caso, el aprovechamiento se obtiene calentando el fluido, ya sea agua, aceite, sal, aire, etc.
- *Fotovoltaica.* - Lo hace con celdas fotovoltaicas, que convierten la luz solar en electricidad.
- *Potabilización de agua.* - El agua potable se puede obtener con tratamientos de luz solar. (Echeverría, 2017)

2.3. Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía que la Tierra recibe del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias. La luz visible es una radiación entre 0,4 y 0,7 micrones que puede ser detectada por el ojo humano. Hay una radiación ubicada en la parte infrarroja cuyas longitudes de onda abarcan 760 - 780 nm del espectro, parte del cual es ultravioleta (100 - 360 nm). (Orbea, 2014)

La irradiancia es una medida de la cantidad de radiación solar que llega a la tierra por unidad de tiempo por unidad de área, y la unidad es [W/m²].

2.4. Tipos de radiación solar

Los tipos de radiación son directa, difusa, terrestre y total.

- *Radiación directa:* Es la radiación recibida directamente del sol en línea recta, sin desviación a su paso por la atmósfera.
- *Radiación difusa:* Es la radiación redireccionada a través de la atmósfera hacia la superficie terrestre. Esta desviación de los rayos del sol es causada por colisiones directas con ciertas moléculas y partículas en el aire, por lo que los rayos del sol no tienen dirección directa. Sin radiación difusa, el cielo sería negro incluso durante el día, como es el caso de la luna, por ejemplo.

- *Radiación terrestre*: Es el reflejo de objetos en el suelo, paredes blancas, charcos o lagos.
- *Radiación total*: Es la suma de todos los tipos de radiación. (López, 2011)

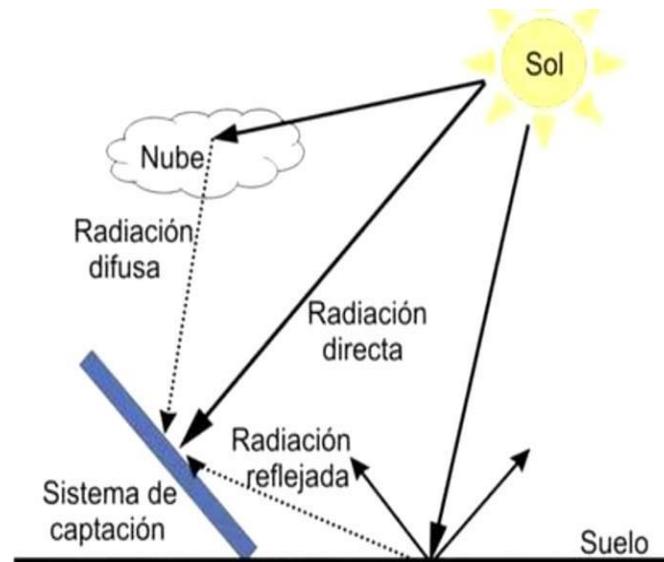


Ilustración 2-2: Tipos de radiación
Fuente: (López, 2011)

En la figura 2-2. Se puede observar los tipos de radiación que se producen en el medio ambiente. En los sistemas solares el mayor problema son las nubes porque provocan una radiación difusa y lo ideal es una radiación directa.

2.5. Insolación

La cantidad de energía solar que incide sobre un lugar determinado de la tierra se denomina insolación. En un lugar perpendicular a la radiación solar, es decir, en una latitud incidente de 0° , la energía incidente por metro cuadrado de superficie en un segundo es de $1000 \text{ [J/m}^2\text{]}$ con tiempo despejado (Echeverría, 2017). La energía que recibe la Tierra en la capa externa de la atmósfera se denomina constante solar, y su valor aproximado es de 1368 J . (Murcia, 2018). La energía que ingresa a la atmósfera de la Tierra es atenuada por absorción, reflexión y dispersión difusa.

La atenuación de la energía solar que ingresa a la atmósfera terrestre es la siguiente:

- Alrededor del 30% de la energía entrante es devuelta al espacio por las nubes, el polvo y los aerosoles transportados por el aire. Esto da como resultado una reducción en la constante solar de $410,4 \text{ [J]}$, dejando solo $957,6 \text{ [J]}$ de energía incidente. Alrededor del 14%

de la energía restante 957,6 [J] es absorbida por el ozono en la estratosfera, el vapor de agua en la troposfera, el polvo y los aerosoles 134.064 [J]. La energía restante continua hasta el suelo y es 823,536 [J].

- Alrededor del 7% de la energía restante, 823,536 [J], se irradia hacia el espacio exterior, dejando solo 765,9 [J] de energía solar, que es la energía que incide en la superficie del planeta Tierra. (Orlando H, 2020).

2.6. Formas de transferencia de calor en colectores solares

Los fenómenos de transferencia de calor que se observa dentro de un colector solar son: conducción, convección y radiación.

2.7. Conducción

La transferencia de calor debido a un gradiente de temperatura, desde una región de alta temperatura dentro de un sólido a una región de baja temperatura, se denomina transferencia de calor por conducción. Según el valor de conductividad térmica del material, se puede dividir en material conductor y material de aislamiento térmico. En los colectores solares térmicos se utilizan ambos materiales para cumplir con los requisitos de uso eficiente de la energía solar. (Orbea, 2014)

2.8. Convección

Es una de las tres formas de transferencia de calor creada por el movimiento de fluidos debido a las diferencias de densidad debido a la temperatura (convección libre o natural). Esta transferencia de calor es típica de líquidos y gases, se da entre sólidos y líquidos o entre sólidos y gases, y depende en gran medida de la velocidad del campo de velocidades en el que el fluido transporta el calor. (Cengel, 2011).

2.9. Radiación

La radiación es la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas, es decir, el calor puede pasar a través de una zona donde existe un vacío perfecto, lo que significa que no se

requieren vehículos, este fenómeno se denomina radiación térmica o radiación electromagnética. (Orbea, 2014).

2.10. Captadores solares generalidades

Un colector solar es un intercambiador de calor porque capta la radiación solar y la convierte en energía interna para transferirla a un líquido (agua, aire, aceite, etc.) o recipiente por convección o conducción de calor. (Cengel, 2011)

El componente principal de estos sistemas solares es el colector solar, que absorbe toda la radiación solar y luego la convierte en calor, que se transfiere al fluido que pasa por el colector solar. Debido a los diferentes tipos de colectores solares, el rango de temperatura en el que pueden operar es diferente, por lo que las aplicaciones de los colectores solares son muy diversas.

2.11. Aprovechamiento solar

Se requiere un sistema de seguimiento que siga al sol durante las horas pico, colocándolo perpendicular a la posición del sol. Estos sistemas se utilizan generalmente para sistemas con una concentración superior a 1 porque su superficie de absorción es mucho más pequeña que su superficie abierta. Dividido en colectores estacionarios y con seguimiento solar: (Murcia, 2018)

2.11.1. *Colectores estacionarios*

Los colectores fijos permanecen estáticos durante el día, al igual que los colectores de tubo de vacío y de placa plana, que se colocan con un ángulo de inclinación con dirección al sol, no requieren un sistema de control y también pueden operar a bajas temperaturas de 40 a 90 grados centígrados. (Murcia, 2018)

2.11.2. *Colectores con seguimiento solar*

Característicos de los colectores concentradores, como los calentadores solares cilindro parabólicos, debido a su pequeña superficie de absorción, requieren que estos sistemas estén perpendiculares al sol para alcanzar temperaturas más altas en el rango de 90 a 400 grados centígrados. (Mott, 2006)

2.12. Reflectividad de la superficie

La reflectividad es la cantidad de radiación reflejada desde una superficie. Este valor depende principalmente del material utilizado, las superficies cubiertas con una fina capa especular son las más efectivas.

2.13. Colector de tubos al vacío

Este tipo de colector solar puede alcanzar temperaturas más altas que los colectores de placa plana debido a que los tubos de absorción utilizados evitan la pérdida de calor por convección ambiental debido a la presencia de vacío entre los tubos de cobre y vidrio. Estos tubos reemplazan el vidrio transparente utilizado en los colectores de placa plana. Funciona en base al efecto termosifón, cuando el agua se calienta en el interior de la tubería, su densidad disminuye y tiende a aumentar y ser superior a la del agua fría, por lo que el agua caliente se almacena en depósitos aislados para su posterior uso doméstico, en casos apropiados, generalmente se aíslan con poliuretano. (Hamrock, Jacobson, & Schmid, 2020)

El tamaño del tubo es el mismo que el de una lámpara fluorescente: aproximadamente 60 [mm] de diámetro y aproximadamente 1800 [mm] de longitud.



Ilustración 3-2: Colector con tubos al vacío
Fuente: (Echeverría, 2017)

1. Tubos de cristal al alto vacío
2. Exterior de Acero Inoxidable
3. Aislamiento térmico
4. Tanque de acero inoxidable
5. Cubiertas laterales de acero inoxidable
6. Entradas para tubos al vacío
7. Paneles reflectores de acero inoxidable
8. Estructuras de acero inoxidable
9. Soporte para tubos de acero inoxidable

2.14. Concentrador solar cilindro parabólico

Este tipo de calentador de agua solar consta de tres elementos principales: un reflector parabólico curvo, un tubo de absorción y un sistema de seguimiento solar. El papel de un reflector parabólico cilíndrico es reflejar y concentrar la radiación solar directa que incide en su superficie sobre un tubo absorbente. En pocas palabras, se trata de un espejo curvo en forma de parábola, que concentra en su línea focal. La superficie reflectante suele estar formada por una fina película o lámina de plata o aluminio. Un tubo de absorción es un tubo que recibe todos los rayos dirigidos a través de un reflector y luego los dirige hacia el líquido.

El tubo debe tener las propiedades de conductividad, absorción y transmisión, y sus elementos son: el tubo interior, el revestimiento y el tubo exterior. El sistema de seguimiento solar permite aprovechar al máximo la radiación solar durante el día, debe colocarse de norte a sur y moverse de este a oeste, además de este sistema también debe tener un sistema de transmisión por cinta o por cadena. (Arias, 2018)



Ilustración 4-2: Concentrador solar cilíndrico parabólico

Fuente: (http://tecno.iesvegadelturia.es/apuntes/tecind1/Tema_3/solar.html)

Los calentadores solares de agua parabólicos, debido a su forma parabólica, tienen una línea focal por donde pasan a través de una tubería que contiene un líquido, ya sea agua o algún tipo de aceite, teóricamente pueden calentar hasta 400 [°C]. Debido a su forma cóncava, los rayos del sol que inciden en el receptor se dirigen hacia la línea focal, y actualmente su uso se concentra en la industria y la energía.

Los calentadores solares parabólicos consisten en superficies reflectantes, tubos absorbentes, fluidos y sistemas electromecánicos que rastrean la luz solar. Por lo general, se utiliza una placa de metal pulido o una placa de aluminio con un revestimiento reflectante para la superficie del sensor. (Williamson, 2014)



Ilustración 5-2: Calentador solar cilíndrico parabólico
Fuente: (Orbea, 2014)

2.15. Tubo absorbedor

“Su función es convertir la radiación solar en un aumento de la energía térmica del cuerpo de trabajo.” Es un elemento esencial del sistema, ya que la eficiencia del sistema depende principalmente de la calidad termodinámica del absorbedor. Puede consistir en un tubo o dos tubos concéntricos. Su interior está formado por un tubo metálico de alta absorción y baja emisividad, garantizando así un alto rendimiento térmico. El tubo exterior está hecho de vidrio, diseñado para reducir las pérdidas por convección del tubo de metal y protegerlo de la intemperie. Para temperaturas por debajo de los 300 grados centígrados, se pueden utilizar tuberías de acero al cobalto o al cromo. Normalmente se utilizan dos tubos concéntricos, uno es de metal y el otro de vidrio, y debido a las condiciones en las que se encuentra, se crea un vacío en el medio para una mejor eficiencia.

Está diseñado para utilizar tubos de cobre recubiertos con una capa de pintura negra para aumentar su capacidad de absorción y evitar la reflectividad y la pérdida de calor. Además, se pueden utilizar tubos de vidrio para evitar la pérdida de calor, ya que se crea un efecto invernadero en los tubos absorbedores, lo que permite alcanzar temperaturas más altas en menos tiempo. El tubo de vidrio protege contra elementos externos como polvo, suciedad, piedras, etc. (Murcia, 2018)

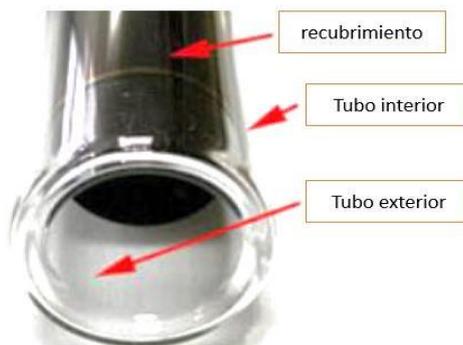


Ilustración 6-2: Tubo absorbedor
Fuente: (Murcia, 2018)

2.16. Calentador solar de placas planas

Un colector solar de placa plana es un panel solar térmico cuyo propósito es convertir la radiación solar en energía térmica. Los paneles solares térmicos de este tipo tienen una buena relación calidad-precio en climas templados y son ideales para aplicaciones térmicas de gran volumen. El trabajo de los colectores solares planos se basa en la transferencia de calor. Cuando la radiación llega a la superficie su energía se convierte en calor. Por lo tanto, la temperatura del colector solar aumenta. Si el fluido pasa dentro del colector, parte del calor se transfiere al fluido de acuerdo con la primera y segunda leyes de la termodinámica. El resto de la energía continúa perdiéndose en forma de radiación desde el colector solar hacia el ambiente externo. (Murcia, 2018)



Ilustración 7-2: Calentador de placa plana
Fuente: (Murcia, 2018)

2.17. Temperatura ambiente dentro de la piscina

La temperatura ambiente promedio es 29 °C.

2.18. Temperatura confort de la piscina

Mantener la temperatura del vaso de la piscina. Esta temperatura varía en función de la aplicación y la temperatura de la piscina se mantendrá entre los 24 °C y los 30 °C, dependiendo de la finalidad principal de la piscina (excepto piscinas terapéuticas). La temperatura de la piscina, como piscina familiar para diferentes edades, se establece entre 28°C y 32°C para comodidad de la mayoría de los usuarios. (López, 2011)

Tabla 1-2: Condiciones confort de una piscina cubierta

Temperatura del agua	30 °C
Temperatura del aire	27 °C
Humedad relativa	65 %
Competición	24 °C
Entrenamiento	26 °C
Disminuidos físicos	29 °C
Piscina infantil	30 °C
Niños de 3 a 6 años y tercera edad	32 °C
Mujeres embarazadas	30 - 32 °C

Fuente: (Maillo, 2012)
Realizado por: Jurado, C. 2022.

2.19. Pérdidas de calor en una piscina cubierta

Las pérdidas de calor en una piscina:

- Convección natural
- Radiación
- Conducción
- Evaporación
- Renovación

2.20. Temperatura fílmica

Temperatura fílmica o temperatura promedio entre la superficie y el ambiente (Cengel, 2010).

$$T_f = \frac{T_\alpha + T_\infty}{2} \quad (1)$$

Donde:

T_f = Temperatura fílmica

T_α = Temperatura de la superficie

T_∞ = Temperatura ambiente

2.21. Humedad Relativa

Se define como la relación entre la presión de vapor del agua y la presión de vapor de saturación a la misma temperatura. Expresado como un porcentaje. (Cengel, 2010).

$$\phi = \frac{P_v}{P_{vs}} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

ϕ = Humedad Relativa

P_v = Presión de vapor

P_{vs} = Presión de vapor de saturación

La humedad relativa en Baños de Agua Santa es del 70% dato que se obtiene del plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) del GAD. Municipal Baños de Agua Santa.

2.22. Presión ambiental

También conocida como presión atmosférica, es la fuerza que ejerce el aire sobre un lugar de la Tierra y varía según la altitud a la que se encuentre, a mayor altura la presión atmosférica disminuye. La presión atmosférica sobre el nivel del mar es de unos 101325 Pa.

La presión atmosférica en la ciudad de Baños de agua santa es de 88.8 KPa. (Abad, 2012).

2.23. Presión de vapor.

Es la presión que ejerce la fase gas o vapor sobre la fase líquida en un sistema cerrado a una temperatura dada cuando las fases líquida y vapor están en equilibrio dinámico. Su valor no depende de la cantidad de líquido y vapor presentes, siempre que ambos existan. (Cengel, 2010).

$$P_{v,s} = \phi * P_{sat@ts} \quad (3)$$

Donde:

$P_{v,s}$ = Presión de vapor a temperatura de saturación

ϕ = Humedad relativa

$P_{sat@ts}$ = Presión de saturación a temperatura de saturación

2.24. Densidad de un fluido

Propiedad característica de estas que determina la cantidad de masa que posee por unidad de volumen, cociente entre la masa y el volumen que ocupa. (Cengel, 2010).

$$\begin{aligned}P_v V &= m R_v T_s && \text{(Ecuación de estado de los gases)} \\ \frac{m}{V} &= \frac{P_v}{R_v T_s} \\ \rho_v &= \frac{P_v}{R_v T_s} && (4)\end{aligned}$$

Donde:

ρ_v = Densidad de vapor

P_v = Presión de vapor

R_v = Constante de gas

T_s = Temperatura confort

2.25. Longitud característica

La longitud está relacionada con el punto de integración. Para el análisis 2D, se calcula tomando la raíz cuadrada del área. Para el análisis 3D, se calcula sacando la raíz cúbica del volumen asociado con el punto de integración. (Cengel, 2010).

$$L_c = \frac{A_s}{P} \quad (5)$$

Donde:

L_c = Longitud característica

A_s = Área superficial

P = Perímetro

2.26. Número de Grashof

Es un número adimensional en mecánica de fluidos y es proporcional a la relación de las fuerzas de flotación y viscosas que actúan sobre el fluido. (Cengel, 2010).

