

**EVALUACIÓN TERMOECONÓMICA DE COLECTORES SOLARES DE PLACA PLANA  
PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN HOTEL DE LA CIUDAD DE  
MONTERÍA - CÓRDOBA**

**DOCUMENTO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**ROBERTH ANDRÉS GONZÁLEZ PÉREZ**

**ANDRÉS FELIPE CALAD URIBE**

**DIRECTOR**

**Ing. ARNOLD RAFAEL MARTÍNEZ GUARÍN M.Sc.**

**CODIRECTOR**

**Ing. SAMUEL IVÁN BONILLA GARCÍA**



**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**MONTERÍA - CÓRDOBA**

**2021**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios por ser la guía en este camino formativo, por el don del entendimiento para afrontar las dificultades que se han presentado y poder superarlas, a todos los profesores que con su dedicación y paciencia aportaron su granito de arena y fueron la guía fundamental en el proceso de formación como futuro profesional, a mis amigos y compañeros que compartieron alegrías y tristezas. Sobre todo, esta dedicatoria a mi padre, hermano y toda la familia que con tanto esfuerzo me acompañaron siempre apoyándome, animándome de una u otra forma para que este logro se hiciera realidad.

A todos, ¡muchas gracias!

Andrés Felipe Calad Uribe

Primero que todo quiero agradecer a Dios, por abrirme las puertas al conocimiento, permitirme llegar a la meta en compañía de mis compañeros, amigos, seres cercanos y familiares, personas que estuvieron apoyando en todo momento mi proceso formativo, bien sea de forma económica, emocional o intelectual. Quiero agradecer a los profesores, tutores, en especial al ingeniero Jesús Rhenalds que aportaron sus conocimientos a mi proceso académico y formativo, consolidándome como una persona profesional ética y moralmente correcta. Quiero agradecer grandemente a mis padres que fueron el pilar para hoy celebrar el logro obtenido como profesional de Ingeniería Mecánica.

A todos quienes aportaron a este proceso, Gracias.

Roberth Andrés González Pérez

## **TABLA DE CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.  CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	4
1.1.  MARCO TEÓRICO.....	4
1.1.1.  Turismo a nivel mundial .....	4
1.1.2.  Consumo energético hotelero.....	5
1.1.3.  Proyecciones en las energías renovables.....	5
1.1.4.  Sistemas de calentamiento de agua .....	6
1.1.5.  Colectores solares .....	6
1.1.6.  Tipos de colectores.....	8
1.1.7.  Colectores solares de placa plana.....	8
1.1.8.  Colectores solares de tubo de vacío .....	9
1.1.9.  Colectores solares de concentración cilindro-parabólico.....	9
1.1.10.  Colectores solares de concentración plato parabólico.....	10
1.1.11.  Exergía .....	11
1.1.12.  Características generales .....	11
1.1.13.  Norma técnicas.....	11
1.1.14.  Características energéticas en Colombia.....	12
1.2.  ESTADO DEL ARTE.....	13
2.  CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL TEMA.....	18
2.1.  Marco metodológico .....	18
2.1.1.  Selección del hotel .....	18
2.1.2.  Descripción del hotel .....	19

2.1.3.	Descripción geográfica .....	22
2.1.4.	Descripción climatológica.....	23
2.1.5.	Cálculo del consumo de agua.....	23
2.1.6.	Balance energético del sistema: .....	25
2.1.7.	Selección del colector solar.....	26
2.1.8.	Cálculo de la superficie de captación solar.....	27
2.1.9.	Inclinación de los colectores solares .....	27
2.1.10.	Matriz de distribución de los colectores.....	28
2.1.11.	Superficie de captación .....	30
2.1.12.	Dimensionamiento del intercambiador .....	30
2.1.13.	Fluido caloportador.....	31
2.2.	Análisis exergético.....	31
2.3.	Construcción del modelo termoeconómico.....	36
3.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	38
4.	CONCLUSIONES .....	42
5.	BIBLIOGRAFÍA .....	44
6.	ANEXOS .....	51

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema colector integral .....	7
Figura 2. Esquema básico de un sistema de calentamiento por termosifón.....	8
Figura 3. Colector solar de placa plana.....	9
Figura 4. colector tubo de vacío.....	9
Figura 5. Colector solar de concentración cilindro parabólico. ....	10
Figura 6. Concentrador solar de plato parabólico. ....	10
Figura 7. Implementación de ACS en los hoteles de la ciudad de Montería. ....	19
Figura 8. Comparativo del perfil de ocupación mensual año 2019 y 2020.....	21
Figura 9. Modelado IFC del hotel de estudio.....	22
Figura 10. Atlas de radiación solar en Colombia. ....	22
Figura 11. Datos climatológicos de la localidad .....	23
Figura 12. Balance de energía global de la instalación.....	25
Figura 13. Análisis de sombreado sobre filas en paralelo. ....	28
Figura 14. Colectores insertados en el modelo IFC del hotel de estudio. ....	29
Figura 15. Proyección de sombra en CYPECAD MEP.....	29
Figura 16. Red de tuberías ACS.....	32
Figura 17. Sistema ACS.....	32
Figura 18. Esquema de modelo de estudio. ....	33
Figura 19. Modelo del sistema ACS en el hotel de estudio .....	34
Figura 20. Comportamiento de la temperatura a la salida del colector solar .....	38
Figura 21. Comportamiento de las temperaturas en el sistema para 1 año de trabajo .....	39
Figura 22. Comportamiento de las temperaturas a la entrada y salida del fluido caloportador y del agua. ....	39
Figura 23. Comportamiento de la temperatura en el interacumulador.....	40
Figura 24. Variación de la exergía del sistema en función de las temperaturas en el tiempo.....	40
Figura 25. Variación de la exergía en el acumulador y en el colector solar .....	41
Figura 26. Sistema eléctrico Vs Sistema colectores.....	41

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de habitaciones y características.....	20
Tabla 2. Porcentaje de ocupación hoteles en Colombia.....	20
Tabla 3. Ocupación mensual promedio en el hotel.....	21
Tabla 4. Coeficientes de simultaneidad. ....	24
Tabla 5. Modelo Fuel – Product.....	36

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Listado hoteles visitados en la ciudad de Montería.....	51
Anexo 2. Datos climáticos de la localidad, obtenidos de Autor. ....	52
Anexo 3. Presupuesto de la instalación sistema ACS.....	53
Anexo 4. Tabla de consumo de agua caliente sanitaria. ....	55
Anexo 5. Ficha técnica Colector solar. ....	56
Anexo 6. Método F-char, dimensionamientos colectores solares.....	57
Anexo 7. Cálculo de la exergía en el sistema.....	60
Anexo 8. Calculo costo sistema colectores solares Vs sistema eléctrico.....	64
Anexo 9. Ficha técnica acumulador.....	65

## NOMENCLATURAS

<b>Nomenclatura</b>	<b>Descripción</b>
Cd	Consumo total diario
Cud	Consumo unitario medio
Oc	Ocupación crítica
ACS	Agua caliente sanitaria
$m_f$	Flujo agua fría
$m_c$	Flujo agua caliente
$m_T$	Flujo agua de referencia a salida del sistema
$T_f$	Temperatura agua fría
$T_c$	Temperatura agua caliente
$T_T$	Temperatura agua de referencia a salida del sistema
$Q_s$	Caudal simultáneo total
$Q_T$	Caudal total
M	Flujo de agua – consumo de agua
$C_p$	Calor específico del agua a temperatura de referencia
$T_{ACS}$	Temperatura ACS; ( $^{\circ}K$ )
$T_{red}$	Temperatura de la red ( $^{\circ}K$ )
L	Longitud del colector en metros
B	Angulo de inclinación del colector
Az	Angulo azimut al de radiación solar
$\alpha$	Angulo de altitud solar
$D_{min}$	Distancia mínima entre filas de colectores
A	Suma de las áreas de los captadores.
V	Volumen de acumulación expresado en litros.
$T_0$	temperatura del agua de la red ( $^{\circ}K$ )
T	temperatura a la que se efectúa la transferencia de calor
Q	flujo de calor
$\dot{m}$	Caudal masico
$T_{sun}$	Temperatura del sol
I	tasa de interés
\$	precio kW zona de estudio
N	vida útil
H	tiempo de operación (h)
As	Área superficial del acumulador ACS

## **RESUMEN**

El uso de energías renovables es un camino que muchos países han empezado a transitar en el proceso de descarbonización de sus equipos, estructuras productivas y económicas. Está claro que este es un largo recorrido que requiere de constantes avances y mejoras de los diferentes mecanismos de transformaciones de energías renovables que existen en la actualidad. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es realizar un estudio termoeconómico de un colector solar para producir agua caliente sanitaria, se utilizó un colector solar de placa plana, estudiando la radiación de la zona por medio del software RETScreen Expert, la demanda de agua requerida para el hotel, también por medio de del programa CYPECAD MEP se realizó el diseño del sistema y finalmente se conocieron las temperaturas dentro de este al emplear el software TRNSYS para determinar la exergía del sistema. Esta serie de análisis permitió conocer la cantidad de colectores necesarios, la tasa de retorno de la inversión, la exergía del sistema y su eficiencia.

**Palabras claves:** colector solar, CYPECAD MEP®, eficiencia, TRNSYS.



## **ABSTRACT**

The use of renewable energy is a path that many countries have begun to follow in the process of decarbonizing their equipment, production and economic structures, it is clear that this is a long journey that requires constant progress and improvement of the different mechanisms of renewable energy transformations that exist at present. Therefore, the objective of this research is to carry out a thermoeconomic study of a solar collector to produce domestic hot water. For the development of this work was used a flat plate collector, was studied the radiation of the area by means of the software RETScreen Expert, the demand of water required for the studio hotel, the design of the system was carried out through the program CYPECAD MEP the design of the system was carried out and the temperatures inside the system were known when using TRNSYS software. This series of analyses allowed to know the amount of collectors needed, the rate of return of the investment, the exergy of the system and its efficiency.

**Keywords:** solar collector, CYPECAD MEP®, efficiency, TRNSYS.

## INTRODUCCIÓN

Al día de hoy, los requerimientos energéticos de los diferentes sectores económicos, recaen sobre el consumo de combustibles como el carbón, petróleo y gas natural, que representan un 80% de la energía total utilizada. (Shao et al., 2020). Debido al crecimiento poblacional, la humanidad se ha visto forzada a aumentar la extracción de los recursos no renovables, no solo en mayor proporción, sino, en menor tiempo. Lo cual implica maneras de extracción que no siempre son las más favorables para el entorno, ya que todas alteran el equilibrio natural de una u otra forma. En vista de toda la problemática anteriormente planteada, se promueve la implementación de sistemas de generación energética, partiendo de fuentes de energías renovables como la luz solar, las fuentes eólicas y geotérmicas, cuyo uso se relaciona con la disminución de los gases de efecto invernadero (Sokhansefat et al., 2018).

Se tiene que en los países desarrollados el sector residencial es uno de los mayores consumidores de energía con un gasto aproximado del 40%, el cual está distribuido en la generación de electricidad, agua caliente y calefacción o refrigeración de espacios, teniendo una tendencia de consumo muy similar en muchos países, (Ahmadi et al., 2021a).

Si hablamos de turismo en términos económicos, este aporta alrededor del 10% de PIB en el mundo, de acuerdo a registros del 2018 publicados por la organización mundial de turismo (UNWTO, 2018), lo que también sería traducido en un sector de gran consumo de energía, ya que el sector hotelero genera una huella de carbono del 21%, (Salehi et al., 2021). Con el propósito de aprovechar el potencial que presentan las energías renovables, se puede destacar la energía solar como una de las más prometedoras, esta es utilizada para la generación de electricidad o para calentamiento de un fluido que generalmente es agua para fines sanitarios.(Thangavelu et al., 2021a).

Los colectores solares son los mecanismos utilizados para captar la energía solar y transferirla a un fluido de trabajo. la implementación de estos puede ayudar en gran medida a establecer disminución del

consumo energético, como es el caso de hoteles europeos, donde proyectaron ahorros en energía del 40 al 70 % al incluir sistemas solares térmicos como alternativa en la producción de ACS. (Fuentes et al., 2018).

Ahora bien, el objetivo del presente trabajo es desarrollar un análisis termoeconómico mediante un modelo analítico del uso de colectores solares para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel de la ciudad de Montería con el fin de determinar la viabilidad en la implementación de este sistema. El documento está constituido por una revisión de literatura, proseguido de un marco metodológico, y por ultimo los análisis de los resultados y conclusiones obtenidos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

➤ Desarrollar un análisis termoeconómico mediante un modelo analítico del uso de colectores solares para la producción de agua caliente sanitaria en un hotel de la ciudad de Montería con el fin de determinar la viabilidad en la implementación de este sistema.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

➤ Seleccionar el hotel de estudio, las condiciones de operación y parámetros meteorológicos para la elección del tipo de colector solar que ofrezca el mejor rendimiento dadas las variables físicas que intervienen en el óptimo funcionamiento del sistema de calentamiento de agua sanitaria.

➤ Desarrollar el modelo del sistema agua caliente sanitaria en el hotel, para determinar el diseño requerido que cumpla las condiciones de caudal, consumo energético y distribución de la red de tuberías.

➤ Evaluar la viabilidad y sostenibilidad de la implementación del sistema de colectores solares en la edificación seleccionada por medio de la teoría termoeconómica.

## **1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

### **1.1. MARCO TEÓRICO**

En la implementación de mecanismos amigables con el medio ambiente y en busca de establecer sistemas económicamente viables, se estudian los colectores solares como alternativa en la producción de agua caliente sanitaria para un hotel ubicado en la ciudad de montería, donde se analizarán temáticas relacionadas con el consumo energético, características energéticas, uso de energías renovables, colectores solares, estudio de exigía. Lo que permite cimentar las bases bibliográficas para el desarrollo del presente documento monográfico.

#### **1.1.1. Turismo a nivel mundial**

El sector turístico cumple un rol muy importante en la economía de muchos países, de acuerdo a datos de la organización mundial de turismo en el año 2018 el sector aportó cerca del 10,4% del producto interno bruto a nivel mundial, (UNWTO 2018). De acuerdo a esta organización se dio un movimiento de 1400 millones de turistas por todo el mundo. Mientras que para el siguiente año el movimiento internacional aumentó el 4,2 por ciento, posicionando a este sector como uno de los más importantes en materia de exportación para la economía a nivel internacional (UNWTO 2019). Lastimosamente para el año 2020 el sector presentó una disminución significativa del 74% a causa de la pandemia del COVID-19 y se estima que la recuperación de este se tardaría hasta 4 años para retomar un nivel económico que pueda ser comparable con los niveles vistos en el año 2019 según menciona (UNWTO, 2021).

Para el caso de Colombia, en los últimos años se ha presentado un aumento en la afluencia de visitantes, de acuerdo a un informe del ministerio de comercio, industria y turismo, en el que se plantea que en el año 2019 llegaron al país 4,5 millones de visitantes no residentes, presentando una ocupación hotelera del 57,8% y generando ventas de 34.113 millones de pesos en todo el territorio nacional, (MinCIT, 2019).

### 1.1.2. **Consumo energético hotelero**

Gran parte de la energía requerida es de uso industrial, residencial y terciario es utilizada con fines de calefacción o refrigeración, la cual se estima en un 46% de consumo total en los diferentes sectores, en su gran mayoría se utilizan fuentes no renovables y solo el 15% es desarrollada bajo energías amigables (Lozano-Medina et al., 2019a). Las principales fuentes de alimentación energética corresponden a electricidad para diferentes fines como iluminaria, funcionamiento de electrodomésticos y refrigeración. Mientras que para sistemas de calefacción y producción de agua caliente se utiliza combustibles como petróleo o gas (Gössling & Lund-Durlacher, 2021). Por tal motivo a este sector se le atribuye la producción del 8% de gases de efecto invernadero y 21 % de la huella de carbono que se genera a nivel mundial (Salehi et al., 2021). Se tiene que los hoteles que presentan un mayor consumo de energía, son aquellos que cuentan con 4 y 5 estrellas, mientras que los de 3 estrellas presentaban disminuciones significativas de consumo, (Pieri et al., 2015). De acuerdo a (Fuentes et al., 2018), la producción y consumo de agua caliente depende en gran medida de varios factores, entre los más importantes se destaca la categoría del hotel, el clima en el que se encuentra, la capacidad y los diferentes atractivos que ofrezcan, estimando un consumo promedio de agua caliente sanitaria que varía del 25% al 50% del consumo total diario por ocupante.

### 1.1.3. **Proyecciones en las energías renovables**

El cambio climático es uno de los mayores retos a los que se enfrenta la humanidad, para manejar esta situación se creó el acuerdo de París, donde establecen un marco en el que se busca disminuir las emisiones de efecto invernadero. Debido a esto varios países se han encaminado en el uso de energías amigables con el medio ambiente donde le apostaron a las cero emisiones fijando como meta el año 2050, y no solo países se han preocupado, también grandes empresas del sector transporte, tecnológico, alimenticio y otras están trabajando en la transición de energías fósiles a renovables, (Hansen et al., 2019).

Para alcanzar dicha proyección para el año 2050, se debe aumentar la participación de las energías renovables en un 65% con relación al 19% registrado en 2017. En cuanto al consumo eléctrico, se estima que dependerá en un 85% de este tipo de regeneración, (Solaun & Cerdá, 2019). Para ello se identifica a la

energía fotovoltaica como la más prometedora, debido a su gran aporte al sector eléctrico y al cumplimiento de los objetivos mundiales que apuntan a la disminución de la huella de carbono, teniendo en cuenta que a largo plazo puede ser aún más económica y accesible,(al Irsyad et al., 2019).

#### **1.1.4. Sistemas de calentamiento de agua**

En el margen de los procesos energéticos, el calentamiento de agua es uno de los que presenta mayor consumo a nivel residencial e industrial. Existen diversas maneras de clasificar los equipos para calefacción de agua, en primer lugar, se clasifican de acuerdo al almacenamiento (con tanque o sin tanque), (Maldenov et al., 2020); otro tipo deriva de la fuente energética (bomba de calor, madera, petróleo, eléctrica, solar, entre otras) (Ibrahim et al., 2014).

Dentro de los sistemas de calentamiento de agua se puede encontrar el calentador de agua con almacenamiento eléctrico, calentador de agua eléctrico sin tanque, calentador de agua solar, colector solar de placa plana, colector de tubo de vacío, colector de plato parabólico, colector cilindro-parabólico, calentador de agua híbrido solar-eléctrico con tanque, calentador de agua con bomba de calor, calentador de agua a gas sin tanque, calentador de agua de aceite, calentador de agua de biomasa, calentador de agua híbrido con bomba de calor a gas, calentamiento de agua geotérmico, calentador de agua fotovoltaico-térmico; estos como principales alternativas. (Hohne et al., 2019)

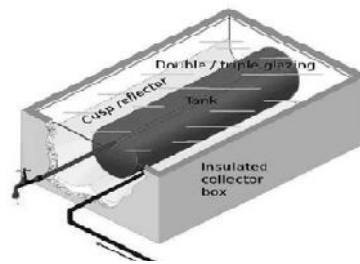
#### **1.1.5. Colectores solares**

En el marco de nuestra investigación, un elemento fundamental es el colector solar, este se puede definir como un sistema intercambiador de calor, donde se aprovecha el calor emitido por la luz del sol, que transfiere calor al fluido de trabajo aumentando su temperatura (Ahmadi et al., 2021b). El sistema de calentamiento se puede clasificar de dos formas, un sistema directo o indirecto, para el primero, el fluido de trabajo es calentado al pasar por el colector solar directamente; mientras que, para el sistema indirecto, se emplea un fluido de transferencia que se calienta en el colector y luego este va a un intercambiador

donde aumenta la temperatura de otro fluido, generalmente agua; los sistemas mencionados están comprendidos por dos ramas denominadas: sistemas activos y pasivos (Jamar et al., 2016a).

