

**UNIVERSIDAD DE MATANZAS  
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CALENTADORES SOLARES PARA  
MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL HOTEL MELIÁ LAS ANTILLAS.

Trabajo de diploma presentado en opción al título de Ingeniero Mecánico.

YONDER CUESTA FERNÁNDEZ

**Matanzas, 2020**

**UNIVERSIDAD DE MATANZAS  
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CALENTADORES SOLARES PARA  
MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL HOTEL MELIÁ LAS ANTILLAS.

Trabajo de diploma presentado en opción al título de Ingeniero Mecánico.

**Autor:** YONDER CUESTA FERNÁNDEZ

Tutor: Dr.C. Yanán Camaraza Medina

**Matanzas, 2020**

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

---

Yonder Cuesta Fernández

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Miembros del Tribunal:

---

Presidente

Secretario

Vocal

## **RESUMEN**

El empleo de tecnologías sustentadas en las fuentes de energías renovables es de vital importancia en la actualidad, especialmente para Cuba, debido a la situación existente en relación a los precios de los combustibles fósiles en el mercado internacional. Sin lugar a dudas, el elemento más controversial y complejo del ahorro de energía eléctrica es el cambio de concepción ante la vida que se requiere para lograr avances significativos en esa dirección. Alcanzar una verdadera conciencia basada en la cultura de la energía, es una tarea que requiere de un gran trabajo educativo incorporando a esta batalla la conservación de los recursos energéticos y la protección del medio ambiente, es un loable esfuerzo dirigido en el sentido de la promoción y el fomento de una ética y una cultura para el desarrollo sostenible. Este trabajo aborda la temática del aprovechamiento de la energía solar, específicamente la Energía Solar Térmica, así como distintas formas de su empleo, se discuten las consideraciones generales para el empleo de un sistema de calentadores de agua y se exponen una serie de propuestas en función de disminuir el consumo de energía eléctrica en el hotel Meliá Las Antillas, localizado en Varadero, sin excluir los factores económicos y medioambientales.

**Palabras claves:** energías renovables; calentadores de agua; energía solar térmica.

## **ABSTRACT**

The use of technologies based on renewable energy sources is of vital importance at present, especially for Cuba, due to the existing situation in relation to the prices of fossil fuels in the international market. Undoubtedly, the most controversial and complex element of energy saving is the change of conception to the life that is required to achieve significant progress in that direction. Achieve a true consciousness based on energy culture, is a task that requires great educational work incorporating this battle with the conservation of energy resources and environmental protection. It is a praiseworthy effort directed in the sense of promotion and promoting an ethics and a culture for sustainable development. This work addresses the theme of the use of solar energy, specifically solar thermal energy, as well as different forms of its use, general considerations for the use of a water heaters system are discussed and a series of proposals are exposed based on reducing electricity consumption at Hotel Meliá Las Antillas, located in Varadero, without excluding economic and environmental factors.

**Keywords:** renewable energies; water heaters; solar thermal energy.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE .....	4
1.1 Energía renovable .....	4
1.1.1 Clasificación .....	4
1.2 La energía solar .....	4
1.2.1 Aplicaciones de la energía solar .....	4
1.2.2 Transmisión del calor .....	5
1.3 Calentador solar .....	6
1.3.1 Clasificación de los calentadores solares .....	8
1.3.2 Componentes de un calentador solar .....	8
1.3.3 Clasificación de los colectores .....	10
1.3.4 Ubicación de los colectores .....	15
1.4 Tipos de circulación .....	15
1.5 Ventajas y desventajas de los calentadores solares .....	15
1.6 Estado actual de la energía renovable en Cuba .....	16
1.7 Estado actual de la energía solar térmica en Cuba .....	18
1.8 Uso de la energía solar en hoteles .....	18
1.9 La eficiencia energética en el sector hotelero cubano .....	19
1.10 Descripción del sistema de agua caliente sanitaria propuesto en el hotel ..	19
1.11 Componentes de una instalación solar térmica .....	20
1.11.1 Componentes del circuito primario .....	20
1.11.2 Componentes del circuito secundario .....	20
1.12 Aspectos económicos relativos a la energía solar .....	21
1.13 Conclusiones parciales del capítulo .....	22
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
2.1 Descripción del hotel .....	23
2.1.1 Facilidades .....	24
2.2 Métodos de producción de agua caliente sanitaria .....	24
2.3 Demanda de agua caliente sanitaria en el hotel .....	26
2.4 Estudio climatológico de la zona .....	29
2.5 Selección del tipo de sistema .....	31
2.6 Ubicación del sistema .....	31
2.7 Sistema de acumulación .....	32
2.8 Cálculo de sombras .....	33
2.9 Selección del colector solar .....	33
2.10 Superficie total de captación solar y cantidad de colectores .....	33
2.11 Diseño del sistema hidráulico .....	34
2.12 Aislamiento térmico .....	37
2.13 Intercambiadores de calor .....	38
2.14 Disipador de calor .....	38
2.15 Bombas de circulación .....	39
2.16 Rendimiento de la instalación de energía solar térmica .....	39