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

Donde:

Gr = Número de Grashof

g = Gravedad

ρ_{∞} = Densidad del aire

ρ_s = Densidad en la superficie

L_c = Longitud característica

ρ = Densidad promedio entre la densidad del aire y la densidad en la superficie

v = Viscosidad cinemática a temperatura fílmica

2.27. Número de Prandtl

El número de Prandtl es un número adimensional proporcional al cociente entre la velocidad de difusión de la cantidad de momento y la difusividad térmica. (Cengel, 2010).

$$Pr = \frac{v}{\alpha} \quad (7)$$

Donde:

Pr = Número de Prandtl

v = Viscosidad cinemática

α = Difusividad térmica

2.28. Número de Nusselt

Es un número adimensional que mide el aumento en la transferencia de calor (transferencia de calor por convección) de una superficie a través de la cual viaja un fluido en comparación con la transferencia de calor solo por conducción. (Cengel, 2010).

Formula en función del número de Grashof y Prandtl.

$$Nu = 0.15(Gr * Pr)^{1/3} \quad (8)$$

Formula en función del número de Reynolds y Prandtl.

$$Nu = 0.0015 * Re^{0.75} * Pr^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

Donde:

Nu = Número de Nusselt

Gr = Número de Grashof

Pr = Número de Prandtl

Re = Número de Reynolds

2.29. Coeficiente de transferencia de calor por convección

Cuantifica la influencia de las propiedades del fluido, la superficie y el flujo durante la transferencia de calor por convección. (Báez, E. 2004)

$$h_{conv} = \frac{Nuk}{L_c} \quad (10)$$

Donde:

h_{conv} = Transferencia de calor por convección

Nu = Número de Nusselt

k = Conductividad térmica

L_c = Longitud característica

2.30. La razón de la transferencia de calor por convección natural

Es un proceso en el que el calor se transfiere entre dos líquidos, entre dos gases o un gas y un líquido en virtud de las diferencias de densidad, siempre y cuando se encuentren a diferentes temperaturas. (Báez, E. 2004)

$$Q_{conv} = h_{conv}A_s(T_s - T_\infty) \quad (11)$$

Donde:

Q_{conv} = La razón de la transferencia de calor por convección natural

h_{conv} = Transferencia de calor por convección

A_s = Área superficial

T_s = Temperatura confort

T_∞ = Temperatura ambiente

2.31. Emisividad del agua

Es la tasa de absorción, que se define como el porcentaje de radiación recibida absorbida por el cuerpo. Toma un valor de 0 a 1. Para el cuerpo negro, la absorción espectral vale 1. Si el coeficiente de absorción del objeto es menor que 1, el objeto se denomina cuerpo gris, Cuanto menor sea el valor de emisividad, mejor será el aislamiento. (Cengel, 2010).

Emisividad del agua 0,96 tomado de la tabla 1-6 de termodinámica y transferencia de calor de Cengel

2.32. Constante de Stefan-Boltzmann

Cantidad de radiación de calor emitida, mide el calor emitido por un objeto negro que absorbe toda la energía radiante que golpea el objeto negro. Stefan-Boltzmann convierte la temperatura en la unidad de intensidad. (Cengel, 2010).

Aproximadamente la constante de Stefan-Boltzmann es igual a:

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

2.33. Pérdida de calor por radiación del agua hacia las superficies circundantes

La transferencia de calor por radiación está mediada por radiación electromagnética, conocida como radiación térmica, que se produce debido a la temperatura de un cuerpo. Es creado por el movimiento térmico de partículas cargadas en la materia, por lo que cualquier material con una temperatura superior al cero absoluto emite algo de energía radiante. La radiación térmica no requiere ningún medio para transferir energía. Esto se debe a que la transferencia de energía por radiación ocurre más rápido que la velocidad de la luz y no sufre atenuación en el vacío. (Fernández, 2015)

$$Q_{radiacion} = \varepsilon \cdot A_s \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_{\infty}^4) \quad (12)$$

Donde:

$Q_{radiacion}$ = Calor por radiación del agua hacia las superficies circundantes

ε = Emisividad del agua

A_s = Área superficial

σ = Constante de Stefan-Boltzmann

T_s = Temperatura confort

T_∞ = Temperatura ambiente

2.34. Coeficiente de conducción térmico del material

La conductividad térmica es una propiedad de los materiales que determina la capacidad de conducir el calor. En otras palabras, la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia para transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que está en contacto.

El coeficiente de conductividad térmica (κ) caracteriza la energía capaz de transportar por unidad de tiempo, unidad de longitud de separación entre las capas y la unidad de variación de temperatura entre las capas. (Cengel, 2010).

Coeficiente de conducción térmico del material (cerámica) es igual a $k = 1.50 \text{ W/ m}^\circ\text{C}$ obtenido del estudio de conductividad térmica de cerámicas para la construcción de García-León el 2017.

2.35. Factor de forma

Es la relación entre el área de la superficie que está en contacto con el agua y el espesor de la pared de la piscina.

$$S = \frac{A_T}{L} \quad (13)$$

Donde:

S = Factor de forma

A_T = Área total

L = Espesor de la pared

2.36. Pérdida de calor por conducción

La conducción térmica, o la transferencia de energía en forma de calor por conducción, es un proceso de transferencia de calor basado en el contacto directo entre objetos sin intercambio de materia, el calor pasa de un objeto con una temperatura más alta a otro objeto en contacto con el

objeto. La propiedad opuesta de la conductividad térmica es la resistencia térmica, la capacidad de un material para resistir el flujo de calor. (Cengel, 2010).

$$Q_{conducción} = k \cdot S \cdot \Delta T \quad (14)$$

Donde:

$Q_{conducción}$ = Pérdida de calor por conducción

k = Coeficiente de conducción térmico del material

S = Factor de forma

ΔT = Variación de temperatura

2.37. Expansividad volumétrica

Es el incremento de volumen que experimenta un cuerpo cuando su temperatura aumenta. Inversa de temperatura fílmica. (Cengel, 2010).

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (15)$$

Donde:

β = Expansividad volumétrica

T_f = Temperatura fílmica

2.38. Difusividad de la masa de vapor de agua

Es el movimiento de vapor de agua hacia el ambiente, La difusión del vapor de agua en el aire se obtiene con fórmulas empíricas desarrolladas por Marrero y Mason en 1972 (Cengel, Transferencia de calor, 2011, p. 803)

$$D_{AB} = D_{H2O-aire} = 1.87 \times 10^{-10} \frac{T^{2.072}}{P} m^2/s \quad (16)$$

Donde:

$D_{H2O-aire}$ = Difusividad de la masa de vapor de agua

T = Temperatura fílmica en grados K

P = Presión ambiental promedio en Baños dividido a la presión ambiental

2.39. Número de Schimidt

Es un número adimensional, definido como el cociente entre la difusión de cantidad de movimiento y la difusión de masa, y se utiliza para caracterizar flujos con procesos de convección de masa y cantidad de movimiento. (Cengel, 2010).

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad (17)$$

Donde:

Sc = Número de Schimidt

ν = Viscosidad cinemática

D_{AB} = Difusividad de la masa de vapor de agua

2.40. Número de Sherwood

Es un número adimensional utilizado para la transferencia de masa. Representa la relación entre la transferencia de masa por convección y difusión. (Cengel, 2010).

$$Sh = 0.15(Gr * Sc)^{1/3} \quad (18)$$

Donde:

Sh = Número de Sherwood

Gr = Número de Grashof

Sc = Número de Schimidt

2.41. Coeficiente de transferencia de masa

La transferencia de masa es el movimiento de masa desde una ubicación, lo que significa flujo. La transferencia de masa ocurre en procesos como la absorción y evaporación. (Cengel, 2010).

$$h_{masa} = \frac{ShD_{AB}}{L_c} \quad (19)$$

Donde:

h_{masa} = Coeficiente de transferencia de masa

Sh = Número de Sherwood

D_{AB} = Difusividad de la masa de vapor de agua

L_c = Longitud característica

2.42. Razón de transferencia de masa

Es el producto entre el coeficiente de transferencia de masa y la variación del flujo masico que sufre cuando se evapora. (Cengel, 2010).

$$\dot{m}_v = h_{masa} A_s (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty}) \quad (20)$$

Donde:

\dot{m}_v = Razón de transferencia de masa

h_{masa} = Coeficiente de transferencia de masa

A_s = Área superficial

$\rho_{v,s}$ = Densidad en la superficie

$\rho_{v,\infty}$ = Densidad lejos de la superficie

2.43. Pérdidas de calor por evaporación

La evaporación es el proceso en el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso. Cuando cambia de estado va al ambiente. (Cengel, 2010).

$$Q_{evap} = \dot{m}_v h_{fg} \quad (21)$$

Donde:

\dot{m}_v = Razón de transferencia de masa

h_{fg} = Entalpia de vaporización a temperatura confort

2.44. Pérdida de calor por renovación diaria de agua

En una piscina se renueva constantemente el agua porque se debe ir filtrando y completando la cantidad de agua hasta llegar al nivel de operación, es aproximadamente el 2% del volumen total de la piscina. (Corral, 2010)

$$Q_{Renovación} = V_{re} \cdot \delta \cdot C_p \cdot (T_f - T_o) \quad (22)$$

Donde:

$Q_{Renovación}$ = Perdida de calor por renovación diaria de agua

V_{re} = Flujo masico diario

δ = Densidad del agua

C_p = Calor especifico del agua

T_f = Temperatura final del agua

T_o = Temperatura inicial del agua

2.45. Transferencia de calor entre el sol y el vidrio transparente

La cantidad de calor que absorbe un panel solar de placa plana considerando el coeficiente de sobre que disminuye la eficiencia.

$$\dot{Q}_{solar, ganancia} = SHGC * A_{encristalado} * \dot{q}_{solar, incidente} \quad (23)$$

Donde:

$SHGC$ = Coeficiente de sombra * 0.87, según tabla 1-2

$A_{encristalado}$ = Área total del vidrio protector de las placas solares

$\dot{q}_{solar, incidente}$ = Radiación solar diaria (Cengel, 2011, p 717)

Tabla 2-2: Coeficiente de sombra SC y transmisividad solar para algunos tipos comunes de vidrio (tomada del Handbook of Fundamentals de la ASHRAE, cap. 27, tabla 11)

Tipo de cristal	Espesor (mm)	SC*
Transparente	3	1.0
Transparente	6	0.95
Transparente	10	0.92
*Para obtener SHGC multiplicar 0.87		

Fuente: (Cengel, 2011)

Realizado: Jurado, C. 2021.

2.46. Flujo volumétrico que pasa por los paneles y el aumento de temperatura

Para calentar la piscina a temperatura confort de 30 grados centígrados se necesita bombear agua a través de los paneles solares, por lo tanto, se requiere saber a qué temperatura y cuánta agua sale, tomando en cuenta que a mayor cantidad de agua se bombee menor va a ser la temperatura. (Cengel, 2010).

2.47. Transferencia de calor entre la placa y el fluido de trabajo

Para determinar el flujo masico se relaciona el calor que genera los paneles de placa plana y se trasmite hacia el agua de la piscina y así elevar la temperatura.

$$\dot{Q}_{agua} = n * h_i * A_i * (T_p - T_a) \quad (24)$$

Donde:

n = Eficiencia del calentador de placa plana

h_i = Coeficiente de transferencia de calor

A_i = Área total de los tubos en contacto con la placa plana

T_p = Temperatura dentro de los paneles solares, temperatura entre el vidrio protector y la placa plana

T_a = Temperatura de salida de los paneles solares

2.48. Coeficiente de transferencia de calor

Cuantifica la cantidad de calor que se transmite hacia el interior de la tubería tomado en cuenta las propiedades cambian con respecto a su temperatura.

$$h_i = \frac{Nu * Ka}{d} \quad (25)$$

Donde:

Nu = Número de Nusselt

Ka = Conductividad térmica

d = Diámetro interior de tubería

2.49. Área total de los tubos en contacto con la placa plana

Es el área superficial de las tuberías de los paneles solares los cuales se encuentran en contacto con el fluido y transmiten el calor.

$$A_i = \pi * N * d * l \quad (26)$$

Donde:

N = Número de tubos

d = Diámetro de cada tubo

d = Longitud de tubería

2.50. Conductividad térmica

Conductividad térmica de un sólido o un líquido, es su capacidad de transportar energía térmica en forma de calor. La conductividad térmica del agua en función de su temperatura está dada por: (Wark, 2001)

$$Ka = 0.557 + 0.002198 Ta - 7.08 \times 10^{-6} Ta^2 \quad (27)$$

Donde:

T_a = Temperatura de salida de los paneles solares

2.51. Número de Reynolds

El número de Reynolds es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de fluidos. Su valor determina si el flujo es laminar o turbulento. (Cengel, 2010).

$$Va = A * V; \quad \text{reemplazando} \quad A = \frac{\pi * d^2}{4}$$
$$V = \frac{4 * Va}{\pi * d^2}$$
$$Re = \frac{d * \rho_a * V}{\mu_a}$$

Reemplazando nos queda la ecuación en función del flujo volumétrico

$$Re = \frac{4 * \rho_a * Va}{\pi * d * \mu_a} \quad (28)$$

Donde:

ρ_a = Densidad del agua a temperatura T_a

Va = Flujo volumétrico
 V = Velocidad media del fluido
 d = Diámetro interior de tubería
 μ_a = Viscosidad dinámica del fluido

2.52. Número de Prandtl

El número de Prandtl relaciona la velocidad de difusión viscosa y la velocidad de difusión térmica. (Cengel, 2010).

$$Pr = \frac{\text{Velocidad de difusión viscosa}}{\text{Velocidad de difusión térmica}} = \frac{V}{\alpha} = \frac{\mu_a / \rho}{Ka / Cp_a * \rho}$$

$$Pr = \frac{Cp_a * \mu_a}{Ka} \quad (29)$$

Donde:

Cp_a = Capacidad calorífica
 μ_a = Viscosidad dinámica del fluido
 Ka = Conductividad térmica

2.53. Capacidad calorífica a temperatura T_a

Es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo y el cambio de temperatura que experimenta. (Wark, 2001)

$$Cp_a = 4226 - 3.244Ta + 0.0575 Ta^2 - 0.0002656 Ta^3 \quad (30)$$

Donde:

T_a = Temperatura de salida de los paneles solares

2.54. Densidad del agua a temperatura T_a

La densidad del fluido varía dependiendo su temperatura. (Wark, 2001)

$$\rho_a = 1001 - 0.08832Ta - 0.003417 Ta^2 \quad (31)$$

Donde:

T_a = Temperatura de salida de los paneles solares

2.55. Viscosidad dinámica del fluido a temperatura T_a

representa la resistencia interna entre las moléculas de un fluido en movimiento y determina las fuerzas que lo mueven y lo deforman. (Wark, 2001)

$$\mu_a = 0.001 - 1 \times 10^{-5} T_a \quad (32)$$

Donde:

T_a = Temperatura de salida de los paneles solares

2.56. Calor generado por paneles de placa plana

El calor que produce un panel de placa plana depende del sol, en días nublados el calor es mínimo y en días soleados el calor ganado es aprovechado por la piscina para disminuir la quema de combustibles fósiles.

$$\dot{Q}_{solar, ganancia} = \eta * A_{encristalado} * \dot{q}_{solar, incidente} \quad (33)$$

Donde:

$\dot{Q}_{solar, ganancia}$ = Calor ganado por los paneles solares

η = Eficiencia de los paneles de placa plana

$A_{encristalado}$ = Área de los paneles solares de placa plana

$\dot{q}_{solar, incidente}$ = Incidencia solar en el lugar de operación

2.57. Flujo volumétrico

Determina la variación de la masa con respecto al tiempo en un área específica. (Cengel, 2011)

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\delta} \quad (34)$$

Donde:

\dot{V} = Flujo volumétrico

\dot{m} = Flujo masico

δ = Densidad del fluido

2.58. Selección de bomba y tuberías

2.58.1. Ecuación de Bernoulli

Ecuación que relaciona todas las formas de energía cinética y potencial en las corrientes de fluidos y analiza sus posibles implicaciones prácticas como método para analizar la energía en tales flujos. (López, 2014).

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_{Bomba} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_{Turbina} + h_f + h_L \quad (35)$$

Donde:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \text{Carga de presión}$$

P = Presión del fluido

γ = Peso específico del fluido

Z = Carga de elevación

$$\frac{V_1^2}{2g} = \text{Carga de velocidad}$$

V = Velocidad del fluido

g = Gravedad

H_{Bomba} = Carga de la bomba

$H_{Turbina}$ = Carga de la turbina

h_f = Perdidas por fricción, son perdidas por longitud de tubería de la succión y descarga

h_L = Perdidas localizadas, son perdidas por accesorios de la succión y descarga

2.58.2. Perdidas por fricción

Cuando se bombea un líquido o una suspensión a través de una tubería, el líquido comienza a perder impulso debido a la disminución de la velocidad del líquido. Esta disminución de la velocidad se denomina pérdida por fricción en la tubería. . (Cengel, 2011).

$$h_f = h_{f \text{ succión}} + h_{f \text{ descarga}} \quad (36)$$

Donde:

h_f = Perdidas por fricción

$h_{f \text{ succión}}$ = Perdidas por fricción en la sección de tubería de succión

$h_{f \text{ descarga}} =$ Perdidas por fricción en la sección de tubería de descarga

2.58.3. Factor de fricción en tuberías

El coeficiente o coeficiente de fricción es un parámetro de diseño importante para estimar la potencia requerida o estimar el diámetro de una tubería, como el diámetro de la tubería, al considerar las pérdidas de energía mecánica al transportar fluido a través de una tubería. (Cengel, 2011. p.489).