Ahora bien, se denomina un sistema activo cuando se utilizan equipos mecánicos como bombas para la impulsión del líquido, este es dividido a su vez en sistemas de circuito abierto y cerrados. Para el caso del circuito abierto el fluido de trabajo es calentado por los colectores y llevado a un tanque de almacenamiento para luego ser distribuida, este sistema no es recomendado para zonas que presenten bajas temperaturas y pueda ocasionar el congelamiento del líquido. Por otro lado, los sistemas de circuito cerrados utilizan una composición anticongelante y agua, llamado fluido caloportador, el cual será fluido de transferencia para soportar bajas temperaturas. Cuando el caloportador gana temperatura por medio de los colectores, es llevado a un intercambiador de calor en el cual el agua para uso sanitario será calentada, el cual se entiende como un tanque de almacenamiento del fluido que será distribuido en el sistema ACS (Patel et al., 2012; Sarwar et al., 2020). Básicamente la diferencia que existe entre los circuitos abiertos y cerrado, radica en la implementación de intercambiador y el uso de anticongelantes, ya que ambos sistemas utilizan elementos mecánicos para poder ser impulsados a los equipos de calentamiento y almacenamiento.

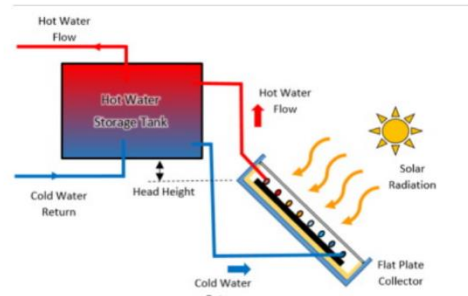
Por otra parte, los sistemas pasivos no utilizan bombas de impulsión, estos se transportan hacia el colector y almacenamiento por convección natural (Wang et al., 2015); este se rige por dos métodos de calentamiento, uno de ellos es el colector integral y el otro por termosifón. El colector integral está compuesto por un recinto aislado que en una de sus caras presenta un acristalamiento encargado de calentar los tanques de almacenamiento que se encuentren dentro de este como se muestra en la Figura 1, (Patel et al., 2012).



**Figura 1.** Sistema colector integral Obtenido de (Patel et al., 2012)



En este orden de ideas, el sistema pasivo por termosifón aprovecha las propiedades que presentan los fluidos, los cuales tienen una disminución de la densidad al estar sometidos a mayores temperaturas (Jafari et al., 2020), por tal motivo, los líquidos como el agua, al ser calentados por el colector se desplazan hacia la parte superior del tanque de almacenamiento y así el agua fría pasará a la parte inferior de colector, tal como se muestra en la Figura 2, (Jamar et al., 2016a).



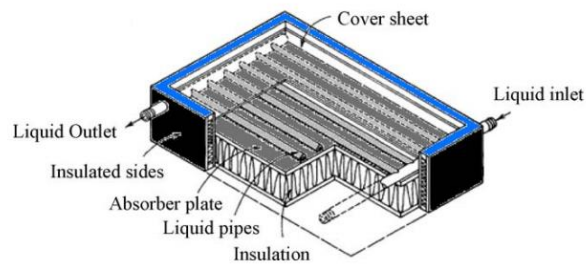
**Figura 2.** Esquema básico de un sistema de calentamiento por termosifón. Obtenido de (Jamar et al., 2016a).

#### 1.1.6. Tipos de colectores

En el apartado anterior se mencionaron las diferentes formas de calentamiento, del mismo modo, es importante tener conocimiento sobre los diversos tipos de colectores solares. Estos pueden ser clasificados de acuerdo al rango de temperatura, es decir, de baja temperatura, en los que el parámetro de temperatura puede oscilar entre los 65 y los 100 °C; media que puede variar entre 100 y 300 °C; y alta para temperaturas superiores a los 300 °C (Ahmadi et al., 2021c). Para los sistemas de calentamiento de agua se pueden tener colectores concentradores que son de plato parabólico o cilindro parabólico; y no concentradores como los colectores de placa plana y tubo de vacío, así lo afirma (Jamar et al., 2016a).

#### 1.1.7. Colectores solares de placa plana

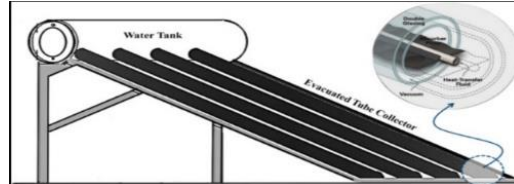
Este tipo de colectores son de los más utilizados en la calefacción de espacios, agua u otro tipo de procesos que no se requiera temperaturas superiores a los 80 °C. Está compuesto por una caja metálica con un aislamiento, una placa de color oscuro que cumple la función de absorber el calor y un acristalamiento o cubierta que puede ser de vidrio o plástico como se observa en la Figura 3.



**Figura 3.** Colector solar de placa plana Obtenido de (Hossain et al., 2011).

### 1.1.8. Colectores solares de tubo de vacío

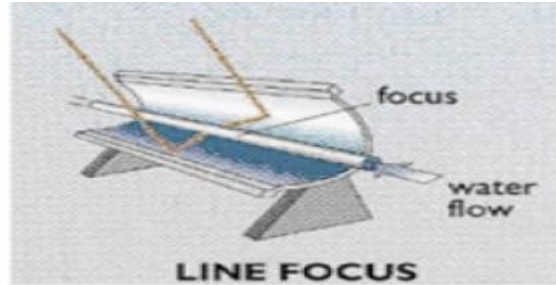
Los colectores de tubo de vacío pueden alcanzar temperaturas de 150 °C. Este tipo de sistema está conformado por una placa absorbente y una serie de tubos de vidrio sellados en vacío como se observa en la Figura 4, lo que genera un aislamiento térmico eficiente y menores pérdidas al transferirle calor al fluido de trabajo. Son muy utilizados en zonas que presentan climas nublados o radiaciones bajas, afirma (Abd-Ur-Rehman & Al-Sulaiman, 2016).



**Figura 4.** colector tubo de vacío. Obtenido de (Abd-Ur-Rehman & Al-Sulaiman, 2016).

### 1.1.9. Colectores solares de concentración cilindro-parabólico

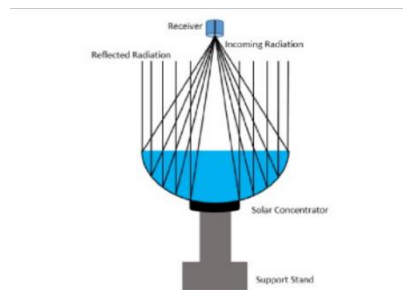
Compuestos principalmente por un concentrador parabólico, un tubo absorbedor que se encuentra distribuido sobre la longitud del concentrador y en el foco que genera la parábola, así la radiación que llega al concentrador es reflejada al absorbedor por el cual se está transportando el caloportador como se ilustra en la Figura 5. Este mecanismo es utilizado para alcanzar temperaturas que rondan los 400 °C, para ello se necesitan fluidos de transferencia como sales fundidas, mezclas a base de agua o aceites diatérmicos (Evangelisti et al., 2019). Según (Wang et al., 2015) es utilizado para la generación de vapor en plantas eléctricas como principal alternativa.



**Figura 5.** Colector solar de concentración cilindro parabólico. Obtenido de (Wang et al., 2015).

#### 1.1.10. Colectores solares de concentración plato parabólico

Dentro de las características que presentan los colectores de plato parabólico, se tiene que presentan una configuración geométrica la cual permite concentrar la radiación solar sobre un receptor que está ubicado en el punto focal, véase la Figura 6, (Evangelisti et al., 2019). Cuando se habla de este tipo de colectores solares, se habla de mayor eficiencia, para ello, se requiere de un mecanismo de seguimiento que garantice que el receptor térmico este recibiendo continuamente los rayos solares, realizando así movimientos den dos ejes. Este tipo de colectores son empleados en procesos que requieran temperaturas que oscilen los 1500 °C, por lo general son utilizados en la producción de energía eléctrica. (Jamar et al., 2016b).



**Figura 6.** Concentrador solar de plato parabólico. Obtenido de (Jamar et al., 2016b).

#### 1.1.11. **Exergía**

El rendimiento de los colectores solares puede ser calculado al aplicar un análisis de exergía, la cual es definida como la energía útil que tiene un proceso, regida por la primera y segunda ley de la termodinámica. En otras palabras, los estudios exergético determinan la calidad y no la cantidad energética, permitiendo así conocer las eficiencias reales del sistema y con ello realizar mejoras de los sistemas, según menciona (Caliskan, 2017; Ersöz, 2016; Thangavelu et al., 2021a).

#### 1.1.12. **Características generales**

A nivel general se deben tener en cuenta varios aspectos que determinan una buena eficiencia de los colectores solares. Las principales variables que se deben analizar al momento de realizar este tipo de estudios son las condiciones climáticas, donde se determinan los ángulos de inclinación y orientaciones para aprovechar la mayor radiación solar posible ya que esta varía de acuerdo a la ubicación geográfica; los parámetros de diseño que se deben tener en cuenta son las características del colector, materiales utilizados, orientación, normatividad, factores de sombreado, los mantenimientos que se realicen para ejecutar correcciones que puedan estar alterando el buen funcionamiento y produciendo bajas eficiencias del proceso (Wang et al., 2015).

#### 1.1.13. **Norma técnicas.**

La normatividad son lineamientos establecidos para el correcto diseño y desarrollo de proyectos. Se presentan tres áreas de estudios, las cuales son las normas para el dimensionamiento de los sistemas de distribución, diseño de sistemas de energía de agua caliente sanitaria y normas para comprobar el rendimiento en equipos de calefacción. Organizaciones internacionales como el comité europeo de normalización (CEN), establecen parámetros de caudales requeridos por los equipos, esto para el dimensionamiento de la red de distribución de agua. Por otra parte, las normas españolas (UNE 94002), permiten determinar la demanda de agua caliente teniendo en cuenta parámetros que incluyen el tipo de edificación, ocupación, consumo, entre otros.(Fuentes et al., 2018). Para los diseños que requieran la utilización de tanques de almacenamiento, la temperatura requerida en el tanque debe de ser mínimo de 60

°C, lo que permite controlar y erradicar la bacteria legionela, causante de una enfermedad llamada legionario, afirma (Fuentes et al., 2018; Mezni et al., 2017).

#### 1.1.14. **Características energéticas en Colombia**

En Colombia la principal fuente de generación de energía está constituida por las centrales hidroeléctricas, las cuales tienen un 70 % de producción, seguido de esta se encuentran las centrales térmicas con una participación del 29,39% y solo el 0,61% es producida por energías no convencionales, las cuales incluyen fuentes solares, eólicas y biomasa, (López et al., 2021). De acuerdo a proyectos de inversión que se están implementando en todo el territorio nacional, se busca que la participación de las energías renovables tenga mayor grado de contribución, teniendo como objetivo aumentar a más del 12% la producción de estas, (Al Congreso, 2019).

El país en términos de recursos renovables presenta buenas condiciones para la ejecución de proyectos, para instalaciones fotovoltaicas la irradiación solar promedio en el país está en el rango de los 4,5 kwh/m<sup>2</sup>/d, estando 0,6 kwh/m<sup>2</sup>/d por encima del promedio mundial. La energía eólica, el departamento de la guajira se presentan velocidades de viento que rondan los 9 m/s llegando a generar 18 GW eléctricos. Por otra parte, la biomasa puede ser generada de residuos agrícolas, pecuarios y otros tipos, teniendo una proyección de generación de 450.00 TJ por año. Por último, la energía geotérmica puede convertirse en un atractivo, debido a que se estipula que el país presenta un potencial de generación que ronda entre 1 y 2 GW, (UPME, 2015).

Los datos de proyecciones energéticas establecidas por la UPME, indican características positivas para el desarrollo de proyectos que generen energías limpias, como una alternativa que lleva a la disminución en los usos y explotación de combustibles fósiles y consigo trayendo grandes beneficios ambientales para todas las partes.

## 1.2. ESTADO DEL ARTE

En el siguiente estado del arte se dan a conocer investigaciones realizadas por diferentes autores sobre estudios en producción ACS que de cierto modo guardan relación con esta investigación, utilizando colectores solares en instalaciones hoteleras y domiciliarias, los cuales sirven como soporte y base para el desarrollo de nuestro documento, hay que tener en cuenta que se consideraron algunos de sus parámetros para abarcar cálculos y análisis.

Inicialmente se considera la investigación de (Ouyang et al., 2021), donde realizaron un estudio entre los colectores de plato parabólico y de placa plana, desde un punto de vista energético, exergético, medioambiental y exergoeconómico. Adicionalmente desarrollaron una comparativa con diferentes fluidos de trabajo como agua, downthern Q y nanopartículas de carbono, desarrollado mediante la descripción de las condiciones climatológicas de las zonas de estudio como la irradiación solar, temperatura ambiente, latitud y altitud. Luego realizan un modelado numérico, en este tuvieron en cuenta un volumen de control en el colector solar, con condiciones de estado estacionario, determinan las pérdida y eficiencias de energía y exergía en los colectores de placa plana mediante la implementación la primera y segunda ley de la termodinámica. Respecto a la viabilidad del sistema, determinan el costo nivelado de energía, utilizando una tasa de interés del 8%, una operación de 20 años, 6 horas al día. Con base en los resultados establecen que el colector solar de placa plana debe estar orientado hacia el sur para ubicaciones que se encuentren en el hemisferio norte. la ciudad de Theran presenta mejores condiciones para la producción de potencia con un 94,7% con respecto a un 48,1% de Beijín. En cuanto al rendimiento de los colectores, los equipos cilindro parabólico presentaron mejores resultados, ya que se necesita menor área para producir la misma cantidad de energía y determinaron que el uso de nano fluidos presenta mejoras significativas en el rendimiento del colector solar, pero aumenta los costos de producción energética.

De forma similar (Sokhansefat et al., 2018), estudió los colectores solares de placa plana y de tubos de vacío, con el fin de analizarlos termoeconómicamente en condiciones de clima frío en Irán. El estudio se ejecutó un modelado en software TRNSYS tanto para el colector de tubo de vacío como para el colector de

placa plana, donde conectan los colectores en serie para alcanzar las temperaturas requeridas. Para el modelado incluyeron los datos de orientación, área de captación de los colectores, inclinación, eficiencia, caudal y calor específico del fluido de trabajo, además, especifican el ángulo de inclinación óptimo, correspondiente a la latitud del lugar con un aumento entre 10 a 15°. Para el análisis económico comparan los dos tipos de colectores con base al rendimiento que estos presentan, utilizando el método de flujo de caja descontado que a su vez estudia tres criterios de evaluación como el valor actual neto, tasa interna de rendimiento y el periodo de recuperación. Los resultados dan a conocer que el rendimiento del colector de tubo de vacío es mejor, presentando tasas de rendimiento anual de 4,6% y 4,9% para los colectores de placa plana y de tubo de vacío respectivamente. Económicamente hablando, aunque se tiene que ambos mecanismos son viables, la variación entre ellos es mínima, con un porcentaje a favor de los de placa plana, debido a que estos presentan una tasa de retorno de 74%, mientras que para los tubos de vacío es del 69%.

Otro elemento importante se puede revisar en el documento de (Lozano-Medina et al., 2019b) , en este realizaron el diseño y configuración de una instalación solar térmica, haciendo uso de colectores cilindros-parabólicos para un hotel. Para el desarrollo de esta investigación, determinan la radiación solar de la zona, los fundamentos teóricos y parámetros de diseño como la orientación del colector, esto lo obtuvieron con ayuda de una herramienta desarrollada por la plataforma solar de Almería, que permite calcular el ángulo de orientación, altura solar y ángulo de incidencia. Los resultados arrojaron que al implementar una superficie de captación de  $36,9 m^2$  cubre el 10% de la demanda de agua caliente sanitaria, del mismo modo, determinaron que con 5 colectores cilindro parabólicos conectados en paralelo en vez de placa plana se generaría 225,4 MWh año, lo que corresponde al doble de la energía que están generando los colectores de placa plana instalados en el hotel. Otro aspecto importante es el económico y este parámetro les permitió conocer que el costo de la potencia instalada de 22kW les cuesta 2,5 euros/kW, lo que representa un costo similar a sistemas fotovoltaicos, generando así un ahorro de 0,06 euros/kWh al utilizar sistemas térmicos con una vida útil de 20 años.

Por otro lado, en la investigación realizada por (Gill et al., 2016), determinan el rendimiento en la producción de agua caliente utilizando tubos de vacío en una casa familiar. Para llevar a cabo este estudio, describieron algunas características del entorno, entre las que se destacan características del inmueble, el mecanismo de regulación de temperatura, el porcentaje de ocupación, el tipo de colector y la ubicación del colector solar. Otras de las actividades que desarrollaron en el transcurso de la investigación fue la toma de mediciones de temperatura y flujo, por último, analizaron económicamente el sistema, donde tomaron como referencia el periodo de recuperación simple y el valor actual neto. Los autores identifican el ahorro de carbono mediante la calculadora carbón footprint. Dado sus estudios, afirman que el sistema presenta una eficiencia del 68%, produciendo 1216 kWh de energía útil de calefacción, como una disminución aproximada de 1,1 Ton de  $CO_2$  en 5 años de funcionamiento, lo que representa una contribución al cuidado del medio ambiente.

De igual manera que en la investigación anterior, (Michopoulos et al., 2017), hicieron un estudio de rendimiento energético y medio ambiental de sistemas implementados en la producción de ACS, en los hoteles de 4 y 5 estrellas, esto con el fin de formular estrategias para mitigar las emisiones de carbono. Para este estudio realizaron una clasificación de los hoteles que se encuentran en la región, luego determinaron los diferentes tipos de mecanismos que se utilizan para la producción de agua caliente en los hoteles y el consumo de esta en baños, lavado, calefacción de piscinas y limpieza. Con los datos recopilados realizaron el cálculo del índice de consumo de energía primaria y emisiones de dióxido de carbono. Los resultados dieron a conocer que hoteles que operan durante 12 meses tienen una mejor distribución de consumo energético primario con respecto a los hoteles que operan 8 meses al año, además, la bomba de calor de fuente de aire presenta menores consumos respecto a la caldera. Por otro lado, determinaron que la producción de  $CO_2$  en las bombas de calor con fuente de aire es mayor que las calderas. Los autores sugieren la implementación de sistemas combinados con colectores solares de placa plana y con bombas de fuente de aire.



De forma similar, (Pina et al., 2021) diseñaron y analizaron un sistema híbrido de poligeneración basado en un Ciclo Rankine Orgánico de biomasa solar desde el punto de vista energético, económico y medioambiental. Para la realización de esta investigación, primero determinaron la demanda energética del establecimiento comercial para conocer el consumo eléctrico y la capacidad de refrigeración. Luego realizan la descripción del sistema. Por último, hacen el dimensionamiento utilizando un modelo de asesor de sistema (SAM), el cual permite evaluar, modelar y simular proyectos de energías renovables. Los resultados arrojaron que la configuración de poligeneración no es competitiva con los sistemas convencionales de producción eléctrica, debido a que producir la electricidad cuesta el doble del precio de compra a la red, sin embargo, ambientalmente se tiene un ahorro de emisiones de  $CO_2$  cerca del 96% respecto al mecanismo convencional. Esto le permite concluir que para producir electricidad es mejor utilizar sistemas fotovoltaicos, mientras que, para producir calor a alta temperatura, es recomendado implementar colectores solares.

Ahora bien, resulta importante determinar una metodología de optimización para los sistemas de colectores de agua en vidrio, en el trabajo de (Yilmaz, 2018), realizan las especificaciones y determinan el rendimiento del colector a utilizar. Establecen los datos meteorológicos como: latitud, longitud y altitud de las diferentes zonas donde realizaron el estudio, luego construyen el perfil de consumo de agua caliente haciendo uso del método Rand. Por último, determinan el impacto medioambiental, realizando una comparativa entre un sistema solar y uno no solar, y así conocer la cantidad de emisiones. Se tiene que la fracción solar anual para un ángulo de  $22^\circ$  es de 0,760 y 0,723, y para un ángulo de  $45^\circ$  la fracción solar fue de 0,744 y 0,733, estos datos obtenidos de estudios actuales y de la literatura respectivamente; obteniendo que la fracción solar puede aumentar más de 0,9; lo que aumentaría los beneficios energéticos, económicos y ambientales.

