

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DE CALENTAMIENTO HÍBRIDO
PARA ALBERCA RESIDENCIAL**

TESINA

**ESPECIALISTA EN AHORRO Y USO
EFICIENTE DE LA ENERGÍA**

P R E S E N T A

Crystian Aldo Martínez Rivera

DIRECTOR DE TESINA

Sergio Quezada García



Ciudad Universitaria, Ciudad de México, noviembre de 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Lista de Figuras.....	3
Lista de Tablas.....	4
Introducción.....	5
Problemática.....	5
Justificación.....	6
Objetivos.....	8
Objetivo General.....	8
Objetivos específicos.....	8
1. Antecedentes.....	8
1.1 Clima.....	9
1.2. Descripción de la empresa.....	10
1.3. Descripción de las Instalaciones.....	11
1.3.1. Casa Andrea.....	11
1.3.2. Casa Blanca.....	13
2. Marco Teórico.....	14
2.1. Bombas de Calor.....	14
2.1.2. Funcionamiento de una bomba de calor.....	14
2.2. Análisis de la energía Solar.....	15
2.3. Colectores Solares.....	18
2.3.1 Colectores de polietileno de alta densidad.....	18
2.3.2. Colectores solares de cobre.....	20
2.3.3. Configuraciones hidráulicas para colectores.....	21
2.3.3.1 Conexión en paralelo.....	21
2.3.3.2 Conexión en serie.....	22
2.3.3.3. Conexión Mixta.....	23
2.4. Sistema Híbrido.....	24
3. Diseño Y Análisis Técnico del Sistema Híbrido.....	26
3.1. Identificación y valoración de las necesidades de calor.....	26
3.1.1. Análisis de aportes y pérdidas de calor en alberca al aire libre.....	28
Pérdidas por radiación.....	28

Pérdidas por evaporación.....	28
Pérdidas por convección	29
Pérdidas por conducción	29
Pérdidas por renovación de agua.....	30
Ganancias de calor solar	30
3.1.2. Análisis del generador de agua caliente.....	33
3.1.3. Análisis del sistema híbrido con bombas de calor.....	34
3.1.4. Análisis del sistema híbrido con colectores solares.....	34
4. Análisis Económico y Financiero	37
4.1 Costos asociados al uso del calentador con gas LP.....	37
4.2 Costos asociados al uso del calentador y colectores solares	38
4.3. Análisis financiero para la implementación del proyecto.....	40
5. Resultados	44
5.1. Conclusiones y recomendaciones	46
Bibliografía	47

Lista de Figuras

FIGURA 1 CARTA DE CLIMA DE MORELOS. ELABORADO CON BASE EN INEGI.....	9
FIGURA 2. FOTOS DEL INMUEBLE NOMBRADO CASA ANDREA.	11
FIGURA 3. SISTEMA HIDRÁULICO CASA ANDREA.....	12
FIGURA 4 GENERADOR DE CALOR, CONTROL Y DATOS DE PLACA DE CASA ANDREA.....	12
FIGURA 5 CONSTRUCCIONES CASA BLANCA	13
FIGURA 6 INSTALACIÓN HIDRÁULICA CASA BLANCA	14
FIGURA 7. CICLO DE CARNOT INVERTIDO	15
FIGURA 8. GRAFICA DE RADIACIÓN DE ONDA CORTA EN EL AÑO 2021 EN CUERNAVACA. ELABORADO CON BASE EN NASA POWER.	16
FIGURA 9 GRAFICA DE IRRADIANCIA EN EL AÑO 2021 EN CUERNAVACA. ELABORADO CON BASE EN NASA POWER.	16
FIGURA 10 COMPOSICIÓN DE UN COLECTOR DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD. OBTENIDA DE HTTPS://MASCENTIGRADOS.COM/COLECTORES-SOLARES-DE- POLIPROPILENO/	19
FIGURA 11 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE ALBERCA MEDIANTE COLECTORES SOLARES. ELABORACIÓN CON DATOS DE NOVEN	19

FIGURA 12 PARTES DEL COLECTOR SOLAR DE COBRE. OBTENIDA DE ENERGIASOLAR.LAT.	21
FIGURA 13 DIAGRAMA DE CONEXIÓN EN PARALELO DE COLECTORES SOLARES. ELABORACIÓN CON BASE EN NOVEM.	22
FIGURA 14 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE COLECTORES SOLARES EN SERIE. ELABORACIÓN CON BASE EN NOVEM.....	23
FIGURA 15 DIAGRAMA DE CONEXIÓN MIXTA DE COLECTORES SOLARES. ELABORACIÓN CON BASE EN NOVEM.....	24
FIGURA 16 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE SISTEMA HIBRIDO CON COLECTORES SOLARES Y GENERADOR DE AGUA CALIENTE. ELABORACIÓN CON BASE EN NOVEM.....	25
FIGURA 17 DIAGRAMA DE APORTACIONES Y PERDIDAS DE CALOR EN UNA ALBERCA. ELABORACIÓN CON BASE EN FORDECYT UNAM.	27
FIGURA 18 VISTA SUPERIOR CASA ANDREA.....	44
FIGURA 19 VISTA SUPERIOR CASA BLANCA	45

Lista de Tablas

TABLA 1. DATOS DE TEMPERATURAS EN LA CIUDAD DE CUERNAVACA MORELOS.....	10
TABLA 2 HORAS SOLARES PICO EN EL AÑO 2021	17
TABLA 3 ENERGÍA TOTAL REQUERIDA POR DÍA PARA CADA MES	32
TABLA 4 CANTIDAD DE GAS NECESARIO PARA CALENTAR LA ALBERCA.	33
TABLA 5 EFICIENCIA DEL COLECTOR SOLAR.....	35
TABLA 6 APORTE DE ENERGÍA PARA UN COLECTOR SOLAR.....	35
TABLA 7 APORTE DE ENERGÍA DE 16 COLECTORES SOLARES EN %.	36
TABLA 8 APORTE DE ENERGÍA DE 13 COLECTORES SOLARES EN % DEL TOTAL.	37
TABLA 9 COSTO DEL GAS LP DE UNA CASA PARA EL AÑO 2021.....	38
TABLA 10 LITROS DE GAS NECESARIOS PARA CUMPLIR CON LOS REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS USANDO CALENTADOR DE GAS Y COLECTORES SOLARES.	39
TABLA 11 LITROS DE GAS AHORRADO Y SU COSTO ASOCIADO.	39
TABLA 12 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE COLECTORES SOLARES.....	40
TABLA 13 FLUJOS DE EFECTIVO CON EL PROYECTO EN MARCHA.....	42
TABLA 14 FLUJOS DE EFECTIVO ANUALIZADOS.....	43
TABLA 15 PARÁMETROS FINANCIEROS.....	43

Introducción

El uso de nuevas fuentes de energía, así como el consumo eficiente de la energía no sólo permite mejorar el desarrollo y desempeño estratégico de las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMES), además fomenta el crecimiento de tecnologías aplicadas en ambos campos.

Este trabajo ayuda a demostrar como el uso de la energía solar como fuente térmica para calentamiento de agua, puede disminuir los costos operativos en empresas que requieren un acondicionamiento de este fluido. En la actualidad con la disminución en los costos de la tecnología que aprovecha esta fuente de energía, así como las mejoras en los materiales con los que están fabricadas hace que se tenga un mejor aprovechamiento de la energía, así como un funcionamiento más eficiente.

En el trabajo se abordan y comparan las diferentes tecnologías que existen para calentamiento de agua aplicadas principalmente al sector doméstico o semi industrial, en donde se hace un énfasis en tecnologías que aprovechan la energía solar, además de abordar alternativas que funciona con otro tipo de energía, como son el caso de las bombas de calor y los generadores de agua caliente, los cuales su uso es más común.

Al hacer un análisis cuantitativo y cualitativo para los casos de estudio de este trabajo, se encontró que la implementación de un sistema híbrido que funcione con dos tipos de tecnologías y fuentes de energía distintas son una buena opción para ser implementadas en empresas que requieran acondicionar el agua a cierta temperatura.

Los resultados indican que si ya se cuenta con una tecnología convencional ya instalada como es el caso de los generadores de agua caliente, el complementar o incluso apoyar, con una tecnología no convencional como son colectores solares, disminuye en gran medida el tiempo de operación de dichos generadores, además del combustible que consumen los mismos. Esta reducción impacta de manera directa en los costos operativos lo que representa un ahorro para las empresas.

Problemática

En la actualidad el uso de fuentes renovables de energía y la eficiencia energética cobran gran importancia, no sólo por los beneficios ambientales que estas actividades pueden provocar, sino también por los beneficios económicos que se pueden obtener a partir de su implementación. Una aplicación de la energía renovable es el calentamiento de agua, en donde se han desarrollado sistemas que usan energía solar térmica; además es posible aplicar medidas de uso eficiente de energía, para disminuir el consumo de energía producida a partir de combustibles fósiles o energía eléctrica para calentamiento.

El calentamiento de agua es utilizado en los diferentes sectores económicos, y en los últimos años el sector residencial se ha convertido en una opción de servicio de hospedaje, debido a ello el aumento en la necesidad de agua caliente, no sólo para la cocción de alimentos o la higiene personal, sino también en aplicaciones de recreación como en albercas, ha cobrado gran relevancia.

El sector residencial de alta gama o lujo, en donde cuentan con alberca, ha cobrado gran interés en el arrendamiento por temporada o fines de semana (Jimenez, 2023). Plataformas o aplicaciones se han convertido en un nicho de oportunidad para nuevos modelos de negocio para el arrendamiento o subarrendamiento. Debido a ello y en algunos casos, el acondicionamiento del agua en albercas se ha convertido en una problemática debido a los altos costos que genera. Por ello la implementación de sistemas de energía renovable y/o uso eficiente de la energía es un tema importante para poder brindar mejor servicio además de disminuir costos y aumentar las ganancias.

La empresa HS Rent S.A de C.V. opera como subarrendadora de inmuebles de lujo en la ciudad de Cuernavaca en el estado de Morelos, cuentan con dos inmuebles con alberca de dimensiones semejantes aproximadamente de 40 m³ cada una, dichas albercas se encuentran divididas en dos áreas de calefacción, área de jacuzzi y área de alberca, y éstas pueden ser operadas de manera independiente, es decir la calefacción se puede hacer solamente en una o ambas zonas al mismo tiempo.

Para realizar el acondicionamiento de agua y para cubrir la demanda para este tipo de servicio es necesario un alto consumo de combustible que en este caso es gas LP. Dependiendo de la zona que se desea acondicionar la caldera opera entre 1 hora y 8 horas diarias. Por esta razón la empresa tiene la iniciativa de implementar alternativas que disminuyan el alto consumo de combustible, así como el impacto económico que este ocasiona.

Justificación

Actualmente muchos de los sistemas instalados para calentamiento de agua de servicio en casas habitación ubicadas en zonas urbanas se emplea gas, ya sea Licuado de Petróleo (LP) o gas natural. En los últimos años los sistemas híbridos, donde se emplean dos o más fuentes de energía para realizar esta tarea, han cobrado mucha importancia (ANES, 2021), esto debido a que el costo de los equipos es más asequible; además que se ha impulsado su uso, con el objetivo de aprovechar las fuentes renovables de energía, como es el caso de la energía solar, además de utilizar los energéticos de manera eficiente.

Es importante explicar que la eficiencia energética y la utilización de energías renovables, son temas distintos, pero pueden coexistir e incluso complementarse, de manera general, la aplicación de eficiencia energética trata de aumentar el

aprovechamiento de los recursos, es decir, que por cada unidad de combustible sin importar de cual se trate, se pueda realizar la mayor cantidad de trabajo. Mientras que la utilización de energías renovables sólo supone un cambio de fuente energética o sustitución de fuente. De manera particular y para ambos casos el interés de la presente tesina pretende tomar ambos enfoques para satisfacer una necesidad, que en este caso es el calentamiento de agua.

Los equipos que normalmente se usan para calentamiento de agua de servicio en casas habitación son boiler, calentadores de paso y calderas, en caso de contar con albercas lo más común es emplear estas últimas.