Pérdida de carga en tuberías con la ecuación de Swamee-Jain.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (37)$$

Donde:

f = Factor de fricción

ε = Rugosidad equivalentes para tuberías

D = Diámetro interno de la tubería

Re = Numero de Reynolds

2.58.4. Perdidas por longitud de tubería

Cuando se bombea un líquido o una suspensión a través de una tubería, el líquido comienza a perder impulso debido a la disminución de la velocidad del líquido. Esta disminución de la velocidad se denomina pérdida por fricción en la tubería. (Hidalgo, 2019).

$$\begin{aligned} Q &= A * V; \quad \text{reemplazando} \quad A = \frac{\pi * d^2}{4} \\ V &= \frac{4 * Q}{\pi * d^2} \\ h_{f \text{ succión}} &= \frac{f * L * V^2}{2 * g * D} \\ h_{f \text{ succión}} &= \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5} \end{aligned} \quad (38)$$

Donde:

$h_{f \text{ succión}}$ = Perdidas en la tubería

f = Factor de fricción

L =Longitud de tubería

Q = Caudal

D =Diámetro interno de la tubería

V = Velocidad media del fluido

2.58.5. *Perdidas por accesorios*

Ocurren debido a un cambio en el movimiento del fluido cuando cambia la dirección. También se conocen en casos adicionales, aleatorios o aislados. (Hidalgo, 2019).

$$\begin{aligned} Q &= A * V ; & \text{reemplazando} & \quad A = \frac{\pi * d^2}{4} \\ V &= \frac{4 * Q}{\pi * d^2} \\ h_{L \text{ succión}} &= \frac{K_m * V^2}{2 * g} \\ h_{L \text{ succión}} &= \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4} \end{aligned} \tag{39}$$

Donde:

$h_{L \text{ succión}}$ = Pérdidas por accesorios

K_m = Coeficiente de pérdidas de carga por accesorios

Q = Caudal

D =Diámetro interno de la tubería

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL CALENTADOR SOLAR

En este capítulo se realiza el diseño de un calentador solar de agua a partir de un análisis de alternativas a los diversos elementos que componen el colector para construir el calentador solar de agua.

3.1. Reconocimiento de la necesidad

El sistema solar térmico de placas planas debe cumplir las siguientes especificaciones.

Tabla 1-3: Especificaciones del sistema solar térmico

ELEMENTO	ESPECIFICACIONES
Superficie receptora	Deberá poseer la capacidad de absorber el calor proveniente de la radiación solar, analizando materiales o algún tipo de tratamiento, analizar la mejor opción para evitar las pérdidas de calor por convección.
Fluido	Recircular agua de la piscina
Horas de trabajo	Horas de sol

Realizado: Jurado, C. 2022

3.2. Análisis de alternativas

Al comienzo de este análisis, se describe el funcionamiento de un sistema solar térmico.

- El agua entra en el sistema a 30°C (temperatura del agua de la piscina).
- Allí el agua es calentada por los rayos del sol en paneles solares.
- Hay un sensor de temperatura al final del sistema para detectar la temperatura y controlar la bomba que activa el sistema.
- Una vez que la temperatura alcanza los 40°C, el controlador enciende la bomba hasta que el agua de la piscina comienza a circular a través de los paneles solares.

- El sistema de vigilancia funciona de 9:00 a 16:00 horas, ya que es cuando se alcanza el mayor índice de radiación.

3.3. Sistema de automatización

El sistema funciona con sensores de temperatura ubicados en la parte superior del sistema y en la salida del sistema que envían una señal al controlador que calibra la bomba para que arranque cuando se alcance la temperatura deseada.

3.4. Evaluación y selección

El método de criterios de ponderación le brinda resultados generales significativos. Se elige una solución para cada ítem, se forma una tabla comparando cada criterio con los demás y se le asignan los siguientes valores:

1 si el criterio de la fila es mayor que el criterio de la columna

0.5 si el valor predeterminado de la fila es el mismo que el valor predeterminado de la columna

0 si el estado de la fila es inferior al estado de la columna

3.5. Criterios de evaluación del módulo

Puede comparar estándares y encontrar la mejor solución. Se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- **Eficiencia.** - El diseño y el análisis deben ser lo más precisos posible para lograr un alto rendimiento del sistema.
- **Grado de automatización.** - Este es un criterio muy importante para lograr una alta productividad, el nivel de automatización debe ser lo más preciso posible.
- **Comodidad** - ergonomía. - El sistema debe ser ergonómico y tomar las medidas adecuadas, especialmente al momento de adquirir datos o cambiar accesorios.
- **Material.** - Los materiales deben cumplir con propiedades de absorción, reflexión y transmisión y también ser duraderos ya que el sistema está expuesto a la intemperie.

3.6. Análisis funcional

Luego evalúa las principales características funcionales del esquema de diseño y construcción del dispositivo, así como el análisis desde el material hasta el proceso de construcción.

3.7. Función: Selección del sistema solar térmico

Las posibles soluciones para esta función son las siguientes:

- A. Sistema térmico de placas planas
- B. Sistema térmico de cilindro parabólico
- C. Sistema térmico de tubos concéntricos

- **Criterios de valoración**

Facilidad de instalación: cambie fácilmente el tipo de mecanismo bajo prueba.

Costo: El costo del sistema debe ser moderado para no aumentar el precio final global.

Espacio disponible: Considere el área de trabajo donde se instalará el equipo.

Peso: El peso debe ser moderado para que el operador pueda realizar este movimiento sin dificultad.

$$\text{costo} > \text{espacio disponible} > \text{facilidad de instalación} = \text{peso}$$

Tabla 2-3: Evaluación de los criterios más importantes para la selección del sistema solar térmico.

Criterio	Versatilidad	Costo	Espacio disponible	Peso	$\Sigma+1$	Ponderación
Instalación	-	1	1	1	4.0	0.367
Costo	0	-	1	1	3.0	0.273
Espacio disponible	0	0	-	0.5	1.5	0.136
Peso	0	0	0.5	-	1.5	0.136
					11	1

Realizado por: Jurado C. 2022

A continuación, se determina la mejor alternativa de solución de acuerdo con cada criterio de referencia:

Solución A > Solución C > Solución B

Tabla 3-3: Evaluación de soluciones con respecto a Facilidad de instalación

Instalación	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3.0	0.5
Solución B	0	-	0	1.0	0.167
Solución C	0	1	-	2.0	0.333
				6	1

Realizado por: Jurado C. 2022

Solución C > Solución A > Solución B

Tabla 4-3: Evaluación de soluciones con respecto al costo

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	0	2.0	0.333
Solución B	0	-	0	1.0	0.167
Solución C	1	1	-	3.0	0.5
				6	1

Realizado por: Jurado C. 2022

Solución A > Solución C > Solución B

Tabla 5-3: Evaluación de soluciones con respecto a espacio disponible

Espacio disponible	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3.0	0.5
Solución B	0	-	0	1.0	0.167
Solución C	0	1	-	2.0	0.333
				6	1

Realizado por: Jurado C. 2022

Solución A > Solución C > Solución B

Tabla 6-3: Evaluación de soluciones con respecto al peso

Peso	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3.0	0.5
Solución B	0	-	0	1.0	0.167
Solución C	0	1	-	2.0	0.333
				6	1

Realizado por: Jurado C. 2022

Después de evaluar cada característica con alternativas de solución, se realiza una ponderación final para priorizar la selección de la mejor alternativa de desarrollo.

Tabla 7-3: Ponderaciones finales de las alternativas de solución para la selección del tipo de sistema solar térmico

Conclusión	Versatilidad	Costo	Espacio disponible	Peso	Σ	Prioridad
Solución A	$0.367*0.500$	$0.273*0.333$	$0.136*0.500$	$0.136*0.500$	0.410	1
Solución B	$0.367*0.167$	$0.273*0.167$	$0.136*0.167$	$0.136*0.167$	0.152	3
Solución C	$0.367*0.333$	$0.273*0.500$	$0.136*0.333$	$0.136*0.333$	0.348	2

Realizado por: Jurado C. 2022

La solución con mayor prioridad es la solución A correspondiente a un sistema de calentamiento de placas planas el cual seleccionamos para la implementación en el calentador para la piscina.

3.8. Función: Controlador para automatización

Las posibles soluciones para esta función, se tiene:

- A. Controlador Rex C100
- B. PLC
- C. Arduino

- **Criterios de evaluación**

Disponibilidad: si el material está disponible para la venta.

Proceso de instalación: Fácil de formar un equipo.

Costo: El costo del sistema debe ser moderado para no aumentar el precio final global.

Durabilidad: La vida útil de un sistema sin fallas ni mantenimiento.

Disponibilidad > proceso de instalación > costo > *durabilidad*

Tabla 8-3: Evaluación de los criterios más importantes para la selección del material del soporte estructural

Criterio	Disponibilidad	Procesos constructivos	Costo	Peso	$\Sigma+1$	Ponderación
Disponibilidad	-	1	1	1	4.0	0.444
Procesos constructivos	0	-	1	1	3.0	0.333
Durabilidad	0	0	-	1	2.0	0.223
					9	1

Realizado por: Jurado C. 2022

A continuación, se determina la mejor alternativa mediante el siguiente procedimiento:

Solución A > Solución C > Solución B

Tabla 9-3: Evaluación de soluciones con respecto a disponibilidad

Disponibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3.0	0.5
Solución B	0	-	0	1.0	0.167
Solución C	0	1	-	2.0	0.333
				6	1

Realizado por: Jurado C. 2022

Solución A = Solución C > Solución B

Tabla 10-3: Evaluación de soluciones con respecto a proceso constructivo

Procesos constructivos	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	0.5	2.5	0.416
Solución B	0	-	0	1.0	0.167
Solución C	0.5	1	-	2.5	0.416
				6	1

Realizado por: Jurado C. 2022

Solución A > Solución C > Solución B

Tabla 11-3: Evaluación de soluciones con respecto a costo

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3.0	0.5
Solución B	0	-	0	1.0	0.167
Solución C	0	1	-	2.0	0.333
				6	1

Realizado por: Jurado C. 2022

A continuación, se muestra la ponderación final encontrar la mejor alternativa para seleccionar el material del soporte estructural.

Tabla 12-3: Ponderaciones finales de las alternativas de solución para la selección del sistema solar térmico

Conclusión	Disponibilidad	Procesos constructivos	Costo	Σ	Prioridad
Solución A	0.444*0.500	0.333*0.416	0.223*0.500	0.472	1
Solución B	0.444*0.167	0.333*0.167	0.223*0.167	0.167	3
Solución C	0.444*0.333	0.333*0.416	0.223*0.333	0.361	2

Realizado por: Jurado C. 2022

La solución con mayor prioridad es la solución A correspondiente al controlador Rex C100 el cual utilizaremos para la automatización del proyecto.

3.9. Cálculos

3.9.1. Pérdidas por convección natural

- Datos:

Temperatura de la superficie $T_{\alpha} = T_s = 30^{\circ}C$ = Temperatura confort (Maillo, 2012)

Temperatura ambiente = $T_{\infty} = 29^{\circ}C$

Temperatura fílmica según la ecuación (1).

$$T_f = \frac{T_{\alpha} + T_{\infty}}{2} = \frac{30 + 29}{2} = 29.5^{\circ}C$$

$\phi = 70\%$ = Humedad Relativa obtenida del plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) del GAD. Municipal Baños de Agua Santa.

Presión ambiental promedio = 88.8 KPa (Abad, 2012).

- Propiedades del agua a temperatura fílmica (29.5 °C) interpolando con la tabla A-15 (Cengel, 2010):

Conductividad térmica $k = 0,025843 \frac{W}{m \cdot K}$

Número de Prandtl $Pr = 0.72834$

Difusividad térmica $\alpha = 2.2013 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s^2}$

Viscosidad cinemática $\nu = 1.6034 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

Expansividad volumétrica utilizando la ecuación (15).

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{302.65^\circ K} = 0,003304147 K^{-1}$$

- Propiedades del agua a la temperatura confort (30 °C) obtenido de la tabla A-9 (Cengel, 2010):

Entalpia de vaporización $h_{fg} = 2431 \frac{KJ}{Kg}$

Presión de vapor cerca de la superficie = Presión de saturación $P_{sat@30^\circ C} = P_{v,s} = 4.246 KPa$

- Presión de vapor lejos de la superficie

Presión de saturación a temperatura ambiente (29°C) obtenido interpolando con la tabla A-9 (Cengel, 2010):

$$P_{sat@29^\circ C} = 4.0306 KPa$$

Presión de vapor según la ecuación (3)

$$P_{v,s} = \phi * P_{sat@29^\circ C} = 0.7 * 4.0306 KPa = 2.82142 KPa$$

Si se considera al vapor de agua y al aire como gases ideales (El error relacionado con esta hipótesis es mínimo) y se observa que la presión atmosférica total es la suma de las presiones del vapor y del aire seco, se determina que las densidades del vapor de agua, del aire seco y de su mezcla, en la interfase agua-aire y lejos de la superficie, son: (Cengel. 2011 p.844).

- Densidad en la superficie utilizando la ecuación (4)

Densidad del vapor de agua en la superficie del agua tomando en cuenta la presión de saturación a 30 °C entre la constante de los gases R_v a 30 °C.

$$\rho_{v,s} = \frac{P_{v,s}}{R_v T_s} = \frac{4.246 \text{ kPa}}{(0.4615 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}) * (303 \text{ K})} = 0.030364 \text{ kg/m}^3$$

Densidad del aire en el ambiente tomando en cuenta que la presión es la resta de la presión ambiental y la presión de saturación a 30 °C entre la constante de los gases R_a a 30 °C.

$$\rho_{a,s} = \frac{P_{a,s}}{R_a T_s} = \frac{(88.8 - 4.246) \text{ kPa}}{(0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}) * (303 \text{ K})} = 0.97232 \text{ kg/m}^3$$

La suma de las densidades en la superficie.

$$\rho_s = \rho_{v,s} + \rho_{a,s} = 0.030364 + 0.97232 = 1.002685 \text{ kg/m}^3$$

- Densidad en el ambiente utilizando la ecuación (4)

Densidad del vapor de agua en la superficie del agua tomando en cuenta la presión de saturación a 29 °C entre la constante de los gases R_v a 29 °C.

$$\rho_{v,\infty} = \frac{P_{v,\infty}}{R_v T_\infty} = \frac{2.82142 \text{ kPa}}{(0.4615 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}) * (302 \text{ K})} = 0.02024366 \text{ kg/m}^3$$

Densidad del aire en el ambiente tomando en cuenta que la presión es la resta de la presión ambiental y la presión de saturación a 29 °C entre la constante de los gases R_a a 29 °C.

$$\rho_{a,\infty} = \frac{P_{a,\infty}}{R_a T_\infty} = \frac{(88.8 - 2.82142) \text{ kPa}}{(0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}) * (302 \text{ K})} = 0.991976 \text{ kg/m}^3$$

La suma de las densidades en el ambiente.

$$\rho_\infty = \rho_{v,\infty} + \rho_{a,\infty} = 0.02024366 + 0.991976 = 1.01222 \text{ kg/m}^3$$

- Longitud característica utilizando la ecuación (5)

$$L_c = \frac{\text{Area superficial}}{\text{Perimetro}} = \frac{A_s}{P} = \frac{200 \text{ m}^2}{60 \text{ m}} = 3.333 \text{ m}$$

- Número de Grashof utilizando la ecuación (6)

$$Gr = \frac{g(\rho_\infty - \rho_s)L_c^3}{\rho\nu^2}$$

$$Gr = \frac{(9.81 \text{ m/s}^2)(1.01222 - 1.002685 \text{ kg/m}^3)(3.333 \text{ m})^3}{\left(\frac{1.01222 + 1.002685}{2} \text{ kg/m}^3\right)(1.6034 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$

$$Gr = 1.34 \times 10^{10}$$

- Número de Nusselt utilizando la ecuación (8)

$$Nu = 0.15(Gr * Pr)^{1/3}$$

$$Nu = 0.15(1.34 \times 10^{10} * 0.72834)^{1/3}$$

$$Nu = 320.3611$$

- Transferencia de calor por convección utilizando la ecuación (10)

$$h_{conv} = \frac{Nuk}{L_c}$$

$$h_{conv} = \frac{320.3611 * 0,025843 \frac{W}{m^{\circ}K}}{3.33 \text{ m}}$$

$$h_{conv} = 2.4837 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

- La razón de la transferencia de calor por convección natural utilizando la ecuación (5)

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

$$Q_{conv} = \left(2.4837 \frac{W}{m^2 \cdot K}\right) * (200 \text{ m}^2)(303 - 302 \text{ K})$$

$$Q_{conv} = 496.7456 \text{ W}$$

3.9.2. Pérdidas por radiación

- Datos:

Emisividad del agua = $\epsilon = 0.95$ tabla 1-6 (Cengel, 2010).

Constante de Stefan-Boltzmann = $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ (Cengel, 2010).