Por otro lado, (Hajabdollahi & Hajabdollahi, 2017) realizaron el modelado termoeconómico de un colector de placa plana, para este, calcularon la radiación recibida en la superficie inclinada, la absorbida por el colector y el calor transferido al fluido. Para seleccionar el ángulo del colector solar establecen dos

estrategias, la primera considerar el ángulo a cada mes y la segunda consiste en considerar el ángulo durante todo el año. Suponiendo la segunda estrategia, se estimó que el ángulo óptimo para los colectores solares debe ser igual a la latitud en la que se encuentra ubicado. Por otro lado, para el análisis económico tuvieron en cuenta el costo de inversión y de operación.

Así mismo, (Cetina-Quiñones et al., 2021), realizó un estudio económico de un colector solar de placa plana, utilizando materiales de cambio de fase, evaluándolo en los sectores residencial e industrial. Inicialmente, realizan la descripción de los elementos del colector solar, aplicando el material de cambio de fase entre la cubierta inferior y es aislante, luego desarrollan una modelación teórica, haciendo un balance energético global donde estudian la tapa de cristal, la placa absorbente, fluido de trabajo, la cubierta inferior, coeficiente de transferencia de calor por radiación de la cubierta superior a la placa y de la placa absorbente a la cubierta inferior. En la evaluación económica, utilizaron el método gráfico “f” y obtuvieron que la mayor temperatura utilizando el material de cambio de fase (ácido láurico) con espesor de 32 mm fue de 95 °C y una ganancia térmica de 2755,3 kJ/kg, teniendo mejores rendimientos entre las 18:00 y las 24:00. Por otra parte, se observó que el fluido presentaba deficientes comportamientos cuando las condiciones climáticas son nubladas, ya que esta no almacena energía suficiente en este intervalo de tiempo.

Finalmente, la investigación de (Thangavelu et al., 2021a) en la que realizan un análisis de exigía y exergo economía de calentadores de agua para uso doméstico en la ciudad de Kuching, Malasia. Utilizaron dos colectores, uno con área de captación de 2 m<sup>2</sup> y otro de 4 m<sup>2</sup>, en los que tuvieron en cuenta las pérdidas que se generaban en la tubería y en la bomba, tomando parámetros como caudal y ubicación geográfica. Hay que resaltar que solo se consideró el colector solar y el tanque de almacenamiento para el estudio, y se estableció una distribución de temperatura lineal en el almacenamiento. Los datos fueron simulados en el software TRNSYS y los resultados de este estudio dan a conocer que las eficiencias energéticas del calentador son de 2 a 3 por ciento, lo que nos da a entender que el sistema tiene una eficiencia muy baja.

## 2. CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL TEMA

### 2.1. Marco metodológico

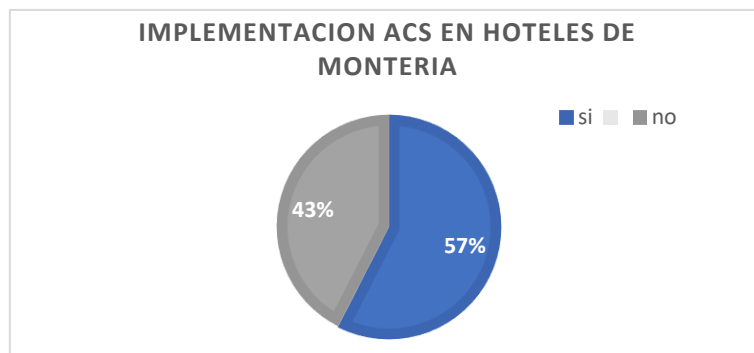
En el presente capítulo, se presenta el marco metodológico implementado para realizar el análisis termoeconómico del sistema de calentamiento de agua sanitaria en un hotel de la ciudad de Montería, evaluando el equipo de calefacción de agua sanitaria con un sistema de colectores solares. Según (López Restrepo, 2018) este tipo de análisis se deriva de la primera y la segunda ley de la termodinámica.

1. Descripción geográfica.
2. Descripción climatológica.
3. Cálculo del consumo de agua.
4. Cálculo de la demanda energética.
5. Selección del colector solar.
6. Cálculo de la superficie de captación solar.
7. Análisis exegético.
8. Construcción del modelo termoeconómico.

#### 2.1.1. Selección del hotel

El departamento de Córdoba, en los últimos 5 años ha tenido un crecimiento del 56% en las cantidades de establecimientos de alojamiento y hospedaje, actualmente cuenta con 310 hoteles activos y disponibles para el sector turismo de la región cordobesa (MinCIT, n.d.), de los cuales 77 de ellos se encuentran en la ciudad de Montería, (*Hoteles En Montería, Colombia | Páginas Amarillas*, 2020). Los datos sobre este tipo de establecimientos comerciales son limitados, sin embargo, existe información general que puede ser obtenida desde los canales estadísticos nacionales y fuentes de turismo y cultura; en el proceso de

investigación se determinó una muestra de cuarenta hoteles de la ciudad, véase Anexo 1, los cuales se visitaron y encuestaron con el fin de obtener información respecto al uso de sistemas de abastecimiento de agua caliente sanitaria y llevar a cabo la selección de un hotel que contara con este mecanismo, para realizar un análisis termoeconómico del sistema de colectores solares. Según los resultados de esta etapa se determinó que actualmente el 57% de los hoteles de Montería hacen uso de ACS con mayor medida en hoteles de tres, cuatro y cinco estrellas, véase Figura 7. Aunque varios de los hoteles en cuestión, contaban con sistemas de calentamiento de agua, algunos no tienen registros históricos de consumo energético del equipo, consumo de agua por habitación o general; información necesaria para el estudio. No obstante, fue seleccionado un hotel, el cual nos facilitó la información necesaria para el desarrollo del presente documento monográfico, pero no nos brindó aval para publicar nombre o información que lo vincule en el proceso, por lo que en ocasiones acudiremos a generalizar, para respetar la posición de este.



*Figura 7. Implementación de ACS en los hoteles de la ciudad de Montería. Obtenido de autor.*

### 2.1.2. Descripción del hotel

El hotel en el cual se realizó el estudio se encuentra ubicado en el norte de la ciudad de Montería, Córdoba, cuenta con una fachada moderna y una buena atención, por lo que es catalogado como centro turístico de 4 estrellas, además tiene una planta principal con restaurante, zona de lavandería y sección de oficinas; así mismo tiene 6 plantas para hospedar a sus clientes con un total de 48 habitaciones, clasificadas en tres tipos: Estándar, Twin y Premium. Las características y cantidades de cada una de ellas se pueden apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Cantidad de habitaciones y características, autor.

Descripción	Habitación		
	Estándar	Twin	Premium
Cantidad	27	15	6
Cama doble	1	1	1
Cama sencilla	0	1	0
Baño	1	1	1
Superficie	12	16	20

Con base en la información de la Tabla 1, podremos determinar la capacidad de ocupación máxima posible para el hotel de estudio; esta, estará dada por la sumatoria de los productos de la cantidad de camas por habitación, y las personas que pueden ocuparlas, en este caso, las camas dobles permiten una ocupación de 2 personas y las camas sencillas permiten ser ocupadas por una sola persona, en este orden de ideas, las habitaciones tendrán una ocupación de 2, 3 y 2 personas, para la Estándar, Twin y Premium respectivamente, para una ocupación total de 111 personas.

Por otro lado, es de suma importancia conocer el perfil de ocupación del hotel durante el año, esta información no pudo ser obtenida por parte del centro de hospedaje, por lo que se trabajó con el porcentaje de ocupación mensual del sector turismo en Colombia, obtenido de la sección de turismo en la plataforma del DANE (*DANE - Visor Turismo*, n.d.), como se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2. Porcentaje de ocupación hoteles en Colombia. DANE.

Mes	año		promedio
	2020	2019	
Enero	50,2	47,1	48,65
Febrero	50,6	48	49,3
Marzo	32,2	47,3	39,75
Abril	8,8	45,7	27,25
Mayo	11,2	45,5	28,35
Junio	12,6	48,2	30,4
Julio	14	49,4	31,7
Agosto	13,6	51,7	32,65
Septiembre	17,9	49,9	33,9
Octubre	25,8	49,5	37,65
Noviembre	30,6	53,1	41,85
Diciembre	32,7	49,7	41,2

Si analizamos la Tabla 2, podemos ver que para el año 2020 el índice de ocupación para centros de alojamiento y hospedaje en Colombia, tuvo una disminución del 36% en el mes de abril, esto se debió en gran medida al proceso de pandemia que se vivió en la actualidad, la incertidumbre del virus COVID 19 y la cuarentena obligatoria dictada en su momento por el gobierno nacional. Lo que nos indica que este fue un año atípico, por lo que se trabajó solamente con la información del año 2019 para los cálculos pertinentes, en la Figura 8 se puede apreciar de mejor forma lo planteado anteriormente.

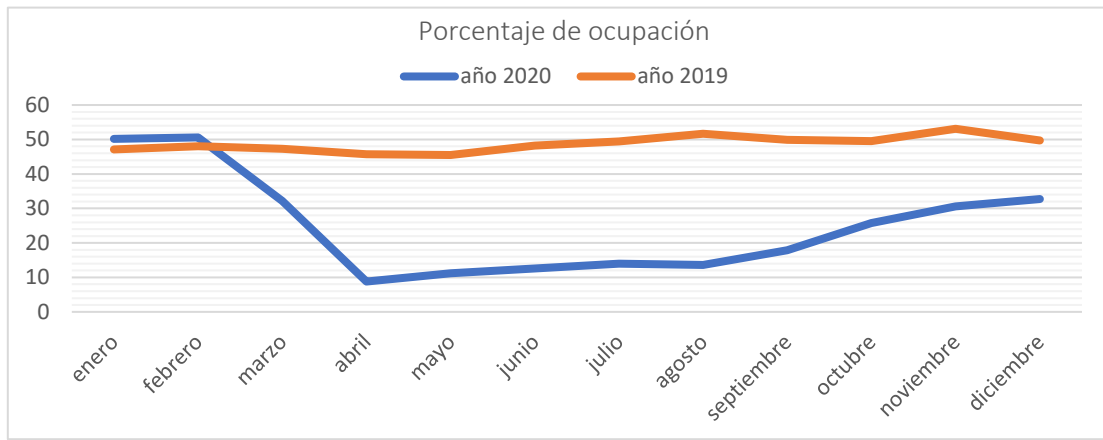


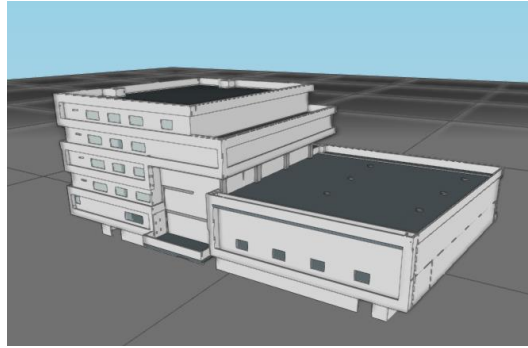
Figura 8. Comparativo del perfil de ocupación mensual año 2019 y 2020, obtenido de autor.

Con base a la información de la Tabla 2 y la capacidad máxima de ocupación del hotel, se determinó la ocupación mensual promedio para el caso de estudio, los resultados se aprecian en la Tabla 3.

Tabla 3. Ocupación mensual promedio en el hotel, Autor.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
<b>Ocupación mensual promedio</b>	52	53	53	51	51	54
Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Ocupación mensual promedio</b>	55	57	55	55	59	55

Para poder realizar el análisis termoeconómico del hotel se utilizó el modelo IFC realizado por (Altamiranda & Acevedo, 2020), ver Figura 9, el cual fue modificado y ajustado a las necesidades de esta investigación con la ayuda del software IFC Builder y la posterior exportación a CYPECAD MEP.

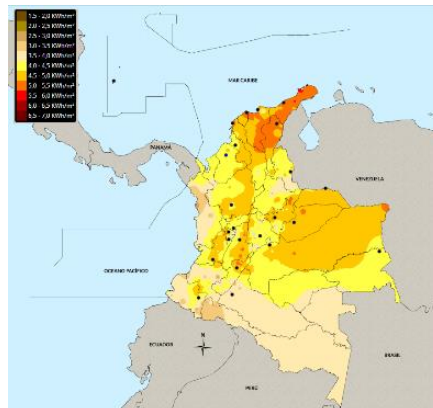


*Figura 9. Modelado IFC del hotel de estudio, obtenido de (Altamiranda & Acevedo, 2020).*

### 2.1.3. Descripción geográfica

El edificio estudiado, como se comentó anteriormente, se encuentra situado al norte de la ciudad de Montería, los datos geográficos relevantes se describen a continuación:

- Altitud: 18 m
- Latitud: 8,8
- Longitud: -75,9
- Zona climática: IV – Extremadamente caliente – húmedo, ver Figura 10.



*Figura 10. Atlas de radiación solar en Colombia. Obtenido de (IDEAM, 2019).*

#### 2.1.4. Descripción climatológica

En esta sección se investigaron los aspectos climáticos de la zona, tales como temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, radiación solar, velocidad del viento, temperatura del suelo y otros parámetros importantes para el dimensionamiento de los colectores solares que se estudiaron en este documento monográfico, esta información se obtuvo con la ayuda del software RETScreen Expert, el cual vincula información de datos meteorológicos de instalaciones que se encuentran en distintas ubicaciones del mundo, dirigidas inclusive por la NASA, la estación donde se registraron los datos se encuentra ubicada a 2 km del punto de estudio, en el barrio la Julia de la ciudad de Montería, ver Figura 11, lo que nos da certeza de tener información lo más cercano a la del lugar de estudio, véase Anexo 2.



*Figura 11. Datos climatológicos de la localidad, obtenidos de autor.*

#### 2.1.5. Cálculo del consumo de agua

Un factor importante es el consumo total de agua dadas las necesidades sanitarias del hotel, el cual está dado en gran medida por la ocupación y el consumo promedio por persona, es decir del factor humano. Es importante mencionar que actualmente Colombia no cuenta con normativas que rijan el consumo o instalación de estos sistemas en edificaciones a consecuencia de ser nuevas alternativas de aprovechamiento energético en el país. Como esta información no fue suministrada por el hotel, fue necesario usar normatividad española por sus grandes avances en esta temática, se utilizó la norma UNE 94002 de 2005 sobre instalaciones solares térmicas para ACS y la norma UNE 149201 DE 2008 sobre abastecimiento de agua y dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios, teniendo en



cuenta que con esto podremos definir el consumo instantáneo de agua en el hotel; se partió del perfil de ocupación promedio mensual crítico para el año 2019, siendo esta de 59 personas. Hay que tener en cuenta que solo se está considerando el consumo de agua sanitaria, es decir, no se tiene en cuenta lavaplatos, plumas domesticas o de servicios u otros elementos.

Con base en la información del Anexo 4, para un hotel de 4 estrellas, el consumo unitario medio de agua diario es de 80 L por persona, quiere decir que el consumo estimado para el hotel estará dado por la ecuación 1:

$$Q_T = C_{ud} * O_c \quad \text{Eq. 1}$$

De este modo el consumo total diario se estimó en 0,0546 L/s, teniendo en cuenta que este es el consumo total del hotel si todas las personas consumieran al mismo tiempo, por lo que implementaremos la ecuación 2 que nos permite conocer estadísticamente cual es el caudal instantáneo real máximo que se puede llegar a tener simultáneamente, Los valores de A, B y C, se toman de la Tabla 4.

$$Q_s = A * Q_T^B + C \quad \text{Eq. 2}$$

Tabla 4. Coeficientes de simultaneidad.  
obtenido de (Asociación Técnica Española de Climatización & y Refrigeración, 2010)

Tipo de edificio	Caudales (l/s)		Coeficientes		
	Q <sub>u</sub>	Q <sub>r</sub>	A	B	C
<b>Hoteles, discotecas, museos</b>	<0,5	≤20	0,698	0,500	-0,120
	≥0,5	≤1	1,000	1,000	0,000
	≥0,5	≤20	1,000	0,366	0,000
	→ Sin límite	>20	1,080	0,500	-1,830

$$Q_c (l/s) = 1,08 \cdot 33^{0,5} - 1,83 = 4,374 \text{ l/s}$$

Es decir, que el consumo instantáneo máximo que se puede tener simultáneamente en el hotel de estudio es de 155,31 l/h; ahora bien, es necesario determinar la proporción de agua que es calentada, teniendo en cuenta que el agua se calentará en los colectores a 60 °C, luego es mezclada con el agua de la red que se encuentra en promedio a 25 °C para salir del sistema a una temperatura de referencia de 40 °C, recomendada

por diversos autores. Para determinar la cantidad de agua caliente necesaria durante el día, se realizó un balance de masa y energía para la mezcla de agua caliente – agua fría del sistema (Cuevas Streeter, 2009) como se muestra a continuación en las ecuaciones 3 y 4:

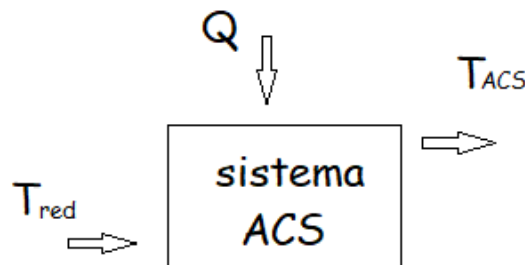
$$\dot{m}_f = T_f + \dot{m}_c * T_c = \dot{m}_T * T_T \quad \text{Eq. 3}$$

$$m_f + m_c = m_T \quad \text{Eq. 4}$$

Así, la cantidad de agua caliente simultánea media necesaria será de 66,6 L/h, equivalente a 1598,4 L diariamente.

## 2.5. Cálculo de la demanda energética.

En esta sección del documento nos centraremos en determinar la demanda energética que se requiere para la necesidad de agua caliente sanitaria en el hotel de estudio, para esto, se realizó un balance térmico global de la instalación, véase Figura 12. Con el fin de conocer la energía necesaria para llevar el agua de 25 °C a 60 °C.



*Figura 12. Balance de energía global de la instalación. Obtenido de autor*

### 2.1.6. Balance energético del sistema:

A continuación, en la ecuación 5, se presenta el balance energético que se realizó en la Figura 12:

$$\frac{\partial E}{\partial T} = Q - W + \sum_e m_e \left( h_e + \frac{1}{2} C_e v_e^2 + g Z_e \right) - \sum_e m_e \left( h_s + \frac{1}{2} C_s v_s^2 + g Z_s \right) \quad \text{Eq. 5}$$

En la ecuación 5 se tienen las siguientes consideraciones:

$\frac{\partial E}{\partial T} = 0$ ; Porque es estacionario

$W = 0$ ;

$m_e = m_s$

$\Delta z = \Delta C = 0$ ;

Por lo tanto, se nos reduce a la ecuación 6:

$$Qd = m \cdot C_p(T_{ACS} - T_{red}) \quad \text{Eq. 6}$$

El cálculo se realizó considerando las condiciones críticas de consumo para el año 2019, y un Calor específico para una temperatura de 40 °C, con lo que se obtuvo que la energía necesaria para incrementar la temperatura a 66,6 L de agua de 25 hasta 60 °C, sería de 9741,2 kJ.

#### 2.1.7. Selección del colector solar.

Un factor importante para llevar a cabo el desarrollo de este documento es la elección del colector solar, el cual debe cumplir con las condiciones de uso en el hotel, además, se estimó la cantidad de estos para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria, teniendo en cuenta parámetros como la ocupación crítica, costos del equipo, eficiencia y durabilidad del equipo, sin dejar a un lado la disponibilidad de los materiales para su debido mantenimiento.