De manera general el uso que se le da al agua de servicio es en regaderas, climatización de albercas y en algunos casos cuartos de vapor, para ello se requiere una gran cantidad de energía, la cual está en función de la masa de agua que se necesita calentar y la temperatura objetivo a la que se pretende llegar. En algunos casos, esta temperatura objetivo, está definida por normativas deportivas, como en la climatización de albercas de competición, como se verá más adelante.

Generalmente, para abastecer este tipo de servicios es necesario un elevado consumo de combustible de origen fósil, que como se mencionó casi siempre es gas, debido a ello, en México cada vez es más habitual el uso de tecnologías renovables como apoyo, como es el caso de los sistemas solares para el calentamiento de agua (ANES, 2021).

Dentro de los factores que promueven el uso de este tipo de sistemas destacan los siguientes:

- Existe un alto recurso solar en territorio mexicano ya que presenta valores diarios de radiación en un rango de 4.4 kWh/m² y 6.6 kWh/m² (UNAM, 2023).
- La Norma de aplicación voluntaria NMX-ES-001-NORMEX-2005 (SEGOB, 2023)
- Se impulso un programa nacional promoviendo los sistemas solares: PROCALSOL (Programa de Calentamiento Solar de Agua México) de 2007-2012, el cual evoca a los sectores: residencial, comercial y de servicios, agropecuario e industrial (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2024).

Con base a lo expuesto con anterioridad, es justificable el desarrollo de esta tesina, empleando un caso de estudio particular, se propone el diseño de un sistema de calentamiento híbrido para albercas residenciales, con el objetivo de cumplir con criterios de eficiencia energética, normatividad vigente en cuanto al uso de energía renovable, en particular la energía solar, para contribuir de esta manera con la disminución del uso de combustibles fósiles y, por lo tanto, la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de calentamiento de agua híbrido para dos albercas residenciales en la ciudad de Cuernavaca, que sean eficientes, ahorre costos de operación y que utilicen energía renovable.

Objetivos específicos

Determinar la mejor tecnología que se puede implementar en este tipo de proyectos, tomando en cuenta tiempos de operación y costos.

1. Antecedentes

En la actualidad no existe una norma mexicana que indique cual es la temperatura ideal para albercas de recreación, las cuales se analizan en el presente trabajo, Sin embargo, diversos proveedores de sistemas de acondicionamiento de agua indican que la temperatura en una alberca en donde se desarrollaran actividades de natación sea a nivel profesional o no, debe estar bajo el reglamento de la Federación Internacional de Natación (FINA) (worldaquatics, 2020).

El reglamento de la FINA indica que la temperatura ideal del agua para las competencias o entrenamientos, debe oscilar en un rango de 25°C a 28°C (worldaquatics, 2020). No obstante para el uso recreativo, la temperatura puede estar entre 28°C y 30°C y para el caso de las tinas de hidromasaje o jacuzzi lo ideal será 32°C a 35°C; sin embargo, es importante que la regulación de la temperatura permanezca lo más cerca posible a 32°C, ya que en este nivel, se considera que el agua de la alberca está muy caliente y los efectos del agua excesivamente caliente pueden ser dañinos para la salud ya que el incremento de la temperatura corporal, causa sudoración y deshidratación acelerada, incluso si se está bajo el agua. Si la sudoración es excesiva, afectará la movilidad, lo que causará espasmos, fatiga crónica y, en algunos casos, la muerte (Kassraie, 2023).

Los datos anteriores son de gran relevancia, porque son la base para realizar una propuesta de tecnologías que cumplan con los requerimientos energéticos. Alcanzar esta temperatura requiere gran cantidad de energía; por lo cual la evaluación, el dimensionamiento y la selección de la o las tecnologías adecuadas para alcanzar y mantener el agua en el intervalo ideal de temperatura, es esencial en el desarrollo de este trabajo, además de tomar en cuenta el cumplimiento de los criterios de eficiencia energética, la cantidad de energía requerida puede variar dependiendo el lugar, la hora del día y la estación del año.

1.1 Clima

Como se mencionó las casas se encuentran en el estado de Morelos en donde el clima que prevalece es cálido subhúmedo y se presenta en el 87 % de la superficie del Estado, el 11% es un clima templado húmedo, localizado al norte del Estado y el 2% está representado por clima templado subhúmedo, el cual se localiza hacia la parte noreste tal como se muestra en la **Figura 1** (INEGI, 2023).

La temperatura mínima promedio en Morelos, es de 10°C, se presenta en el mes de enero, la máxima temperatura promedio esta alrededor de 32°C, se presenta en los meses de abril y mayo, debido a lo anterior la temperatura media anual que se presenta en el estado es de 21.5 °C. (INEGI, 2023).



■ Cálido subhúmedo	87% *
■ Templado subhúmedo	2%*
■ Templado húmedo	11%*

*Referido al total de la superficie estatal.

Figura 1 Carta de clima de Morelos. Elaborado con base en INEGI.

Es importante mencionar que las dos casas estudiadas se encuentran en la localidad de Cuernavaca, en donde predomina el clima templado subhúmedo (ver **Figura 1**) y la temperatura en cada uno de los meses del año en la ciudad de Cuernavaca Morelos se muestra en la **Tabla 1** (WeatherChannel, 2023).

Tabla 1. Datos de temperaturas en la ciudad de Cuernavaca Morelos.

Mes	T max °C	T media °C	T min °C
Enero	26	18.5	11
Febrero	29	20.5	12
Marzo	31	22.5	14
Abril	33	24.5	16
Mayo	32	24	16
Junio	29	22	15
Julio	28	21.5	15
Agosto	27	21	15
Septiembre	27	20.5	14
Octubre	27	20.5	14
Noviembre	27	19.5	12
Diciembre	26	19	12
Promedio Anual	28.5	21.2	13.8

La temperatura máxima se alcanza de manera general entre las 12:00 y las 16:00 horas y la temperatura más baja entre las 3:00 y las 6:00 horas (WeatherChannel, 2023), esto es importante, ya que la temperatura de las albercas depende de la temperatura ambiente, a mayor temperatura ambiente la temperatura de la alberca es mayor y, por lo tanto, la cantidad de energía requerida para llegar a la temperatura objetivo es menor.

1.2. Descripción de la empresa

La empresa HS Rent S.A de C.V. es una empresa dedicada al subarrendamiento de inmuebles de lujo en la Ciudad de México y en el Estado de Morelos en su cartera cuenta con diversos inmuebles, los cuales se ofertan en distintas plataformas digitales.

El objetivo de este trabajo es analizar dos inmuebles específicos, los cuales se localizan en la localidad de Cuernavaca, Morelos, dichos inmuebles son de carácter residencial y la empresa los denomina de manera específica como Casa Blanca y Casa Andrea ambas residencias se localizan aproximadamente a 4.5 km y 2.2 km

respectivamente, del centro de Cuernavaca y el clima en ambas residencias es prácticamente el mismo.

1.3. Descripción de las Instalaciones

Como se mencionó las residencias que se estudian son Casa Blanca y Casa Andrea, a continuación, se describen las instalaciones de ambos inmuebles, principalmente, las que competen a este estudio.

1.3.1. Casa Andrea

El inmueble se localiza en la localidad de Tlaltenango, Cuernavaca, cuenta con un terreno de 710 m² aproximadamente, y una construcción de planta baja y dos niveles ubicada en un área estimada en 90 m², además de una pérgola de aproximadamente 16 m² y un área destinada a baños tipo balneario de 20 m² (ver **Figura 2**).



Figura 2. Fotos del inmueble nombrado Casa Andrea.

La alberca de casa Andrea es de aproximadamente 40 m³ dividida en dos áreas, alberca y jacuzzi, ambas áreas pueden ser operadas por el sistema hidráulico y el sistema de calefacción de manera independiente.

La instalación hidráulica fue realizada con tubería de PVC cedula 80 hidráulica en medida de 1 ½ pulgadas, la longitud de la tubería es de aproximadamente 10 m considerando la llegada y regreso del generador de calor, cuenta con válvulas tipo esfera para separar los flujos, del fondo de la alberca, fondo del jacuzzi y desnatadora. La bomba de recirculación es de 1 hp, conectada a un filtro para alberca Hayward modelo swimpro de 19 pulgadas previo a la entrada del generador de agua caliente (ver **Figura 3**).



Figura 3. Sistema Hidráulico Casa Andrea

Un generador de agua caliente es semejante a una caldera o generador de vapor, la diferencia radica en el cambio de fase del agua, mientras que en la caldera el agua se transforma en vapor y por lo tanto se requiere más energía y más cuidados para el buen funcionamiento del sistema, en un generador de agua caliente no existe este cambio de fase. Las características del generador instalado son las siguientes: Generador de la marca Mass-tercal modelo LL 400-C EI/10, con una capacidad 421,747.2 kJ/h, o 117.23 kW, opera con gas Lp y cuenta con un tablero de control de temperatura digital (ver **Figura 4**).



Figura 4 Generador de Calor, control y datos de placa de Casa Andrea.

1.3.2. Casa Blanca

El inmueble está localizado en la localidad de Buena Vista, Cuernavaca, cuenta con un terreno de 1100 m² aproximadamente, tiene tres construcciones, dos estilos cabaña de una sola planta y una construcción de planta baja y dos pisos. Las construcciones tipo cabaña constan de 40 m² de construcción y 25 m² cuadrados y a la construcción principal consta de 50 m². La alberca de casa Blanca es de aproximadamente 40 m³ dividida en dos áreas, alberca y jacuzzi, ambas áreas pueden ser operadas por el sistema hidráulico y el sistema de calefacción de manera independiente (ver **Figura 5**).



Figura 5 Construcciones casa Blanca

La instalación hidráulica fue realizada con tubería de PVC cedula 80 hidráulica en medida de 1 ½ pulgadas, la longitud de la tubería es de aproximadamente 10 m considerando la llegada y regreso del generador de calor, cuenta con válvulas tipo esfera para separar los flujos, del fondo de la alberca, fondo del jacuzzi, línea de aspirado y desnatadora. La bomba de recirculación es de 1.5 hp, conectada a un filtro para alberca Hayward modelo swimpro de 19 pulgadas previo a la entrada del generador de agua caliente (ver **Figura 6**).



Figura 6 Instalación hidráulica Casa Blanca

2. Marco Teórico

Información del Observatorio de Radiación Solar indica que México se ubica en el top cinco de países con mayor potencial de energía solar, sin embargo, debido a la diversidad climatológica de su territorio presenta grandes variaciones de disponibilidad, es importante conocer a detalle dicha diversidad, para aprovechar de manera adecuada el potencial de energía solar en cada lugar del territorio. (GasetaUNAM, 2022).

2.1. Bombas de Calor

Las bombas de calor son una tecnología que opera similar a un refrigerador, pero con un objetivo opuesto, su particularidad radica en que el calor fluye de una fuente de alta temperatura a una fuente de baja temperatura. El propósito de un refrigerador es conservar a baja temperatura un entorno; mientras que para una bomba de calor es conservar a alta temperatura un entorno, esto lo logra absorbiendo el calor de una fuente de baja temperatura y enviando calor al entorno, por ejemplo, al interior de una casa para mantenerla con una temperatura mayor a la fuente (tecnoverde, 2022).

2.1.2. Funcionamiento de una bomba de calor

El funcionamiento de una bomba de calor o un refrigerador es mediante un ciclo termodinámico conocido como ciclo invertido de Carnot o ciclo de refrigeración, en este proceso se emplea un fluido de trabajo conocido como refrigerante, que atravesará por varias etapas y cambios de fase durante el ciclo.

Las etapas del ciclo se explican de la siguiente manera, compresión (1), condensación (2), expansión (3) y evaporación (4) (ver **Figura 7**).

- En la etapa 1 el vapor entra al compresor ahí aumenta la presión y la temperatura, para entrar al condensador se debe contar con la presión necesaria requerida.