Temperatura de la superficie $T_s = 30^\circ C = 303 \text{ }^\circ K$

Temperatura ambiente $T_\infty = 29^\circ C = 302 \text{ }^\circ K$

Área de piscina = $A_s = 10m * 20m = 200 \text{ } m^2$

- Pérdida de calor por radiación del agua hacia las superficies circundantes utilizando la ecuación (12).

$$Q_{radiacion} = \varepsilon \cdot A_s \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_\infty^4)$$

$$Q_{radiacion} = 0.95 \cdot 200 \text{ } m^2 \cdot 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \cdot (303^\circ K^4 - 302^\circ K^4)$$

$$Q_{radiacion} = 1192.82 \text{ } W$$

3.9.3. Pérdidas por conducción

- Datos:

Coefficiente de conducción térmico del material = $k = 1.50 \text{ } W/m^\circ C$ (García, 2017)

Temperatura del agua $T_s = 30^\circ C = 303 \text{ }^\circ K$

Temperatura ambiente $T_\infty = 29^\circ C = 302 \text{ }^\circ K$

- Área de las paredes de la piscina

Paredes laterales A = $10 * 1.8 \text{ } m^2 = 18 \text{ } m^2$

Paredes laterales B = $20 * 1.8 \text{ } m^2 = 36 \text{ } m^2$

Piso = $10 * 20 \text{ } m^2 = 200 \text{ } m^2$

Área total = $A_T = 2*18 + 2*36 + 200 \text{ } m^2 = 308 \text{ } m^2$

Espesor de la pared = $L = 0.2 \text{ } m$

- Factor de forma según la ecuación (13).

$$S = \frac{A_T}{L}$$

$$S = \frac{308 \text{ } m^2}{0.2 \text{ } m} = 1540 \text{ } m$$

- Pérdida de calor por conducción utilizando la ecuación (14).

$$Q_{\text{conducción}} = k \cdot S \cdot \Delta T$$

$$Q_{\text{conducción}} = 1.5 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 1540 m * (303 - 302)^\circ K$$

$$Q_{\text{conducción}} = 2310 W$$

3.9.4. Pérdidas por evaporación

- Datos:

Temperatura confort = Temperatura de la superficie $T_\alpha = T_s = 30^\circ C$

Temperatura ambiente $T_\infty = 29^\circ C$

Temperatura fílmica según la ecuación (1).

$$T_f = \frac{T_\alpha + T_\infty}{2} = \frac{30 + 29}{2} = 29.5^\circ C$$

$\phi = 70\%$ = Humedad Relativa obtenida del plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) del GAD. Municipal Baños de Agua Santa.

Presión ambiental promedio = 88.8 KPa (Abad, 2012).

- Propiedades del agua a temperatura fílmica (29.5 °C) interpolando con la tabla A-15 (Cengel, 2010):

Conductividad térmica $k = 0,025843 \frac{W}{m \cdot K}$

Número de Prandtl $Pr = 0.72834$

Difusividad térmica $\alpha = 2.2013 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

Viscosidad cinemática $\nu = 1.6034 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$

Expansividad volumétrica utilizando la ecuación (15).

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{302.65^\circ K} = 0,003304147 K^{-1}$$

- Propiedades del agua a la temperatura confort (30 °C) obtenido de la tabla A-9 (Cengel, 2010):

Entalpia de vaporización $h_{fg} = 2431 \frac{KJ}{Kg}$

- Densidades de la superficie y del ambiente, cálculos obtenidos en las pérdidas por convección natural utilizando la ecuación (4).

La suma de las densidades en la superficie.

$$\rho_s = \rho_{v,s} + \rho_{a,s} = 0.030364 + 0.97232 = 1.002685 \text{ kg/m}^3$$

La suma de las densidades en el ambiente.

$$\rho_\infty = \rho_{v,\infty} + \rho_{a,\infty} = 0.02024366 + 0.991976 = 1.01222 \text{ kg/m}^3$$

- Longitud característica utilizando la ecuación (5).

$$L_c = \frac{\text{Area superficial}}{\text{Perimetro}} = \frac{A_s}{P} = \frac{200 \text{ m}^2}{60 \text{ m}} = 3.333 \text{ m}$$

- Número de Grashof utilizando la ecuación (6).

$$Gr = \frac{g(\rho_\infty - \rho_s)L_c^3}{\rho v^2}$$
$$Gr = \frac{(9.81 \text{ m/s}^2)(1.01222 - 1.002685 \text{ kg/m}^3)(3.333 \text{ m})^3}{\left(\frac{1.01222 + 1.002685}{2} \text{ kg/m}^3\right)(1.6034 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2}$$
$$Gr = 1.34 \times 10^{10}$$

- Difusividad de la masa de vapor de agua utilizando la ecuación (16).

$$D_{AB} = D_{H_2O\text{-aire}} = 1.87 \times 10^{-10} \frac{T^{2.072}}{P} \text{ m}^2/\text{s}$$
$$D_{AB} = 1.87 \times 10^{-10} \frac{302.65^{2.072}}{0.8766} \text{ m}^2/\text{s}$$
$$D_{AB} = 2.9481 \times 10^{-05} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Número de Schimidt utilizando la ecuación (17).

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

$$Sc = \frac{1.6034 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}}{2.9481 \times 10^{-05} m^2/s}$$

$$Sc = 0.543869$$

- Número de Sherwood utilizando la ecuación (18).

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

$$Sh = 0.15(1.34 \times 10^{10} * 0.543869)^{1/3}$$

$$Sh = 290.6431$$

- Coeficiente de transferencia de masa utilizando la ecuación (19).

$$h_{masa} = \frac{ShD_{AB}}{L_c}$$

$$h_{masa} = \frac{290.64 * 2.9481 \times 10^{-05} m^2/s}{3.33 m}$$

$$h_{masa} = 0.0257 m/s$$

- Razón de transferencia de masa utilizando la ecuación (20).

$$\dot{m}_v = h_{masa} A_s (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty})$$

$$\dot{m}_v = 0.0257 \frac{m}{s} * 200 m^2 (0.030364 kg/m^3 - 0.02024366 kg/m^3)$$

$$\dot{m}_v = 0.005203235 kg/s$$

- Razón de la transferencia de calor por evaporación utilizando la ecuación (21).

$$Q_{evap} = \dot{m}_v h_{fg}$$

$$Q_{evap} = 0.005203235 \frac{kg}{s} * 2431 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_{evap} = 12.649 KW = 12649.0654 W$$

3.9.5. Pérdidas por renovación

- Datos:

Temperatura inicial del agua = temperatura de suministro = 18 °C

Temperatura final del agua = temperatura confort = 30 °C

En una piscina se renueva constantemente el agua porque se debe ir filtrando y completando la cantidad de agua hasta llegar al nivel de operación, es aproximadamente el 2% del volumen total de la piscina. (Corral, 2010)

$$\text{Flujo masico diario} = V_{re} = 360 * \frac{2}{100} = 7.2 \frac{m^3}{dia}$$

$$\text{Densidad del agua} = \delta = 1000 \frac{Kg}{m^3} \text{ (Cengel, 2010):}$$

$$\text{Calor especifico del agua} = C_p = 4178 \frac{J}{kg^{\circ}C} \text{ (Cengel, 2010):}$$

- Perdida de calor por renovación diaria de agua utilizando la ecuación (22).

$$Q_{Renovación} = V_{re} \cdot \delta \cdot C_p \cdot (T_f - T_o)$$

$$Q_{Renovación} = 7.2 \frac{m^3}{dia} * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 4178 \frac{J}{kg^{\circ}C} * (30 - 18)^{\circ}C * \frac{1 dia}{86400 s}$$

$$Q_{Renovación} = 4178 W$$

3.9.6. Pérdidas totales de la piscina

$$q_{total} = Q_{convección} + Q_{radiación} + Q_{conducción} + Q_{evaporación} + Q_{renovación}$$

$$q_{total} = (496.7456 + 1192.82 + 2310 + 12649.0654 + 4178) W$$

$$q_{total} = 20826.03 W$$

- Análisis energético

Radiación promedio diario en la ciudad de Baños = $G_s = 1350.24 \frac{W}{m^2}$ (Herrera, 2011).

Eficiencia de los paneles solares: $\eta = 0.67$ (Roldan, 2013)

$$E_{entra} = \text{Eficiencia} * \text{Radiación} * \text{Area} = \eta * G_s * A \text{ (Criollo, 2011)}$$

$$E_{sale} = Q_{conveccion} + Q_{evaporacion} + Q_{conduccion} + Q_{evaporacion} + Q_{renovacion} = q_{total}$$

$$E_{sale} = 20826.03 W$$

- Variación de energía del sistema

$$\begin{aligned}\nabla E &= E_{entra} - E_{sale} \\ 0 &= \eta * G_s * A - q_{total} \\ A &= \frac{20826.03 \text{ W}}{0.67 * 1350.24 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \\ A &= 23.02 \text{ m}^2\end{aligned}$$

3.9.7. Número de paneles solares necesarios

Área de los paneles solares planos = 2 m^2

$$\begin{aligned}N_{paneles} &= \frac{23.02 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2} \\ N_{paneles} &= 11.51\end{aligned}$$

Es necesario 12 paneles solares planos

Para no exceder mucho el presupuesto se decidió utilizar 4 paneles solares de placa plana cuyo costo es de 872 dólares incluido IVA.

3.9.8. Cálculo de flujo volumétrico que pasa por los 4 paneles de placa plana

- Área de transferencia de calor es el área de los paneles solares, cada panel de placa plana tiene un área de 2 metros cuadrados.

$$\begin{aligned}A_{encristalado} &= 4 \text{ paneles} * 2 \text{ m}^2 \\ A_{encristalado} &= 8 \text{ m}^2\end{aligned}$$

- Calor ganado por los 4 paneles solares durante un día promedio de sol, transferencia de calor entre el sol y el vidrio transparente (ecuación 33). (Cengel, 2011, p.717)

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{solar, ganancia} &= \eta * A_{encristalado} * \dot{q}_{solar, incidente} \\ \dot{Q}_{solar, ganancia} &= 0.67 * 8 \text{ m}^2 * 1350.24 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \\ \dot{Q}_{solar, ganancia} &= 7237.2864 \text{ W (diarios)}\end{aligned}$$

- Área total de los tubos en contacto con la placa plana, el cual tiene 10 tubos del diámetro 0.0127m y de longitud 1.8m, también 2 tubos de diámetro 0.01905m y longitud 1m

$$A_i = \pi * N * d * l$$

$$A_i = [\pi * 10 * 0.0127m * 1.8m + \pi * 2 * 0.01905m * 1m] * 4 \text{ paneles}$$

$$A_i = [0.83 \text{ m}^2] * 4 \text{ paneles}$$

$$A_i = 3.32 \text{ m}^2$$

- Capacidad calorífica en función a la temperatura (ecuación 30), termodinámica de cengel Tabla A-2 (Cengel, 2011 p.911)

$$Cp_a = 4226 - 3.244Ta + 0.0575 Ta^2 - 0.0002656 Ta^3$$

$$Cp_a = 4226 - 3.244(30) + 0.0575 (30)^2 - 0.0002656 (30)^3$$

$$Cp_a = 4173.2588 \frac{J}{Kg * K}$$

- Densidad del agua a temperatura Ta (ecuación 31), termodinámica de cengel Tabla A-2 (Cengel, 2011 p.911)

$$\rho_a = 1001 - 0.08832Ta - 0.003417 Ta^2$$

$$\rho_a = 1001 - 0.08832(30) - 0.003417 (30)^2$$

$$\rho_a = 995.2751 \frac{Kg}{m^3}$$

- Viscosidad dinámica del fluido (ecuación 32), termodinámica de cengel Tabla A-2 (Cengel, 2011 p.911)

$$\mu_a = 0.001 - 1x10^{-5} Ta$$

$$\mu_a = 0.001 - 1x10^{-5} (30)$$

$$\mu_a = 0.0007 \frac{Kg}{m * s}$$

- Conductividad térmica, termodinámica de cengel Tabla A-2 (Cengel, 2011 p.911)

$$Ka = 0.557 + 0.002198 Ta - 7.08x10^{-6} Ta^2$$

$$Ka = 0.557 + 0.002198 (30) - 7.08x10^{-6} (30)^2$$

$$Ka = 0.616568 \frac{W}{m * K}$$

- Número de Prandtl (ecuación 29).

$$Pr = \frac{Cp_a * \mu_a}{Ka}$$

$$Pr = \frac{4173.2588 * 0.0007}{0.616568}$$

$$Pr = 4.7379$$

- Número de Reynolds (ecuación 28).

$$Re = \frac{4 * \rho_a * Va}{\pi * d * \mu_a}$$

$$Re = \frac{4 * 995.2751 * Va}{\pi * 0.0127 * 0.0007}$$

$$Re = 142544838.6 * Va$$

- Número de Nusselt (ecuación 9).

$$Nu = 0.0015 * Re^{0.75} * Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.0015 * Re^{0.75} * 4.7379^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.002519351 * Re^{0.75}$$

- Coeficiente de transferencia de calor (ecuación 10). (Cengel, 2011)

$$h_i = \frac{Nu * Ka}{d}$$

$$h_i = \frac{0.002519351 * Re^{0.75} * 0.616568}{0.0127}$$

$$h_i = 0.12231113 * Re^{0.75}$$

- Transferencia de calor entre la placa y el fluido de trabajo según (ecuación 11).

$$\dot{Q}_{agua} = n * h_i * A_i * (T_p - T_a)$$

$$\dot{Q}_{agua} = 0.67 * 0.12231113 * Re^{0.75} * 3.32 * (40 - 30)$$

$$\dot{Q}_{agua} = 2.720688 * Re^{0.75}$$

- Relacionamos el calor solar con el calor transmitido hacia el agua.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{solar, ganancia} &= \dot{Q}_{agua} \\ 7237.2864 \text{ W} &= 2.720688 * Re^{0.75} \\ 7237.2864 \text{ W} &= 2.720688 * (142544838.6 * Va)^{0.75} \\ Va &= 0.000258569 \text{ m}^3/\text{s} \\ Va &= 15,514166 \text{ l}/\text{min}\end{aligned}$$

- Flujo volumétrico en un día (8 horas de sol)

$$\begin{aligned}Va &= 0.000258569 \text{ m}^3/\text{s} * 8 * 3600 \\ Va &= 7.4468 \text{ m}^3\end{aligned}$$

7.4468 m³ es la cantidad de agua que se debe bombear en un día a través de los paneles solares.

3.9.9. Cálculo de la temperatura que puede aumentar los cuatro paneles en un día

Sabiendo el flujo volumétrico reemplazamos en el Número de Reynolds (ecuación 28)

$$\begin{aligned}Re &= \frac{4 * \rho_a * Va}{\pi * d * \mu_a} \\ Re &= \frac{4 * 995.2751 * Va}{\pi * 0.0127 * 0.0007} \\ Re &= 142544838.6 * Va\end{aligned}$$

Va = Es el volumen total de la piscina que en este caso es 360 metros cúbicos en un día

$$\begin{aligned}Va &= 360 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * \frac{1 \text{ dia}}{8 \text{ horas de sol}} * \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}} = 0.0125 \\ Re &= 142544838.6 * 0.0125 \\ Re &= 1781810.483\end{aligned}$$

- Número de Nusselt (ecuación 9).

$$\begin{aligned}Nu &= 0.0015 * Re^{0.75} * Pr^{\frac{1}{3}} \\ Nu &= 0.0015 * Re^{0.75} * 4.73797^{\frac{1}{3}} \\ Nu &= 0.002519351 * Re^{0.75}\end{aligned}$$

$$Nu = 122.8669$$

- Coeficiente de transferencia de calor (ecuación 10).

$$h_i = \frac{Nu * Ka}{d}$$

$$h_i = \frac{122.8669 * 0.616568}{0.0127}$$

$$h_i = 5965.022 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

- Transferencia de calor entre la placa y el fluido de trabajo (ecuación 11).

$$\dot{Q}_{agua} = n * h_i * A_i * (T_p - T_a)$$

$$7237.2864 W = 0.67 * 5965.022 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * 3.32 m^2 * (T_f - 30^\circ C)$$

$$T_f = \frac{7237.2864 W}{0.67 * 5965.022 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * 3.32 m^2} + 30^\circ C$$

Temperatura que puede alcanzar durante un día

$$T_f = 30.545 ^\circ C$$

La temperatura que aumenta durante un día con cuatro paneles es de 0.545 °C

Tabla 13-3: Flujo volumétrico y Volumen diario de los sistemas de calentamiento de la piscina.

	Flujo volumétrico	Volumen
Sistema a Diésel	35.936 L/min	17.25 m ³
Sistema solar 4 paneles	15,5141 L/min	7.447m ³
Sistema solar 12 paneles	51.45 L/min	24.697 m ³

Realizado por: Jurado C. 2022

3.9.10. Cálculo de costo diario del Sistema complementario (quemador a Diésel) para calentar la piscina sin la instalación del sistema solar.