Para ello, se llevó a cabo una investigación minuciosa sobre los proveedores disponibles en Colombia, los diferentes precios y características de cada uno de los colectores, llegando a la conclusión que: aunque los colectores solares de tubo de vacío presentan una mejor eficiencia que los colectores de placa plana, la variación de precios es realmente determinante, por lo que se decidió trabajar con un colector de la empresa Cointra del Valle del Cauca, con referencia ICARO 2.3 VF, véase Anexo 5.

Por otro lado, es necesario conocer la cantidad óptima de colectores solares para que el sistema funcione adecuadamente, por lo que se implementó la metodología FCHAR recomendada por (Gil Maínez & Guerra Macho, n.d.), la cual estima la cantidad de colectores, con base a las condiciones climatológicas de la región,

algunos parámetros del hotel y configuraciones de uso, con lo que se puede tener un resultado considerablemente aceptable en unidades necesarias, ahora bien, para nuestro caso se tomó como referencia la explicación sobre el uso de una plantilla de Excel facilitada por (Jiménez, 2017), esta fue validada y comprobada con base a la información y análisis que realiza (Adolfo Navarro Bonsón, 2015), luego se introdujeron los parámetros y variables necesarias obteniendo un resultado de 10 colectores como alternativa para introducir en el modelo IFC, ver Anexo 6.

#### **2.1.8. Cálculo de la superficie de captación solar.**

Para determinar exactamente el área que necesitamos para la captación solar, se debe conocer cuántos colectores son necesarios para abastecer el agua caliente que demanda el hotel, para ello se parte del modelo IFC presentado en la sección 2.1.2, y de la estimación de colectores descrita en la sección anterior; esta información se insertó en el software CYPECAD MEP versión profesional, que es un programa para el diseño y dimensionamiento de la envolvente, distribución, y las instalaciones de edificios sobre un modelo 3D integrado, el cual tiene la posibilidad de realizar análisis térmico, acústico, energético, incendio o de salubridad con los distintos elementos del edificio. Los colectores fueron orientados hacia el sur en la cubierta, discriminados como se muestra en la Figura 14, cabe recalcar que previo a esto resulta imperante determinar el ángulo óptimo de inclinación de los colectores y la distancia entre ellos.

#### **2.1.9. Inclinación de los colectores solares**

Como sabemos la radiación solar es una variable que depende del sol, y a su vez de la rotación de la tierra, es decir, este factor, no será constante, por el contrario, será variable según las horas del día, por ello la importancia de la inclinación de los colectores para poder aprovechar de la mejor manera la luz solar para el proceso de ACS.

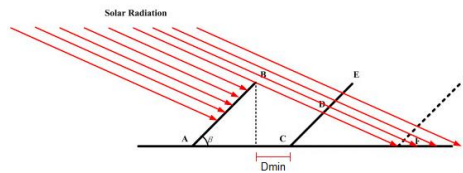
Según (Solano Diaz & Amaya Durán, 2014) la radiación solar que incide en la superficie del colector está integrada por dos componentes: la radiación directa y la radiación difusa, estas dos magnitudes en

proporción con las estaciones meteorológicas que disponen sobre la radiación global en el plano horizontal y las cuales varían en función de la latitud. Dado los resultados de (Tripathy et al., 2016) en su investigación, el ángulo de inclinación óptimo fijo es aproximadamente la latitud de la ubicación, la cual fue tomada como referencia para nuestro estudio.

#### 2.1.10. Matriz de distribución de los colectores

Otro factor importante es la matriz de distribución de los colectores, según diversos estudios en los que comparan el rendimiento en la captación solar para sistemas conectados en serie y en paralelo, determinaron que las conexiones en paralelo cubrían casi el 50% de la demanda energética de ACS con la misma superficie que un sistema en serie, es decir que la producción de energía duplico los resultados (Lozano-Medina et al., 2019c), por lo que se define trabajar con una instalación en paralelo, donde la matriz de distribución está dada por la distancia mínima a la que deben instalarse los colectores para que su eficiencia no se vea afectada por la proyección de sombra del equipo siguiente.

Por otro lado, en cuanto a la distribución, hay que determinar la distancia óptima a la que se instalarán los colectores, este es denominado como factor de sombreado, y depende del ángulo de altitud solar, la Figura 13. muestra un análisis simplificado de sombreado para dos filas paralelas de colectores de placa plana.

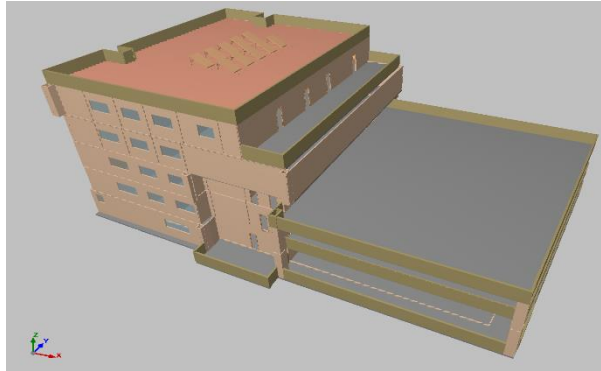


**Figura 13.** Análisis de sombreado sobre filas en paralelo. Obtenido de (Zhou et al., 2015).

En este orden de ideas, nos interesa calcular la distancia mínima que se debe tener entre los colectores para obtener la mejor cantidad de luz solar durante el día, la cual está dada por la Ecuación 7.

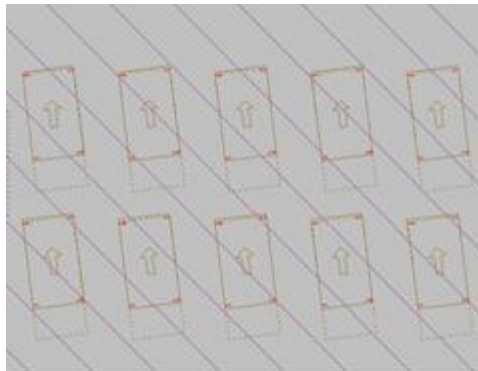
$$D_{min} = l \cdot \cos\beta + \frac{l \cdot \sin\beta \cdot \cos AZ}{\tan\alpha} \quad \text{Eq. 7}$$

Donde el ángulo azimut y el ángulo de altura solar para la ciudad de Montería son respectivamente  $65,37^\circ$  y  $48.76^\circ$  en promedio para el mes de junio de 2019 (*Amanecer y Atardecer Montería, Colombia*, n.d.) con lo que se obtuvo que la distancia que permitía tener el mayor aprovechamiento solar es de 1.43 metros. Dados estos parámetros, se instalaron los colectores bajo estas condiciones en CYPECAD MEP y se obtuvo lo siguiente, véase Figura 14.



**Figura 14.** *Colectores insertados en el modelo IFC del hotel de estudio. obtenido de autor.*

Ejecutado el primer análisis en el software podemos apreciar que la distancia mínima esta conforme a lo analizado anteriormente, ver Figura 15 en la que se muestra el acercamiento de la matriz de distribución cargada en el modelo de la Figura 14.



**Figura 15.** *Proyección de sombra en CYPECAD MEP, obtenido de Autor.*

### 2.1.11. Superficie de captación

El dimensionamiento de la superficie de captación se realizó mediante el método de las curvas (F-Chart), que permite realizar el cálculo de la cobertura solar y del rendimiento medio para periodos de cálculo mensuales y anuales mediante la determinación de la cantidad promedio de equipos a instalar. Cabe recalcar que previamente se había determinado que se necesitaban 10 colectores implementando únicamente este método, sin embargo, el programa CYPECAD MEP considera otras variables del entorno y la norma UNE 14002, con lo que se identificó que para optimizar el sistema se puede disminuir la cantidad de colectores.

Se asume un volumen de acumulación equivalente, de forma aproximada, a la carga de consumo diario promedio, para un volumen de 1600 litros. La superficie de captación se dimensiona para una fracción solar anual superior al 47%, donde el valor resultante para esta es de 10,5 m<sup>2</sup> y resulta del producto de la cantidad de colectores con el área útil, cabe aclarar que bajo condiciones de uso óptimo, la cantidad apropiada es de 1 batería de 5 colectores de placa plana conectados en paralelo.

### 2.1.12. Dimensionamiento del intercambiador

La instalación consta de un circuito primario cerrado (circulación forzada) dotado de un sistema de captación con una superficie total de captación de 10,5 m<sup>2</sup> y de un interacumulador colectivo. Se ha previsto, además, la instalación de un sistema de energía auxiliar para ser usado en condiciones de nubosidad.

El volumen de acumulación se ha seleccionado cumpliendo con la ecuación 8 según (Adolfo Navarro Bonsón, 2015).

$$50 < (V/A_s) < 180 \quad \text{Eq. 8}$$

Se utilizó un interacumulador de gran capacidad vitrificado, con intercambiador de un serpentín de 2000 l, altura 2280 mm, diámetro 1360 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, libre de CFC, protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio, protección externa con forro de PVC, ver Anexo 9.

### 2.1.13. **Fluido caloportador**

Para evitar riesgos de evaporación del fluido en el circuito primario, se incorporará un fluido caloportador, el cual es una mezcla generalmente entre agua y un aditivo. En este caso, se ha elegido como fluido caloportador una mezcla comercial de agua y propilenglicol al 21%, con lo que se garantiza la protección de los captadores contra rotura corrosiones e incrustaciones, ya que dicha mezcla no se degrada a altas temperaturas. En caso de fuga en el circuito primario, cuenta con una composición no tóxica y aditivos estabilizantes.

Las principales características del fluido caloportador son las siguientes:

Densidad: 1000.00 Kg/m<sup>3</sup>.

Calor específico: 4.197 KJ/kgK.

Viscosidad (60 °C): 1.44 MPa·s.

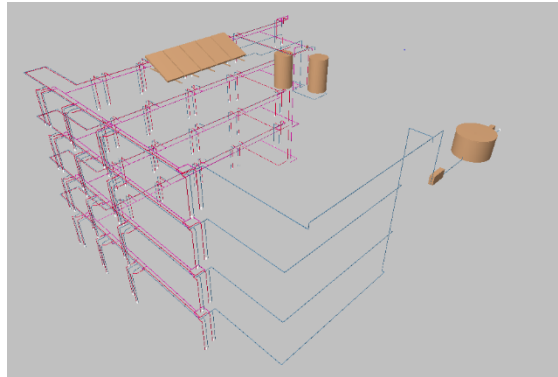
La temperatura histórica en la zona es de 27.3 °C. La instalación debe estar preparada para soportar una temperatura de hasta 20 °C (5° menos que la temperatura mínima de la red). Para ello, el porcentaje en peso de propilenglicol será de 21% con un calor específico de 4.197 KJ/kg\*K y una viscosidad de 1.44 MPa·s a una temperatura de 60 °C, este porcentaje según (Adolfo Navarro Bonsón, 2015) garantizará la ausencia de vapor y solidificación del fluido.

### 2.2. **Análisis exergético**

Una vez culminado el modelado IFC del circuito de distribución ACS del hotel de estudio en el software CYPECAD MEP, se obtuvieron datos de pérdidas de calor en la tubería, diámetro y caudales, véase Figura 17, hay que aclarar que el alcance de este programa se limita al diseño óptimo de la instalación de ACS.

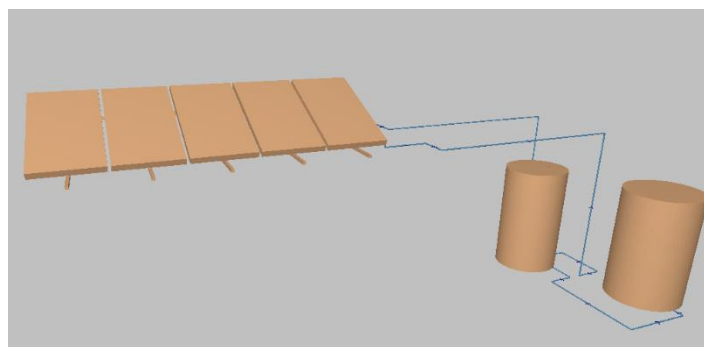


Ahora bien, el sistema de ACS en el que se realizó el análisis es un circuito cerrado en estado transitorio, que permite acumular agua caliente para el consumo de las duchas y bañeras de las 48 habitaciones del hotel. Este cuenta con un interacumulador colectivo y un interacumulador auxiliar, ambos con capacidad de 1600 l, y una batería en paralelo con 5 colectores de placa plana.



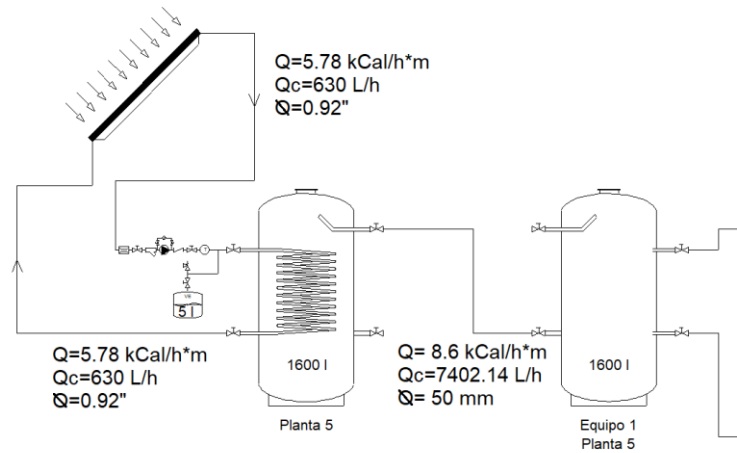
**Figura 16.** Red de tuberías ACS. Obtenido de autor.

El intercambiador está diseñado para almacenar el agua en un intervalo de temperaturas entre 55 y 90 °C, además, el agua fría es obtenida del abastecimiento de la red pública de acueducto, esta circula hasta el interacumulador y de allí a los colectores donde se da el intercambio de calor. Luego es dirigida al acumulador auxiliar y distribuida a toda la red de tuberías como se ve en la Figura 16. Ahora bien, el sistema a analizar no consta de la red de distribución de agua caliente de todo el hotel, sino solamente por la acometida hasta el acumulador, véase Figura 17.



**Figura 17.** Sistema ACS. Obtenido de autor.

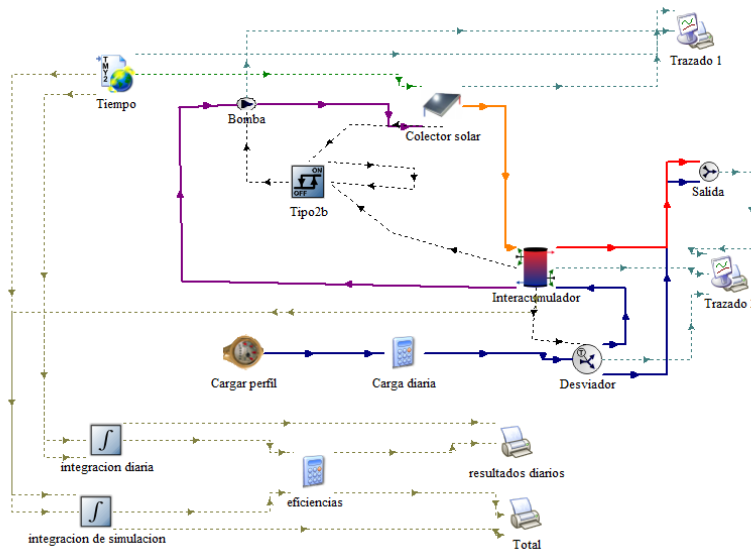
De forma alternativa, para poder desarrollar el estudio se esquematiza el modelo anterior, con los datos obtenidos en el software CYPECAD MEP, véase Figura 18.



**Figura 18.** Esquema de modelo de estudio, obtenido de Autor.

Como se trata de un modelo en régimen transitorio resulta necesario realizar un proceso iterativo, el cual se da inicio con el fluido a la temperatura de la red, este pasa por el colector solar, donde gana calor a consecuencia de la radiación, y obtiene una temperatura un poco mayor al salir del sistema de captación solar, luego de perder calor en el la tubería, el fluido caloportador ingresa al interacumulador, el cual actúa como un intercambiador de calor, entre el fluido caloportador y el agua, y finalmente retorna al colector. Este ciclo se repite hasta alcanzar una temperatura óptima para su distribución a 60°.

Para poder realizar el análisis, fue necesario desarrollar el modelado del sistema en el software TRNSYS Simulation Studio, según (Aiguasol, 2021) este es un entorno gráfico extremadamente flexible utilizado para simular el comportamiento de sistemas transitorios. La gran mayoría de las simulaciones se centran en la evaluación del rendimiento de sistemas de energía térmica y eléctrica. Inicialmente para realizar la simulación se debe identificar los componentes individuales, para luego conocer el desempeño colectivo de este, el modelo elaborado en TRNSYS se presenta en la Figura 19.



**Figura 19.** Modelo del sistema ACS en el hotel de estudio, obtenido de autor.

Cabe aclarar que las líneas de color representan el recorrido del fluido en el sistema, donde la línea morada indica el recorrido del fluido caloportador desde el tanque de almacenamiento al colector, y para el proceso inverso la línea naranja, por otro lado, la línea roja y azul, representan el recorrido del agua caliente y fría respectivamente desde el tanque acumulador hasta su destino.

Dentro del proceso, las variables que mayor peso tienen en el análisis son el ángulo de inclinación del colector, el ángulo de incidencia solar y las cualidades meteorológicas de la zona. Para poder tener esta información en un formato compatible con TRNSYS se exportó desde Meteonorm 8, con datos de la ciudad de Montería, Córdoba. Estas se han modelado en el componente 1 “tiempo”.

El modelo 2, “colector solar” se ha implementado para modelar una batería de 5 colectores solares de placa plana, configurados en paralelo como se analizó y considero en la sección 2.1.7, en el que se analizarán las temperaturas de entrada y salida del colector, y la energía útil del sistema, de forma similar con el modelo “interacumulador” se analizó las temperaturas a la entrada y salida de cada mecanismo, (colector – interacumulador, interacumulador – entrada y salida de agua). Por otro lado, el modelo “bomba” nos servirá para analizar una bomba de velocidad variable para mantener el caudal masico deseado en el

sistema, acorde a la necesidad del hotel, así mismo, tenemos los modelos “desviador” y “salida” que permiten controlar la dirección del fluido al sistema o a su disposición final, para las aguas fría y caliente.

Finalmente, en los módulos: “carga diaria”, “eficiencias”, “integración diaria” e “integración de simulación” se cargaron las ecuaciones y consideraciones necesarias para llevar a cabo la simulación del proceso de nuestro caso de estudio.

Con la información obtenida en el software TRNSYS, podemos determinar los flujos de exergía asociados a la variación de temperatura en el sistema de colectores y en el tanque de almacenamiento, así mismo en las tuberías y en los equipos. Es importante resaltar que no se consideró la energía mecánica implementada para el movimiento del flujo considerando que las distancias entre los elementos del sistema son inferiores a 15 metros, de este modo, los flujos de exergía quedaron definidos por la ecuación 9 según (Thangavelu et al., 2021b):

$$E_{x,in(aut)} = \dot{m} \cdot Cp \cdot T_0 \left( \frac{T_{f,out} - T_0}{T_0} - \ln \frac{T_{f,in(out)}}{T_0} \right) [kW] \quad \text{Eq. 9}$$

En este orden de ideas, la exergía ganada o perdida por un flujo queda definida por la diferencia de la exergía que entra y que sale, y la evaluación de esta resultará la Ecuación 10:

$$E_x = \dot{m} \cdot Cp \cdot T_0 \left( \frac{T_{f,out} - T_{f,in}}{T_0} - \ln \frac{T_{f,aut}}{T_0} \right) [kW] \quad \text{Eq. 10}$$

Esta es equivalente al cálculo de la exergía mediante la diferencia de entalpía y entropía. Para la exergía correspondiente a los flujos de calor, se utilizó la Ecuación 11:

$$E_x = \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) \cdot Q [kW] \quad \text{Eq. 11}$$

Considerando la acumulación de exergía en el estanque, la ecuación de balance queda como se ve en la ecuación 12:

$$\sum E_{x,in} - E_{x,destruida} = \Delta E_{x,sistema} \quad \text{Eq. 12}$$

De forma similar, la tasa de exergía que ingresa al colector está dada por la ecuación 13:

$$E_{x, solar} = Ex_{solar,in} \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_0}{T_{sol}} \right)^4 - \frac{4}{3} \left( \frac{T_0}{T_{sol}} \right)^4 \right] \quad \text{Eq. 13}$$

La eficiencia energética se calcula como el aumento de exergía del sistema (exergía útil) versus el aporte de exergía, ecuación 14:

$$\eta = \frac{\Delta E_{x,sistema}}{E_{x,in}} \quad \text{Eq. 14}$$

Cabe aclarar, que el análisis se realizó para una semana del mes de junio desde el día lunes 17 hasta el domingo 23 de ese mes para el año 2019, donde las condiciones climatológicas se veían afectadas mayormente por la nubosidad, las precipitaciones y el día solar, lo que nos representa un intervalo de tiempo crítico con las peores condiciones climáticas y meteorológicas.