- En la etapa 2 el refrigerante ingresa como vapor sobrecalentado al condensador, el condensador separa el calor excedente del refrigerante para que al final de esta etapa el refrigerante sea líquido.
- En la etapa 3 el líquido (refrigerante) que sale del condensador pasa por una válvula de expansión o un tubo capilar, el objetivo de esta etapa es disminuir la presión y la temperatura del refrigerante, la presión debe ser baja para poder entrar a la siguiente etapa que es la etapa de evaporación.
- En la etapa 4 el evaporador absorbe el calor del espacio de baja temperatura para evaporar al refrigerante y este salga como vapor saturado entrando nuevamente al compresor y repitiendo el ciclo.

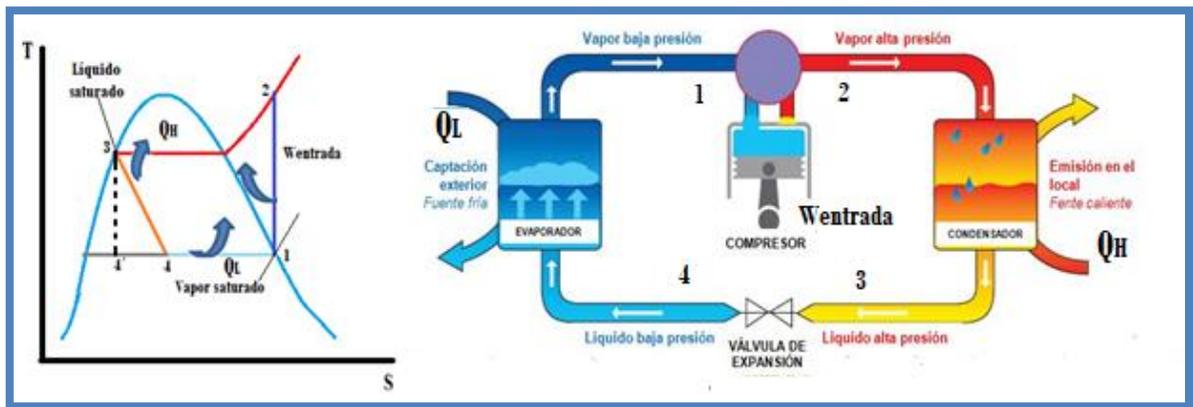


Figura 7. Ciclo de Carnot invertido

Para medir el desempeño de los refrigeradores y bombas de calor se utiliza el coeficiente de operación (COP) el cuál relaciona el efecto de enfriamiento o de calentamiento con el trabajo que suministra el compresor, es esencial que para las bombas de calor el COP debe ser mayor a 1, y para poder considerar una correcta eficiencia, debe alcanzar un COP de entre 2 y 6, dependiendo de la diferencia entre las temperaturas (interior o exterior).

2.2. Análisis de la energía Solar

El valor de la irradiación solar varía entre $1,338 \text{ W/m}^2$ y $1,386 \text{ W/m}^2$ (UNAM, 2023), y el valor sugerido por World Radiation Center (WRC) es $1,367 \text{ W/m}^2$, las diferencias en esta constante se deben a varios factores, entre los cuales está la inclinación terrestre, la órbita elíptica alrededor del Sol, la posición terrestre (altitud y latitud) (John A. Duffie, 2013).

Para nuestro caso de estudio los datos de radiación solar que inciden al norte del estado de Morelos donde se encuentra ubicada la capital Cuernavaca y es donde se encuentran ubicadas las dos residencias están contenidas en la **Figura 8** en donde claramente se observa en que meses existe una mayor radiación y en qué meses baja de manera significativa (NASAPOWER, 2022).

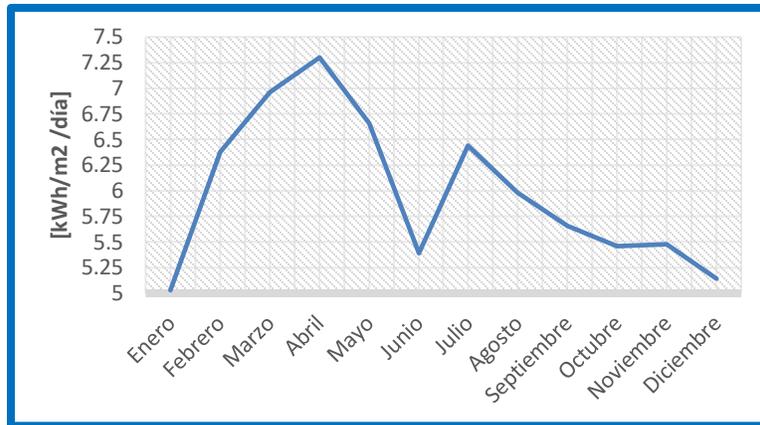


Figura 8. Grafica de Radiación de onda corta en el año 2021 en Cuernavaca. Elaborado con base en NASA POWER.

Es importante distinguir entre radiación solar y la irradiancia, ya que, la radiación solar es la cantidad de energía solar por unidad de área en un “día solar” y se mide en unidades de kWh/m²/día, por otro lado, la irradiancia es la potencia por unidad de área que puede proveer el Sol a la Tierra y, se mide en unidades de kW/m² (John A. Duffie, 2013). En la **Figura 9** se muestra la irradiancia en la ciudad de Cuernavaca, en la latitud y longitud en donde se encuentran las residencias (NASAPOWER, 2022).

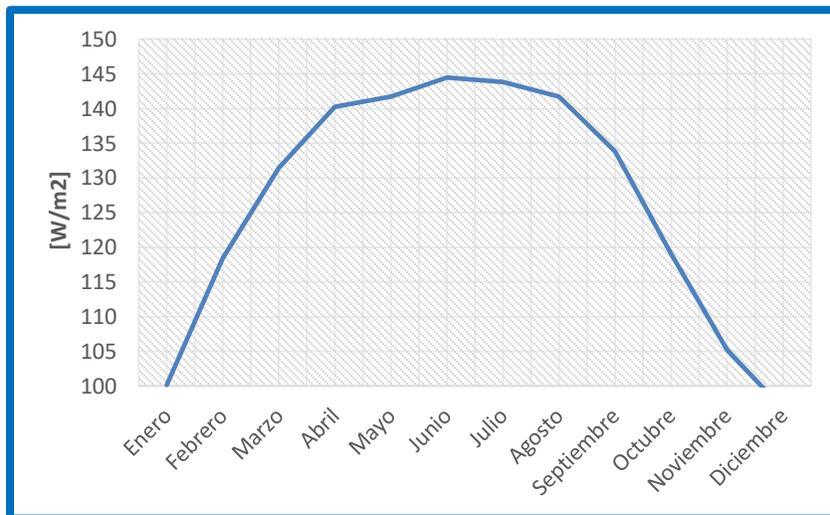


Figura 9 Grafica de Irradiancia en el año 2021 en Cuernavaca. Elaborado con base en NASA POWER.

Para entender cómo se relaciona la irradiancia con la radiación, el concepto, **horas solar pico (HSP)** es importante. Las HSP equivalen a un día solar debido a que un día solar representa las horas efectivas donde hay un aporte máximo de energía (UNAM, 2022). El Instituto de Geofísica de la UNAM ha realizado estudios para

determinar las horas efectivas del sol, (HSP), en donde una hora solar pico equivale a 1 kWh/m².

Así como el Instituto de Geofísica, existen múltiples bibliografías en donde citan los valores de estas horas picos para las diferentes ciudades en México, para la Ciudad de Cuernavaca se manejan valores entre 5.76 horas y 6.07 horas (NASAPOW, 2022) (UNAM, 2022), estos valores pueden variar de acuerdo al año, y al día, ya que la irradiancia depende de las HSP la irradiancia también lo hace.

De esta manera para obtener las HSP promedio para cada uno de los meses del año 2021 es necesario realizar el siguiente cálculo:

$$HSP = \frac{Radiación}{Irradiancia} \dots\dots\dots (1)$$

donde la radiación debe estar en Wh/m² /día, Irradiancia en W/m² y horas de Sol al día en h. De esta manera el cálculo para el mes de enero es:

$$HSP = \frac{5.03 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}} * 1000 \text{ W}}{1001.7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 5.021 \text{ h}$$

En la **Tabla 2** se muestran las HSP para cada uno de los meses para el año 2021.

Tabla 2 Horas solares pico en el año 2021

Mes	HSP h
Enero	5.02
Febrero	5.39
Marzo	5.30
Abril	5.21
Mayo	4.70
Junio	3.73
Julio	4.48
Agosto	4.22
Septiembre	4.23
Octubre	4.59
Noviembre	5.21
Diciembre	5.31

2.3. Colectores Solares

Los colectores solares son una tecnología que consiste en captar la energía solar térmica, esencialmente el funcionamiento de éstos es, que mediante una superficie se absorbe la energía solar y se transfiere a un fluido de trabajo. El fluido de trabajo puede ser aire, agua, aceites o refrigerantes (SOLARAMA, 2019). Básicamente el fluido de trabajo recorre una red de tubos que están hechos de algún material con un alto coeficiente de absorción, o en algunos casos solo cuentan con algún tipo de recubrimiento que ayuda a aumentar este coeficiente, estos tubos pueden estar soldados o pegados y el recubrimiento más simple que puede hacerse es con una capa de pintura negra, cuya absorptividad¹ puede alcanzar un cociente de 0.95 (Cengel, 2011).

Existen diversas aplicaciones para los colectores solares, estas pueden depender de factores como la temperatura objetivo y del tipo de fluido de trabajo que se use, algunas de sus aplicaciones pueden ser:

- Calentamiento de agua para uso doméstico.
- Calefacción de albercas.
- Secado de alimentos.
- Aplicaciones comerciales e industriales.

Para la climatización de albercas podemos encontrar dos tipos de colectores en el mercado, los colectores de cobre y los colectores de polietileno de alta densidad, cada uno tiene sus características, pero el fin es el mismo.

2.3.1 Colectores de polietileno de alta densidad

En este tipo de colector solar existe una serie de tubos en paralelo pegados en sus extremos a un tubo común, cada tubo al extremo es uno para la entrada y otro para la salida, la **Figura 10** muestra este reparto de tubos delgados con un radio pequeño que convergen en una tubería más grande, la meta es que el fluido de trabajo pueda cubrir toda la red y lograr la misma temperatura, además de conservar el caudal con el cual el fluido entra a los colectores (mascentigrados, 2020). También puede notarse que existen barras espaciadoras para mantener la misma distancia entre un tubo y otro (novem, 2018).

¹ Propiedad óptica del material para absorber el espectro UV-visible-NIR de la irradiancia solar incidente sobre la superficie terrestre. En forma más general, propiedad que tiene un material para absorber una fracción de la energía incidente sobre él.



Figura 10 Composición de un colector de polietileno de alta densidad. Obtenida de <https://mascentigrados.com/colectores-solares-de-polipropileno/>

Considerando el principio de Pascal, que indica que la presión aplicada en un fluido es la misma en todas las direcciones posibles dentro del mismo, en los colectores solares el fluido ingresa por la parte superior mediante inyección, una vez que la presión dentro del tubo de mayor diámetro es constante, la inyección del fluido en cada uno de los tubos de menor diámetro se lleva a cabo. (ver **Figura 11**).