Sabiendo el calor total que el quemador a Diésel genera se calcula flujo masico de Diésel para saber el costo de operación sin el sistema solar térmico. (Ecuación 21)

$$\begin{aligned}
 Q_{quemador} &= m (\Delta h) \\
 Q_{quemador} &= m C_p (\Delta T) \\
 Q_{quemador} &= \dot{m} C_p (T_F - T_o) \\
 Q_{quemador} &= Q_{total\ de\ perdid\ as} = 20826.03\ W \\
 C_p &= \text{Poder calorifico del diesel} = 2100 \frac{J}{g\ ^\circ K} \\
 T_F &= \text{Temperatura de salida} = 313\ ^\circ K \\
 T_o &= \text{Temperatura de entrada} = 303\ ^\circ K \\
 \dot{m} &= \text{Flujo másico} \\
 20826.03\ W \frac{J}{s} &= \dot{m} (2100 \frac{J}{g\ ^\circ K})(313\ ^\circ K - 303\ ^\circ K) \\
 \dot{m} &= 0.9917 \frac{g}{s}
 \end{aligned}$$

El flujo másico del quemador a Diésel es de $0.9917 \frac{g}{s}$, para obtener cuanto cuesta el sistema complementario utilizamos (ecuación 34) para obtener el flujo volumétrico.

$$\begin{aligned}
 \dot{V} &= \frac{\dot{m}}{\delta} \\
 \delta &= \text{densidad del Diesel} = 840 \frac{Kg}{m^3}
 \end{aligned}$$

Transformamos a $\frac{g}{Galón}$ porque sabemos el costo del Diésel está dado en galones, para determinar el costo diario del sistema complementario.

$$\begin{aligned}
 \delta &= 840 \frac{Kg}{m^3} * \frac{1\ m^3}{1000\ L} * \frac{3.785\ L}{1\ Galón} * \frac{1000\ g}{1\ Kg} = 3179.4 \frac{g}{Galón} \\
 \dot{V} &= \frac{0.9917 \frac{g}{s}}{3179.4 \frac{g}{Galón}} \\
 \dot{V} &= 3.1192 \times 10^{-4} \frac{Galones}{s}
 \end{aligned}$$

El costo por galpón de Diésel es de 1.75 dólares según la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables Junio del 2022.

$$\dot{V} = 3.1192 \times 10^{-4} \frac{\text{Galones}}{\text{s}} * \frac{(8 * 60 * 60)\text{s}}{1 \text{ Dia}}$$

$$\dot{V} = 8.9833 \frac{\text{Galones}}{\text{Dia}}$$

$$\dot{V} = 8.9833 \frac{\text{Galones}}{\text{Dia}} * \frac{1.75 \$}{1 \text{ Galón}} = 15.72 \frac{\$}{\text{Dia}}$$

El costo diario del consumo de Diésel es de 17.07 dólares en un día sin la implementación del sistema solar térmico complementario.

3.9.11. Cálculo de la cantidad de Diésel que ahorra al implementar el sistema solar térmico con 4 paneles.

Sabiendo el calor total que el quemador a Diésel genera se calcula flujo masico de Diésel para saber el costo de operación con el sistema solar térmico. (Ecuación 21)

$$Q_{4 \text{ paneles}} = m (\Delta h)$$

$$Q_{4 \text{ paneles}} = m C_p (\Delta T)$$

$$Q_{4 \text{ paneles}} = \dot{m} C_p (T_F - T_o)$$

$$Q_{4 \text{ paneles}} = 7237.2864 \text{ W}$$

$$C_p = \text{Poder calorifico del diesel} = 2100 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{K}}$$

$$T_F = \text{Temperatura de salida} = 313^\circ\text{K}$$

$$T_o = \text{Temperatura de entrada} = 303^\circ\text{K}$$

$$\dot{m} = \text{Flujo másico}$$

$$7237.2864 \frac{\text{J}}{\text{s}} = \dot{m} (2100 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{K}})(313^\circ\text{K} - 303^\circ\text{K})$$

$$\dot{m} = 0.3446 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

El flujo másico por los 4 paneles es de $0.3446 \frac{\text{g}}{\text{s}}$, para obtener cuanto se ahorra por la utilización de 4 paneles solares (ecuación 34) para obtener el flujo volumétrico.

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\delta}$$

$$\delta = \text{densidad del Diesel} = 840 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Transformamos a $\frac{g}{Galón}$ porque sabemos el costo del Diésel está dado en galones, para determinar el costo diario del sistema complementario.

$$\delta = 840 \frac{Kg}{m^3} * \frac{1 m^3}{1000 L} * \frac{3.785 L}{1 Galón} * \frac{1000 g}{1 Kg} = 3179.4 \frac{g}{Galón}$$

$$\dot{V} = \frac{0.3446 \frac{g}{s}}{3179.4 \frac{g}{Galón}}$$

$$\dot{V} = 1.08395 \times 10^{-4} \frac{Galones}{s}$$

El costo por galpón de Diésel es de 1.90 dólares según la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables Junio del 2022.

$$\dot{V} = 1.08395 \times 10^{-4} \frac{Galones}{s} * \frac{(8 * 60 * 60)s}{1 Dia}$$

$$\dot{V} = 3.12 \frac{Galones}{Dia} * \frac{1.75 \$}{1 Galón} = 5.46 \frac{\$}{Dia}$$

El costo diario del consumo de Diésel es de 21.95 dólares en un día con la implementación del sistema solar térmico complementario.

Tabla 14-3: Consumo de galones de Diésel para calentar la piscina y costos de consumo de Diésel utilizados para calentar la piscina según cálculos.

	Diario		Semanal		Mensual		Anual	
	Galones	Costo	Galones	Costo	Galones	Costo	Galones	Costo
Sin paneles solares	8,98	\$15,72	26,94	\$47,15	107,76	\$188,58	1293,12	\$2.262,96
Con paneles solares	5,86	\$10,26	17,58	\$30,77	70,32	\$123,06	843,84	\$1.476,72
Ahorro	3,12	\$5,46	9,36	\$16,38	37,44	\$65,52	449,28	\$786,24

Realizado por: Jurado C. 2022

3.10. Selección de diámetro de tuberías y potencia de la bomba

Para poder seleccionar el diámetro de tubería y la bomba necesaria para que el sistema funcione correctamente utilizamos la ecuación siguiente (ecuación 35), que analiza la energía que entre contra la energía que sale del sistema.

Aplicando Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_{Bomba} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_{Turbina} + h_f + h_L$$

P_1 y P_2 , se simplifican debido a que la presión es la misma (presión atmosférica)

$\frac{V_1^2}{2g}$ y $\frac{V_2^2}{2g}$, se simplifican porque su valor es aproximadamente cero

$H_{Turbina}$, no hay turbina

$$Z_1 + H_{Bomba} = Z_2 + h_f + h_L$$

$$H_{Bomba} = Z_2 - Z_1 + h_f + h_L$$

Z_1 y Z_2 , la diferencia de alturas.

$$H_{Bomba} = 1.5 \text{ m} + h_f + h_L$$

3.10.1. *Perdidas por fricción h_f*

Para calcular las pérdidas por fricción analizamos la succión y descarga de la tubería y la variación de los diferentes diámetros a través de la tubería (ecuación 36)

$$h_f = h_{f \text{ succión}} + h_{f \text{ descarga}}$$

Para obtener el valor de h_f necesitamos obtener el valor de Reynolds y el factor de fricción.

- $h_{f \text{ succión}}$, se analiza el ingreso de la tubería que es de 1 pulgada de diámetro.

Para obtener el valor Reynolds (Re) se reemplaza los valores anteriormente calculados en la ecuación siguiente (ecuación 28):

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * D * v}$$

$$Q = 0.000258569 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}, \text{ calculado previamente}$$

$D = 21.8 \text{ mm} = 0.0218 \text{ m}$, diámetro interior según catálogo de tuberías y accesorios Plastigama

$\nu = 0.656 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$, viscosidad cinemática a 40 grados centígrados Tabla A.1 (Mott, 2015, p.488)

$$Re = \frac{4 (0.000258569 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi (0.0218 \text{ m})(0.656 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})}$$

$$Re = 23021.11$$

$$Re \left\{ \begin{array}{ll} Re \leq 2300, & \text{flujo laminar} \\ 2300 < Re \leq 4000, & \text{flujo transitorio} \\ Re > 4000, & \text{flujo turbulento} \end{array} \right\}$$

$$Re = 23021.11 = \text{flujo turbulento}$$

- Factor de fricción, con el número de Reynolds se calcula el factor de fricción (ecuación 37)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Donde Rugosidad equivalentes para tuberías $\varepsilon=0$, Tabla 8.2 (Cengel, 2006, p. 341)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{5.74}{23021.11^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0249$$

- Perdidas de fricción en la succión de diámetro 1 pulgada

$$h_{f \text{ succión}} = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5}$$

L , longitud de tubería de 1 pulgada es de 4 metros

$$h_{f \text{ succión}} = \frac{8 (0.0249)(4m)(0.000258569 \frac{m^3}{s})^2}{\pi^2 (9.81 \frac{m}{s^2})(0.0218 m)^5}$$

$$h_{f \text{ succión}} = 0.112m$$

- $h_{f \text{ succión}}$, se analiza la tubería de 1/2 pulgada de diámetro.

Para obtener el valor Reynolds (Re) (ecuación 28):

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * D * v}$$

$$Q = 0.000258569 \frac{m^3}{s}$$

$D = 13.8 \text{ mm} = 0.0138 \text{ m}$, diámetro interior según catálogo de tuberías y accesorios Plastigama

$v = 0.656 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$, viscosidad cinemática a 40 grados centígrados Tabla A.1 (Mott, 2015, p.488)

$$Re = \frac{4 (0.000258569 \frac{m^3}{s})}{\pi (0.0138 m)(0.656 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s})}$$

$$Re = 36366.68$$

$$Re \left\{ \begin{array}{ll} Re \leq 2300, & \text{flujo laminar} \\ 2300 < Re \leq 4000, & \text{flujo transitorio} \\ Re > 4000, & \text{flujo turbulento} \end{array} \right\}$$

$$Re = 36366.68 = \text{flujo turbulento}$$

- Factor de fricción, con el número de Reynolds se calcula el factor de fricción (ecuación 37)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Donde Rugosidad equivalentes para tuberías $\epsilon=0$, Tabla 8.2 (Cengel, 2006, p. 341)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{5.74}{36366.68^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f = 0.02233$$

- Perdidas de fricción en la succión de diámetro 1/2 pulgada

$$h_{f \text{ succión}} = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5}$$

L , longitud de tubería de 1/2 pulgada es de 26.72 metros

$$h_{f \text{ succión}} = \frac{8 (0.02233)(26.72m)(0.000342085 \frac{m^3}{s})^2}{\pi^2 (9.81 \frac{m}{s^2})(0.0138 m)^5}$$

$$h_{f \text{ succión}} = 11.527 m$$

- $h_{f \text{ descarga}}$, se analiza la tubería de 2 pulgada de diámetro.

Para obtener el valor Reynolds (Re) (ecuación 28):

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * D * v}$$

$$Q = 0.000258569 \frac{m^3}{s}$$

$D = 46 \text{ mm} = 0.046 \text{ m}$, diámetro interior según catálogo de tuberías y accesorios Plastigama

$v = 0.656x 10^{-6} \frac{m^2}{s}$, viscosidad cinemática a 40 grados centígrados Tabla A.1 (Mott, 2015, p.488)

$$Re = \frac{4 (0.000258569 \frac{m^3}{s})}{\pi (0.046 m)(0.656x 10^{-6} \frac{m^2}{s})}$$

$$Re = 10910.004$$

$$Re \left\{ \begin{array}{ll} Re \leq 2300, & \text{flujo laminar} \\ 2300 < Re \leq 4000, & \text{flujo transitorio} \\ Re > 4000, & \text{flujo turbulento} \end{array} \right\}$$

$$Re = 10910.004 = \text{flujo turbulento}$$

- Factor de fricción, con el número de Reynolds se calcula el factor de fricción (ecuación 34)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Donde Rugosidad equivalentes para tuberías $\varepsilon=0$, Tabla 8.2 (Cengel, 2006, p. 341)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{5.74}{10910.004^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.03024$$

- Perdidas de fricción en la succión de diámetro 1/2 pulgada

$$h_{f \text{ descarga}} = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5}$$

L , longitud de tubería de 1/2 pulgada es de 2.6 metros

$$h_{f \text{ descarga}} = \frac{8 (0.028)(2.6m) \left(0.000258569 \frac{m^3}{s} \right)^2}{\pi^2 \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) (0.046 m)^5}$$

$$h_{f \text{ descarga}} = 2.11 \times 10^{-3} m$$

Para calcular las perdidas por fricción analizamos la succión y descarga de la tubería y la variación de los diferentes diámetros a través de la tubería (ecuación 36)

$$h_f = h_{f \text{ succión}} + h_{f \text{ descarga}}$$

$$h_f = 0.112m + 11.527 m + 2.11 \times 10^{-3} m$$

$$h_f = 11.64 \text{ m}$$

3.10.2. *Perdidas por accesorios h_L*

Son las causadas por el cambio de movimiento que experimenta el fluido cuando cambia de dirección. Se les conoce también como pérdidas en accesorios, accidentales o singulares.

Para calcular las pérdidas por accesorios analizamos la succión y descarga de la tubería a través de la tubería (ecuación 39)

$$h_{L \text{ accesorios}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

- Accesorios en la tubería de 1 pulgada

Perdidas por entrada de bordes cuadrados

$$h_{L \text{ bordes cuadrados}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$K_m = 0.5$, según figura 8.34 (Cengel, 2006, p. 349)

$$h_{L \text{ bordes cuadrados}} = \frac{8 (0.5) (0.000258569 \frac{m^3}{s})^2}{(9.81 \frac{m}{s^2}) \pi^2 (0.0218m)^4}$$

$$h_{L \text{ bordes cuadrados}} = 0.01223 \text{ m}$$

- Perdidas por codo de 90 grados

$$h_{L \text{ codo}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$K_m = 30 \text{ fr}$, según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$K_m = 30 * 0.0249 = 0.747$$

$$h_{L\ codo} = \frac{8 (0.747)(0.00025856 \frac{m^3}{s})^2}{(9.81 \frac{m}{s^2}) \pi^2 (0.0218m)^4}$$

$$h_{L\ codo} = 0.0183\ m$$

- Perdidas por conexión en Tee

$K_m = 1$ según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$h_{L\ tee} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L\ tee} = \frac{8 (1)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0218m)^4}$$

$$h_{L\ tee} = 0.02446\ m$$

- Accesorios en la tubería de 1/2 pulgada

Perdidas por Reducciones 1 a 1/2 en la tabla 8-4 de mecánica de fluidos de (Cengel, 2006, p. 350)

$$\frac{d^2}{D^2} = \frac{0.5^2}{1^2} = 0.25$$

$K_m = 0.3$ según figura 8.34 (Cengel, 2006, p. 349)

$$h_{L\ reducciones} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L\ reducciones} = \frac{8 (0.3)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138)^4}$$

$$h_{L\ reducciones} = (0.0457) (3)_{reducciones} = 0.137\ m$$

- Perdidas por Reducciones 3/4 a 1/2

$$\frac{d^2}{D^2} = \frac{0.5^2}{0.75^2} = 0.444$$

$K_m = 0.3$ según figura 8.34 (Cengel, 2006, p. 349)

$$h_{L \text{ reducciones}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ reducciones}} = \frac{8 (0.3)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138)^4}$$

$$h_{L \text{ reducciones}} = (0.0457) (2)_{\text{reducciones}} = 0.091 \text{ m}$$

- Perdidas por Reducciones 2 a ½

$$\frac{d^2}{D^2} = \frac{0.5^2}{2^2} = 0.0625$$

$K_m = 0.5$ según figura 8.34 (Cengel, 2006, p. 349)

$$h_{L \text{ reducciones}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ reducciones}} = \frac{8 (0.5)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138)^4}$$

$$h_{L \text{ reducciones}} = 0.0762 \text{ m}$$

- Codos

$K_m = 0.84$ según figura 8.34 (Cengel, 2006, p. 349)

$$h_{L \text{ codos}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ codos}} = \frac{8 (0.84)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138)^4}$$

$$h_{L \text{ codos}} = (0.128) (11)_{\text{codos}} = 1.4 \text{ m}$$

- Uniones Universales

$K_m = 1.08$ según figura 8.34 (Cengel, 2006, p. 349)

$$h_{L \text{ unión universal}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ unión universal}} = \frac{8 (1.08)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138)^4}$$

$$h_{L \text{ unión universal}} = (0.1645) (8)_{\text{uniones universales}} = 1.32 \text{ m}$$

- Válvula de bola

$K_m = 150 f_r$ según figura 8.34 (Cengel, 2006, p. 349)

$$K_m = 3$$

$$h_{L \text{ válvula de bola}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ válvula de bola}} = \frac{8 (3)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138^4)}$$

$$h_{L \text{ válvula de bola}} = (0.457) (6)_{\text{válvulas}} = 2.742 \text{ m}$$

- Unión (neplo perdido)

$K_m = 0.13$ según figura 8.34 (Cengel, 2006, p. 349)

$$h_{L \text{ neplo perdido}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ neplo perdido}} = \frac{8 (0.13)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138)^4}$$

$$h_{L \text{ neplo perdido}} = (0.0198) (8)_{\text{neplos perdidos}} = 0.1584 \text{ m}$$

- Válvula check

$K_m = 100 f_r = 100(0.02)$ según figura 8.34 (Cengel, 2006, p. 349)

$$K_m = 2$$

$$h_{L \text{ válvula check}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ válvula check}} = \frac{8 (2)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138^4)}$$

$$h_{L \text{ válvula check}} = 0.3 \text{ m}$$

- Filtro de cartucho

$K_m = 100 f_r = 100(0.02)$ según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$K_m = 1.5$$

$$h_{L \text{ filtro de cartucho}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ filtro de cartucho}} = \frac{8 (1.5)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138^4)}$$

$$h_{L \text{ filtro de cartucho}} = 0.228 \text{ m}$$

- Termocupla

$K_m = 1.5$ según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$h_{L \text{ termocupla}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ termocupla}} = \frac{8 (1.5)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138^4)}$$

$$h_{L \text{ termocupla}} = 0.228 \text{ m} \quad (2)_{\text{termocuplas}} = 0.457 \text{ m}$$