### 2.3. Construcción del modelo termoeconómico

En esta sección del documento se evaluó termoeconómicamente el ciclo de calefacción del agua sanitaria para el hotel de estudio, considerando el sistema de recolección de energía solar térmica. Para esto, se utilizó el modelo Fuel – Product, propuesto por (López Restrepo, 2018), el cual se aprecia en la Tabla 5.

*Tabla 5. Modelo Fuel – Product, (López Restrepo, 2018).*

Componente	Fuel	Product
Colector Solar	$Ex_{solar}$	$\dot{m}(e_{out} - e_{in})$

Donde  $Ex_{solar}$  es la exergía de la radiación solar, en condiciones operacionales del sistema, y se puede calcular a partir de la ecuación 15:

$$E_{x, solar} = \dot{Q}_{dias} \left[ 1 - \frac{4}{3} \left( \frac{T_0}{T_{sol}} \right)^4 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_0}{T_{sol}} \right)^4 \right] \quad \text{Eq. 15}$$

El subíndice “días” hace referencia a las condiciones operacionales de diseño, y el tiempo de vida útil del equipo, con una temperatura del sol estimada en 6000 °K. Para este análisis, se consideró que la energía

solar térmica actualmente es un recurso gratuito, es decir, económicamente su valor es de 0 \$/kW, debido a que es una fuente de abastecimiento energético libre, de este modo, solamente se consideran los costos de la inversión en insumos, materiales, equipos, mantenimiento del sistema e instalación.

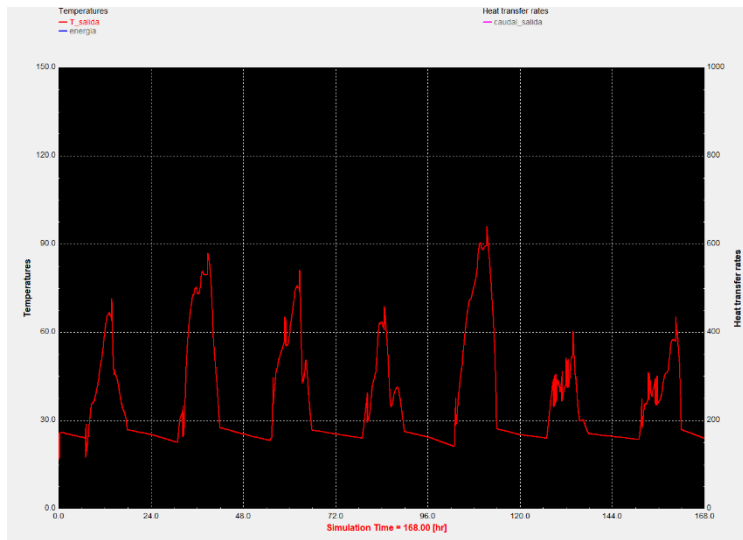
Para el sistema de ACS se considera una vida útil de 20 años, con un costo de instalación de \$45.412.333,34, en el que se incluye sistema de captación solar, aislamiento, accesorios, tubería e instalación, véase Anexo 3; teniendo en cuenta los colectores seleccionados en la sección 2.1.3 y el modelo que se presenta en la Figura 16, el factor de retorno de la inversión estará dado por R, calculado en la ecuación 16, el cual se obtiene considerando una tasa de interés del 8% E. A. como plantea (Ouyang et al., 2021) y un factor de operación de 4500 horas al año, valor promedio de uso para el hotel, es decir, un uso estimado durante el día.

$$R = (i)(\$) \left( \frac{\frac{i(1+i)^n \left[ \frac{1}{\text{año}} \right]}{i(1+i)^n - 1}}{F_0 \left[ \frac{h}{\text{año}} \right]} \right) \quad \text{Eq. 16}$$

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este apartado de nuestro documento monográfico se encontrarán los resultados que se obtuvieron al desarrollar los diferentes análisis, bien sea exergético, energético o económico, los cuales se compararon con bases teóricas de otros autores y referentes bibliográficos durante el desarrollo de este documento monográfico.

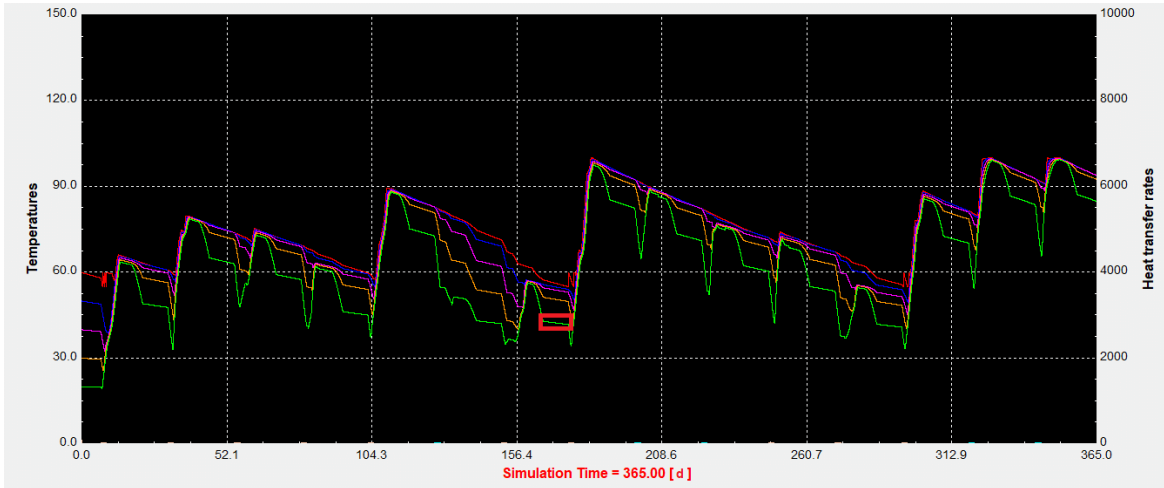
Inicialmente, respecto al modelo ejecutado en TRNSYS, Figura 18, la simulación nos arrojó información importante. En la Figura 20, podemos observar la variación en la temperatura que sale del colector en un intervalo de una semana, considerando como semana critica, la semana donde se tuvo menor comportamiento en la radiación solar según el software, dadas las condiciones meteorológicas de la región que pueden afectar este desempeño, como precipitaciones y día solar, de este modo se trabajó una semana del mes de junio, ver Figura 21. Se puede apreciar fluctuaciones que superan los 60° durante el día, y por la noche disminuye lentamente a temperaturas cercanas a la de la red, esto se debe evidentemente a que el sistema no puede generar calor durante la noche por ausencia de radiación solar.



*Figura 20. Comportamiento de la temperatura a la salida del colector solar. Obtenido de autor.*

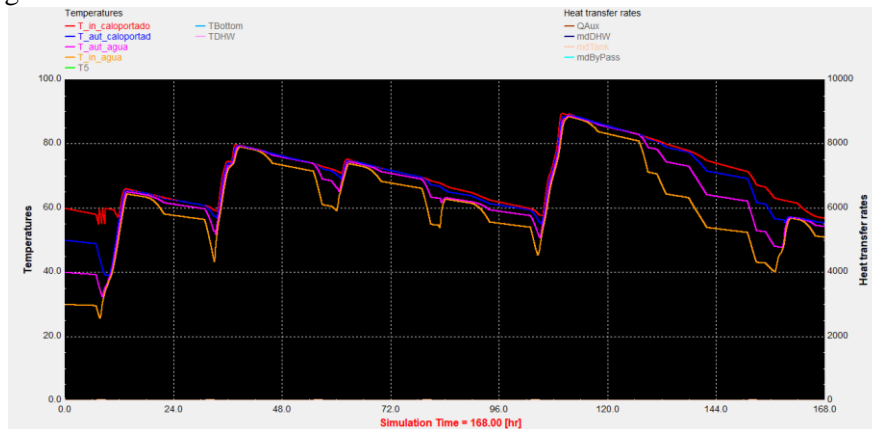
De forma similar podemos apreciar en la Figura 23 el comportamiento de la temperatura al interior del tanque interacumulador dadas las condiciones meteorológicas. La temperatura promedio del agua en el

tanque es de 59.89 °C durante el día, en ocasiones aumenta por encima de este valor entre la 1:00 pm y 4:00 pm que son los intervalos donde la inclinación de la radiación solar es mayor y puede ser absorbida mejor.



**Figura 21.** Comportamiento de las temperaturas en el sistema para 1 año de trabajo, autor.

Por otro lado, se puede apreciar el comportamiento en las temperaturas del fluido caloportador y el agua a la entrada y a la salida del interacumulador en la Figura 22, donde se aprecia que luego que transcurren las primeras 7 horas de cada día, la temperatura de los fluidos aumenta hasta llegar al punto de equilibrio aproximadamente 6 horas después, luego de esto, la temperatura empieza a descender suavemente en pro de la poca conductividad térmica del aislante. Una vez conocidas las variaciones de temperatura en función del tiempo y las condiciones meteorológicas críticas, se procedió a calcular el comportamiento de la eficiencia exérgica del sistema, con base a las ecuaciones 9 a la 14, este comportamiento podemos apreciarlo en la Figura 24.



**Figura 22.** Comportamiento de las temperaturas a la entrada y salida del fluido caloportador y del agua, obtenido de autor.



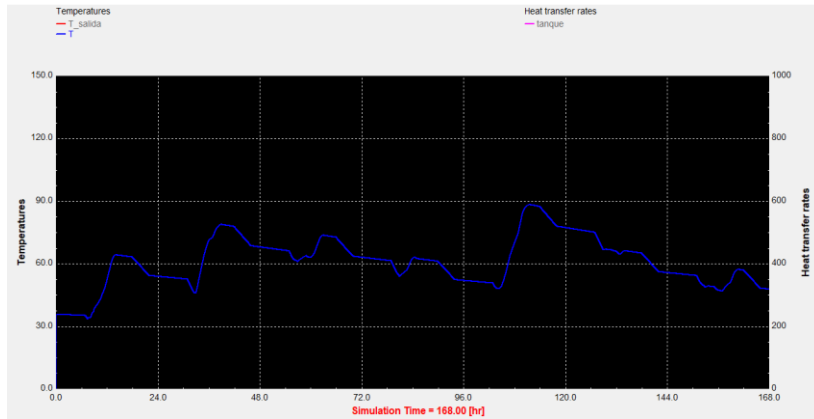


Figura 23. Comportamiento de la temperatura en el interacumulador. Obtenido de autor.

Como se puede ver en la Figura 24, la eficiencia exergética del sistema es bastante estable, esta se encuentra entre 54.2 y 95.5%, con una eficiencia promedio del 86.71%, podemos entender este comportamiento dado que no se pierde mucho calor gracias al material aislante que recubre toda la tubería y el tanque de Inter acumulación. De forma similar podemos ver en la Figura 26 el comportamiento de la exergía para el tiempo de estudio en el acumulador y el colector solar.

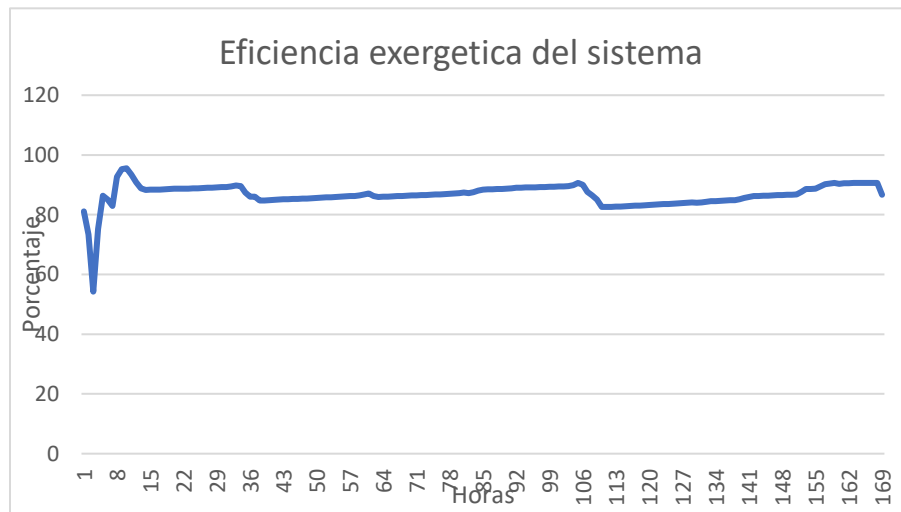
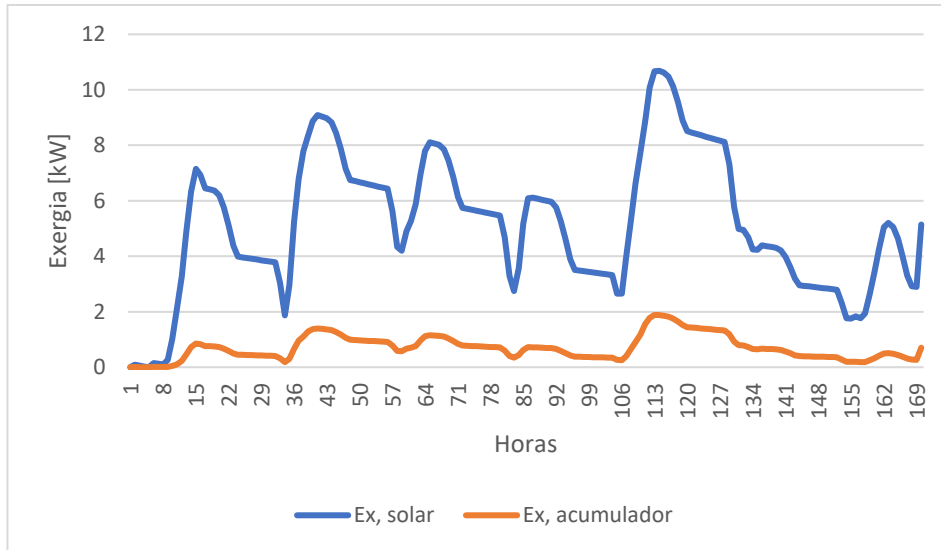
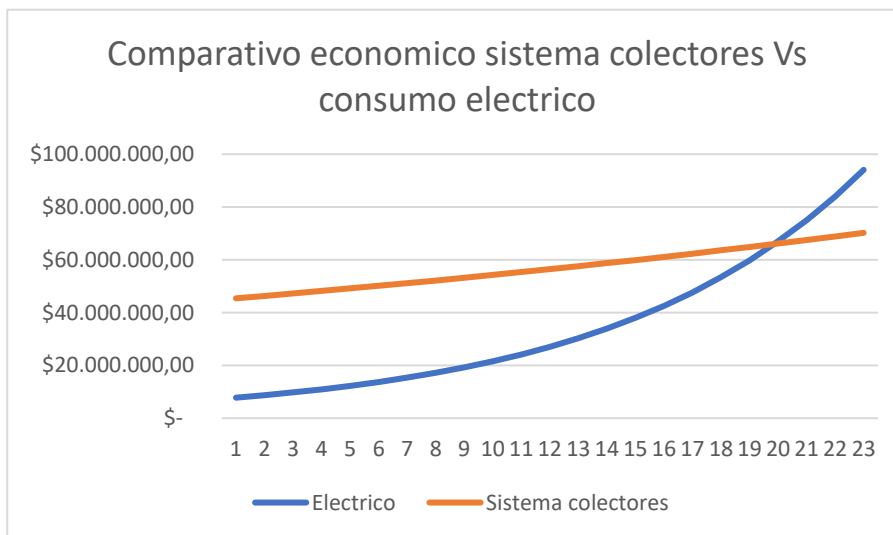


Figura 24. Variación de la exergía del sistema en función de las temperaturas en el tiempo. autor.



**Figura 26.** Variación de la exergia en el acumulador y en el colector solar, obtenido de autor.

Por otro lado, el análisis económico se determinó a partir del costo del kW en el norte de la ciudad de Montería que es 574.69 pesos, y con base al consumo energético se realizó una proyección del costo para 25 meses con un incremento del 8%, ahora bien, en cuanto al sistema de colectores, se considera la inversión inicial un aumento del 2% en mantenimiento y reparaciones, los resultados se aprecian en la Figura 25, estos se extrapolan y comparan, ver Anexo 8.



**Figura 25.** Sistema eléctrico Vs Sistema colectores, obtenido de Autor.

#### 4. CONCLUSIONES

Luego de dar por finalizado el marco metodológico desarrollado en la sección anterior, podemos afirmar que se obtuvieron resultados alentadores, recordemos que se partió del desarrollo del modelo del hotel seleccionado en el software CYPECAD MEP, en el que se logró conocer las condiciones adecuadas para la instalación del sistema de abastecimiento de agua caliente sanitaria. Para ello se determinó inicialmente condiciones de demanda energética, consumo de agua según la ocupación del hotel, y con base al modelo F-Char, previamente se obtuvo que eran necesario instalar 10 colectores solares en paralelo con una separación de 1,43 metros para que no fueses afectados por la sombra entre ellos y una inclinación de 8,8 grados con respecto a la horizontal y orientados hacia el sur, al ejecutar el programa que además de incluir en su análisis la metodología F-Char, usa la norma UNE 14002, se obtuvo que solo se necesitaban 5 colectores para la carga del sistema con un área de captación solar de 10,5 metros cuadrados.

Ahora bien, el alcance del programa CYPECAD MEP está limitado al dimensionamiento del diseño del sistema, por lo que fue necesario acudir a TRNSYS SIMULATION STUDIO, para el comportamiento de las variables del sistema en estado transitorio, con lo que se logró establecer un intervalo de estudio crítico, teniendo temperaturas a la salida del colector solar de hasta 87,9 grados centígrados, por otro lado, en el acumulador se alcanzaron temperaturas de 28, 9° por encima de los requerimientos del sistema, el promedio de la temperatura en el tanque fue de 61,8° C, y la mínima estuvo cerca de los 44,3 °C, recalcando que el mejor rendimiento se presenta entre las 1:00 pm y las 4:00 pm del día. Considerando que la exergía es la energía útil del sistema en función de la temperatura y los flujos de calor, se tuvo como resultado en el colector, una exergía que oscilan entre 0,02 kW y 10,68 kW, en el acumulador varía entre 1 W y 1,8 kW, esto se debe a que las variaciones en la temperatura en el colector fluctúan en mayor medida respecto al tanque acumulador, donde las variaciones son mínimas debido al aislante térmico que posee. El sistema obtuvo eficiencia máxima del 95%.

El costo total de la instalación asciende aproximadamente a 45 millones de pesos, lo que comprende el coste del diseño, materiales e instalación, los cuales pueden ser recuperados en un periodo aproximado de dos años, de acuerdo al modelo termoeconómico fuel-Product, lo que representa un periodo de aprovechamiento del sistema de 18 años, con un ahorro en el periodo de vida útil del colector de 33.800 millones de pesos, esto se debe a los altos costos del kW por la ubicación y el estrato socioeconómico, sin embargo se puede entender que la implementación de estos sistemas puede aportar significativamente a la disminución en la carga económica del hotel.