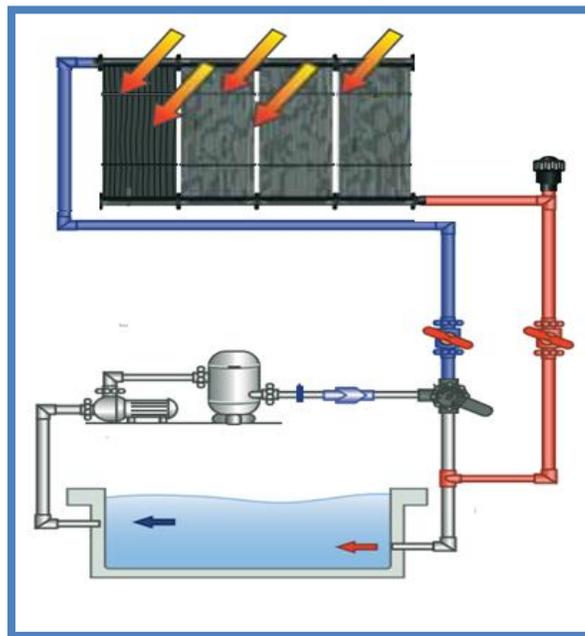


Figura 11 Descripción del funcionamiento de un sistema de calentamiento de alberca mediante colectores solares. Elaboración con datos de novem

De manera general, es habitual que este tipo de colector se instale de forma horizontal, paralela a la superficie en la que reposa (con una inclinación 0°) cubriendo un estándar en área de 3.85 m^2 y una capacidad de 11.7 litros por cada

colector. Para proveer la presión a toda la red de colectores se recomienda utilizar una bomba hidráulica independiente, debido a que el sistema está limitado en horas de operación al día, se hace la recomendación para no sobrecargar la bomba principal del sistema hidráulico de la alberca (novem, 2018).

2.3.2. Colectores solares de cobre

Los colectores de cobre brindan ventajas frente a los colectores de plástico, algunas de estas son, una mayor durabilidad, calentamiento más eficiente aun en zonas con viento, además de conservar por mayor tiempo la temperatura alcanzada. De manera general, su construcción consiste en un captador que se coloca en una carcasa rectangular, cuyas dimensiones habituales oscilan entre los .80 m y 1.20 m de ancho, los 1.50 m y 2.0 m de alto, y los .05 m y .10 m de espesor. La superficie expuesta al Sol está envuelta por un vidrio muy fino, mientras que las caras restantes generalmente son oscuras y están aisladas térmicamente.

Dentro de la caja, en la cara expuesta al Sol, se sitúa una placa metálica conocida como absorbedor, esta placa está unida o soldada a una serie de conductos por los que circula un fluido de trabajo (agua, glicol, o una mezcla de ambos). La placa tiene un tratamiento superficial selectivo para aumentar su absorción de calor, o en algunos casos simplemente se pinta de negro.

El colector solar plano está formado por 4 elementos principales que se ilustran en la **Figura 12**:

1. Carcasa: fabricada habitualmente en aluminio o acero inoxidable, sirve para proteger y soportar todos los demás elementos, proporcionando además puntos de anclaje y sujeción a la estructura de montaje. Debe ser capaz de resistir la corrosión, así como los cambios de temperatura (dilataciones), lo anterior sin perder la estanqueidad.
2. Aislamiento: es empleado para reducir las pérdidas térmicas en la parte opuesta del absorbedor, debe ser de baja conductividad térmica. Los materiales pueden ser lana de vidrio, lana de roca, corcho, polietileno o poliuretano.
3. Absorbedor: recibe la radiación solar y la convierte en calor que se transfiere al fluido de trabajo. Este puede estar compuesto de formas diversas: una placa metálica con tubos soldados o embutidos, placas metálicas separadas unos milímetros, o dos placas metálicas con un circuito en su interior.
4. Cubierta transparente: debe poseer las cualidades necesarias para provocar el efecto invernadero y reducir las pérdidas de calor.

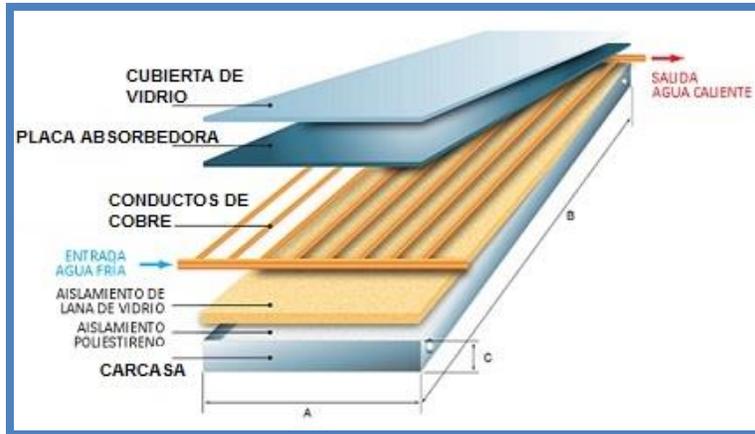


Figura 12 Partes del colector solar de cobre. Obtenida de energiasolar.lat.

2.3.3. Configuraciones hidráulicas para colectores

La configuración de los sistemas con colectores solares depende del tipo de arreglo, es decir depende de la manera en la que se van a instalar, esta instalación hace referencia a los modos de conexión de los circuitos eléctricos, paralelo, serie o mixto, cada una de las conexiones tiene ventajas y desventajas entre sí. A continuación, se presenta de manera explícita cada configuración y como influye en el resultado debido a la temperatura que se alcanza.

2.3.3.1 Conexión en paralelo

La configuración en paralelo presenta en todos los puntos de conexión entre paneles la misma temperatura del fluido tanto a la entrada del arreglo, como a la salida, y pareciera que el trabajo de calentamiento sólo lo hiciera un solo colector solar, el caudal se subdivide en cada colector conectado, pero la suma de todos los caudales es igual al caudal original cuando terminan en el mismo punto. En la **Figura 13** se muestra como los puntos de entrada y salida coinciden, este tipo de arreglo comúnmente es usado en sistemas donde se requiera una baja temperatura de calentamiento.

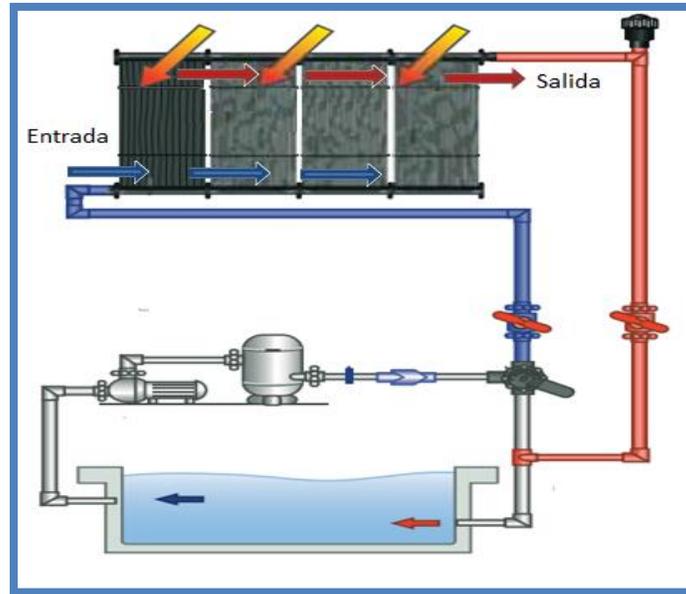


Figura 13 Diagrama de conexión en paralelo de colectores solares. Elaboración con base en novem.

2.3.3.2 Conexión en serie

En este tipo de conexión, el agua pasa por uno de los colectores y después se introduce en el siguiente. En el segundo colector el fluido entra a más temperatura que en el primero, y así sucesivamente, es por ello que en comparación a la configuración en paralelo se pueden conseguir temperaturas más altas. Sin embargo, este tipo de conexión desfavorece la productividad de los colectores, la cual va decreciendo entre más colectores se conecten en serie; por lo tanto, este tipo de conexión se recomienda de 6 m² a 10 m² de colectores conectados en serie dependiendo de la zona climática.

En la conexión en serie el comportamiento del caudal no disminuye, el caudal es el mismo a la entrada y salida de cada colector, y este caudal es igual al del sistema principal de la alberca. En la **Figura 14** se muestra la conexión de los colectores solares en serie, se eligió el color rosa para la salida de cada colector, y trata de indicar que la temperatura de salida del colector anterior es la temperatura con la que entra al siguiente.

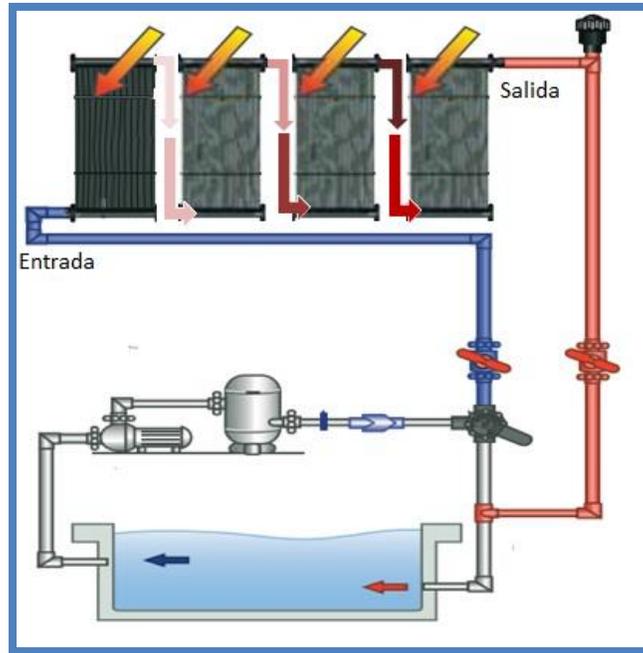


Figura 14 Diagrama de conexión de colectores solares en serie. Elaboración con base en novem.

2.3.3.3. Conexión Mixta

Este tipo de arreglo combina las propiedades de las dos anteriores, es la más utilizada debido a que proporciona mejor equilibrio entre temperatura y caudal, las propiedades de la conexión en paralelo al subdividir el flujo pueden hacer que se tenga el flujo nominal en cada colector y al combinarlo con la configuración en serie se puede elevar la temperatura, por esta razón la configuración mixta es la que más se recomienda, ya que de esta manera se asegura el máximo aprovechamiento del colector referente a su captación de energía (ver **Figura 15**).

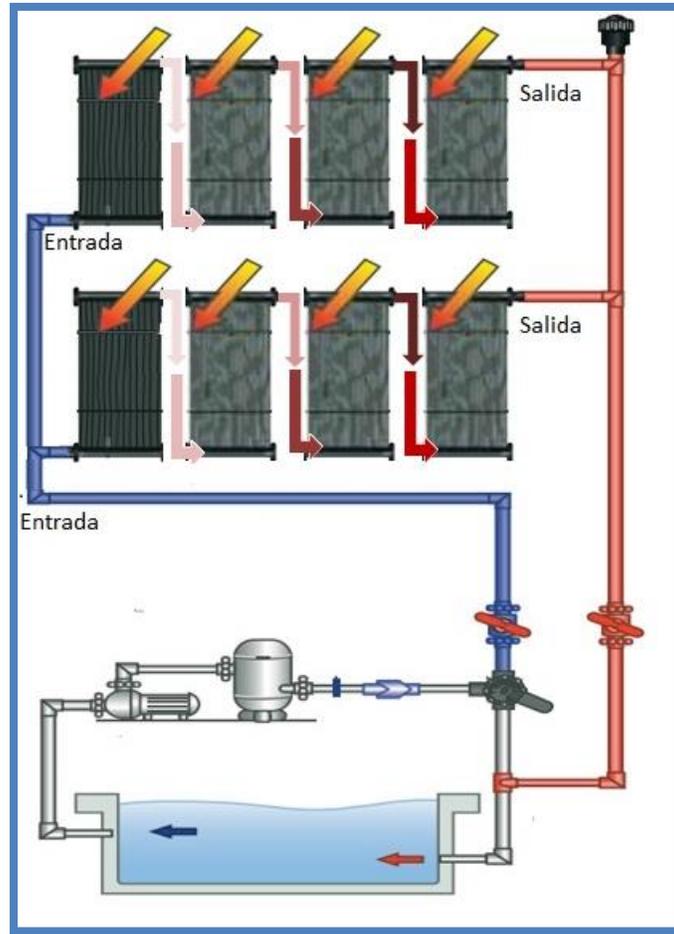


Figura 15 Diagrama de conexión mixta de colectores solares. Elaboración con base en novem.

2.4. Sistema Híbrido

Los sistemas híbridos son arreglos que combinan tecnologías o dispositivos para que cumplan con una misma tarea, pero con un principio de funcionamiento distinto, generalmente se consideran dos tipos de tecnologías una convencional y algún otro tipo de tecnología ya sea de mayor eficiencia o con algún tipo de energía renovable, esto con el objetivo de disminuir el consumo de combustible.