- Paneles solares de placa plana

$K_m = 1.826$ según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$h_{L \text{ paneles solares}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ paneles solares}} = \frac{8 (1.5)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138^4)}$$

$$h_{L \text{ paneles solares}} = 0.278 \text{ m} \quad (4)_{\text{paneles solares}} = 1.1125 \text{ m}$$

Accesorios en la tubería de 2 pulgadas

- Tee

$K_m = 1$ según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$h_{L \text{ tee}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ tee}} = \frac{8 (1)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.046)^4}$$

$$h_{L \text{ tee}} = 1.23 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- Codos

$K_m = 0.84$ según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$h_{L \text{ codos}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ codos}} = \frac{8 (0.84)(0.00025856)^2}{(9.81) \pi^2 (0.046)^4}$$

$$h_{L \text{ codos}} = (1.036 \times 10^{-3}) (2)_{\text{codos}} = 2.07 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- Reducciones

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{1}{0.5} = 2$$

$K_m = 0.2$ según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$h_{L \text{ reducciones}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ reducciones}} = \frac{8 (0.2)(0.000342085)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138)^4}$$

$$h_{L \text{ reducciones}} = (0.053) (6)_{\text{reducciones}} = 0.34 \text{ m}$$

- Válvula check

$K_m = 100 f_r = 100(0.02)$ según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$K_m = 2$$

$$h_{L \text{ válvula check}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ válvula check}} = \frac{8 (2)(0.000342085)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138)^4}$$

$$h_{L \text{ válvula check}} = 0.53 \text{ m}$$

- Filtro de cartucho

$K_m = 100 f_r = 75(0.02)$ según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$K_m = 1.5$$

$$h_{L \text{ filtro de cartucho}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$$h_{L \text{ filtro de cartucho}} = \frac{8 (1.5)(0.000342085)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138^4)}$$

$$h_{L \text{ filtro de cartucho}} = 0.399 \text{ m}$$

- Uniones universales

$$h_{L \text{ panel solar}} = \frac{8 K_m Q^2}{g \pi^2 D^4}$$

$K_m = 1.826$ según figura 10.23 de (Mott, 2015, p. 241)

$$h_{L \text{ panel solar}} = \frac{8 (1.826)(0.000342085)^2}{(9.81) \pi^2 (0.0138^4)}$$

$$h_{L \text{ panel solar}} = (0.487) (4)_{\text{panel solar}} = 1.95 \text{ m}$$

Sumatoria:

$$h_L = h_{L \text{ succión}} + h_{L \text{ válvula de bola}} + h_{L \text{ unión universal}} + h_{L \text{ codos}} + h_{L \text{ neplo perdido}} + h_{L \text{ tee}} + h_{L \text{ reducciones}} + h_{L \text{ válvula check}} + h_{L \text{ filtro de cartucho}} + h_{L \text{ panel solar}}$$

$$h_L = 0.0214 + 3.199 + 2.3 + 3.36 + 0.277 + 0.821 + 0.34 + 0.53 + 0.399 + 1.95$$

$$h_L = 13.36 \text{ m}$$

- Cálculo de la Bomba

$$H_{\text{bomba}} = 1.5 \text{ m} + h_f + h_L$$

$$H_{\text{bomba}} = 1.5 + 10.975 + 13.36$$

$$H_{\text{bomba}} = 25.835 \text{ m}$$

$$Q = 0.000258569 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 15,514166 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

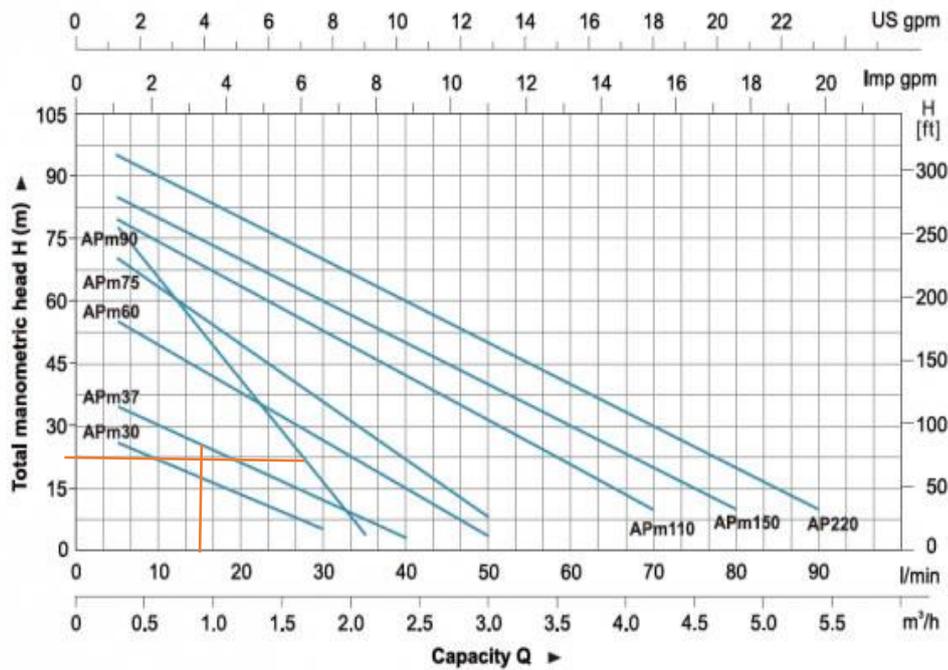


Ilustración 1-3: Selección de bombas centrifugas
Realizado por: (Leo, 2019)

Seleccionamos la bomba APm37

$$Q = 5-35 \text{ l/min}$$

$$V = 110-120$$

$$KW = 0.37$$

$$H_{min} = 5 \text{ m}$$

$$H_{max} = 40 \text{ m}$$

$$HP = 0.5$$



Ilustración 2-3: Especificaciones técnicas de la bomba APm07
Realizado por: (Leo, 2019)

Para seleccionar la dirección del flujo para los paneles solares y el fluido.

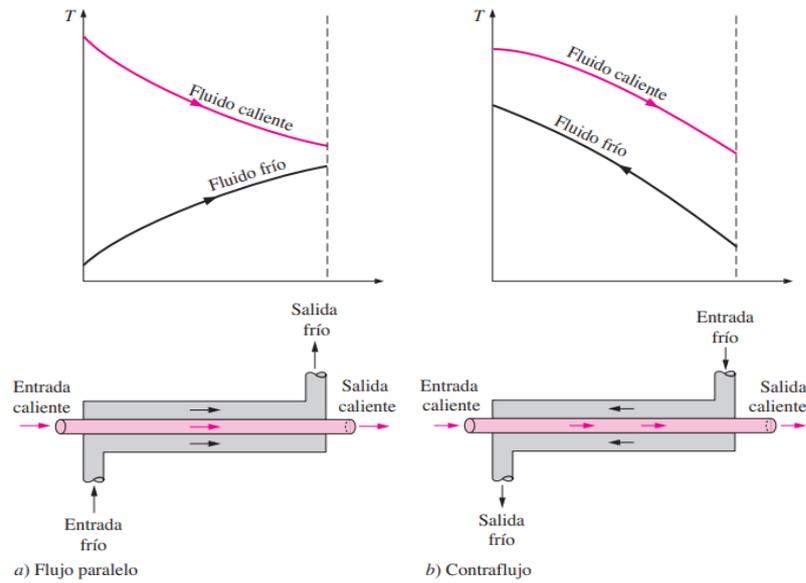


Ilustración 3-3: Tipos de flujos en un intercambiador de calor
Realizado por: (Cengel, 2011, p. 630)

Determinamos que el sistema solar térmico necesita un flujo paralelo debido a que en la parte de automatización necesitamos instalar una termocupla y la temperatura máxima de funcionamiento se encuentra a la salida de los paneles de placa plana, si seleccionáramos el contraflujo el valor de temperatura que obtendríamos con la termocupla sería una temperatura menor a la del flujo paralelo.

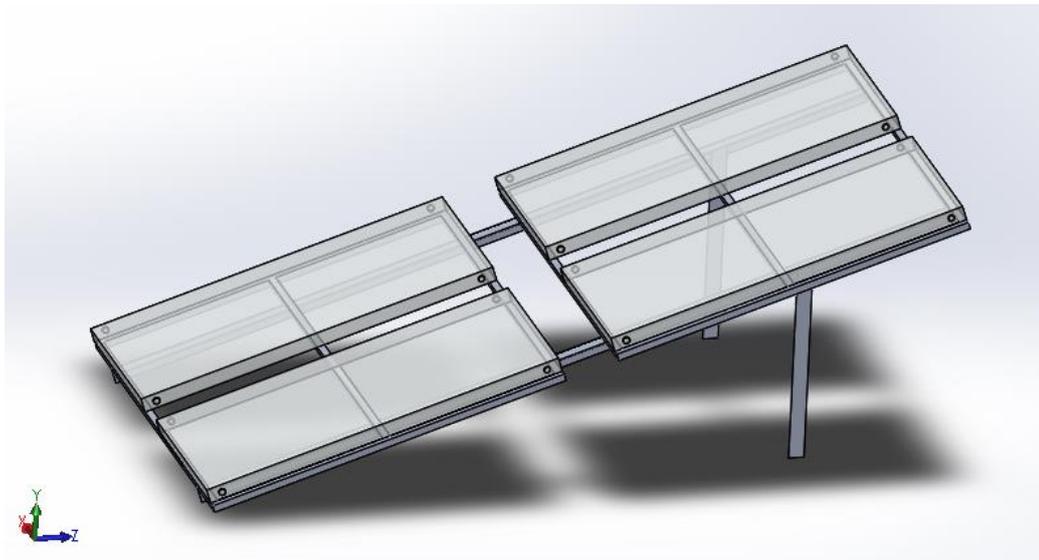


Ilustración 4-3: Disposición de paneles de placa plana.
Realizado por: (Jurado, C. 2022)

En este proyecto se determinó que la disposición de los paneles de placa plana sea como en la figura 11-3; ya que para la parte del sensor de temperatura que se encuentra en la salida de los

paneles solares necesitamos la máxima temperatura, conectando de esta manera por densidades el fluido con mayor temperatura va a la parte superior de los paneles por lo tanto el sensor ubicado en la parte alta marcará la mayor temperatura. Y por el espacio disponible resulta factible esta disposición, para así poder dar un fácil mantenimiento e instalación.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1. Pruebas de funcionamiento

Una vez finalizada la construcción y montaje del sistema solar térmico de placas planas se procede a tomar datos para comparar el antes y el después de implementar los paneles solares.

Como objetivo tenemos el obtener y comparar la temperatura del agua de la piscina y el consumo de combustible para determinar qué tan viable y rentable resulta el proyecto.

4.2. Toma de datos de temperatura del agua

- Sin la instalación del sistema solar térmico de placas planas.

Para el análisis del funcionamiento del sistema se realiza la toma y recolección de datos de la temperatura del agua, sin tomar en cuenta la instalación del sistema solar complementario de placas planas en días que no se encuentra en funcionamiento el calentador a Diésel.

Tabla 1-4: Temperatura del agua de la piscina sin la implementación del sistema solar térmico.

Fecha Hora del día	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9
6:00		28,5		28,5	28,2		28,3	27,5	
6:30		28,5		28,5	28,2		28,3	27,5	
7:00		28,5		28,5	28,2		28,3	27,7	
7:30		28,7		28,5	28,2		28,3	28,2	
8:00		28,7	28,6	28,5	28,4		28,6	28,4	
8:30		28,7	28,9	29	29,1		28,9	28,7	
9:00	29,4	29,2	29,2	29,3	29,3	29,2	29,4	29,4	
9:30	29,4	29,2	29,1	29,3	29,2	29,2	29,1	29,1	29,2
10:00	29,2	29,1	29,1	29,4	29,1	29,4	29,4	29,1	29,1
10:30	29,3	29	29,1	29,2	29	29,4	29,4	29,4	29,4
11:00	29,3	29	29,1	29,2	29	29,1	29,4	29,4	29,4
11:30	29,4	29,1	29,2	29,1	29,1	29,1	29,4	29,4	29,4
12:00	29,5	29	29,1	29,1	29		29,1	29,4	29,4

12:30	29,5	29,5	29,2	29,1	29,5		29,2	29,4	29,3
13:00	29,5	29,5	29,2	29,1	29,5		29,2	29,4	29,3
13:30	29,4	29,5	29,2		29,5		29,2	29,4	29,3
14:00	29,4	29,5	29,2		29,5		29,2	29,4	29,3
14:30	29,1	29,1	29,1		29,5		29,1	29,4	29,1
15:00	29,2	29,1	29		29,5		29	29,1	29,1
15:30	29	29,1	29		29,5		29	29,2	29,1
16:00		29,1	28,9		29,2		28,9	29,1	29,1
16:30		29,1	28,8		29,2		28,8	28,8	29,1
17:00		29,1	28,8		29,2		28,8	28,7	29,1
17:30		29,1	28,8		28,7		28,8		29,1
18:00		29,1	28,8		28,7		28,8		29,1

Realizado por: (Jurado, C. 2022)

La temperatura promedio del agua en la piscina sin el del sistema solar térmico es de 29.03°C.

- Con la instalación del sistema solar térmico de placas planas.

La recolección de datos de la temperatura del agua con la implementación del sistema de calentamiento solar se realiza en días que no funciona el sistema a Diésel porque cuando está en funcionamiento, la temperatura del agua suele llegar a 30°C. En días de atención a clientes la temperatura del agua en la piscina se procura mantener constante para comodidad de los usuarios y la toma de datos es irrelevante ya que la variación de temperatura es nula.

Tabla 2-4: Temperatura del agua de la piscina con la implementación del sistema solar térmico.

Fecha Hora del día	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8
6:00	28,2	28,2	28,1	28,3	28,7	28,4	28,8	28
6:30	28,2	28,2	28,5	28,5	28,7	28,5	28,8	28
7:00	28,3	28,3	28,5	28,5	28,7	28,5	28,8	28,2
7:30	28,4	28,4	28,5	28,5	28,7	28,5	28,8	28,7
8:00	28,4	28,4	28,6	28,6	28,9	28,6	29,1	28,9
8:30	28,5	29,2	28,8	28,8	29,6	28,8	29,4	29,2
9:00	28,5	29,7	29,7	29,8	29,8	29,7	29,9	29,9
9:30	28,5	29,7	29,6	29,8	29,7	29,7	29,6	29,6
10:00	28,6	29,6	29,6	29,9	29,6	29,9	29,9	29,6

10:30	28,8	29,5	29,6	29,7	29,5	29,9	29,9	29,9
11:00	29	29,5	29,6	29,7	29,5	29,6	29,9	29,9
11:30	29,1	29,6	29,7	29,6	29,6	29,6	29,9	29,9
12:00	29,4	29,5	29,6	29,6	29,5	29,6	29,6	29,9
12:30	29,5	30	29,7	29,6	30	29,6	29,7	29,9
13:00	30	30	29,7	29,6	30	29,6	29,7	29,9
13:30	29,9	30	29,7	29,5	30	29,6	29,7	29,9
14:00	29,9	30	29,7	29,5	30	29,6	29,7	29,9
14:30	29,6	29,6	29,6	29,5	30	29,6	29,6	29,9
15:00	29,7	29,6	29,5	29,5	30	29,5	29,5	29,6
15:30	29,5	29,6	29,5	29,5	30	29,5	29,5	29,7
16:00	29,5	29,6	29,4	29,5	29,7	29,5	29,4	29,6
16:30	29,4	29,6	29,3	29,5	29,7	29,5	29,3	29,3
17:00	29,4	29,6	29,3	29,5	29,7	29,4	29,3	29,2
17:30	29,4	29,6	29,3	29,4	29,2	29,4	29,3	29,2
18:00	29,4	29,6	29,3	29,4	29,2	29,4	29,3	29,2

Realizado por: (Jurado, C. 2022)

La temperatura promedio del agua en la piscina con la implementación de 4 paneles solares de placa plana es de 29.52°C.

La temperatura promedio antes de implementar el sistema solar térmico es de 29.03 °C y después de la aplicación del proyecto es de 29.52°C. Comparando temperaturas, se establece que instalando el sistema solar térmico la temperatura sube 0.5°C.

4.3. Construcción

Después de haber concluido con los cálculos, diseño mecánico, análisis funcional dónde se encontró la mejor alternativa, se procedió a la construcción, para ello se ha buscado un técnico calificado que nos permita obtener un trabajo final garantizado y de excelencia.

A continuación, se detalla de una manera general los procesos empleados en la construcción de un sistema solar térmico como sistema complementario para una piscina de 360 metros cúbicos de agua en la ciudad de Baños de Agua Santa, parroquia Rio Verde.

Como primer paso tenemos el diseño y construcción de la estructura metálica para soportar 4 paneles solares de placa plana, el cual se realizó acero estructural ASTM A-36 con un recubrimiento de pintura anticorrosiva.



Ilustración 1-4: Diseño de estructura para soporte de 4 paneles solares.

Realizado por: Jurado C. 2022.

El diseño en 3D de la estructura metálica, tomando en cuenta la inclinación es de 15 grados según Tabla 3-4. La inclinación está dada de acuerdo con la latitud del lugar, en Ecuador la latitud es 0°. Con la inclinación recomendada los rayos del sol dan directamente al sistema solar térmico de placas planas.