Por otro lado, en cuanto a los colectores solares, se recomendaría trabajar con colectores de placa plana, debido a que son muy accesibles en el mercado, y económicamente resultan mejores que otros tipos, en cuanto a la eficiencia, la diferencia es muy mínima, por lo que puede ser despreciable. Del mismo modo, el sistema puede tener eficiencias energéticas de hasta el 97%, con condiciones óptimas meteorológicas. La desventaja de este tipo de sistema está dada por las condiciones climáticas, ya que es necesario contar con radiación solar para que este funcione adecuadamente, cuando hay tiempos nublados o el ambiente está muy contaminado, la eficiencia del sistema disminuye potencialmente, por lo que se recomienda incluir en el proceso equipos alternos que complementen en ausencia de radiación.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Abd-Ur-Rehman, H. M., & Al-Sulaiman, F. A. (2016). Optimum selection of solar water heating (SWH) systems based on their comparative techno-economic feasibility study for the domestic sector of Saudi Arabia. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 62, pp. 336–349). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.047>
- ✓ Ahmadi, A., Ehyaei, M. A., Doustgani, A., El Haj Assad, M., Hmida, A., Jamali, D. H., Kumar, R., Li, Z. X., & Razmjoo, A. (2021a). Recent residential applications of low-temperature solar collector. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 279, p. 123549). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123549>
- ✓ Aiguasol. (2021). Trnsys 18 - Simulación energética – Aiguasol. <https://aiguasol.coop/es/software-energia/trnsys-18-simulacion-energetica/>
- ✓ Al Congreso, M. (2019). LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA DE COLOMBIA.
- ✓ al Irsyad, M. I., Halog, A., & Nepal, R. (2019). Renewable energy projections for climate change mitigation: An analysis of uncertainty and errors. *Renewable Energy*, 130, 536–546. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.082>
- ✓ Amanecer y atardecer Montería, Colombia. (n.d.). Retrieved June 5, 2021, from <https://www.sunrise-and-sunset.com/es/sun/colombia/monteria>
- ✓ Caliskan, H. (2017). Energy, exergy, environmental, enviroeconomic, exergoenvironmental (EXEN) and exergoenvironomic (EXENEC) analyses of solar collectors. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 69, pp. 488–492). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.203>
- ✓ Cetina-Quiñones, A. J., Xamán, J., Bassam, A., Escalante Soberanis, M. A., & Perez-Quintana, I. (2021). Thermo-economic analysis of a flat solar collector with a phase changing material under tropical climate conditions: Residential and industrial case. *Applied Thermal Engineering*, 182, 116082. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116082>

- ✓ Cuevas Streeter, A. I. (2009). Análisis exergo-económico de un sistema de colectores solares para una piscina municipal. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103512>
- ✓ DANE - Visor turismo. (n.d.). Retrieved June 16, 2021, from <https://sitios.dane.gov.co/turismo/#!/>
- ✓ Ersöz, M. A. (2016). Effects of different working fluid use on the energy and exergy performance for evacuated tube solar collector with thermosyphon heat pipe. *Renewable Energy*, 96, 244–256. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.058>
- ✓ Adolfo Navarro Bonsón. (2015). DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR POR EL MÉTODO f-CHART. APLICACIÓN A LA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN UN INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/38308/Navarro%20Bons%20c3%b3n%2c%20Adolfo%20%282%29.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- ✓ AGUA CALIENTE SANITARIA INTERACUMULADORES VITRIFICADOS MURAL CON RESISTENCIA ELÉCTRICA INTERACUMULADORES VITRIFICADOS MURAL CON RESISTENCIA ELÉCTRICA. (n.d.).
- ✓ Evangelisti, L., De Lieto Vollaro, R., & Asdrubali, F. (2019). Latest advances on solar thermal collectors: A comprehensive review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 114, p. 109318). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109318>
- ✓ Fuentes, E., Arce, L., & Salom, J. (2018). A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 81, pp. 1530–1547). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.229>
- ✓ Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>

- ✓ Jiménez, Á. (2017, December 20). f-CHART energía solar térmica - YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=eIqaArLLRg0&list=PLg28hUwQ3qM88z1YQwKwpoSNCEbmTxdwM&index=13>
- ✓ Altamiranda, J. C., & Acevedo, J. (2020). Diseño de una herramienta para asignación de habitaciones con base en la demanda energética usando la metodología HVAC en un hotel de la ciudad de Montería. Montería: Universidad de Córdoba.
- ✓ Gil Maínez, G. J., & Guerra Macho, J. J. (n.d.). Diseño de una instalación solar en un hotel para la producción de ACS. Retrieved May 15, 2021, from <https://core.ac.uk/download/pdf/186618007.pdf>
- ✓ Gill, L., Mac Mahon, J., & Ryan, K. (2016). The performance of an evacuated tube solar hot water system in a domestic house throughout a year in a northern maritime climate (Dublin). *Solar Energy*, 137, 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.07.052>
- ✓ Gössling, S., & Lund-Durlacher, D. (2021). Tourist accommodation, climate change and mitigation: An assessment for Austria. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 100367. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2021.100367>
- ✓ Hajabdollahi, Z., & Hajabdollahi, H. (2017). Thermo-economic modeling and multi-objective optimization of solar water heater using flat plate collectors. *Solar Energy*, 155, 191–202. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.06.023>
- ✓ Hansen, K., Breyer, C., & Lund, H. (2019). Status and perspectives on 100% renewable energy systems. *Energy*, 175, 471–480. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.092>
- ✓ Hohne, P. A., Kusakana, K., & Numbi, B. P. (2019). A review of water heating technologies: An application to the South African context. *Energy Reports*, 5, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.10.013>
- ✓ Hossain, M. S., Saidur, R., Fayaz, H., Rahim, N. A., Islam, M. R., Ahamed, J. U., & Rahman, M. M. (2011). Review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe. In

Renewable and Sustainable Energy Reviews (Vol. 15, Issue 8, pp. 3801–3812). Pergamon.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.06.008>

✓ Hoteles en Montería, Colombia | Páginas Amarillas. (2020).

<https://www.paginasamarillas.com.co/monteria/servicios/hoteles?page=4>

✓ Ibrahim, O., Fardoun, F., Younes, R., & Louahlia-Gualous, H. (2014). Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects. In Building and Environment (Vol. 72, pp. 259–286). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.006>

✓ IDEAM. (2019). Atlas Interactivo - Radiación IDEAM.

<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

✓ Jafari, M., Farrokhi, N., & Esmaeilzadeh, E. (2020). Effects of working temperature and fluid physical properties on heat transfer enhancement in conduction pumping: An experimental study. International Journal of Thermal Sciences, 156, 106471. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106471>

✓ Jamar, A., Majid, Z. A. A., Azmi, W. H., Norhafana, M., & Razak, A. A. (2016a). A review of water heating system for solar energy applications. In International Communications in Heat and Mass Transfer (Vol. 76, pp. 178–187). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.028>

✓ López Restrepo, J. C. (2018). ANÁLISIS TERMOECONÓMICO DEL CICLO DE COGENERACIÓN DE UNA PLANTA AZUCARERA ASISTIDO POR ENERGÍA SOLAR. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/9849/T621.471%20L925.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

✓ López, J. C., Escobar, A., Cárdenas, D. A., & Restrepo, Á. (2021). Parabolic trough or linear fresnel solar collectors? An exergy comparison of a solar-assisted sugarcane cogeneration power plant. Renewable Energy, 165, 139–150. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.138>

✓ Lozano-Medina, A., Manzano, L., Marcos, J. D., & Blanco-Marigorta, A. M. (2019). Design of a concentrating solar thermal collector installation for a hotel complex in Gran Canaria. Energy, 183, 803–811. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.165>



- ✓ Mezni, T., Zainine, M. A., Dakhlaoui, M. A., & Zghal, A. (2017). Presentation and experimental validation of a solar DHW installation sizing control tool. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(48), 28958–28972. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.04.129>
- ✓ Michopoulos, A., Ziogou, I., Kerimis, M., & Zachariadis, T. (2017). A study on hot-water production of hotels in Cyprus: Energy and environmental considerations. *Energy and Buildings*, 150, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.071>
- ✓ MinCIT. (2019). Migracion Colombia. <https://www.mincit.gov.co/getattachment/estudios-economicos/estadisticas-e-informes/informes-de-turismo/2019/diciembre/oe-turismo-enero-diciembre-12-03-2020-29abr2020.pdf.aspx>
- ✓ MinCIT. (n.d.). MinCIT - Citur | Estadísticas Departamentales. Retrieved June 16, 2021, from <http://www.citur.gov.co/estadisticas/departamental#gsc.tab=0>
- ✓ Ouyang, P., Xu, Y. P., Qi, L. Y., Xing, S. M., & Fooladi, H. (2021). Comprehensive evaluation of flat plate and parabolic dish solar collectors' performance using different operating fluids and MWCNT nanofluid in different climatic conditions. *Energy Reports*, 7, 2436–2451. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.04.046>
- ✓ Panorama del turismo internacional, edición 2019. (2019). En *Panorama del turismo internacional, edición 2019*. World Tourism Organization (UNWTO). <https://doi.org/10.18111/9789284421237>
- ✓ Patel, K., Pragna, P., & Patel, J. (2012). REVIEW OF SOLAR WATER HEATING SYSTEMS. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 146–149.
- ✓ Pieri, S. P., Tzouvadakis, I., & Santamouris, M. (2015). Identifying energy consumption patterns in the Attica hotel sector using cluster analysis techniques with the aim of reducing hotels' CO2 footprint. *Energy and Buildings*, 94, 252–262. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.017>
- ✓ Pina, E. A., Lozano, M. A., Serra, L. M., Hernández, A., & Lázaro, A. (2021). Design and thermoeconomic analysis of a solar parabolic trough – ORC – Biomass cooling plant for a commercial center. *Solar Energy*, 215, 92–107. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.11.080>

- ✓ Salehi, M., Filimonau, V., Asadzadeh, M., & Ghaderi, E. (2021). Strategies to improve energy and carbon efficiency of luxury hotels in Iran. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.007>
- ✓ Sarwar, J., Khan, M. R., Rehan, M., Asim, M., & Kazim, A. H. (2020). Performance analysis of a flat plate collector to achieve a fixed outlet temperature under semi-arid climatic conditions. *Solar Energy*, 207, 503–516. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.088>
- ✓ Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. In *Renewable Energy* (Vol. 157, pp. 377–403). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.137>
- ✓ Sokhansefat, T., Kasaeian, A., Rahmani, K., Heidari, A. H., Aghakhani, F., & Mahian, O. (2018). Thermoeconomic and environmental analysis of solar flat plate and evacuated tube collectors in cold climatic conditions. *Renewable Energy*, 115, 501–508. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.057>
- ✓ Solano Diaz, L. A., & Amaya Durán, H. (2014). DISEÑO, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA, CON ARREGLO EN SERIE DE COLECTORES DE PLACA PLANA, UTILIZANDO ENERGIA SOLAR. [http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital\\_27260.pdf](http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_27260.pdf)
- ✓ Solaun, K., & Cerdá, E. (2019). Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 116, p. 109415). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109415>
- ✓ Thangavelu, S. K., Khoo, R. J., & Piraiarasi, C. (2021). Exergy and exergoeconomic analysis of domestic scale solar water heater by the effect of solar collector area. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.584>
- ✓ Tripathy, M., Sadhu, P. K., & Panda, S. K. (2016). A critical review on building integrated photovoltaic products and their applications. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 61, pp. 451–465). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.008>

- ✓ UNWTO Tourism Highlights: 2018 Edition. (2018). In UNWTO Tourism Highlights: 2018 Edition. World Tourism Organization (UNWTO). <https://doi.org/10.18111/9789284419876>
- ✓ UPME. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. [http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)
- ✓ Wang, Z., Yang, W., Qiu, F., Zhang, X., & Zhao, X. (2015). Solar water heating: From theory, application, marketing and research. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 41, pp. 68–84). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.026>
- ✓ Yılmaz, İ. H. (2018). Residential use of solar water heating in Turkey: A novel thermo-economic optimization for energy savings, cost benefit and ecology. *Journal of Cleaner Production*, 204, 511–524. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.060>
- ✓ Zhou, L., Li, Y., Hu, E., Qin, J., & Yang, Y. (2015). Comparison in net solar efficiency between the use of concentrating and non-concentrating solar collectors in solar aided power generation systems. *Applied Thermal Engineering*, 75, 685–691. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.09.063>

## 6. ANEXOS

Anexo 1. Listado hoteles visitados en la ciudad de Montería.

<b>Listado Hoteles</b>					
<b>ítems</b>	<b>nombre</b>	<b>Uso ACS</b>	<b>ítems</b>	<b>nombre</b>	<b>Uso ACS</b>
1	Real Capital Hotel	NO	21	Hotel Unión Plaza	SI
2	Hotel Montería Real	SI	22	Hausen Hotel - Suites	SI
3	Hotel Calarcá	NO	23	Hotel Alejandría City	NO
4	Hotel Sinú Montería	NO	24	Hotel Platinum Boutique	NO
5	Hotel Casa Real	NO	25	Hotel Kimari	NO
6	Hotel Mi Corral Plaza	SI	26	Hotel Sama	NO
7	Hotel La Perla	SI	27	Hotel Cinco Montería	NO
8	Hotel Santorini Loft	SI	28	Hotel Laurel Plaza	SI
9	Hotel Montería Central	NO	29	Ghl Hotel Montería	SI
10	Hotel Miraval	SI	30	Hotel Palacio Real	SI
11	Hotel Castillo Real	SI	31	Rio Hotel Montería	NO
12	Hotel Florida Sinú	SI	32	Hotel Ayenda Seven	SI
13	Hotel Costa Bonita	SI	33	Hotel Parque Del Sol	SI
14	Hotel Baroca	SI	34	River City Hotel	NO
15	Hotel Zenú	NO	35	Hotel Calarcá Plus	SI
16	Hotel La Media Naranja	NO	36	Barcelona Hotel	SI
17	Hotel Santa Clara Boutique	NO	37	Hotel Sexta Avenida Inn	SI
18	Hotel La Casa N. 3	SI	38	Hotel Sabana del Sinú	NO
19	Hotel La Casa 1	NO	39	Ribera Sinú	SI
20	San Vitro Hotel Boutique	SI	40	Hotel Stanza Montería	SI

Anexo 2. Datos climáticos de la localidad, obtenidos de Autor.

mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del viento	Temperatura del suelo
Unidad	°C	%	mm	kWh/m2/d	kPa	m/s	°C
Enero	27,2	74,1	41,85	4,89	100,1	1,4	27,2
Febrero	27,8	70,1	39,76	4,95	100,1	1,6	27,9
Marzo	28,4	68,6	59,83	4,97	100,1	1,8	28,5
Abril	28,2	73,8	124,5	4,7	100,1	1,5	28,3
Mayo	27,6	80,5	191,89	4,71	100,1	1,1	27,6
Junio	27,4	81,7	180,3	4,65	100,2	1	27,4
Julio	27,3	81,8	201,81	5,03	100,2	1	27,2
Agosto	27,1	82,8	184,76	4,98	100,2	1	27,1
Septiembre	26,7	84,5	181,8	4,76	100,2	1,1	26,7
Octubre	26,4	85,1	191,89	4,68	100,2	1,2	26,5
Noviembre	26,6	84,2	166,8	4,75	100,1	1,2	26,6
Diciembre	26,8	80,1	101,99	4,67	100,1	1,2	26,8
<b>Anual</b>	<b>27,3</b>	<b>78,9</b>	<b>138,93</b>	<b>4,78</b>	<b>100,1</b>	<b>1,3</b>	<b>27,3</b>

Anexo 3. Presupuesto de la instalación sistema ACS.

UD	DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO	TOTAL
Ud.	Suministro e instalación de calentador solar térmico formado por batería de 5 módulos, compuesto cada uno de ellos de un calentador solar térmico plano, con panel de montaje vertical de 1135x2115x112 mm, superficie útil 2,1 m <sup>2</sup> , rendimiento óptico 0,75 y coeficiente de pérdidas primario 3,993 W/m <sup>2</sup> K, compuesto de panel de vidrio templado de bajo contenido en hierro (solar granulado), de 3,2 mm de espesor y alta transmitancia (92%), estructura trasera en bandeja de polietileno reciclable resistente a la intemperie (resina ABS), bastidor de fibra de vidrio reforzada con polímeros, absorbedor de cobre con revestimiento selectivo de cromo negro de alto rendimiento, parrilla de 8 tubos de cobre soldados en omega sin metal de aportación, aislamiento de lana mineral de 60 mm de espesor y uniones mediante manguitos flexibles con abrazaderas de ajuste rápido, colocados sobre estructura soporte para cubierta plana. Incluso accesorios de montaje y fijación, conjunto de conexiones hidráulicas entre calentadores solares térmicos, líquido de relleno para calentador solar térmico, válvula de seguridad, purgador, válvulas de corte y demás accesorios.	1	11845667,9	11845667,91
Ud.	Suministro e instalación de punto de llenado de red de distribución de agua, para sistema de climatización, formado por 2 m de tubo de cobre rígido con pared de 1 mm de espesor y 13/15 mm de diámetro, colocado superficialmente, con aislamiento mediante coquilla flexible de espuma elastomérica, válvulas de corte, filtro retenedor de residuos, medidor de agua potable y válvula de retención. Incluso parte proporcional de material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales. Totalmente montado, conexionado y probado por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio (incluidas en este precio).	1	232307,25	232307,25
m	Suministro e instalación de tubería de distribución de mezcla de agua y anticongelante para circuito primario de sistemas solares térmicos formada por tubo de cobre rígido con pared de 1 mm de espesor y 26/28 mm de diámetro, colocado superficialmente en el exterior del edificio, con aislamiento mediante coquilla de lana de vidrio protegida con emulsión asfáltica recubierta con pintura protectora para aislamiento de color blanco. Incluso parte proporcional de material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales. Totalmente montada, conexionada y probada por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio.	21,1	66458,3	1402270,13
m	Suministro e instalación de tubería de distribución de A.C.S. formada por tubo de polipropileno copolímero random (PP-R), de 50 mm de diámetro exterior, PN=10 atm y 4,6 mm de espesor, colocado superficialmente en el interior del edificio, con aislamiento mediante espuma elastomérica. Incluso parte proporcional de material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales. Totalmente montada, conexionada y probada por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio.	7,29	85837,55	625755,74

Ud.	Suministro e instalación de punto de vaciado de red de distribución de agua, para sistema de climatización, formado por 2 m de tubo de cobre rígido con pared de 1 mm de espesor y 26/28 mm de diámetro, colocado superficialmente y válvula de corte. Incluso parte proporcional de material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales. Totalmente montado, conexionado y probado por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio (incluidas en este precio).	3	91444,54	274333,62
Ud.	Suministro e instalación de electrobomba centrífuga, de hierro fundido, de tres velocidades, con una potencia de 0,071 kW, impulsor de tecnopolímero, eje motor de acero cromado, bocas roscadas macho de 1", aislamiento clase H, para alimentación monofásica a 230 V. Incluso puente de manómetros formado por manómetro, válvulas de esfera y tubería de cobre; parte proporcional de elementos de montaje; caja de conexiones eléctricas con condensador y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montada, conexionada y probada.	1	674615,89	674615,89
Ud.	Suministro e instalación de vaso de expansión cerrado con una capacidad de 5 l, 190 mm de altura, 270 mm de diámetro, con rosca de 3/4" de diámetro y 10 bar de presión, incluso manómetro y elementos de montaje y conexión necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montado, conexionado y probado.	1	318252,88	318252,88
Ud.	Suministro e instalación de vaso de expansión para A.C.S. de acero vitrificado, capacidad 8 l, presión máxima 10 bar, incluso manómetro y elementos de montaje y conexión necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montado, conexionado y probado.	1	176410,43	176410,43
Ud.	Suministro e instalación de interacumulador de acero vitrificado, con intercambiador de un serpentín, de suelo, 1650 l, altura 2280 mm, diámetro 1250 mm, aislamiento de 50 mm de espesor con poliuretano de alta densidad, libre de CFC, protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio, protección externa con forro de PVC. Incluso válvulas de corte, elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montado, conexionado y probado.	1	28708592,1	28708592,11
Ud.	Suministro e instalación de purgador automático de aire con boya y rosca de 1/2" de diámetro, cuerpo y tapa de latón, para una presión máxima de trabajo de 6 bar y una temperatura máxima de 110°C; incluso elementos de montaje y demás accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Totalmente montado, conexionado y probado.	2	19122,67	38245,34
Ud.	Suministro e instalación de centralita de control de tipo diferencial para sistema de captación solar térmica, con protección contra sobre temperatura del calentador solar, indicación de temperaturas y fallo técnico, y pantalla LCD retroiluminada, con sondas de temperatura. Totalmente montado, conexionado y probado.	1	1115882,04	1115882,04
<b>Total</b>			<b>\$</b>	<b>45.412.333,34</b>

Anexo 4. Tabla de consumo de agua caliente sanitaria.