Dentro de las tecnologías convencionales para el acondicionamiento de agua están las calderas o generadores de agua caliente, los cuales generalmente usan combustible de origen fósil para suministrar calor a un fluido, mientras que la otra tecnología se usa para captar energía de una fuente renovable, como es la energía solar o el caso del uso de las bombas de calor, las cuales son una alternativa que no requiere del uso de combustibles fósiles, ya que funcionan con energía eléctrica.

Uno de los inconvenientes de las energías renovables radica en su capacidad para capturar energía, dado que depende de la disponibilidad de la fuente de energía. Por ejemplo, la energía eólica depende de que el viento tenga la velocidad suficiente para iniciar la captación de energía mecánica y convertirla en energía eléctrica. Otro de los inconvenientes es que la cantidad de energía obtenida de estas fuentes no es suficiente para considerar un cambio total de tecnología. Sin embargo, los combustibles poseen elevados niveles de contribución energética, por lo que se persigue la mezcla de ambas tecnologías con el fin de reducir el uso de combustibles y la producción de gases de efecto invernadero.

En la **Figura 16** se puede observar la operación fundamental de un sistema híbrido, que fusiona la tecnología tradicional (generador de agua caliente) con un sistema de absorción de energía solar (colectores de energía solar). El agua que proviene de la alberca es absorbida por el sistema de bombeo principal, luego atraviesa el filtro para finalmente entrar en los colectores solares. Al salir de los colectores solares, se introduce en el generador de agua caliente para luego regresar a la alberca.

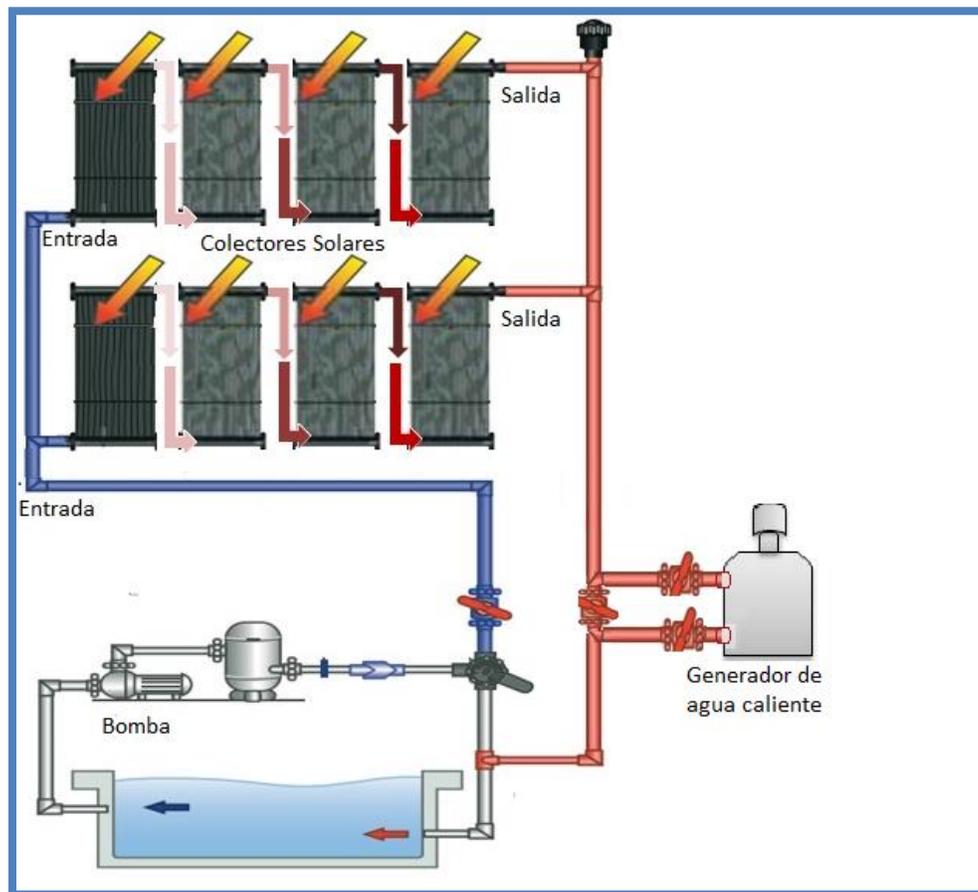


Figura 16 Diagrama de conexión de sistema híbrido con colectores solares y generador de agua caliente. Elaboración con base en novem.

Para mejorar el sistema se coloca una válvula de control entre el sistema de caldera y el sistema de paneles a modo de bypass, esta válvula tendrá la función de dejar pasar el agua directamente de los paneles hacia la alberca cuando ésta alcance la temperatura de entre 28°C y 30°C para la alberca y entre 32°C y 35°C para el jacuzzi, sino alcanza dicha temperatura la válvula enviara al fluido precalentado hacia la caldera para incrementar la temperatura hasta alcanzar la temperatura requerida por tanto se trata de un sistema de control para asegurar el mejor aprovechamiento de la energía térmica proveniente de ambas fuentes de calor.

3. Diseño Y Análisis Técnico del Sistema Hibrido

Para el dimensionamiento del sistema hibrido es necesario hacer las siguientes consideraciones:

1. Conocer la cantidad de energía que debe utilizarse para calentar el agua en un rango de 28°C a 32°C para la alberca y un rango de 32°C a 35°C para el jacuzzi, también se deben tomar en cuenta situaciones extremas, como la temperatura más fría registrada en un año inusual, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y poder satisfacer la demanda requerida.
2. Analizar la energía solar, dado que esta energía no siempre se encuentra accesible, depende del horario y hasta del periodo del año.
3. Evaluación de la tecnología que habitualmente se emplea para este propósito o que en este caso la ya instalada, (generador de agua caliente), también se analiza la tecnología bomba de calor como una opción para esta aplicación.
4. Evaluar pros y contras de cada tecnología para establecer cuál es la combinación más adecuada de tecnologías para formar el sistema híbrido.

3.1. Identificación y valoración de las necesidades de calor

Para conocer el calor necesario para acondicionar una alberca es necesario evaluar las ganancias y pérdidas de energía durante el día y la noche. Como se muestra en la siguiente imagen (**Figura 17**) existe aportación de calor y pérdidas del mismo debido a distintos factores, el balance de energía y las ecuaciones que lo representan está dado en el siguiente modelo matemático:

$$Q_T = Q_{sol} + Q_{fuentes\ Externas} - Q_{Perdidas} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_{Perdidas} = Q_R + Q_E + Q_C + Q_K + Q_{RV} \dots\dots\dots (3)$$

donde Q es el calor en kJ de cada una de las pérdidas o aportaciones.

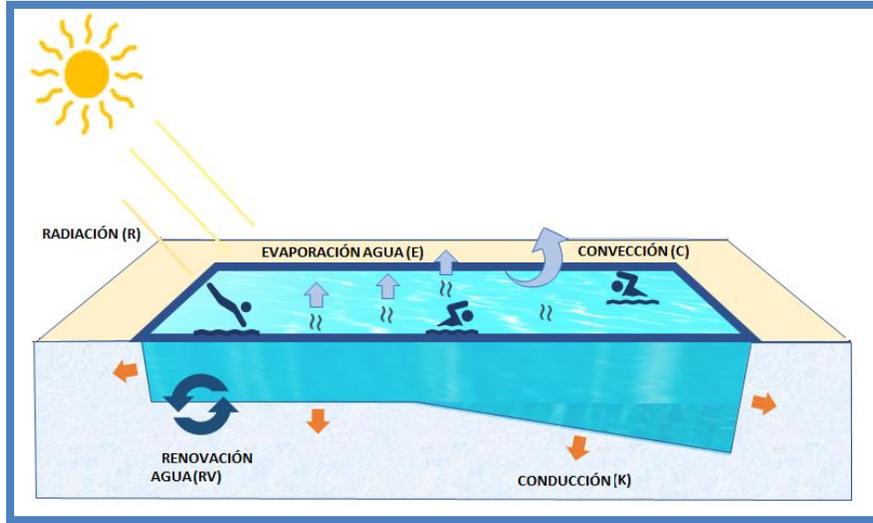


Figura 17 Diagrama de aportaciones y pérdidas de calor en una alberca. Elaboración con base en FORDECYT UNAM.

Además, para calcular el calor necesario para incrementar la temperatura, es necesario conocer el volumen de agua a calentar. En el caso de diseño, se toma en cuenta la temperatura más elevada que se debe lograr, sumado a la temperatura en el mes más frío del año. Con esto, se anticipa que el sistema pueda lograr la temperatura deseada sin ningún tipo de inconveniente.

Al tener un volumen de 40 m³ la masa de agua es de 38,208 kg, la densidad promedio del agua es de 995 kg/m³ a 32°C. La ecuación empleada para determinar la cantidad de masa es la siguiente.

$$m = \rho v \dots \dots \dots (4)$$

donde m es la masa en kg, ρ es la densidad kg/m³ y v es el volumen en m³.

Para calcular el calor se utiliza la ecuación 5, que está en función de la masa y del delta de temperaturas inicial y la final.

$$Q = m C_p \Delta T \dots \dots \dots (5)$$

donde m es la masa en kg, C_p es calor específico del agua 4.182 kJ/kg°C, ΔT es la diferencia entre las temperaturas ($T_2 - T_1$) en °C y Q es el calor en kJ.

La temperatura T_1 se tomó con base a los datos de la **Tabla 1**, la cual fue de 11°C registrada como la temperatura promedio más baja durante todo el año 2022 y la temperatura T_2 es a la cual se desea llegar que es 32°C. Sustituyendo los valores obtenidos del diseño en la ecuación 2 el resultado es el siguiente:

$$Q = (38,208 \text{ kg}) (4.182 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) (32^\circ\text{C} - 11^\circ\text{C}) = 3,355,502.976 \text{ kJ}$$

Se determina que la cantidad máxima de energía que se tiene que cubrir, es de 3,355,502.976 kJ o bien 3.35 GJ, esta cantidad de energía se debe de satisfacer según la ecuación (1), donde dependiendo las pérdidas y la aportación del Sol, la cantidad de energía resultante deberá ser cubierta por la fuente alterna de energía que se desee emplear, que para nuestro caso será el generador de agua caliente que ya está instalado y de manera alterna con los colectores solares.

3.1.1. Análisis de aportes y pérdidas de calor en alberca al aire libre

Considerando las pérdidas y ganancias de calor mostradas en la ecuación (2) de manera inicial se analizan las pérdidas como sigue:

Perdidas por radiación

Las pérdidas por radiación son con el intercambio de calor con la atmósfera, las cuales son mayores cuando menor es la temperatura ambiente. Para calcular las pérdidas de la superficie de la piscina por radiación, se utiliza la fórmula de Stefan-Boltzmann.

$$Q_R = S_{Alb} * \epsilon_a * \sigma * (T_{Alb}^4 - T_{amb}^4) \dots \dots \dots (6)$$

donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/ m}^2\text{K}^4$), ϵ es la emisividad del agua (0.95), T_{Alb} es la temperatura del agua de la alberca (32°C), T_{amb} es la temperatura ambiente (14°C) y S_{Alb} es la superficie de la alberca (24 m^2).

En nuestro caso:

$$Q_R = 24 \text{ m}^2 * 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4} * .95 * (305.15^4 - 287.15^4) \text{ K}^4$$

$$Q_R = 1.168 \text{ W} ; \text{ considerando el número de HSP, } Q_R = 4,206.134 \text{ kJ/día}$$

Pérdidas por evaporación

Cuando el agua de la alberca se evapora, se absorbe calor, lo que provoca un enfriamiento del agua residual de la piscina que no se evapora, o sea, se produce una reducción de la temperatura del agua. Así pues, a mayor evaporación, mayor será el enfriamiento que experimenta el agua, y consecuentemente, se incrementarán las necesidades para mantener la temperatura estable en la alberca. Para calcular las pérdidas por evaporación mediante el método del balance de energía se obtiene la ecuación:

$$\dot{Q}_{\text{evaporación}} = \dot{m}_{\text{evaporada}} \Delta h_{\text{cambio de fase}} \dots \dots \dots (7)$$

donde $\dot{m}_{\text{evaporada}}$ es la masa de agua que se evapora por unidad de tiempo y $\Delta h_{\text{cambio de fase}}$ es la entalpía de cambio de fase (de líquido a vapor) a la presión atmosférica la cual se puede obtener en tablas (h_{fg}).