Tabla 3-4: Inclinación para la instalación de colectores solares.

Latitud	Inclinación recomendada	Inclinación máxima
0-5	15 grados	20 grados
10	20 grados	25 grados
20	30 grados	35 grados
30	40 grados	45 grados

Fuente: (Alvarez, 2014)

Realizado: Jurado C. 2022

La parte alta debe estar orientada hacia el norte y la parte baja al sur



Ilustración 2-4: Construcción de estructura para soporte de 4 paneles solares de placa plana.

Realizado por: Jurado C. 2022

Por medio de soldadura eléctrica se realiza la construcción de la estructura de soporte.

Como siguiente paso se instala los paneles de placa plana. Debido al espacio disponible, facilidad de mantenimiento, la inclinación recomendada y la orientación se instala con una distribución de 2 paneles de largo y 2 paneles de ancho como se muestra en la Figura 3-4.



Ilustración 3-4: Diseño de la configuración de 4 paneles solares de placa plana.

Realizado por: Jurado C. 2022



Ilustración 4-4: Instalación de 4 paneles solares de placa plana.

Realizado por: Jurado C. 2022

Luego se procede a la instalación de la bomba de 0.5 HP para que circule el agua a través de las tuberías y los paneles de placa plana.

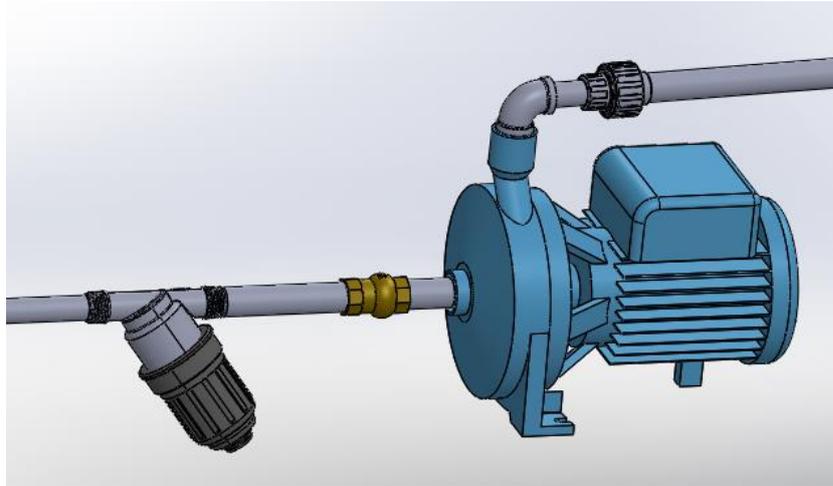


Ilustración 5-4: Diseño para la instalación de la bomba centrífuga de 0.5HP

Realizado por: Jurado C. 2022

4.4. Evaluación de costos de instalación

4.4.1. Costos directos

Son aquellos costos que se pueden identificar o cuantificar plenamente con los productos terminados, como, por ejemplo, los materiales directos y la mano de obra directa destinados a la fabricación del producto.

- *Costo de materiales*

A continuación, se detalla los materiales que se empleó para la instalación con sus respectivos costos.

Tabla 3-4: Costos de materiales

Cantidad	Descripción	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
1	Bomba APm37 de 0.5 HP	120	120
1	Filtro de cartucho ½ pulgada	25	25
6	Válvula de bola ½ pulgada	4.60	27.6
3	Reducción de 1 pulgada a ½ pulgada	2	6
2	Reducción de ¾ pulgada a ½ pulgada	2.5	5
1	Reducción de 2 pulgadas a ½ pulgada	3	3
1	Válvula check de ½ pulgada	6	6

4	Paneles solares de placa plana	218	872
8	Uniones universales de ½ pulgada	0.80	6.4
6	Uniones universales de ¾ pulgada	1.20	7.2
5	Tubo roscable 1/2"x6mts c-pvc agua caliente	9.60	48
1	Tubo roscable 3/4"x6mts c-pvc agua caliente	14.01	14.01
11	Codos de 90° de ½ pulgada	0.60	6.6
4	Codos de 90° de ¾ pulgada	0.80	3.2
8	Unión neplo perdido ½ pulgada	0.45	3.6
2	Cinta PTFE (teflón)	1.8	3.6
1	Pega para tubo roscable	7.30	7.30
1	Estructura soporte para 4 paneles solares	250	250
1	Controlador PID REX-c100	75	75
1	Relé de estado sólido SSR 40A	28	28
2	Sensor de temperatura tipo K	17	34
1	Disipador metálico para relé SSR 40A	4	4
		Subtotal	\$ 1486.9

Realizado por: Jurado C. 2022

- **Costo de mano de obra, equipos y herramientas**

En costo de mano de obra se toma en cuenta sueldo para trabajadores que se desempeñan.

Tabla 4-4: Costo de mano de obra.

Cantidad	Descripción	Días/hombre	Costo/día (\$)	Total (\$)
1	Técnico plomero (fontanero)	2	30	60

Realizado por: Jurado C. 2022

Se considera el costo de los diferentes equipos y herramientas que se ha empleado en la instalación

Tabla 5-4: Costos de equipos y herramientas

Horas	Descripción	Costo/hora (\$)	Total (\$)
5	Soldadora	4	20
3	Amoladora	3	9
16	Herramientas menores	0.5	8
		Subtotal	\$ 37

Realizado por: Jurado C. 2022

- **Costos por transporte**

Se toma en cuenta el desplazamiento hacia el lugar de trabajo.

Tabla 6-4: Costos de transporte

Descripción	Valor (\$)
Transporte	\$ 50

Realizado por: Jurado C. 2022

- *Costo directo total*

Para obtener el costo total directo se debe sumar los valores obtenidos anteriormente.

Tabla 7-4: Costo directo total.

Descripción	Valor (\$)
Materiales	1486.90
Equipos y herramientas	37.00
Mano de obra	60.00
Transporte	50.00
Total, costos directos	\$ 1633.9

Realizado por: Jurado C. 2022

4.4.2. *Costos indirectos*

Son los costos que no se pueden identificar o cuantificar plenamente con los productos terminados.

Tabla 8-4: Costos de indirectos

Descripción	Cantidad (% CD)	Valor Total (\$)
Ingenieriles	4%	65.36
Imprevistos	1%	16.34
	Total, costos indirectos	\$ 81.7

Realizado por: Jurado C. 2022

4.4.3. Costo total

Tabla 9-4: Costos totales

Descripción	Valor total (\$)
Costos directos	1633.9
Costos indirectos	81.7
TOTAL (\$)	\$ 1715.6

Realizado por: Jurado C. 2022

4.5. Evaluación de costos de operación

Se evalúa el costo de los galones de diésel que se consume cuando funciona este sistema para calentar la piscina. Considerando que costo por galpón de Diésel es de 1.75 dólares según la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables Junio del 2022.

Tabla 10-4: Costos de operación

	Diario		Semanal		Mensual		Anual	
	Galones	Costo	Galones	Costo	Galones	Costo	Galones	Costo
Sin paneles solares	8,98	\$15,72	26,94	\$47,15	107,76	\$188,58	1293,12	\$2.262,96
Con paneles solares	5,86	\$10,26	17,58	\$30,77	70,32	\$123,06	843,84	\$1.476,72
Ahorro	3,12	\$5,46	9,36	\$16,38	37,44	\$65,52	449,28	\$786,24

Realizado por: Jurado C. 2022

Costo de instalación es de 1715.6 dólares y el ahorro aproximado es 786.24 dólares anuales. Para recuperar la inversión del sistema solar térmico se necesita aproximadamente dos años y dos meses.

4.6. Automatización del sistema solar térmico

Se coloca un controlador de temperatura PID REX-C100 el cual activa o desactiva una bomba de agua de 0.5 Hp. Se necesita un relé de estado sólido SSR 40A y dos termocuplas tipo K una en la entrada y otra en la salida del agua de los paneles solares.

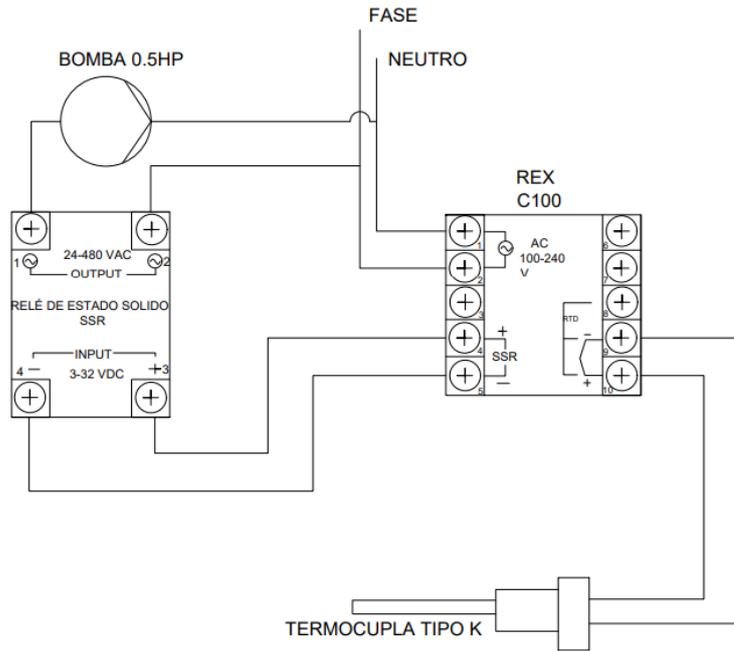


Ilustración 7-4: Diagrama eléctrico PID REX-C100 y SSR 40A
 Realizado por: Jurado C. 2022



Ilustración 8-4: Instalación PID REX-C100 y SSR 40A
 Realizado por: Jurado C. 2022

P&ID del sistema complementario de calentamiento solar de 4 paneles de placa plana.

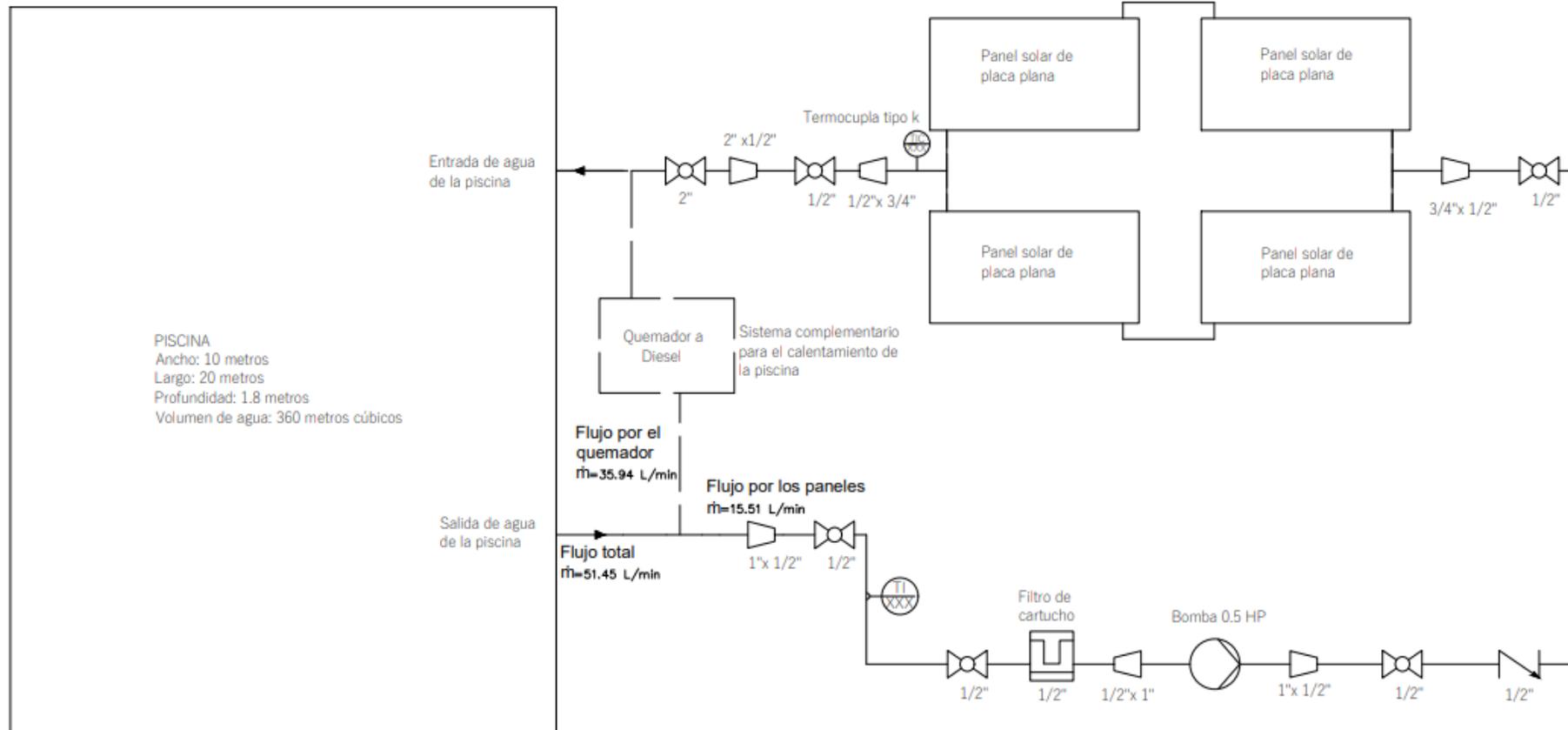


Ilustración 9-4: P&ID
Realizado por: Jurado C. 2022

Finalmente se procede a la instalación total del sistema solar térmico.

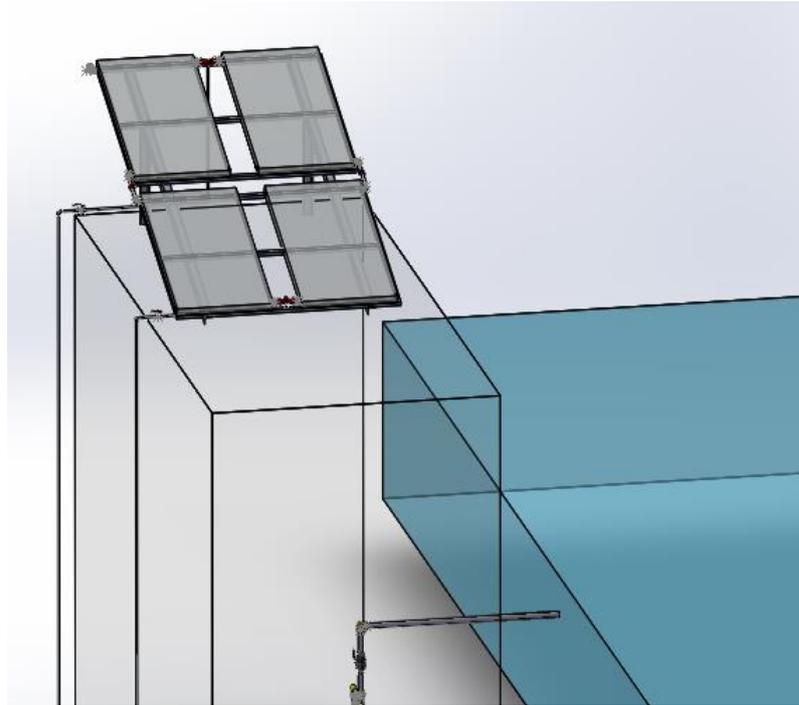


Ilustración 10-4: Diseño total del sistema solar térmico de placas planas

Realizado por: Jurado C. 2022



Ilustración 11-4: Instalación total de sistema solar térmico de placas planas

Realizado por: Jurado C. 2022

CONCLUSIONES

- Por medio de análisis comparativo de alternativas de colectores solares, se establece que la mejor opción para implementar en la piscina ubicada en Baños de Agua Santa de la provincia de Tungurahua es colectores solares de placa plana.
- Mediante el análisis de las necesidades y requerimiento se diseña el sistema complementario para el calentamiento de agua de una piscina de 360 metros cúbicos, que permite elevar la temperatura del agua con la utilización de energía solar que es gratuita y renovable. Con el propósito de disminuir el consumo de combustibles fósiles y ayudar a la contaminación ambiental.
- Mediante cálculos se determina que se necesita 12 colectores solares de placa plana para compensar las pérdidas de calor en la piscina, por factor de costo se implementa 4 colectores que puede calentar 15,51 L/min de agua que representa aproximadamente el 30% y por lo cual, el 70% (35.936 L/min) continúa su calentamiento con el sistema a diésel ya existente.
- Para que el sistema funcione sin la necesidad de un operador se automatiza mediante un controlador de temperatura PID REX-C100, se coloca una termocupla en la entrada y otra en la salida del agua de los colectores solares. Cuando la temperatura en la termocupla de la salida marca 40 °C se activa una bomba de 0.5 HP para circule agua y baje la temperatura.
- La disminución de consumo de Diésel teóricamente es de 3.12 galones diarios, este ahorro va a depender directamente de las condiciones climáticas y va a fluctuar drásticamente cada día, el ahorro mensual mediante cálculos es de 37.44 galones y experimentalmente en el mes de abril resulto un ahorro de 25 galones, el mes analizado fue un mes parcialmente nublado y el ahorro disminuyo.