2.17 Cálculo del dimensionado básico del sistema.....	40
2.18 Elección del sistema de respaldo energético. ....	43
CONCLUSIONES.....	44
RECOMENDACIONES. ....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS.....	48



## **INTRODUCCIÓN**

Las primeras investigaciones para captar y explotar la energía solar se remontan a la antigüedad. Los egipcios descubrieron el efecto del vidrio, el hecho de que un cuerpo expuesto al sol en un recipiente de vidrio se calienta más que al aire libre.

Se hicieron esfuerzos para construir dispositivos capaces de orientarse automáticamente hacia el sol a fin de mejorar el rendimiento y de alargar el período de utilización de las máquinas; pero los dispositivos eran pesados, muy complicados y por consiguiente muy costosos.

Por razones económicas, ambientales y políticos, es necesario buscar otras fuentes alternativas de energía que sean a la vez económicas, abundante, limpia y que preserven el equilibrio ecológico. La energía proveniente del sol, del viento y de la tierra (geotérmica) son las opciones, pero la energía del sol tiene una ventaja extra con respecto a otras dos fuentes, (Nandwani 2005)

El desarrollo de sistemas que operan utilizando energía solar, ha avanzado para contrarrestar las constantes crisis de energía que a nivel mundial se han venido presentando desde finales de 1970. Estas crisis han sido causadas por la falta de materia prima que se puede utilizar como energía y por los elevados costos de extracción, procesamiento y distribución de los mismos.

El sol es una fuente renovable de energía y se ha usado históricamente con diferentes fines. Entre estas se mencionan la evaporación de las aguas del mar para la obtención de sal y también la exposición de frutas y productos agrícolas al sol para obtener alimentos deshidratados, el calentamiento del agua mediante el sol es un método común en países como Japón, Israel y Australia, ya que, si una unidad solar es usada como suplemento en un calentador regular de agua, aquella puede ahorrar hasta el 90 % de la energía usada por el sistema convencional.

El calentador solar es un equipo que transforma la luz del sol en calor y almacena esa energía en el agua para usarla a cualquier hora. Está compuesto por el

captador y el termo. En el captador es donde la luz se transforma en calor al chocar con la superficie foto térmica. En el termo se almacena el agua caliente donde se mantiene la temperatura durante las horas no soleadas. Los calentadores de agua por panel solar, transforman la energía calorífica del sol para producir agua caliente y permitir un importante ahorro en el consumo habitual de gas y electricidad, (2013)

Del calentador solar se puede decir que el primero en poner en conocimiento el calentador solar fue el ingeniero William J. Bailey en los Ángeles en 1909 este comenzó a venderlos. Su funcionamiento consiste en recolectar energía solar y producir agua caliente que era utilizada para los usos domiciliarios, (V. Cardozo 2005)

Este trabajo se desarrolla en el hotel Meliá Las Antillas, perteneciente al Grupo Hotelero Cubanacán S.A. y gestionado por la cadena española *Meliá Hotels International* en contrato de administración bajo su marca Meliá Hotels & Resorts desde diciembre de 2006, y fue inaugurado el 1 de marzo de 1999.