Considerando como referencia el dato publicado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en el documento “Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuernavaca (1701), Estado de Morelos” existe una pérdida por evaporación en Cuernavaca de 874.7 mm anuales, equivalente a 2.396 mm al día (CONAGUA, 2015), considerando que la densidad del agua empleada en este texto es de 995 kg/m³, la pérdida de agua es de 2.384×10⁻⁶ kg/día. Para el dato de la entalpía de cambio de fase Δh se consideró de tablas, a la temperatura y presión de cambio de fase 100°C a 1 atm (2,257.0 kJ/kg).

Al sustituir en la ecuación 7 tenemos:

$$\dot{Q}_{\text{evaporación}} = 2.38 * 10^{-6} \text{ kg/día} * 2,257 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{\text{evaporación}} = .00538 \text{ kJ/día}$$

Pérdidas por convección

Estas pérdidas son causadas por el viento de la región geográfica. Las pérdidas se incrementarán a medida que aumenta la velocidad del viento, al igual que a medida que disminuya la temperatura del aire, tendremos pérdidas más significativas. Para calcular las pérdidas por convección utilizamos la siguiente ecuación:

$$Q_C = S_{\text{Alb}} * h * (T_{\text{Alb}} - T_{\text{amb}}) \dots \dots \dots (8)$$

donde T_{Alb} es la temperatura de agua de la alberca (32°C), T_{amb} es la temperatura de ambiente (14°C), S_{Alb} es la superficie de la alberca (24m²) y h es el coeficiente de transferencia de calor por convección (43.2 kJ/m²°C aire) referencia de ese coeficiente.

$$Q_C = 24 \text{ m}^2 * 43.2 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\text{°C}} * (32\text{°C} - 14\text{°C})$$

$$Q_C = 18,662.4 \text{ kJ}$$

Pérdidas por conducción

Estas pérdidas dependen de la arquitectura de la piscina y del coeficiente de transmisión térmica del material utilizado, debido a que se producirá una transferencia de calor entre el agua, las paredes y el fondo de la alberca, con la consiguiente disminución de la temperatura del agua de la alberca. Como ya se mencionó en párrafos anteriores ambas albercas cuentan con el mismo volumen, sin embargo, la geometría de ambas es distinta, para este caso se analiza la alberca

de casa Andrea, la cual es de superficie rectangular y las paredes son de 6 m (largo) y 4 m (ancho), con una profundidad promedio de 1.67 m. Así, las pérdidas por transmisión se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$Q_K = S_{ParAlb} * C_t * (T_{Alb} - T_{Par}) \dots \dots \dots (9)$$

donde C_t es el coeficiente de transmisión de las paredes, entre la capa de azulejos y la base de hormigón (5.4 kJ/m²°C), S_{ParAlb} es la superficie de las paredes y piso de la alberca (57.4 m²), T_{Alb} es la temperatura de agua de la alberca (32°C) y T_{Par} es la temperatura de las paredes de la alberca (11°C).

$$Q_K = 57.4 \text{ m}^2 * 5.4 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\text{°C}} * (32\text{°C} - 11\text{°C})$$

$$Q_C = 6,509.16 \text{ kJ}$$

Pérdidas por renovación de agua

La normativa exige la renovación del agua de la piscina por razones higiénicas del 5% volumen de la alberca (Salud, 2010), esto provoca una gran pérdida de calor. Teniendo en cuenta que el volumen de la alberca es de 40 m³. Se puede calcular el calor cedido por la renovación del agua mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{RV} = V_{RV} * \rho_{agua} * C_p * (T_{Alb} - T_{RV}) \dots \dots \dots (10)$$

donde C_p es la capacidad calórica del agua (4.182 kJ/kg°C), ρ_{agua} es la densidad del agua (995 kg/m³), V_{RV} es el volumen de renovación (2 m³), T_{Alb} es la temperatura del agua de la alberca (32°C) y T_{RV} es la temperatura del agua de renovación (15°C).

$$Q_{RV} = 2 \text{ m}^3 * 995 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4.182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\text{°C}} * (32\text{°C} - 11\text{°C})$$

$$Q_C = 174,765 \text{ kJ}$$

Para el caso de las ganancias las cuales serán aportadas por el Sol (radiación) y por la aportación del sistema de calentamiento de manera inicial se analiza la aportación del sol y en los apartados siguientes de manera particular se analiza cada una de las fuentes de calor forzado.

Ganancias de calor solar

Para conocer la ganancia que aporta el Sol en apartados anteriores se presentó que la irradiancia promedio para la ciudad de Cuernavaca Morelos es de 1,367 W/m², además de las HSP fue de 5.021 horas tomado en cuenta estos valores el calor aportado por el Sol se determina de la siguiente manera:

$$Q_{Sol} = S_{Alb} * I * HSP \dots \dots \dots (11)$$

donde S_{Alb} es la superficie de la alberca (24 m²), I es la irradiancia geográfica (1,367 W/m²) y HSP son las horas de sol promedio en un día (5.021 h).

$$Q_{Sol} = 24 \text{ m}^2 * 1,367 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 5.021 \text{ h}$$

$$Q_{Sol} = 164.728 \text{ kWh} \therefore 593,020 \text{ kJ}$$

Lo anterior aplica para un día con temperatura inicial de 11°C, sin embargo, hay que tomar en cuenta que las casas se rentan fines de semana principalmente, además de que durante todo el año las temperaturas iniciales no son las mismas; por esta razón, es mejor obtener valores mensuales y anuales, para el cálculo se hacen con las dos consideraciones siguientes:

- Se toman 11 días promedio por mes (ya que se consideran los días de ocupación, es decir sábados y domingos, 20 días de vacaciones semana santa y navidad y 8 días de asueto anual).
- Se utiliza como temperatura inicial la temperatura mínima promedio para cada uno de los meses, obtenida de la **Tabla 1**.
- Se considera el aporte y las pérdidas de la radiación solar ya que las albercas están a la intemperie.

A partir de lo anterior en la **Tabla 3** se muestra la cantidad de energía necesaria para calentar el agua en cada uno de los meses del año, así como el total anual.

Tabla 3 Energía Total Requerida por día para cada mes.

Mes	T min °C	Energía Requerida GJ	Pérdida					Ganancia promedio de calor solar GJ/día	Energía total requerida GJ/día	Energía total Requerida GJ/mes
			Por radiación GJ/día	Por evaporación GJ/día	Por convección GJ/día	Por conducción GJ/día	Por renovación de agua GJ/día			
Enero	11	3.356	0.0050	5.38E-09	0.022	0.0065	0.175	0.593	1.053	11.59
Febrero	12	3.196	0.0048	5.38E-09	0.021	0.0062	0.166	0.593	1.031	11.34
Marzo	14	2.876	0.0044	5.38E-09	0.019	0.0056	0.150	0.593	0.987	10.86
Abril	16	2.557	0.0039	5.38E-09	0.017	0.0050	0.133	0.593	0.944	10.38
Mayo	16	2.557	0.0039	5.38E-09	0.017	0.0050	0.133	0.593	0.944	10.38
Junio	15	2.716	0.0042	5.38E-09	0.018	0.0053	0.141	0.593	0.966	10.62
Julio	15	2.716	0.0042	5.38E-09	0.018	0.0053	0.141	0.593	0.966	10.62
Agosto	15	2.716	0.0042	5.38E-09	0.018	0.0053	0.141	0.593	0.966	10.62
Septiembre	14	2.876	0.0044	5.38E-09	0.019	0.0056	0.150	0.593	0.987	10.86
Octubre	14	2.876	0.0044	5.38E-09	0.019	0.0056	0.150	0.593	0.987	10.86
Noviembre	12	3.196	0.0048	5.38E-09	0.021	0.0062	0.166	0.593	1.031	11.34
Diciembre	12	3.196	0.0048	5.38E-09	0.021	0.0062	0.166	0.593	1.031	11.34
Total										130.82

Como se observa la energía requerida en los meses cálidos es menor, no solo por la temperatura mínima, sino también por el aporte de energía debido a la radiación, de esta manera la cantidad total de energía anual es de 130.82 GJ.

3.1.2. Análisis del generador de agua caliente

Datos técnicos del calentador indican que, la capacidad es de 0.42202944 GJ/h con una eficiencia del 89%. Al considerar la capacidad, la eficiencia y el poder calorífico del gas LP (4,153 MJ/bl)² equivalente a 26,121.58 kJ/l, la cantidad en litros de gas que consume cada hora el calentador es de 18.15 l/h.

Con los resultados de la energía total requerida de la **Tabla 3**, la cantidad de horas que opera cada día el generador y los litros que se consumen por hora, podemos obtener el consumo de gas LP para cada día de cada mes. En la **Tabla 4** se observa la cantidad de litros para cada mes y el total anual.

Tabla 4 Cantidad de Gas necesario para calentar la alberca.

Mes	Gas LP Requerido al día [l]	Gas LP Requerido Mensual [l]
Enero	255.59	2,811.46
Febrero	250.26	2,752.90
Marzo	239.62	2,635.79
Abril	228.97	2,518.71
Mayo	228.97	2,518.71
Junio	234.30	2,577.25
Julio	234.30	2,577.25
Agosto	234.30	2,577.25
Septiembre	239.62	2,635.79
Octubre	239.62	2,635.79
Noviembre	250.26	2,752.90
Diciembre	250.26	2,752.90
Total		31,746.68

² El valor del poder calorífico del gas LP depende de la región, el valor utilizado es el publicado por la SENER y la CONUEE en febrero de 2021. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/619062/Lista_Combustibles_2021_26feb2021.pdf

3.1.3. Análisis del sistema híbrido con bombas de calor

Las bombas de calor tienen diferentes capacidades térmicas, estas dependerán del fabricante, consumo eléctrico, dimensiones y costo, existen en el mercado bombas de 14 kW equivalente a 50,400 kJ/h hasta 30 kW equivalente a 108,000 kJ/h (Prinsa, 2000) (H2O, 2020) para el proyecto la bomba que se podría seleccionar, por dimensiones, capacidad, consumo eléctrico y costo, sería de 19 kW es decir 68,400 kJ/h, si se utiliza una sola bomba de calor se tardaría 49 horas (dos días y 1 hora), en llegar a la temperatura objetivo, esto sin considerar utilizar el calentador de gas LP.

Sin duda el solo utilizar bombas de calor no es una opción viable, utilizar un sistema híbrido de bomba de calor y gas LP sería una opción siempre y cuando se encuentre el punto óptimo entre el consumo de gas y el de electricidad es decir utilizar más tiempo una opción u otra dependiendo del costo del energético en ese momento.

3.1.4. Análisis del sistema híbrido con colectores solares

Para la instalación de los colectores solares se propone utilizar colectores de polipropileno ya que en la actualidad son mucho más económicos que los de cobre, los colectores que se desea instalar son de 3.8 m² (1.20 m × 3.30 m), uno de los más grandes en el mercado, de acuerdo a datos del fabricante la eficiencia del colector está dada por la siguiente ecuación (USOL, 2023).

$$\eta = 0.873 - 20.62 * \frac{T_f - T_i}{I} - 0.43 * \left(\frac{T_f - T_i}{I} \right)^2 \dots\dots\dots (12)$$

donde T_f es la temperatura final en °C, T_i es la temperatura ambiente en °C y I es la irradiancia en W/m². Con el modelo matemático anterior (Ecuación 12), los datos de temperatura de la **Tabla 1**, y los datos de radiación e irradiancia **Figura 8** y **Figura 9** respectivamente, se realiza el cálculo de la eficiencia mínima, media y máxima **Tabla 5**.