**Tabla 3.1. Demanda de referencia a 60°C (1)**

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

(1) Los litros de ACS/día a 60°C de la tabla se han calculado a partir de la tabla 1 (Consumo unitario diario medio) de la norma UNE 94002:2005 "Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria: cálculo de la demanda energética".





# Captador Solar

## Icaro VF - HF Captador Solar plano selectivo de alto rendimiento



### PRESTACIONES

- Indicado para aplicaciones de producción de A.C.S., calentamiento de piscinas, calefacción a baja temperatura o fan-coil y refrigeración por absorción.
- Disponibles modelos de disposición vertical (Icaro VF) y horizontal (Icaro HF).
- Conexionado de hasta 8 captadores por batería en modelos con disposición vertical y hasta 4 en modelos horizontales.
- Cubierta de vidrio templado de bajo contenido en hierro (inferior al 0,05 %), de 4 mm de espesor.
- Superficie absorbente de cobre con recubrimiento selectivo,
- Placa colectora de tubos de cobre.
- Parrilla de 12 tubos en diámetro exterior 8 mm.
- Vaina para sensor de temperatura incluida en el accesorio Kit 4 conexiones.
- Aislamiento en lana de roca de 40 mm de espesor.
- Carcasa exterior en aluminio.



**Curva de eficiencia instantánea**

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_a)^2}{G}$$


$t_m$ : temperatura media captador (°C)  
 $t_a$ : temperatura ambiente lugar (°C)  
 $G$ : Irradiancia solar global (W/m<sup>2</sup>)

**Resultados de ensayo referente al área de apertura**

Valores referidos a sup. de apertura	ICARO 2.0 VF	ICARO 2.3 VF	ICARO 2.3 HF
$\eta_0$	0,755	0,750	0,737
$a_1$	3,72 W/m <sup>2</sup> H	3,706 W/m <sup>2</sup> H	4,043 W/m <sup>2</sup> H
$a_2$	0,017 W/m <sup>2</sup> H	0,009 W/m <sup>2</sup> H	0,018 W/m <sup>2</sup> H

**Certificaciones**  
 Pruebas de Certificación según EN-1 2975-2.  
 Con contraseña de Certificación por la Dirección General de Política Energética y Minas.  
 Solar Keymark.



### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

CARACTERÍSTICAS	ICARO 2.0 VF	ICARO 2.3 VF	ICARO 2.3 HF
Sup. Total	1,97 m <sup>2</sup>	2,32 m <sup>2</sup>	2,32 m <sup>2</sup>
Sup. Apertura	1,89 m <sup>2</sup>	2,23 m <sup>2</sup>	2,23 m <sup>2</sup>
Sup. Absorbedor	1,87 m <sup>2</sup>	2,21 m <sup>2</sup>	1,87 m <sup>2</sup>
Altura	1,7 m	2 m	1,16 m
Ancho	1,16 m	1,16 m	2 m
Fondo	0,08 m	0,08 m	0,08 m
Número de conexiones	4	4	4
Diámetro conexiones	3/4"	3/4"	3/4"
Peso en vacío	35 Kg	41 Kg	41 Kg
Contenido en líquido	1,4 L	1,5 L	1,5 L
Caudal de trabajo recomendado	100-250 L/h	100-250 L/h	100-250 L/h
Presión máx. de trabajo	10 bar	10 bar	10 bar
Temperatura de estancamiento	177 °C	177 °C	177 °C
Aislamiento en lana de roca de espesor	40 mm	40 mm	40 mm
Grado de absorción	95 %	95 %	95 %
Emisividad	5 %	5 %	5 %
Máximo número de colectores en paralelo	8	8	4
Código	13.007	13.006	13.005

Anexo 6. Método F-char, dimensionamientos colectores solares.

<b>Np =</b>	1 11	<b>tc =</b>	60	<b>Fatm =</b>	1,05	<b>Eta0 =</b>	0,75	<b>Latitud =</b>	8,8
<b>C =</b>	2 7	<b>Sc =</b>	2,21	<b>U =</b>	3,70 6	<b>Prov =</b>	-75,9	<b>Inclin =</b>	50
<b>MES</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
	<b>N d [día]</b>	<b>p [%]</b>	<b>m [m3]</b>	<b>tred [°C]</b>	<b>delt aT [°C]</b>	<b>Q [termia]</b>	<b>Qm [MJ]</b>	<b>Qd [MJ]</b>	<b>H [MJ/m2]</b>
			<b>(p/100) Np C Nd (1/1000)</b>	<b>TABL AS</b>	<b>tc – tred</b>	<b>m ce deltaT</b>	<b>4,18 Q</b>	<b>Qm / Nd</b>	<b>TABL AS</b>
<b>Enero</b>	3 1	47 ,1	43,75 9	25	35	1.531, 572	6.408, 10	206,7 1	4,89
<b>Febrero</b>	2 8	48	40,28 0	25	35	1.409, 789	5.898, 56	210,6 6	4,95
<b>Marzo</b>	3 1	47 ,3	43,94 5	25	35	1.538, 075	6.435, 31	207,5 9	4,97
<b>Abril</b>	3 0	45 ,7	41,08 9	25	35	1.438, 110	6.017, 05	200,5 7	4,7
<b>Mayo</b>	3 1	45 ,5	42,27 3	25	35	1.479, 544	6.190, 41	199,6 9	4,61
<b>Junio</b>	3 0	48 ,2	43,33 7	25	35	1.516, 782	6.346, 21	211,5 4	4,75
<b>Julio</b>	3 1	49 ,4	45,89 6	25	35	1.606, 362	6.721, 02	216,8 1	5,03
<b>Agosto</b>	3 1	51 ,7	48,03 3	25	35	1.681, 152	7.033, 94	226,9 0	4,98
<b>Septiembre</b>	3 0	49 ,9	44,86 5	25	35	1.570, 278	6.570, 04	219,0 0	4,76
<b>Octubre</b>	3 1	49 ,5	45,98 9	25	35	1.609, 614	6.734, 62	217,2 5	4,64
<b>Noviembre</b>	3 0	53 ,1	47,74 2	25	35	1.670, 977	6.991, 37	233,0 5	4,5
<b>Diciembre</b>	3 1	49 ,7	46,17 5	25	35	1.616, 117	6.761, 83	218,1 2	4,54
						<b>QmT =</b>	<b>78.108 ,47</b>	<b>2.567 ,89</b>	

<b>Desviac =</b>	0,001	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>Hc [MJ/m<sup>2</sup>]</b>	<b>K</b>	<b>E [MJ/m<sup>2</sup>]</b>	<b>N [h]</b>	<b>I [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>ta [°C]</b>	<b>Pérdidas_lineales</b>	<b>Eta [%]</b>
<b>H Fatm</b>	<b>TABL AS</b>	<b>0,9 4 Hc K</b>	<b>TABL AS</b>	<b>(E/N) 277,78</b>	<b>TABL AS</b>	<b>100 U (tc – ta) / I</b>	<b>0.94 100 Eta0 – Pérdidas_lineales</b>
5,13	4,89	23,60	9,5	690,10	27,2	17,61	52,89
5,20	4,95	24,18	9,5	707,14	27,8	16,88	53,62
5,22	4,97	24,38	9,5	712,87	28,4	16,43	54,07
4,94	4,7	21,80	9,5	637,51	28,2	18,49	52,01
4,84	4,61	20,98	9,5	613,33	27,6	19,58	50,92
4,99	4,75	22,27	9,5	651,15	27,4	18,55	51,95
5,28	5,03	24,97	9,5	730,18	27,3	16,60	53,90
5,23	4,98	24,48	9,5	715,74	27,1	17,04	53,46
5,00	4,76	22,36	9,5	653,90	26,7	18,87	51,63
4,87	4,64	21,25	9,5	621,34	26,4	20,04	50,46
4,73	4,5	19,99	9,5	584,41	26,6	21,18	49,32
4,77	4,54	20,34	9,5	594,85	26,8	20,68	49,82

17	18	19	20	21	22
Ap. solar [MJ/m <sup>2</sup> ]	Energía_neta_día [MJ/m <sup>2</sup> ]	Energía_neta_mes [MJ/m <sup>2</sup> ]	Et [MJ]	Fracción Solar [%]	Déficit energético [MJ]
(Eta <sub>m</sub> / 100)	0,85 Ap.solar	Energía_neta_día Nd	Energía_neta_mes Ac	(Et / Q <sub>m</sub> ) 100	Q <sub>m</sub> – Et
12,48	10,61	328,89	7.047,01	<b>109,97</b>	638,92
12,97	11,02	308,65	6.613,32	<b>112,12</b>	714,77
13,18	11,21	347,36	7.442,77	<b>115,66</b>	1007,46
11,34	9,64	289,18	6.196,20	<b>102,98</b>	179,14
10,68	9,08	281,46	6.030,63	97,42	<b>-159,79</b>
11,57	9,83	294,98	6.320,44	99,59	<b>-25,78</b>
13,46	11,44	354,69	7.599,77	<b>113,07</b>	878,75
13,09	11,12	344,85	7.388,83	<b>105,05</b>	354,89
11,55	9,81	294,41	6.308,12	96,01	<b>-261,93</b>
10,72	9,11	282,54	6.053,77	89,89	<b>-680,85</b>
9,86	8,38	251,36	5.385,85	77,04	<b>-1605,52</b>
10,13	8,61	267,04	5.721,75	84,62	<b>-1040,08</b>
		<b>3.645,41</b>	<b>78.108,47</b>	<b>100,28</b>	
			<b>Q<sub>mT</sub> / Energía_neta_mes T</b>	21,43	
			<b>Nc = Ac / Sc</b>	9,70	
			<b>Nc redon = redondeo_par (Ac / Sc)</b>	<b>10</b>	
			<b>F [%] =</b>	<b>100,28</b>	

Anexo 7. Cálculo de la exergía en el sistema.

TIM E	°C						resultados						
	T_in_col	T_aut_col	T_prom_col	T_acumulador	T_in_acumulador	T_aut_acumulador	Q	Ex, solar	Ex, Tub 1	Ex, Tub 2	Ex, acumulador	Ex, sis	n
0	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
1	25,00	26,00	25,50	49,85	29,95	39,90	0,09	0,09	0,001	0,009	0,007	0,07	81,10
2	25,00	25,60	25,30	49,69	29,90	39,79	0,05	0,05	0,001	0,009	0,004	0,04	73,42
3	25,00	25,30	25,15	49,54	29,85	39,69	0,03	0,03	0,001	0,009	0,002	0,01	54,24
4	25,00	25,00	25,00	49,39	29,80	39,59	0,00	0,00	0,002	0,008	0,000	-0,01	75,25
5	25,00	26,70	25,85	49,23	29,74	39,49	0,15	0,15	0,001	0,008	0,011	0,13	86,38
6	25,00	26,40	25,70	49,08	29,69	39,39	0,12	0,12	0,001	0,008	0,009	0,10	85,03
7	25,00	26,10	25,55	48,93	29,64	39,29	0,10	0,10	0,001	0,008	0,007	0,08	82,93
8	25,21	27,81	26,51	43,39	26,24	33,99	0,26	0,26	-0,001	0,005	0,015	0,24	92,72
9	25,81	35,96	30,88	39,16	34,06	35,40	1,02	1,02	-0,003	0,005	0,046	0,97	95,27
10	33,96	40,64	37,30	39,55	37,85	38,73	2,13	2,13	-0,005	0,001	0,099	2,03	95,54
11	38,64	49,31	43,97	46,83	42,69	44,59	3,28	3,28	-0,008	0,000	0,224	3,07	93,42
12	47,31	59,21	53,26	55,84	50,80	53,35	4,89	4,89	-0,011	-0,002	0,458	4,44	90,89
13	57,21	65,95	61,58	63,49	59,24	61,44	6,33	6,33	-0,012	-0,005	0,724	5,62	88,84
14	63,95	68,70	66,33	65,63	64,37	65,07	7,15	7,15	-0,012	-0,009	0,858	6,31	88,29
15	66,70	63,37	65,04	65,39	64,15	64,84	6,93	6,93	-0,009	-0,011	0,827	6,12	88,35
16	61,37	63,15	62,26	65,16	63,92	64,61	6,45	6,45	-0,009	-0,007	0,765	5,70	88,37
17	61,15	62,92	62,04	64,92	63,69	64,38	6,41	6,41	-0,009	-0,007	0,757	5,67	88,43
18	60,92	62,70	61,81	64,65	63,46	64,15	6,37	6,37	-0,009	-0,007	0,748	5,64	88,50
19	60,70	60,95	60,83	64,29	62,94	63,75	6,20	6,20	-0,008	-0,007	0,722	5,49	88,59
20	58,95	57,65	58,30	63,92	61,96	63,27	5,76	5,76	-0,006	-0,006	0,665	5,11	88,66
21	55,65	53,54	54,59	63,51	60,38	62,62	5,12	5,12	-0,004	-0,003	0,586	4,54	88,71
22	51,54	49,13	50,33	63,01	58,20	61,70	4,38	4,38	-0,003	-0,001	0,496	3,89	88,76
23	47,13	48,95	48,04	62,79	57,99	61,48	3,99	3,99	-0,003	0,003	0,448	3,54	88,74
24	46,95	48,81	47,88	62,57	57,79	61,26	3,96	3,96	-0,003	0,003	0,443	3,52	88,80
25	46,81	48,66	47,73	62,35	57,60	61,05	3,93	3,93	-0,003	0,003	0,438	3,49	88,86
26	46,66	48,51	47,58	62,10	57,40	60,84	3,91	3,91	-0,003	0,003	0,432	3,47	88,92
27	46,51	48,36	47,43	61,84	57,21	60,63	3,88	3,88	-0,003	0,003	0,427	3,45	88,99
28	46,36	48,21	47,29	61,58	57,02	60,42	3,86	3,86	-0,003	0,003	0,421	3,43	89,06
29	46,21	48,07	47,14	61,33	56,82	60,21	3,83	3,83	-0,003	0,003	0,416	3,41	89,13
30	46,07	47,92	47,00	61,07	56,63	60,00	3,81	3,81	-0,003	0,003	0,411	3,39	89,20
31	45,92	47,78	46,85	60,82	56,44	59,79	3,78	3,78	-0,003	0,003	0,406	3,37	89,26
32	45,78	39,31	42,54	59,69	50,87	57,09	3,04	3,04	0,000	0,001	0,316	2,72	89,51
33	37,31	34,25	35,78	57,56	44,38	52,91	1,86	1,86	0,001	0,006	0,184	1,67	89,77
34	32,25	51,86	42,05	58,88	54,86	57,15	2,95	2,95	-0,005	0,013	0,301	2,64	89,55
35	49,86	61,08	55,47	68,36	63,42	65,87	5,27	5,27	-0,008	0,003	0,669	4,61	87,39
36	59,08	69,27	64,18	73,91	71,10	72,67	6,78	6,78	-0,010	0,000	0,955	5,83	86,05
37	67,27	72,88	70,07	74,26	73,35	73,78	7,80	7,80	-0,011	-0,006	1,106	6,71	86,04
38	70,88	75,82	73,35	79,38	77,11	78,42	8,37	8,37	-0,011	-0,006	1,290	7,09	84,79
39	73,82	78,65	76,23	79,49	79,11	79,35	8,86	8,86	-0,012	-0,008	1,370	7,52	84,78

40	76,65	78,35	77,50	79,18	78,80	79,04	9,08	9,08	-0,012	-0,011	1,397	7,71	84,87
41	76,35	78,05	77,20	78,82	78,50	78,74	9,03	9,03	-0,012	-0,011	1,381	7,67	84,96
42	76,05	77,75	76,90	78,46	78,20	78,44	8,98	8,98	-0,012	-0,010	1,365	7,64	85,05
43	75,75	76,29	76,02	78,10	77,74	78,08	8,83	8,83	-0,011	-0,010	1,334	7,51	85,13
44	74,29	73,36	73,82	77,74	76,97	77,69	8,45	8,45	-0,010	-0,010	1,270	7,20	85,20
45	71,36	69,50	70,43	77,37	75,74	77,19	7,86	7,86	-0,008	-0,007	1,174	6,70	85,26
46	67,50	65,14	66,32	76,99	74,00	76,51	7,15	7,15	-0,006	-0,005	1,062	6,10	85,31
47	63,14	64,88	64,01	76,64	73,71	76,22	6,75	6,75	-0,006	-0,001	0,996	5,76	85,35
48	62,88	64,65	63,76	76,29	73,43	75,93	6,71	6,71	-0,006	-0,001	0,984	5,73	85,44
49	62,65	64,42	63,53	75,94	73,15	75,64	6,67	6,67	-0,006	-0,001	0,973	5,70	85,52
50	62,42	64,19	63,30	75,60	72,88	75,35	6,63	6,63	-0,006	-0,001	0,962	5,67	85,61
51	62,19	63,96	63,07	75,26	72,61	75,07	6,59	6,59	-0,006	-0,001	0,950	5,65	85,69
52	61,96	63,73	62,85	74,92	72,33	74,78	6,55	6,55	-0,006	-0,001	0,939	5,62	85,77
53	61,73	63,51	62,62	74,58	72,06	74,50	6,51	6,51	-0,006	-0,001	0,928	5,59	85,86
54	61,51	63,28	62,39	74,24	71,79	74,22	6,47	6,47	-0,006	-0,001	0,917	5,56	85,94
55	61,28	63,06	62,17	73,92	71,53	73,92	6,43	6,43	-0,006	-0,001	0,906	5,53	86,02
56	61,06	54,04	57,55	73,39	66,87	72,11	5,63	5,63	-0,002	-0,002	0,786	4,85	86,12
57	52,04	48,04	50,04	72,22	61,08	69,09	4,33	4,33	-0,001	0,003	0,592	3,74	86,27
58	46,04	52,49	49,27	71,95	60,84	68,82	4,20	4,20	-0,004	0,008	0,571	3,62	86,29
59	50,49	56,19	53,34	71,68	60,63	68,57	4,90	4,90	-0,006	0,004	0,664	4,24	86,50
60	54,19	56,69	55,44	70,67	59,57	66,74	5,27	5,27	-0,007	0,000	0,700	4,57	86,84
61	54,69	63,35	59,02	69,52	64,97	66,30	5,89	5,89	-0,009	0,000	0,765	5,13	87,16
62	61,35	69,20	65,28	73,31	70,57	71,92	6,97	6,97	-0,010	-0,003	0,972	6,01	86,23
63	67,20	72,99	70,09	74,87	73,84	74,42	7,80	7,80	-0,011	-0,006	1,118	6,70	85,88
64	70,99	72,71	71,85	74,59	73,56	74,14	8,11	8,11	-0,011	-0,009	1,156	6,97	85,98
65	70,71	72,44	71,58	74,29	73,28	73,86	8,06	8,06	-0,011	-0,009	1,143	6,94	86,06
66	70,44	72,17	71,31	73,96	73,01	73,58	8,01	8,01	-0,011	-0,009	1,130	6,90	86,14
67	70,17	70,62	70,39	73,59	72,49	73,18	7,85	7,85	-0,010	-0,009	1,101	6,77	86,23
68	68,62	67,59	68,10	73,21	71,62	72,73	7,46	7,46	-0,009	-0,008	1,038	6,44	86,30
69	65,59	63,68	64,63	72,82	70,26	72,15	6,86	6,86	-0,007	-0,006	0,948	5,92	86,36
70	61,68	59,31	60,49	72,38	68,37	71,38	6,14	6,14	-0,005	-0,003	0,842	5,31	86,42
71	57,31	59,09	58,20	72,09	68,11	71,11	5,74	5,74	-0,005	0,000	0,784	4,97	86,44
72	57,09	58,88	57,99	71,77	67,86	70,85	5,71	5,71	-0,005	0,000	0,774	4,94	86,52
73	56,88	58,68	57,78	71,45	67,62	70,58	5,67	5,67	-0,005	0,000	0,765	4,91	86,60
74	56,68	58,48	57,58	71,13	67,37	70,32	5,64	5,64	-0,005	0,000	0,755	4,89	86,68
75	56,48	58,28	57,38	70,82	67,13	70,06	5,60	5,60	-0,005	0,000	0,746	4,86	86,76
76	56,28	58,09	57,19	70,51	66,88	69,80	5,57	5,57	-0,005	0,000	0,737	4,84	86,84
77	56,09	57,89	56,99	70,19	66,64	69,55	5,53	5,53	-0,005	0,000	0,729	4,81	86,92
78	55,89	57,69	56,79	69,89	66,40	69,29	5,50	5,50	-0,005	0,000	0,720	4,79	86,99
79	55,69	57,50	56,60	69,58	66,16	69,04	5,47	5,47	-0,005	0,000	0,711	4,76	87,07
80	55,50	48,65	52,07	68,81	61,20	66,92	4,68	4,68	-0,001	-0,001	0,600	4,09	87,23
81	46,65	41,30	43,97	67,30	55,00	63,49	3,28	3,28	0,001	0,005	0,408	2,87	87,41
82	39,30	42,42	40,86	67,05	54,79	63,25	2,74	2,74	0,000	0,010	0,339	2,39	87,26
83	40,42	50,89	45,65	66,81	54,03	63,02	3,57	3,57	-0,005	0,009	0,439	3,13	87,59
84	48,89	60,97	54,93	65,71	62,36	63,13	5,18	5,18	-0,008	0,002	0,622	4,56	88,09
85	58,97	61,43	60,20	64,99	62,64	63,09	6,09	6,09	-0,008	-0,006	0,720	5,38	88,40
86	59,43	61,21	60,32	64,75	62,42	62,86	6,11	6,11	-0,008	-0,006	0,719	5,41	88,47