En el hotel Meliá Las Antillas cuenta con un sistema de agua caliente sanitaria basado en el principio de recuperación de calor en el sistema de enfriadoras y con un sistema de apoyo por calentadores de gas. A opinión de los especialistas de servicios técnicos del hotel es un sistema que trabaja solo y que no tiene muchos problemas, solo uno: el sistema no es capaz de calentar el agua hasta los 50°C, este trabaja de 30 a 40°C sin el apoyo de los calentadores de gas en los horarios de máxima demanda generando molestias y quejas en los clientes.

Para lograr estos resultados de eficiencia y hacer un uso racional de los recursos materiales y energéticos, el departamento de servicios técnicos del hotel no debe conformarse con el equipamiento técnico colocado en la instalación, sino que debe buscar constantemente alternativas para racionalizar su funcionamiento, logrando así reducir los costos por razón de mantenimiento y portadores energéticos.

Lo cual genera el siguiente **problema científico**: *En el hotel Meliá las Antillas existe un alto consumo de potadores energéticos en la producción de agua caliente sanitaria, lo que conlleva a un deterioro importante de la eficiencia energética en la entidad*

Para realizar la investigación que se llevara a cabo en el presente trabajo de diploma se parte de la siguiente **hipótesis**: *la sustitución de los sistemas actuales para la producción de agua caliente sanitaria por calentadores solares permite incrementar la eficiencia energética del centro sin que se deteriores los parámetros de calidad en el servicio,*

Por lo tanto el **objetivo general** de este trabajo es el siguiente: *Proponer mejoras al sistema de calentamiento de agua mediante el uso de calentadores solares que garanticen las condiciones de confort en el hotel y que resulten energéticamente más viables.*

Los **objetivos específicos** que se persiguen serán:

- Realizar una búsqueda bibliográfica acerca del estado actual del tema.
- Estudiar las energías renovables, así como la energía solar térmica.
- Seleccionar el tipo de colector más adecuado para el sistema de agua caliente sanitaria.
- Verificar la correcta selección de los equipos que se van a instalar.
- Hacer un estudio económico y ambiental para la propuesta realizada.

El presente trabajo se ha estructurado de la siguiente manera: en el primer capítulo se trata lo referente a los aspectos generales del marco teórico acerca de la energía solar y los calentadores solares; en el segundo capítulo se propone una metodología de diseño para una instalación de calentadores de agua por termosifón y se discuten sus principales consideraciones. Se han abordado además los principales aspectos medio ambientales ligados a la utilización de este tipo de instalaciones.

## **CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE**

### **1.1 Energía renovable**

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

#### **1.1.1 Clasificación**

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes. Entre las primeras:

- El sol: energía solar.
- El viento: energía eólica.
- El calor de la tierra: energía geotérmica.
- Los ríos y corriente de agua dulce: energía hidráulica.
- Los mares y océanos: energía mareomotriz.

### **1.2 La energía solar**

La energía que procede del sol es fuente directa o indirecta de casi toda la energía usada. Los combustibles fósiles existen gracias a la fotosíntesis que convirtió la radiación solar en las plantas y animales de los que se formaron el carbón, gas y petróleo. El ciclo del agua que permite obtener energía hidroeléctrica es producido por la energía solar que evapora el agua, forma nubes y las lleva tierra adentro donde caerá en forma de lluvia o nieve. El viento también se forma cuando unas zonas de la atmósfera son calentadas por el sol en mayor medida que otras.(Borja 2010)

#### **1.2.1 Aplicaciones de la energía solar.**

Básicamente, tomando de forma adecuada la radiación solar, es posible obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los colectores térmicos, y la

electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos. En los sistemas de aprovechamiento térmico, el calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. por ejemplo (Delgado 2007):

- Se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial.
- Climatizar las piscinas.
- Puede ser empleada en la refrigeración.
- Los secaderos agrícolas.
- Plantas de purificación o desalinización de aguas.
- Acondicionamiento de aire.
- Calefacción doméstica.
- Cocinas.
- Destilación.
- Evaporación

### **1.2.2 Transmisión del calor**

Existen tres formas básicas de transferencia de calor:

Conducción: Es la transferencia de energía por contacto directo entre las partículas individuales del cuerpo que estaña diferentes temperaturas y es originada por el movimiento de las macropartículas de la sustancia

Convección: Este mecanismo de transferencia de calor solo es posible en un medio fluido. Se está en presencia de convección cuando el transporte de calor se debe a que volúmenes de líquido o de gas se mueven, de regiones que están a una temperatura determinada a otras regiones que poseen una temperatura diferente. El transporte de calor esta inseparablemente ligado al movimiento del propio medio fluido.