RECOMENDACIONES

- Extrapolando este sistema de calentamiento solar a otras piscinas, se debe tomar en cuenta la temperatura ambiente. Para que no existan pérdidas de calor excesivas se sugiere que sea en un ambiente cerrado y controlado, porque el costo de operación para calentar el agua será menor. Para piscinas al aire libre antes de invertir en un calentador solar se recomienda instalar una cubierta para que la temperatura ambiente permanezca lo más estable posible.
- El controlador de temperatura se debe programar a una temperatura a la cual la bomba no se active excesivamente, porque si se mantiene activa la bomba por mucho tiempo el ahorro de combustible cambia a consumo de electricidad y no habrá algún ahorro económico. Y tampoco se puede programar a una temperatura alta porque los usuarios pueden sufrir quemaduras al estar en contacto con el agua en la salida, bajo norma se recomienda no pasar la temperatura de 55°C.
- Para instalar tuberías, juntas, filtro, válvulas, etc. Instalar bajo la norma NTE INEN 2955 para colocarlas de manera correcta y evitar fugas de agua.
- La ubicación para los colectores solares debe ser en un lugar donde no tenga sombra, para que reciba la mayor cantidad de sol, se sugiere que sea en un lugar alto como el techo de una casa o un lugar despejado. Si no existen lugares factibles para instalar se debe construir una estructura para colocarlo, esto eleva el costo de la instalación.
- Cuando se encuentre en operación el sistema solar térmico se debe dar mantenimiento constantemente, uno de los mantenimientos más requeridos es la limpieza del vidrio de los paneles solares porque se acumulan de polvo y suciedad que disminuye su rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS, OLIVA. Investigadores diseñan calentador solar más eficiente y económico. [En línea] marzo de 2012. [Consulta: 20 junio 2016]. Disponible en: <http://www.teorema.com.mx/cienciaytecnologia/investigadores-disenan-calentador-solar-mas-eficiente-y-economico/>.

BARAGOZZA BASTIDAS, Edison & RISCO DE LEÓN, Juan. Diseño de un Colector Solar Cilíndrico Parabólico y Construcción de un Prototipo. [En línea] Corporación Universitaria Tecnológica del Volívar, Facultad de Mecánica. Cartagena, Colombia. 2002. pp. 177-179. [Consulta: 14 marzo 2017]. Disponible en: biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0001057.pdf

BENAVIDES SALCEDO, Enrique Santiago. Diseño y construcción de una cocina solar experimental de tipo cilíndrico parabólico con aplicación al sector rural marginal. Escuela Superior Politécnica del Ejercito, Sangolquí, Ecuador. 2006. pp 80-84

BUDYNAS, Richard & NISBETT, Keith. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Octava ed. Mexico, McGraw-Hill, 2008. pp. 23-27.

CABANA, Wilson, et al. Análisis del comportamiento térmico de un tubo de vacío para el calentamiento de agua . [En línea] Arequipa. [Consulta: 01 julio 2017]. Disponible en: <http://perusolar.org/16spesponencias/ANALISIS%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20TERMICO%20DE%20UN%20TUBO%20DE%20VACIO%20PARA%20EL%20CALENTAMIENTO%20DE%20AGUA.ppt>.

CENGEL, Yunus. Termodinámica. 3a ed. Mexico : Mc Graw Hill, 2010. pp. 17 - 27.

CENGEL, Yunus & GHAJAR, Afshin. Transferencia de Calor. 4a ed. Mexico, McGraw- Hill, 2011. pp. 700 - 708.

DIAZ, Felipe. Diseño de elementos de máquinas. Cuautitlán, Mexico. 2011. pp 34-37

ECHAZÚ, CADENA & SARAIVIA. Estudio de Materiales Reflectivos para Concentradores Solares. [En línea]. Buenos Aires, Argemtima. [Consulta: 14 enero 2017]. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2000/2000-t008-a003.pdf>

ECHEVERRÍA LÓPEZ, César Antonio. Diseño de un colector cilíndrico parabólico compuesto con aplicación para el calentamiento de agua. Universidad de Piura. Facultad de

Ingemiería. Piura, Perú. 2011.pp 87. Disponible en:
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1389/IME_159.pdf.

ECO SOLAR. Paneles solares - Estructura [En línea] Guadalajara, Mexico. 2016. [Consulta: 17 febrero 2017]. Disponible en: <http://gunicornio.ecosolar1.com/cgi-bin/md/M10012/s1.pl>.

ECUASUN. Calentadores Solares. [En línea] 2016. [Consulta: 19 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.ecuasun.com/galeria>.

ENERGÍA SOLAR. Energía Solar. [En línea] .2015. [Consulta: 19 diciembre 2016]. Disponible en: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/alta-temperatura>.

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. Energía e Impacto Ambiental. [En línea]. 2010. [Consulta: 24 diciembre 2016]. Disponible en: <https://energiaunam.wordpress.com/2010/03/04/energia-solar-termica-parabolicarojas-garica-michael-jossue/>.

FADISEL. Cocina solar reflector parabólico [En línea] 2014. [Consulta: 18 agosto 2016]. Disponible en: http://fadisel.es/solar-fadisol/cocinas-y-hornos/cocina-solar-reflector-parabolico-de-2-5-m-2-c-1011_r_483_2261.aspx.

HALL, HOLOWENCO Y LAUGHLIN. Diseño de máquinas. Mexico, McGraw-Hill, 1971.pp 1-3

HERNÁNDEZ ECHEVERRÍA, Yoshito. Diseño de un concentrado solar de geometría paraboidal portátil .Universidad tecnológica de la Mixteca. Oaxaca, Mexico. 2012. pp 24

HOLMAN, J.P. Transferencia de Calor. 8va ed. Madrid, España. McGrawHill. 1999. pp. 5.

IBARRA SALAZAR, Byron Alejandro & ROJAS PACHECO, Franklin Javier. Diseño y construcción de un prototipo de colector solar parabólico giratorio de mediana temperatura. Quito, Ecuador. 2012. pp 44

INCROPERA, Frank & DEWITT, David. Fundamentos de Transferencia de Calor . Mexico. Prentice Hall. 1990. pp 70

JIMÉNEZ ARIAS , Hernán Santiago & PORTALANZA MOLINA, Narcisa. Estandarización de Sistemas de calentamiento de agua con Energía Solar en la ciudad de

Riobamba. [En línea] . Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Mecánica. Riobamba, Ecuador.2009. pp. 32. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/269/1/15T00417.pdf>

LUREIRO, Mario. Energía Solar Térmica. [En línea] 2011. [Consulta: 19 octubre 2016].
Disponible en:
<http://www.marioloureiro.net/ciencia/EnerSolarTermica/SolarPROCESOSTERMO/Solar3%20.pdf>.

McCORMAC, Jack y CSERNAK, Stephen. Diseño de estructuras de acero. 5a ed. Mexico. Alfaomega. 2012. pp. 42.

MECANICAN. Sistemas de poleas con correa. Sistemas de engranajes con cadena. [En línea] 2017. [Consulta: 19 marzo 2017]. Disponible en:
<https://mecanican.wikispaces.com/9.+Sistemas+de+poleas+con+correa.+Sistemas+de+engranajes+con+cadenacadena>.

MEJÍA , Albert & REYES, Carlos. Selección y Análisis numérico de un recipiente a presión de 600 FTm³ de capacidad . Instituto Politécnico Nacional. Mexico. 2008. pp. 87.

MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. Mexico, Prentice-Hall. 2006, pp. 3 - 4.

NAHLE SABAG, Nasif. Radiación solar en la capa exterior de la Atmósfera Terrestre y sobre la Superficie Terrestre (Suelo y Océano). Nuevo León, Mexico. 2011.

NASA SURFACE METEOROLOGY AND SOLAR ENERGY. Atmospheric science data center. [En línea] 2016. [Consulta: 11 julio 2016]. Disponible en:
<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=1.674347&lon=78.648294&submit=Submit>.

ORBEA SAMANIEGO, Edison Gustavo & SILVA BRAVO, Jorge Luis. Ingeniería inversa y repotenciación para la optimización, toma de datos y control del colector cilíndrico parabólico de 7,2 m². Escuela Superior Politécnica del Ejército. Facultad de Mecánica. Sangolquí, Ecuador. 2014. pp. 80.

PAREDES, Carmen. Diseño de Captador Solar Cilindrico Parabólico para aplicaciones Rurales en Paraguay. [En línea] Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. 2012. pp. 31-34. Disponible en: http://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf.

POLO BRAVO, Carlos & SACARI SACARI, Elisban. Evaluación experimental de un Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico. [En línea]. Ciencia y Desarrollo, vol 13 Tacna, Perú 2011. pp. 48-49. Disponible en: <http://www.perusolar.org/16-spes-ponencias/EVALUACION%20EXPERIMENTAL%20DE%20UN%20CONCENTRADOR%20SOLAR%20CILINDRICO%20PARABOLICO.pdf>.

SERRANO GARCÍA, Daniel. Cálculo, Diseño y Análisis de una central termosolar de Colectores Cilíndricos-Parabólicos operando con Sales Fundidas. Leganés, España. 2012. pp. 40.

VARGAS BAUTISTA, Juan Pablo, et al. Implementación de un sistema de calefacción solar térmico: Análisis energético y económico. La Paz, Bolivia. 2016. pp. 12.

WILLIAMSON, Laura. Reporte de la situación actual de las energías renovables. [En línea]. 2015. [Consulta: 12 septiembvre 2016]. Disponible en: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/2016_GSR-press-release_

BÁEZ, E.; BERMÚDEZ, B.; NICOLÁS, A. Convección natural en medios porosos y libres: simulación numérica. Revista mexicana de física, 2004, vol. 50, no 1, p. 36-48

ABAD SÁNCHEZ, César Eduardo. Estudio de las condiciones de abastecimiento de agua potable en la comunidad de La Palma parroquia Lligua del cantón Baños de Agua Santa para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. 2012. Tesis de Licenciatura.

FERNANDEZ, P. Transferencia de calor. 2015.

GARCÍA-LEÓN, Ricardo Andrés; FLÓREZ-SOLANO, Eder Norberto; ESPINEL-BLANCO, Edwin. Conductividad térmica de polvos de arcillas utilizadas en la industria cerámica de Ocaña Norte de Santander y la región. Revista Ingenio, 2017, vol. 13, no 1, p. 29-37.

WARK, Kenneth, et al. Termodinámica. Madrid, Spain: McGraw-Hill, 2001.

HIDALGO CRUZ, Alexis Jesús; MORALES JARAMILLO, Darío Fernando. Diseño y construcción de un equipo para la determinación de pérdidas de carga por fricción en tuberías y

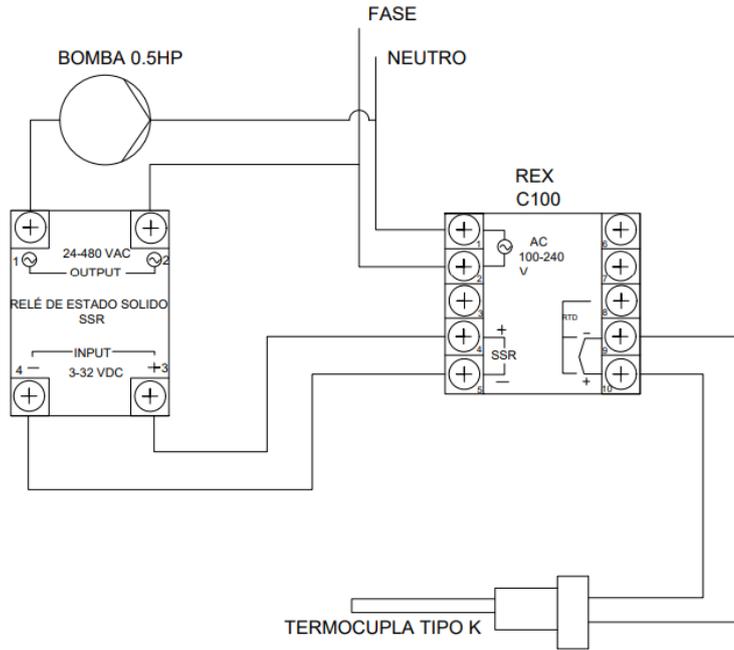
en accesorios, para el Laboratorio de Hidráulica de la facultad de Ingeniería de la PUCE. 2019. Tesis de Licenciatura. PUCE-Quito.

HERRERA BARROS, Vanessa Catalina, et al. Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa. 2011. Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.

CRIOLLO CUMBE, Adrián Vicente; POGO GUAMÁN, Álvaro Miguel. 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. 2011. Tesis de Licenciatura.

ANEXOS

ANEXO A: DIAGRAMA ELÉCTRICO



ANEXO B: PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE BAÑOS DE AGUA SANTA

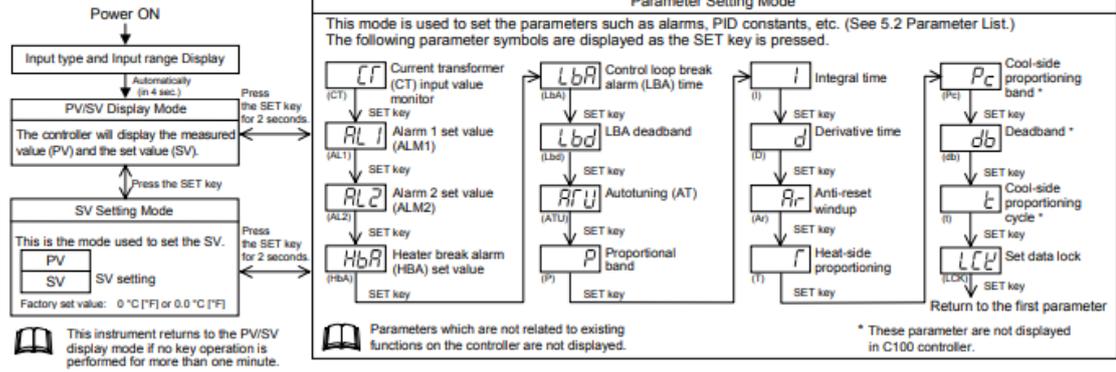
Información de categorías de consumidores								
Identificación de categoría de consumidores al interior de cada categoría Residencial (Ej. Residencial urbana, residencial rural, discapacitados, tercera edad, Especial, etc.)			Identificación de categoría de consumidores al interior de la categoría No residencial (Ej. Comercial; Industrial; Oficina; Público, etc.)					
RESIDENCIAL			NO RESIDENCIAL					
Categoría Residencial	Número de consumidores en el último mes del periodo	DETALLE consumidores DEL PRESTADOR EN EL SECTOR RURAL			Categoría	Número de consumidores en el último mes del periodo	Categoría	Número de consumidores en el último mes del periodo
		No. de consumidores SOLO RURAL Año -3	No. de consumidores SOLO RURAL Año -2	No. de consumidores SOLO RURAL Año -1				
Escribe aquí subcategoría 1	6451				Comercial	1395	Oficial	35
Escribe aquí subcategoría 2	0	0	0	0	Escribe aquí subcategoría	261	Escribe aquí subcategoría	0
Escribe aquí subcategoría 3	0				Productiva	0	No productiva	0
Escribe aquí subcategoría 4	0				Escribe aquí subcategoría	0	Escribe aquí subcategoría	0
Escribe aquí subcategoría 5	0				Escribe aquí subcategoría	0	Escribe aquí subcategoría	0
Escribe aquí subcategoría 6	0							
Escribe aquí subcategoría 7	0							

SECCIÓN II												
Información de número de consumidores y consumos por bloque de consumo												
CONCEPTO	CATEGORÍA RESIDENCIAL				CATEGORÍA NO RESIDENCIAL							
	Residencial				Productivas				No productivas			
	Año -3	Año -2	Año -1	Año 0	Año -3	Año -2	Año -1	Año 0	Año -3	Año -2	Año -1	Año 0
Número total de consumidores de Agua Potable (AP) con micromedición por bloque de consumo en el último mes del periodo												
SIN CONSUMO (CONSUMO CERO)	1,294	1,354	1,348	1,345	285	332	254	462	7	4	2	3
Desde 1 m3 hasta 25m3	1,087	1,153	1,185	1,180	700	935	755	738	2	5	9	8
11 m3 hasta 25 m3	1,366	1,340	1,310	1,416	327	335	334	332	5	5	4	4
26 m3 hasta 40m3	513	433	560	483	299	231	281	324	20	18	20	20
41 m3 y más	549	293	448	436								
Consumo total anual en m3/año de Agua Potable (AP) consumidores con micromedición												
Desde 1 m3 hasta 10m3	63,507	65,062	68,382	40,040	103,229	114,537	82,540	49,181	650	699	972	624
11 m3 hasta 25 m3	346,487	348,469	284,881	139,753	144,186	152,820	135,824	75,656	1,938	1,962	1,212	868
26 m3 hasta 40m3	236,782	227,764	345,550	390,928	613,398	517,450	457,824	346,747	42,155	38,643	40,052	26,375
41 m3 y más	502,014	369,365	521,206	395,179								
Número total de consumidores de Alcantarillado (Saneamiento Ambiental) en el último mes del periodo	3,968	3,941	4,720	4,663	1537	1584	1611	3630	35	32	35	35

Fuente: Unidad de Agua Potable y Alcantarillado

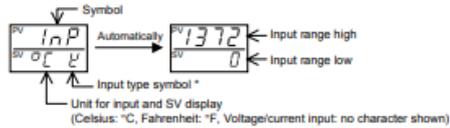
5. SETTING

5.1 Operation Menu



Input type and input range display

This instrument immediately confirms the input type symbol and input range following power ON. Example: When sensor type of input is K thermocouple.



* Input Type Symbol Table

Symbol	K	J	R	S	B	E	T	N	PL II	WSR6	W28Re	U	L	JPt 100	Pt 100	Voltage input	Current input
Input type	Thermocouple (TC)										RTD						