Como era previsible, la eficiencia máxima se presenta en abril y mayo. Esta eficiencia se logra cuando se llega a la temperatura máxima del día, lo que resulta en una mínima variación de temperatura. Para calcular el calor que proporciona cada colector, se emplean los datos de eficiencia previos junto con la radiación solar.

Entonces considerando el área de cada colector que es de 3.8 m² y la radiación para cada uno de los meses, el aporte de cada colector en el lugar de instalación en el mes de enero será de 55,772.64 kJ teniendo como máximo aporte 41,800.17 kJ. En la **Tabla 6** se muestra el aporte de cada colector para cada mes y para cada punto de eficiencia.

Tabla 5 Eficiencia del colector solar.

Mes	Eficiencia máxima %	Eficiencia media %	Eficiencia mínima %
Enero	74.95%	59.50%	44.05%
Febrero	82.08%	67.27%	52.46%
Marzo	85.73%	72.39%	59.05%
Abril	88.77%	76.27%	63.76%
Mayo	87.30%	75.66%	64.01%
Junio	83.02%	73.02%	63.03%
Julio	81.57%	72.25%	62.93%
Agosto	80.02%	71.29%	62.55%
Septiembre	79.59%	69.57%	59.55%
Octubre	78.64%	67.37%	56.11%
Noviembre	77.50%	62.80%	48.09%
Diciembre	74.51%	59.58%	44.65%

Tabla 6 Aporte de energía para un colector solar.

Mes	Energía por cada colector [kJ]	Energía con eficiencia máxima [kJ]	Energía con eficiencia media [kJ]	Energía con eficiencia mínima [kJ]
Enero	55,772.64	41,800.17	24,872.12	10,956.81
Febrero	70,741.44	58,061.70	39,058.95	20,491.32
Marzo	77,172.48	66,160.89	47,896.76	28,284.93
Abril	80,942.40	71,853.08	54,801.54	34,943.65
Mayo	73,846.08	64,467.63	48,774.36	31,221.21
Junio	59,764.32	49,614.76	36,230.24	22,834.77
Julio	71,406.72	58,243.55	42,078.99	26,478.44
Agosto	66,306.24	53,059.23	37,823.71	23,658.22
Septiembre	62,758.08	49,951.58	34,753.37	20,696.43
Octubre	60,540.48	47,607.56	32,075.17	17,996.77
Noviembre	60,762.24	47,091.61	29,573.52	14,223.12
Diciembre	56,992.32	42,463.90	25,300.01	11,295.82

Si consideramos que cada colector aporta como mínimo 10,956.8 1 [kJ/día], y el área disponible para cada casas, tenemos que para Casa Andrea hay un área disponible en la azotea de 64 m² lo que permite instalar 16 colectores, la energía que aportan estos 16 colectores para el mes de enero es 892,362.24 [kJ/día], considerando la eficiencia mínima para el mismo mes tenemos un total de 175,297.49 [kJ/día], lo que significa que se puede aportar el 16.64% del total necesario para calentar la alberca. En la **Tabla 7** se muestra el porcentaje que aportan estos 16 colectores para cada mes del año, podemos notar que en algunos casos los 16 colectores están sobredimensionados, ya que para los meses más calurosos como son marzo, abril y mayo sobrepasa el 100% del aporte.

Tabla 7 Aporte de energía de 16 colectores solares en %.

Mes	Energía por cada colector [kJ]	Energía con eficiencia máxima [%]	Energía con eficiencia media [%]	Energía con eficiencia mínima [%]
Enero	892,362.24	63.50%	37.78%	16.64%
Febrero	1,131,863.04	90.08%	60.60%	31.79%
Marzo	1,234,759.68	107.20%	77.61%	45.83%
Abril	1,295,078.40	121.84%	92.93%	59.25%
Mayo	1,181,537.28	109.32%	82.71%	52.94%
Junio	956,229.12	82.22%	60.04%	37.84%
Julio	1,142,507.52	96.52%	69.73%	43.88%
Agosto	1,060,899.84	87.93%	62.68%	39.21%
Septiembre	1,004,129.28	80.94%	56.31%	33.54%
Octubre	968,647.68	77.14%	51.97%	29.16%
Noviembre	972,195.84	73.06%	45.88%	22.07%
Diciembre	911,877.12	65.88%	39.25%	17.52%

Con la información anterior notamos que es posible disminuir la cantidad de colectores para disminuir los costos y para que en los meses calurosos no se sobrecaliente la alberca. De tal manera que para los meses más calurosos no sea necesario emplear el calentador de gas LP, el número de colectores deberá ser 13, en la **Tabla 8** se muestran los nuevos porcentajes de aportación de los colectores y claramente se observa que para el mes de abril ya no es necesario emplear el calentador de gas LP y para los meses más fríos solo será necesario que aporte el 50% de la energía necesaria.

Tabla 8 Aporte de energía de 13 colectores solares en % del total.

Mes	Energía por cada colector [kJ]	Energía con eficiencia máxima [%]	Energía con eficiencia media [%]	Energía con eficiencia mínima [%]
Enero	725,044.32	51.60%	30.70%	13.52%
Febrero	1,131,863.04	73.19%	49.24%	25.83%
Marzo	1,234,759.68	87.10%	63.06%	37.24%
Abril	1,295,078.40	99.00%	75.50%	48.14%
Mayo	1,181,537.28	88.82%	67.20%	43.01%
Junio	956,229.12	66.80%	48.78%	30.75%
Julio	1,142,507.52	78.42%	56.66%	35.65%
Agosto	1,060,899.84	71.44%	50.93%	31.85%
Septiembre	1,004,129.28	65.76%	45.75%	27.25%
Octubre	968,647.68	62.68%	42.23%	23.69%
Noviembre	972,195.84	59.36%	37.28%	17.93%
Diciembre	911,877.12	53.53%	31.89%	14.24%

Al tratarse de albercas de las mismas dimensiones se consideran los mismos cálculos, de tal manera que para Casa Blanca también serán necesarios 13 colectores, lo que representa un área de 30.4 m². En el apartado siguiente se explica el análisis económico y financiero al implementar el sistema híbrido con 13 colectores solares.

4. Análisis Económico y Financiero

Para el análisis económico y financiero se tomaron las siguientes consideraciones, el precio del gas LP será un promedio del precio que pagaron durante el año 2023 que fue de \$ 9.21 por litro, la inversión será con capital propio, se incluirán todos los costos asociados a la instalación de los colectores solares, como accesorios, materiales, ingeniería de diseño, mano de obra de la instalación, así como los colectores, el tiempo de vida del proyecto será de 20 años, ya que es la garantía que ofrece el fabricante de los colectores solares.

4.1 Costos asociados al uso del calentador con gas LP

Como se mencionó en el apartado del análisis del generador de agua caliente en la **Tabla 4** la cantidad de litros que se consumen al año es de 31,746.68 litros lo que

equivale a \$ 292,386.92 en la **Tabla 9** se muestra el costo del gas LP para cada uno de los meses del año 2023.

Tabla 9 Costo del Gas LP de una casa para el año 2021.

Mes	Gas LP Requerido [L]	Costo del Gas LP
Enero	2,811.46	\$25,893.55
Febrero	2,752.90	\$25,354.19
Marzo	2,635.79	\$24,275.63
Abril	2,518.71	\$23,197.30
Mayo	2,518.71	\$23,197.30
Junio	2,577.25	\$23,736.44
Julio	2,577.25	\$23,736.44
Agosto	2,577.25	\$23,736.44
Septiembre	2,635.79	\$24,275.63
Octubre	2,635.79	\$24,275.63
Noviembre	2,752.90	\$25,354.19
Diciembre	2,752.90	\$25,354.19
Total	31,746.68	\$292,386.92

De nueva cuenta se observa como para los meses más cálidos el costo disminuye, ya que el calentador opera menos horas, por lo tanto, consume menos litros de combustible.

4.2 Costos asociados al uso del calentador y colectores solares

Para este apartado, con base en los datos obtenidos en la **Tabla 8** se obtiene la cantidad de litros de combustible necesarios para cumplir con el requerimiento energético considerando que los colectores ya están en operación. El cálculo se hizo considerando la energía de los colectores con la eficiencia media con esto solo se necesitarían 16,018.67 litros de gas LP al año, una fracción de lo que se utiliza solo empleando el calentador de gas. En la **Tabla 10** se muestran los litros de gas que se necesitarían para cada mes de operación.

Tabla 10 Litros de gas necesarios para cumplir con los requerimientos energéticos usando calentador de gas y colectores solares.

Mes	Energía con eficiencia máxima [kJ]	Energía con eficiencia media [kJ]	Energía con eficiencia mínima [kJ]	Litros de Gas LP necesarios
Enero	509,821.99	729,907.38	910,813.49	1,939.91
Febrero	276,501.61	523,537.36	764,916.55	1,403.98
Marzo	127,341.01	364,774.70	619,728.49	975.24
Abril	9,480.66	231,150.68	489,303.25	604.49
Mayo	105,491.51	309,504.02	537,694.97	831.17
Junio	320,508.59	494,507.35	668,648.46	1,314.40
Julio	208,334.32	418,473.60	621,280.75	1,108.22
Agosto	275,730.48	473,792.24	657,943.61	1,262.85
Septiembre	338,062.04	535,638.77	718,378.99	1,423.33
Octubre	368,534.30	570,455.37	753,474.57	1,528.76
Noviembre	419,112.78	646,847.95	846,403.15	1,734.33
Diciembre	479,273.01	702,403.58	884,458.05	1,871.97
Total				15,998.63

Ahora si consideramos el ahorro en litros y su costo asociado tenemos que al año es posible ahorrar 15,748.05 litros de gas, lo que significa un ahorro anual de \$169,121.64. En la **Tabla 11** se muestran los litros ahorrados para cada uno de los meses, así como su costo asociado.

Tabla 11 Litros de gas ahorrado y su costo asociado.

Mes	Litros de gas LP Ahorrados	Ahorro de gas LP [\$]
Enero	871.55	\$15,685.56
Febrero	1,348.92	\$15,841.97
Marzo	1,660.55	\$14,761.19
Abril	1,914.22	\$13,607.93

Mayo	1,687.53	\$13,058.36
Junio	1,262.85	\$12,381.22
Julio	1,469.03	\$13,294.30
Agosto	1,314.40	\$12,909.71
Septiembre	1,212.46	\$13,446.60
Octubre	1,107.03	\$13,617.64
Noviembre	1,018.57	\$15,318.18
Diciembre	880.93	\$15,198.98
Total	15,748.05	\$169,121.64

4.3. Análisis financiero para la implementación del proyecto

Después de una investigación de mercado y consultando a proveedores e instaladores los costos promedios asociados en la implementación de un proyecto de estas características se puede desglosar de la siguiente manera (**Tabla 12**). Como se observa la inversión necesaria para realizar el proyecto es de \$145,464.00, como ya se mencionó se hará con capital propio y considerando los ahorros en el consumo de gas que de manera anual ascienden a \$169,121.64 se realizara el análisis del negocio.

Tabla 12 Costos de implementación de colectores solares.

Descripción	Cantidad	Precio	Importe
Colectores solares de 3.8 m²	13	\$5,200.00	\$67,600.00
Accesorios de Instalación	1	\$7,100.00	\$7,100.00
Ingeniería, Materiales y Mano de Obra	1	\$38,000.00	\$38,000.00
Sistema de automatización	1	\$12,700.00	\$12,700.00

Subtotal	\$125,400.00
IVA	\$20,064.00
Total	\$145,464.00

Para obtener los flujos de efectivo se consideró que el ingreso son 11 días de arrendamiento, se descontaron los impuestos, así como los costos operativos, el

ahorro por consumo de gas se consideró como un saldo a favor, ya que con ello los gastos operativos se reducen de manera significativa, al ser capital propio, no se considera ningún cargo por concepto de deuda, de esta manera en promedio los flujos de caja ascienden a \$27,000 mensuales, en la **Tabla 13** se observa el flujo de caja de manera mensual para 1 año.