Radiación: Es el proceso por el cual el calor se transmite en forma de ondas electromagnéticas (o fotones). Implica una doble transformación de la energía de forma que la energía térmica del sólido radiante o emisor se transforma en energía radiante, la cual es transformada nuevamente en calor al ser absorbida por el cuerpo irradiado. La causa que le origina es el resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas.(Camaraza 2018)

La cantidad de calor transferido en cualquier sistema involucrado en disímiles procesos puede ser determinado con una aplicación del análisis termodinámico. Sin embargo solamente se tendrá la cantidad de calor transferido por el sistema a medida que pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro y no indica en que tiempo transcurrirá en esta operación. Un análisis termodinámico indicará la cantidad de calor que debe transferirse para que se realice un cambio de estado específico con el fin de satisfacer el principio de conservación de la energía,(Camaraza 2020)

En términos generales la energía solar es la fuente principal de vida en la tierra y es el origen de la mayoría de fuentes de energía renovable. Se puede considerar a la energía solar, como nuestra fuente energética total, porque excluyendo la geotérmica, todas las demás fuentes se derivan de la radiación solar.

Existen equipos que pueden transformar esta radiación solar en energía eléctrica o incluso mover un automóvil con biocombustibles, y lo mejor de todo con un daño mínimo al ambiente y además mientras la humanidad exista en este planeta la energía estará disponible para ser usada. El sol se encarga de calentar la atmosfera terrestre, causando gradientes de temperatura, lo que trae consigo diferencias de presión.

Todos los aspectos de la vida diaria involucran el uso de la energía: el transporte, la producción de alimentos y el abastecimiento de agua (bombeo), así como la calefacción o el acondicionamiento de hogares y oficinas. Para estos fines, los combustibles fósiles tales como el petróleo, el carbón y el gas natural son los más empleados, a pesar de que la energía solar absorbida por la tierra en un año equivale a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y diez mil veces superior al consumo actual, (Rugama 2011)

### **1.3 Calentador solar**

Un calentador solar es un aparato que utiliza la radiación del sol (energía solar) para calentar alguna sustancia, como puede ser agua, aceite, salmuera, glicol o incluso aire. Su uso más común es para calentar agua para uso en piscinas o

servicios sanitarios (duchas, lavado de ropa o trastes etc.) tanto en ambientes domésticos como hoteles y otras industrias.

En muchos climas un calentador solar puede disminuir el consumo energético utilizado para calentar agua. Tal disminución puede llegar a ser de hasta 50-75 % o inclusive 100 % si se sustituye completamente, eliminando el consumo de gas o electricidad. Aunque muchos países en vías de desarrollo cuentan con climas muy propicios para el uso de estos sistemas, su uso no está extendido debido al costo inicial de la instalación. En varios países desarrollados las normativas estatales obligan a utilizar estos sistemas en viviendas de nueva construcción.

Los calentadores tienen una elevada eficiencia para captar la energía solar. Dependiendo de la tecnología y materiales implementados, pueden llegar a alcanzar eficiencias del 98 %. No debe confundirse el panel solar térmico con el panel fotovoltaico, el cual no se utiliza para calentar sustancias, sino para generar electricidad a partir de la luz.

En estos sistemas de calentamiento es importante definir los períodos de uso, ya que, como consecuencia de las estaciones climáticas, los valores de la radiación solar cambian para cada época del año. Estos valores influyen de manera importante en el tamaño del sistema, por lo que debe hacerse un análisis del valor que se utilizará en el diseño del sistema. Los criterios para la selección del valor de radiación solar en un período determinado, son:

**a) Baja radiación:** Se aplica cuando se desea cubrir durante todo el año la demanda de agua caliente con energía solar. En épocas de alta radiación esto hace ineficiente al sistema, por cuanto al incrementarse la radiación se produce un exceso de agua caliente.

**b) Alta radiación:** Se diseña con este valor cuando se cuenta con un sistema auxiliar para el calentamiento de agua, como electricidad, gas y en algunos casos leña. Son los sistemas más eficientes, pero su aplicación está limitada por el empleo de un sistema auxiliar.