87	59,21	61,00	60,11	64,52	62,20	62,64	6,07	6,07	-0,008	-0,006	0,711	5,38	88,53
88	59,00	60,79	59,89	64,29	61,98	62,42	6,04	6,04	-0,008	-0,006	0,703	5,35	88,59
89	58,79	60,58	59,68	64,06	61,76	62,20	6,00	6,00	-0,008	-0,006	0,695	5,32	88,65
90	58,58	60,37	59,47	63,83	61,55	61,98	5,96	5,96	-0,008	-0,006	0,687	5,29	88,71
91	58,37	58,17	58,27	63,20	60,89	61,63	5,76	5,76	-0,007	-0,006	0,654	5,12	88,87
92	56,17	54,71	55,44	62,61	59,74	61,16	5,27	5,27	-0,005	-0,005	0,590	4,69	88,99
93	52,71	50,62	51,66	62,02	57,99	60,47	4,61	4,61	-0,004	-0,002	0,510	4,11	89,08
94	48,62	46,33	47,47	61,38	55,69	59,48	3,89	3,89	-0,002	0,001	0,423	3,47	89,16
95	44,33	46,17	45,25	61,16	55,50	59,27	3,50	3,50	-0,002	0,004	0,379	3,12	89,12
96	44,17	46,04	45,10	60,95	55,31	59,07	3,48	3,48	-0,002	0,004	0,374	3,10	89,18
97	44,04	45,90	44,97	60,74	55,13	58,87	3,46	3,46	-0,002	0,004	0,370	3,08	89,24
98	43,90	45,77	44,83	60,53	54,95	58,67	3,43	3,43	-0,002	0,004	0,365	3,06	89,29
99	43,77	45,63	44,70	60,32	54,77	58,47	3,41	3,41	-0,002	0,004	0,361	3,05	89,35
100	43,63	45,50	44,57	60,11	54,59	58,27	3,39	3,39	-0,002	0,004	0,357	3,03	89,40
101	43,50	45,37	44,44	59,90	54,41	58,07	3,36	3,36	-0,002	0,004	0,352	3,01	89,46
102	43,37	45,24	44,30	59,70	54,23	57,87	3,34	3,34	-0,002	0,004	0,348	2,99	89,51
103	43,24	45,11	44,17	59,49	54,05	57,68	3,32	3,32	-0,002	0,004	0,344	2,97	89,57
104	43,11	37,48	40,29	57,98	48,40	54,79	2,65	2,65	0,001	0,002	0,264	2,38	89,93
105	35,48	45,18	40,33	55,60	46,91	51,11	2,65	2,65	-0,004	0,006	0,247	2,40	90,61
106	43,18	53,19	48,19	58,28	55,02	56,68	4,01	4,01	-0,006	0,003	0,403	3,61	90,03
107	51,19	60,64	55,92	67,44	62,85	65,16	5,35	5,35	-0,008	0,002	0,667	4,69	87,65
108	58,64	68,12	63,38	72,45	69,73	71,14	6,64	6,64	-0,010	-0,001	0,912	5,74	86,42
109	66,12	73,40	69,76	78,17	74,86	76,42	7,74	7,74	-0,011	-0,004	1,172	6,59	85,05
110	71,40	81,16	76,28	88,42	83,74	86,30	8,87	8,87	-0,012	-0,002	1,556	7,33	82,62
111	79,16	87,38	83,27	88,84	88,03	88,46	10,08	10,08	-0,014	-0,007	1,778	8,33	82,57
112	85,38	87,93	86,65	88,99	88,35	88,69	10,67	10,67	-0,014	-0,012	1,885	8,81	82,58
113	85,93	87,58	86,75	88,63	88,00	88,34	10,68	10,68	-0,014	-0,013	1,879	8,83	82,66
114	85,58	87,23	86,40	88,21	87,65	87,99	10,62	10,62	-0,014	-0,013	1,858	8,79	82,76
115	85,23	85,88	85,55	87,77	87,18	87,58	10,48	10,48	-0,013	-0,012	1,822	8,68	82,85
116	83,88	83,16	83,52	87,34	86,46	87,14	10,13	10,13	-0,012	-0,012	1,751	8,40	82,94
117	81,16	79,53	80,35	86,91	85,36	86,64	9,58	9,58	-0,010	-0,010	1,647	7,95	83,02
118	77,53	75,32	76,43	86,47	83,83	86,01	8,90	8,90	-0,009	-0,007	1,521	7,39	83,09
119	73,32	75,02	74,17	86,06	83,49	85,67	8,51	8,51	-0,009	-0,004	1,446	7,07	83,15
120	73,02	74,73	73,88	85,65	83,16	85,33	8,46	8,46	-0,008	-0,004	1,429	7,04	83,25
121	72,73	74,45	73,59	85,25	82,84	84,99	8,41	8,41	-0,008	-0,004	1,413	7,01	83,34
122	72,45	74,17	73,31	84,84	82,51	84,65	8,36	8,36	-0,008	-0,004	1,397	6,97	83,43
123	72,17	73,89	73,03	84,44	82,19	84,32	8,31	8,31	-0,008	-0,004	1,381	6,94	83,52
124	71,89	73,61	72,75	84,05	81,87	83,99	8,26	8,26	-0,008	-0,004	1,366	6,91	83,62
125	71,61	73,33	72,47	83,65	81,55	83,65	8,21	8,21	-0,008	-0,004	1,350	6,88	83,71
126	71,33	73,06	72,20	83,28	81,23	83,28	8,17	8,17	-0,008	-0,004	1,335	6,84	83,80
127	71,06	72,78	71,92	82,91	80,91	82,91	8,12	8,12	-0,008	-0,004	1,321	6,81	83,88
128	70,78	63,76	67,27	82,42	76,83	81,45	7,31	7,31	-0,004	-0,005	1,181	6,14	83,97
129	61,76	54,92	58,34	81,49	71,24	78,94	5,77	5,77	-0,001	0,001	0,919	4,85	84,07
130	52,92	54,70	53,81	81,17	70,95	78,62	4,98	4,98	-0,001	0,008	0,790	4,19	84,01
131	52,70	54,52	53,61	80,85	70,68	78,32	4,95	4,95	-0,001	0,008	0,781	4,16	84,08
132	52,52	51,58	52,05	79,99	67,49	76,51	4,68	4,68	-0,001	0,007	0,729	3,94	84,29
133	49,58	49,50	49,54	78,95	64,42	74,46	4,25	4,25	-0,001	0,008	0,651	3,59	84,49

134	47,50	51,45	49,47	78,64	64,18	74,17	4,23	4,23	-0,002	0,010	0,646	3,58	84,56
135	49,45	51,28	50,37	78,34	63,95	73,89	4,39	4,39	-0,002	0,008	0,666	3,72	84,68
136	49,28	51,12	50,20	78,04	63,72	73,61	4,36	4,36	-0,002	0,008	0,659	3,70	84,75
137	49,12	50,96	50,04	77,74	63,49	73,33	4,33	4,33	-0,002	0,008	0,651	3,68	84,82
138	48,96	50,80	49,88	77,44	63,27	73,06	4,31	4,31	-0,002	0,008	0,644	3,65	84,90
139	48,80	49,83	49,32	76,22	60,83	70,89	4,21	4,21	-0,002	0,007	0,617	3,59	85,22
140	47,83	48,04	47,94	74,82	58,56	68,68	3,97	3,97	-0,002	0,007	0,568	3,40	85,57
141	46,04	45,74	45,89	73,26	56,30	66,45	3,62	3,62	-0,001	0,007	0,504	3,11	85,92
142	43,74	43,15	43,45	71,58	53,99	64,19	3,19	3,19	-0,001	0,007	0,431	2,75	86,28
143	41,15	43,02	42,09	71,30	53,81	63,95	2,96	2,96	-0,001	0,009	0,397	2,55	86,27
144	41,02	42,90	41,96	71,04	53,63	63,72	2,93	2,93	-0,001	0,009	0,393	2,53	86,33
145	40,90	42,78	41,84	70,78	53,46	63,50	2,91	2,91	-0,001	0,009	0,388	2,52	86,40
146	40,78	42,66	41,72	70,51	53,29	63,27	2,89	2,89	-0,001	0,009	0,383	2,50	86,46
147	40,66	42,55	41,61	70,25	53,11	63,05	2,87	2,87	-0,001	0,009	0,379	2,49	86,53
148	40,55	42,43	41,49	69,99	52,94	62,83	2,85	2,85	-0,001	0,009	0,374	2,47	86,59
149	40,43	42,31	41,37	69,73	52,77	62,61	2,83	2,83	-0,001	0,009	0,370	2,45	86,66
150	40,31	42,20	41,26	69,48	52,60	62,39	2,81	2,81	-0,001	0,009	0,365	2,44	86,72
151	40,20	42,08	41,14	69,22	52,44	62,17	2,79	2,79	-0,001	0,009	0,361	2,42	86,78
152	40,08	36,76	38,42	65,73	47,68	57,72	2,32	2,32	0,001	0,007	0,279	2,04	87,66
153	34,76	35,62	35,19	61,74	43,16	53,01	1,76	1,76	0,000	0,008	0,193	1,56	88,57
154	33,62	36,61	35,11	61,50	43,02	52,82	1,75	1,75	-0,001	0,009	0,191	1,55	88,62
155	34,61	36,52	35,56	61,29	42,90	52,65	1,83	1,83	-0,001	0,008	0,198	1,62	88,74
156	34,52	35,85	35,19	59,03	41,37	50,29	1,76	1,76	-0,001	0,007	0,181	1,58	89,42
157	33,85	38,58	36,22	56,70	40,15	48,08	1,94	1,94	-0,003	0,006	0,187	1,75	90,22
158	36,58	44,07	40,33	56,50	45,35	47,93	2,65	2,65	-0,004	0,004	0,253	2,40	90,46
159	42,07	47,23	44,65	56,31	48,29	49,82	3,40	3,40	-0,005	0,000	0,323	3,08	90,63
160	45,23	54,22	49,73	57,33	55,68	56,74	4,28	4,28	-0,007	0,002	0,419	3,86	90,33
161	52,22	56,15	54,19	57,11	56,77	57,05	5,05	5,05	-0,007	-0,004	0,491	4,57	90,49
162	54,15	55,97	55,06	56,92	56,58	56,86	5,20	5,20	-0,007	-0,005	0,503	4,71	90,57
163	53,97	54,39	54,18	56,71	56,12	56,58	5,05	5,05	-0,006	-0,005	0,485	4,57	90,62
164	52,39	51,21	51,80	56,47	55,18	56,20	4,64	4,64	-0,005	-0,004	0,443	4,20	90,65
165	49,21	47,20	48,21	56,17	53,58	55,60	4,02	4,02	-0,003	-0,002	0,380	3,64	90,67
166	45,20	42,92	44,06	55,76	51,32	54,67	3,30	3,30	-0,001	0,001	0,308	2,99	90,68
167	40,92	42,78	41,85	55,57	51,15	54,49	2,92	2,92	-0,001	0,004	0,271	2,64	90,61
168	40,78	42,66	41,72	55,39	50,99	54,31	2,89	2,89	-0,001	0,004	0,268	2,62	90,66
<b>prom</b>	<b>53,69</b>	<b>55,72</b>	<b>54,71</b>	<b>68,32</b>	<b>61,81</b>	<b>65,81</b>	<b>5,14</b>	<b>5,14</b>	<b>-0,005</b>	<b>0,002</b>	<b>0,704</b>	<b>4,44</b>	<b>86,72</b>

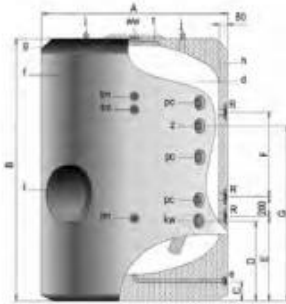


Anexo 8. Calculo costo sistema colectores solares Vs sistema eléctrico.

mes	Eléctrico	Sistemas colectores
1	\$ 7.775.268,36	\$ 45.412.333,34
2	\$ 8.708.300,56	\$ 46.320.580,01
3	\$ 9.753.296,62	\$ 47.246.991,61
4	\$ 10.923.692,22	\$ 48.191.931,44
5	\$ 12.234.535,29	\$ 49.155.770,07
6	\$ 13.702.679,52	\$ 50.138.885,47
7	\$ 15.347.001,06	\$ 51.141.663,18
8	\$ 17.188.641,19	\$ 52.164.496,44
9	\$ 19.251.278,13	\$ 53.207.786,37
10	\$ 21.561.431,51	\$ 54.271.942,10
11	\$ 24.148.803,29	\$ 55.357.380,94
12	\$ 27.046.659,68	\$ 56.464.528,56
13	\$ 30.292.258,85	\$ 57.593.819,13
14	\$ 33.927.329,91	\$ 58.745.695,51
15	\$ 37.998.609,50	\$ 59.920.609,42
16	\$ 42.558.442,64	\$ 61.119.021,61
17	\$ 47.665.455,75	\$ 62.341.402,04
18	\$ 53.385.310,44	\$ 63.588.230,08
19	\$ 59.791.547,70	\$ 64.859.994,69
20	\$ 66.966.533,42	\$ 66.157.194,58
21	\$ 75.002.517,43	\$ 67.480.338,47
22	\$ 84.002.819,52	\$ 68.829.945,24
23	\$ 94.083.157,87	\$ 70.206.544,15
24	\$ 105.373.136,81	\$ 71.610.675,03
25	\$ 118.017.913,23	\$ 73.042.888,53

Anexo 9. Ficha técnica acumuladora. Obtenido de (AGUA CALIENTE SANITARIA INTERACUMULADORES VITRIFICADOS MURAL CON RESISTENCIA ELÉCTRICA INTERACUMULADORES VITRIFICADOS MURAL CON RESISTENCIA ELÉCTRICA, n.d.)

## DEPÓSITOS DE GRAN CAPACIDAD VITRIFICADOS



Mod. IMV...-RB

- t Boca de hombre DN400
- d Depósito acumulación ACS
- f Forro externo (opcional)
- g Cubierta superior (opcional)
- h Aislamiento térmico
- j Cáncamos para transporte

Nueva serie de depósitos acumuladores de gran capacidad, para instalaciones de ACS IDROGAS. Fabricados en acero vitrificado s/DIN 4753.

Con capacidades de 1.500 a 5.000 litros, todos los depósitos acumuladores de la nueva serie IDROGAS van aislados con 80 mm de espesor de espuma rígida de poliuretano de densidad optimizada y libre de CFC, inyectada en molde, lo que hace que una de las características de la nueva serie sea su gran capacidad de acumulación. Con boca lateral DN 400.

Todos los modelos disponen de conexiones para la incorporación de resistencias eléctricas e incorporan de serie la protección catódica permanente CORREX UP.

\*En el acumulador IDROGAS con aislamiento de poliuretano rígido, el forro es siempre opcional ya que no es necesario para su perfecto funcionamiento y prestaciones, cumple exclusivamente una función estética. Al contrario que los acumuladores del mercado con aislamiento flexible en los que el forro de plástico es imprescindible al llevar incorporado el aislamiento.

### Modelo RB

Depósito acumulador, sin sistema de intercambiador de serpentines, destinado a funciones de acumulación de ACS, mediante una producción externa, p.e. intercambiador de placas.

Código	Artículo	€
<b>DEPOSITO ACUMULADOR SERIE IMV-RB</b>		
CC 01 801	<b>IMVV 1500 RB</b>	<b>3.475,00</b>
CC 01 802	<b>IMVV 2000 RB</b>	<b>3.561,00</b>
CC 01 803	<b>IMVV 2500 RB</b>	<b>4.459,00</b>
CC 01 804	<b>IMVV 3000 RB</b>	<b>4.862,00</b>
CC 01 805	<b>IMVV 3500 RB</b>	<b>5.537,00</b>
CC 01 806	<b>IMVV 4000 RB</b>	<b>5.887,00</b>
CC 01 807	<b>IMVV 5000 RB</b>	<b>7.161,00</b>

Consultar precio modelo 6000 LTS

### Sistema de protección catódica "Correx up"

Equipo de protección catódica, libre de mantenimiento, compuesto por ánodo permanente, potencióstato regulador, cableado e instrucciones de conexión y montaje.



Sistema incorporado de serie en los modelos vitrificados.

### DATOS TÉCNICOS

Modelo		Ref. tamaño acumulador						
		1500RB	2000RB	2500RB	3000RB	3500RB	4000RB	5000RB
Capacidad de ACS	L	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000
Temp. máx. en continuo depósito de A.C.S.	°C	90	90	90	90	90	90	90
Presión máx. depósito de A.C.S.	bar	8	8	8	8	8	8	8
Peso en vacío (aprox.)	kg	400	460	635	705	755	915	1030
kW: Entrada de agua fría	*GAS/M	2	2	3	3	3	3	3
e: Desagüe	*GAS/M	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2
ww: Salida de ACS	*GAS/M	2	2	3	3	3	3	3
z: recirculación	*GAS/M	1-1/2	1-1/2	2	2	2	2	2
R: conexión resistencia	*GAS/M	2	2	2	2	2	2	2
tm: conexión sensores laterales	*GAS/M	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
Diámetro exterior: A	mm	1360	1360	1660	1660	1660	1910	1910
Longitud total: B	mm	1830	2280	2015	2305	2580	2310	2710
Cota C	mm	160	160	195	195	195	190	190
Cota D	mm	670	670	800	800	800	865	865
Cota E	mm	685	685	805	805	805	875	875
Cota F	mm	330	780	300	590	875	465	870
Cota G	mm	1115	1580	1250	1540	1755	1450	1805