Como se dijo con anterioridad el tiempo de vida del proyecto son 20 años, que es la garantía que da el fabricante de los colectores, con este tiempo de vida se obtienen todos los parámetros financieros del proyecto que dan como resultado un Valor Presente Neto muy por encima de la unidad \$30,684.13 y una tasa interna de retorno 17% veces mayor que la propuesta, además de esto el periodo de recuperación de la inversión se da en menos de 1 año, lo que significa que el proyecto resulta bastante atractivo para llevarse a cabo en la **Tabla 14** y **Tabla 15** se muestran los parámetros financieros antes mencionados.

Tabla 13 Flujos de efectivo con el proyecto en marcha.

Flujos de efectivo (pesos)			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
-Ingresos por arrendamiento (para pagar inversión e impuestos)	Inversión, inicio op.	145,464	44,000	44,000	44,000	44,000	44,000	44,000	44,000	44,000	44,000	44,000	44,000	44,000
-Impuestos sobre la renta			-8,006	-8,006	-8,006	-8,006	-8,006	-8,006	-8,006	-8,006	-8,006	-8,006	-8,006	-8,006
-Gastos Operativos Totales			-15,000	-15,000	-15,000	-15,000	-15,000	-15,000	-15,000	-15,000	-15,000	-15,000	-15,000	-15,000
-Gastos Operativos consumo de gas			15,686	15,842	14,761	13,608	13,058	12,381	13,294	12,910	13,447	13,618	15,318	15,199
-Flujos del proyecto, después de impuestos (Ahorros de gas LP)			36,679	36,836	35,755	34,602	34,052	33,375	34,288	33,904	34,441	34,612	36,312	36,193
-Pago de la deuda (principal e intereses)	Deuda, inicio op.	145,464	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujos netos asociados al capital propio			36,679	36,836	26,401	25,248	24,698	24,021	24,934	24,550	25,087	25,258	26,958	26,839

Tabla 14 Flujos de Efectivo Aualizados.

Flujos de efectivo (pesos)			Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 11....Año 20
-Ingresos por arrendamiento (para pagar inversión e impuestos)	Inversión, inicio op.	145,464	528,000	528,000	528,000	528,000	528,000	528,000	528,000	528,000	528,000
-Impuestos sobre la renta			-96,073	-96,073	-96,073	-96,073	-96,073	-96,073	-96,073	-96,073	-96,073
-Gastos Operativos Totales			-180,000	-180,000	-180,000	-180,000	-180,000	180,000	-180,000	-180,000	180,000
-Gastos Operativos consumo de gas			169,122	169,122	169,122	169,122	169,122	169,122	169,122	169,122	169,122
-Flujos del proyecto, después de impuestos (Ahorros de gas LP)			327,509	327,509	327,509	327,509	327,509	327,509	327,509	327,509	327,509
-Pago de la deuda (principal e intereses)	Deuda, inicio op.	145,464	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujos netos asociados al capital propio			327,509	327,509	327,509	327,509	327,509	327,509	327,509	327,509	327,509

Tabla 15 Parámetros financieros

Parámetros Financieros	
TIR del capital propio, después de impuestos	17%
VPN del capital propio, después de impuestos	\$30,684.13
Periodo de Recuperación Simple	5 meses

5. Resultados

Después del análisis y dadas las condiciones de ambas casas, en cuanto a la capacidad de la alberca se refiere, podemos decir que para ambos casos lo ideal es colocar 13 colectores solares lo que requiere un área mínima de 51.48 m², ahora bien, es importante saber si las instalaciones permiten hacer dicha instalación, e este punto para cada casa es un caso particular.

En casa Andrea encontramos que en la azotea de la construcción principal existe espacio suficiente para colocar los colectores necesarios, ya que se cuenta con un área útil de aproximadamente 60 m², lo que significa que solo se empleará una fracción de este espacio, en la **Figura 15** en marcado en amarillo se muestra la fracción que se utilizará para la colocación de los colectores.



Figura 18 Vista superior casa Andrea

Para esta casa la instalación es relativamente sencilla ya que el calentador se encuentra cerca de donde se colocarán los paneles, lo que contribuirá a que no existan pérdidas en la tubería línea roja en la **Figura 15**. En esta casa la instalación

no representa problema alguno; por lo que, es posible implementar el proyecto al 100%.

Por otro lado, en casa Blanca el área que se puede ocupar se encuentra dividida en las tres construcciones las que pertenecen a las cabañas (enmarcadas en color naranja) y la construcción principal en color verde; sin embargo, las áreas que pertenecen a las cabañas están rodeadas por arboles lo que provoca que tengan mucha sombra; por lo que, las áreas en color verde son las ideales para colocar los colectores, ver **Figura 16**.

En este sentido y dada la disposición de las áreas, las cuales no son simétricas ni cuadradas, la instalación se tendría que hacer de manera seccionada, de tal manera que la instalación tendría que hacerse mediante arreglos serie y paralelo para optimizar la temperatura, sumado a esto lo ideal es que los colectores se encuentren lo más cercano al calentador que en la **Figura 16** se encuentra enmarcado en color rojo.

Entonces si hacemos las consideraciones pertinentes se colocarán 4 colectores en el área 1 y cuatro colectores en el área 2 ambas enmarcadas con verde en la **Figura 16**. De esta forma es posible cubrir con el 100% de los colectores propuestos por el proyecto.



Figura 19 Vista superior casa Blanca

5.1. Conclusiones y recomendaciones

Como se mencionó para poder implementar el proyecto, al menos se necesitan 51.5 m², Casa Blanca que es el análisis base, cuenta con 60 m² disponibles en la azotea; por lo tanto, es posible colocar los colectores necesarios para poder llevarlo a cabo.

La implementación del proyecto representa un ahorro importante para la empresa HS Rent, ya que se podrían ahorrar 15,748.05 litros de gas al año lo que significa \$169,121.64 de ahorros, esto considerando solo una de las casas, si bien la inversión asciende a más de \$145,000.00 la cual es significativa para la empresa, el periodo de recuperación es corto, en 5 meses es posible recuperar la inversión.

Algunas empresas son escépticas respecto a la eficiencia del sistema como el aquí propuesto, así como a los ahorros que se podrían obtener, sin embargo, si consideramos el tiempo de vida del proyecto, el cual es de 20 años y el periodo de recuperación es menor a un año, la inversión en términos financieros resulta un proyecto bastante atractivo.

Es por esto que el presente trabajo pretende dar una mayor certeza respecto a este tipo de tecnologías, las cuales ayudarían a empresas a mejorar en sus finanzas y dichas empresas contribuirían a disminuir su consumo de combustibles de origen fósil.

Si bien la implementación de estos sistemas da resultados casi de inmediatos y de manera tangible, existen algunas otras formas con las cuales podrían mejorar. De manera particular para ambas casas se recomienda el uso de cubiertas térmicas para las albercas, estas cubiertas ayudan a mantener la temperatura de la alberca por más tiempo y así disminuir el periodo de operación del calentador o en este caso de los colectores solares. Otra recomendación es tratar de calentar la alberca durante el día, ya que según la administración de las casas los calentadores se encendían durante la noche, periodo en donde la temperatura ambiente es más baja, lo que ocasionaba que la operación del calentador fuese ineficiente.

Sumado a lo anterior es importante revisar y dar mantenimiento de manera periódica al calentador; así como, al sistema de bombeo, y el de filtrado; ya que, en ocasiones el flujo de agua no es el correcto para un óptimo funcionamiento del calentador. Estas simples acciones ayudarían a mejorar la eficiencia del sistema de calentamiento esto como medidas iniciales para posteriormente implementar un proyecto como o el aquí presentado.

Bibliografía

ANES Balance nacional de energía rerporte solar térmico [Informe]. - México : Asociación Nacional de Energía Solar, 2021.

Cengel Yunus A. Transferencia de Calor y Masa [Libro]. - [s.l.] : McGrawHill, 2011.

CONAGUA GOBIERNO DE MEXICO [En línea]. - 2015. - 2017. - https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103145/DR_1701.pdf.

GasetaUNAM Gaceta UNAM [En línea]. - UNAM, 17 de 1 de 2022. - 9 de 5 de 2023. - <https://www.gaceta.unam.mx/mexico-entre-los-cinco-paises-que-tienen-mayor-potencial-de-energia-solar/>.

H2O Punto Punto H2O [En línea]. - Punto H2O, 2020. - 19 de 5 de 2023. - <https://puntoh2o.com/products/bomba-de-calor-inter-heat-serie-ultimate-170-mil-btus-3-fases>.

INEGI cuentame.inegi.org.mx [En línea]. - INEGI, 4 de 5 de 2023. - <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/territorio/clima.aspx?tema=me&e=17#:~:text=La%20temperatura%20media%20anual%20del,meses%20de%20abril%20y%20mayo..>

Jimenez Miguel Airbnb se dispara en Bolsa tras su primer año completo de beneficios [Artículo] // El País Estados Unidos. - Washington : [s.n.], 2023. - El País.

John A. Duffie Solar Engineering of Thermal Processes [Libro]. - : WILEY, 2013. - Vol. Fourth Edition.

Kassraie Aaron AARP [En línea]. - AARP, 17 de 5 de 2023. - 4 de 6 de 2023. - <https://www.aarp.org/espanol/salud/enfermedades-y-tratamientos/info-2021/riesgos-de-usar-un-jacuzzi.html>.

mascentigrados Colector solar de polipropileno [En línea]. - 2020. - 11 de 5 de 2023. - <https://mascentigrados.com/colectores-solares-de-polipropileno/>.

NASAPOWER Power Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource [En línea]. - United States Goverment, 2022. - 9 de 5 de 2023. - <https://power.larc.nasa.gov>.

Normatividad Federación Mexicana de Natación [En línea]. - <http://fmn.org.mx/page/normatividad>.

novem [En línea] // Medallion_Colector-Solar. - 2018. - 5 de 11 de 2023. - https://www.novem.com.mx/pdf/folletos/superseeded/piq/Medallion_Colector-Solar_esp.pdf.

Prinsa albercas [En línea] // Prinsa Albercas. - 2000. - 19 de 5 de 2023. - <https://prinsa.mx/collections/calentamiento-de-piscina>.

Salud Secretaría de NORMA Oficial Mexicana NOM-245-SSA1-2010, Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas. [En línea]. - Diario Oficial de la Federación, 2010. - <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4770/salud/salud.htm>.

SEGOB Secretaria de Gobernación Diario Oficial de la Federación [En línea]. - 11 de 05 de 2023. - 11 de 3 de 2023. - https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2088922&fecha=15/08/2005#gs_c.tab=0.

SEMARNAT Centro paot. org [En línea]. - 2010. - 4 de 12 de 2023. - http://centro.paot.org.mx/documentos/conagua/vision_2030_morelos.pdf.

SOLARAMA SOLARAMA Mayoristas en energía solar [En línea]. - 2019. - 11 de 5 de 2023.

tecnoverde NIBE [En línea]. - 2022. - 18 de 5 de 2023. - <https://tecnoverde.cl/ques-y-como-funciona-una-bomba-de-calor/>.

UNAM El Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la [En línea]. - UNAM, 2 de 05 de 2023. - 02 de 05 de 2023. - https://www.geofisica.unam.mx/observatorios/radiacion_solar/index.html.

UNAM GEOFISICA Servicio Solarimétrico Mexicano [En línea]. - UNAM, 2022. - 8 de 5 de 2023. - <https://areas.geofisica.unam.mx/solarimetrico/antecedentes.html>.

USOL Manual tecnico [En línea]. - Usol S.A. de C.V., 9 de 5 de 2023. - 2023.

WeatherChannel the the weatherchannel [En línea]. - 5 de 05 de 2023. - <https://weather.com/es-MX/tiempo/mapas/interactivo/l/b9f7ff5f52d625977ed7f308d5c149d467a78fdc54f57f4bbb38eb681e882374>.

worldaquatics worldaquatics.com [En línea]. - febrero de 2020. - 4 de 6 de 2023. - <https://www.worldaquatics.com/rules/competition-regulations>.