**c) Valor promedio de radiación:** El diseño con el promedio anual de radiación satisface parcialmente la demanda de agua caliente durante los meses de baja radiación y se tienen pequeños excesos en los meses de alta radiación, pero

puede ser complementado con un sistema auxiliar de calentamiento en las épocas frías.

Normalmente se suelen dar los tres tipos de transmisión del calor a la vez, aunque en distintas proporciones cada uno. En los colectores de energía solar podemos establecer las siguientes relaciones de transmisión del calor. El sol incide sobre el colector y este sube de temperatura. Con ese calor lo que se busca es calentar un fluido deseado, normalmente el agua (o agua y anticongelante). Sin embargo, no todo el calor generado se aprovecha para calentar el fluido deseado ya que una parte se perderá irremediablemente en calentar el aire externo que está en contacto con el colector (conducción y convección) y otra se perderá por radiación ya que al subir de temperatura el colector emitirá con más energía que el ambiente en el que se encuentra provocándose pérdidas en ese sentido.

No todos los colectores son iguales y serán más eficaces aquellos que mantengan una mejor relación entre lo que ganan de la energía del Sol y lo que pierden según hemos comentado. Existen dos maneras de mejorar los colectores, mejorando la ganancia de energía que obtiene del sol y/o reduciendo sus pérdidas. (Borja 2010)

### **1.3.1 Clasificación de los calentadores solares**

De acuerdo con su funcionamiento los calentadores solares se clasifican en dos tipos:

- **Activos:** los calentadores solares activos son aquellos que utilizan una bomba o algún tipo de energía externa para mover el agua dentro de su ciclo.
- **Pasivos:** los generadores solares pasivos no requieren de energía externa para funcionar. Utilizan el principio de convección para mover el agua dentro del sistema.

### **1.3.2 Componentes de un calentador solar**

Existen cuatro componentes básicos en un calentador solar:

**Colector:** También llamado captador solar o panel termosolar. Es el componente que se encarga de transferir la energía solar al agua. Consiste en un arreglo de tuberías o conductos por donde fluye el agua. El arreglo puede estar pintado de



negro mate o cubierto con pinturas selectivas como el cromo negro para evitar reflejar la luz y así lograr una mayor absorción de calor.

**Contenedor:** Es el recipiente de almacenamiento del fluido. Se conecta con la entrada y la salida del colector. Durante el día, el agua se recircula una y otra vez entre el colector y el contenedor. Después de un tiempo y dependiendo de las dimensiones de los componentes, el agua se calentará para su uso posterior. La energía capturada en el colector se guarda en el tanque en forma de agua caliente. En el momento de requerir agua, se extrae del tanque y se rellena con agua fría. El tanque está aislado térmicamente para evitar pérdidas y mantener caliente el agua por más tiempo. En un sistema doméstico, el contenedor suele incorporar un calentador eléctrico de apoyo, que se activará en caso de no alcanzar la temperatura deseada.

En los calentadores solares de albercas o piscinas, el contenedor suele ser la alberca misma, y la caja aislante del colector puede no ser necesaria debido a la escasa diferencia entre la temperatura de trabajo (temperatura del agua) y la temperatura ambiente.

**Sistema:** El sistema son todas las tuberías, bombas, sistemas de control, llaves de paso, y accesorios con las que cuenta el calentador solar. Conecta por medio de tuberías el colector con el contenedor, así como también el calentador con las tuberías de una casa.

**Sustancia de trabajo:** Si la circulación es directa, se emplea agua potable; la misma que se utilizará en regaderas, lavabos, lavadoras, albercas, etc. En este caso, el agua se hace pasar por el colector para ser guardada en el contenedor. Si se utiliza circulación indirecta existen dos circuitos: uno con agua potable para el consumo, y otro con un fluido caloportador, que usualmente es agua o una mezcla de agua y glicol. Los dos circuitos se ceden energía mediante un intercambiador de calor. En este sistema, el agua potable no pasa por el colector, sino únicamente por el contenedor, que aloja un intercambiador de calor donde se transfiere la energía captada por el fluido caloportador. Este sistema es más conveniente si el calentador se encuentra en una localidad de clima frío, ya que el

fluido caloportador que circula por el colector tiene propiedades anticongelantes, previniendo la ruptura de las tuberías por congelamiento, (Acevedo 2019)

### **1.3.3 Clasificación de los colectores**

Aunque los sistemas para el aprovechamiento térmico de la energía solar difieren en sus equipos componentes, según sea su objetivo final, los de refrigeración, climatización, calentamiento de agua para uso doméstico, industrial o de servicio, etc., tienen un elemento integrante básico, el llamado colector solar, que difiere en su diseño en dependencia del objetivo de la instalación. Por lo general, los colectores se producen de dimensiones y capacidades normalizadas y se emplean uno o varios de ellos en baterías, según la demanda energética de cada instalación (preferentemente en serie). El colector solar es el elemento encargado de recibir la radiación y transformarla en energía térmica, para después enviarla al siguiente paso del proceso, generalmente algún dispositivo acumulador o al consumo directo.

Los colectores se clasifican en tres tipos principales:

- Colector solar plano.
- Colector solar acumulador o colector solar compacto.
- Colector solar focal.

El colector plano se caracteriza por tener el plato de absorción en forma plana y está dotado, además, de un fondo aislante y una cubierta transparente, por lo general de vidrio o plástico. Los rayos de sol pasan a través de la cubierta (la misma debe sellarse correctamente con juntas de goma o con la aplicación de una capa fina de silicona) y llegan hasta el plato, donde son absorbidos por este. Precisamente a consecuencia de la absorción de las radiaciones es que se origina el calor. El fondo aislante impide que esta energía se pierda por la parte trasera y los laterales del colector. La envoltura o caja aislante puede hacerse de ladrillo, bloque, etc. La cubierta, además de dejar pasar los rayos del sol, aísla del exterior el plato de absorción y reduce las pérdidas calóricas por convección y radiación. Los colectores solares planos (véase la figura 1.1) reciben radiación directa del sol y también en forma difusa.



Figura 1.1 Colector solar plano

**Fuente:** (Mancebo 2013)

Se entiende por radiación directa la que no sufre dispersión, en su trayectoria, por partículas atmosféricas; la radiación difusa es la que llega al colector después de haber sido difundida por la atmosfera. La componente difusa recibida suele tener un valor que oscila entre un 20 y un 40 de la energía total. En días nublados, los colectores planos trabajan mediante la radiación difusa. La diferencia entre un colector plano y uno compacto es que el primero necesita un tanque acumulador de calor independiente y en el segundo, el colector es a la vez el acumulador de energía térmica. La instalación de los colectores solares planos y de los colectores acumuladores es fija; o sea, no precisa que estos se mantengan orientados perpendicularmente hacia el sol, pues además de recibir la radiación difusa aprovechan casi toda la directa, prácticamente bajo cualquier inclinación que llegue sobre la superficie del colector (hasta los 60 la pérdida por radiación es casi despreciable en muchos diseños).

Como lo indica el nombre, éste tipo de colector tiene forma plana y funciona con base en la absorción de la radiación solar. Tienen la ventaja de que pueden utilizar la radiación solar difusa (reflejada a través de las nubes), aparte de la radiación directa. Un colector plano puede dar temperaturas entre (65-90)°C con una eficiencia promedio 40-60%.

Esto significa que una instalación de colectores solares planos no requiere de mecanismos complicados de orientación, que incrementarían considerablemente la inversión inicial y el mantenimiento. En cuanto al mantenimiento que necesita una instalación de colectores fijos, la limpieza periódica de la cubierta transparente es una de las tareas principales, ya que impide que la suciedad disminuya la eficiencia del equipo y evita problemas de corrosión. Es importante destacar que otro de los principales problemas que se presenta en este tipo de equipos es la calidad del agua, pues incrementa las incrustaciones en el interior del colector y en el sistema completo. Entre las medidas establecidas para disminuir estas incrustaciones están el adecuado tratamiento químico del agua y el uso de magnetizadores. En la actualidad, los acumuladores se construyen de acero esmaltado o noble, ya que ambos resisten altas presiones; también se les aplica pintura anticorrosiva. El recipiente puede tener cualquier forma, pero debe fabricarse, preferentemente, con tubos de un diámetro adecuado, pues así soporta más presión y es más fácil taparlo por los extremos. La tubería de salida debe colocarse en el lugar más alto del recipiente captador para evitar la acumulación de aire dentro de él.

El colector compacto (véase la figura 1.2) es el más adecuado para las condiciones climáticas nacionales clima.



Figura 1.2 Colector compacto

**Fuente:** (Mancebo 2013)

La mayoría de los calentadores solares que se venden en el mercado internacional son diseñados para países fríos, donde el agua se congela si no se toman medidas especiales. Muchos de estos equipos son caros y algunos relativamente poco eficientes. Sin embargo, en los países tropicales se pueden usar calentadores solares cuyo tanque acumulador reciba directamente la radiación solar.

Estos tipos de calentadores compactos son muy sencillos, generalmente eficientes y de bajo costo. Ofrecen facilidad en su instalación y la utilización de tuberías y accesorios es mínima. Otros tipos de calentadores compactos pueden estar formados por varios tubos en una misma caja. Su principio de trabajo es igual que el del calentador compacto, pues los tubos tienen la función de captar la radiación solar y la de acumular el calor. El diseño de estos calentadores puede ser muy variado, pero en todos se usan tubos de diámetro relativamente grande, generalmente de 100 a 200 mm, como los usados en los sistemas de regadío. La cantidad de agua calentada y almacenada por metro cuadrado, así como la temperatura que alcanzan depende del diámetro del tubo. También depende de este la eficiencia del colector y por lo tanto la energía ganada. Se pueden construir de diferentes materiales y formas, en dependencia de lo que se disponga. Su instalación es sencilla y requieren de un mínimo de tuberías y accesorios. Estos calentadores pueden ser usados en círculos infantiles, hospitales, campamentos agrícolas, viviendas, etcétera.

También conviene mencionar que debido a la forma cilíndrica de los tubos del colector se producen más reflejos de la luz del Sol que en los colectores de placa plana con lo que la ganancia de la energía del sol es menor. No obstante, la adopción de esta forma compensa ya que se deja de perder más energía por el vacío de la que se deja de ganar por los reflejos.

La mejora que aportan los colectores de tubo de vacío consiste en evitar las pérdidas por conducción y convección. Como se ha visto la transmisión de calor por conducción y convección necesita de la materia para poder llevarse a cabo. Por ello con la colocación del absolvedor en el interior de un tubo en el que se ha hecho el vacío evita las pérdidas por estos métodos sólo perdiéndose el calor por

radiación (que se puede transmitir en el vacío), (Mancebo 2013). Para mas detalles remitirse a la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Cuadro comparativo de los colectores planos, compactos y focales.

	Colector Plano		Colector Focal	
	Con absolvedor de plato	Con absolvedor acumulador	De foco lineal	De foco puntual
Energía recibida.	Aprovechan tanto la energía solar directa como la difusa, pudiendo trabajar en días nublados.	Aprovechan tanto la energía solar directa como la difusa, pudiendo trabajar en días nublados.	Aprovechan al máximo la energía solar directa. No funcionan en días nublados.	Aprovechan al máximo la energía solar directa. No funcionan en días nublados.
Temperatura de trabajo.	Trabajan a temperaturas relativamente bajas (menos de 100°C).	Trabajan a temperaturas relativamente bajas (menos de 70°C).	Pueden lograr temperaturas de hasta cientos de grados, por lo que son idóneos para procesos que requieran medianas temperaturas.	Pueden lograr temperaturas de hasta cientos de grados, por lo que son idóneos para procesos que requieran medianas temperaturas.
Mecanismos espéciales.	No requieren.	No requieren.	Requieren mecanismos sencillos de orientación al sol.	Requieren mecanismos complejos de orientación al sol.
Gasto de inversión.	Relativamente bajos.	No requieren.	Relativamente altos.	Altos.
Gastos de operación y mantenimiento.	Muy bajos, casi nulos.	Muy bajos, casi nulos.	Relativamente altos.	Altos.

**Fuente:** (Mancebo 2013)

### **1.3.4 Ubicación de los colectores**

Los colectores están instalados en lugares despejados, orientados de tal manera que su superficie esté lo más perpendicular posible a los rayos del sol. Si se encuentra en el hemisferio norte, el colector deberá estar orientado hacia el sur, con un ángulo proporcional a la latitud del lugar. Debido a que la inclinación terrestre modifica el ángulo de la incidencia de los rayos del sol a lo largo del año, es conveniente ajustar la inclinación del colector. Se recomienda tener un margen de +15°C y -15°C con respecto al ángulo de los rayos del sol en el equinoccio.

### **1.4 Tipos de circulación**

- Circulación directa: el agua que se calentó en el colector se utiliza directamente por el usuario.
- Circulación Indirecta: una substancia de trabajo se calienta y se envía a un intercambiador de calor. Éste utiliza el mismo principio que un radiador. De esta manera se separa el fluido del sistema con el fluido a utilizar.

Esta opción es conveniente cuando el sistema de calentamiento se ubica en zonas propensas a congelación, donde el agua podría quebrar las tuberías al congelarse.

### **1.5 Ventajas y desventajas de los calentadores solares.**

Entre las principales ventajas y desventajas de los calentadores solares se encuentran:

Costo mínimo en comparación con calentadores que utilizan gas.

- Facilidad de mantenimiento.
- Ecológicos, no emiten ningún contaminante a la atmósfera.
- Requieren de un mínimo espacio para su instalación.
- Dependiendo el volumen y el momento en que se usa el agua caliente, ésta puede tener o no la temperatura deseada.
- Depende de las condiciones climáticas
- Restricción en hora de utilización del agua caliente.
- Mantenimiento necesario, (Energías. 2019)

Los beneficios del uso de los calentadores solares de agua se pueden clasificar en dos: económicos y ambientales.

**Económicos:** Con la instalación de un sistema adecuado a las necesidades del hotel, podemos satisfacer la mayor parte de los requerimientos de agua caliente, sin tener que pagar combustible, pues utilizar así el sol no cuesta. Aunque el costo inicial de un calentador solar de agua es mayor que el de un “*boiler*”, con los ahorros que se obtienen por dejar de consumir gas, podemos recuperar la inversión en un plazo razonable.

**Ambientales:** El uso de los calentadores solares permite mejorar en forma importante nuestro entorno ambiental. Los problemas de la contaminación en las zonas urbanas no sólo son provocados por los combustibles utilizados en el transporte y en la industria, sino también por el uso de gas en millones de lugares, lo cual contribuye en conjunto al deterioro de la calidad del aire y la emisión de gases de efecto invernadero.

El calentamiento de agua con energía solar es una tecnología muy probada y usada en el mundo. Los beneficios son principalmente independencia energética, económica y ambiental.

El disponer de un calentador solar implica tener independencia energética con respecto a los posibles problemas de suministro de gas o de electricidad para calentar el agua.

La viabilidad económica de esta tecnología es considerable ya que una instalación de este tipo tiene un tiempo de vida aproximado de 20 años lo cual garantiza la amortización total de la inversión. Ambientalmente su efecto es muy positivo ya que ayuda a disminuir el uso de combustibles fósiles para el calentamiento del agua, reduciendo el efecto que tiene el uso de estos combustibles dentro de los hogares, (Borja 2010)

### **1.6 Estado actual de la energía renovable en Cuba.**

Cuba apuesta decididamente por las energías renovables. Es un asunto de seguridad y soberanía energética y una prioridad gubernamental. En la actualidad el 1,8% de la energía generada en la nación se obtiene de fuentes renovables, en



los próximos ocho años se aspira a llegar al 16,5 %. La biomasa cañera y forestal, la energía solar, la eólica y la hidráulica son las cuatro fuentes principales para dar ese salto.

El país tiene extraordinarias potencialidades en sus fuentes renovables, que le permitirían en teoría obtener de ellas dos o tres veces más energía que la que se necesita. Solo en energía solar se podría generar cinco kWh por m<sup>2</sup> de superficie, lo que equivale al consumo diario promedio de una vivienda cubana.

La agroindustria azucarera cubana es el soporte principal del desarrollo presente y futuro de la energía renovable en el país. El uso de la biomasa cañera permitió generar en la zafra que acaba de concluir más de 127 GWh, lo que asciende aproximadamente al consumo promedio mensual de la provincia Matanzas. Desde hace tres años se logra generar energía también fuera del período de zafra con el uso de biomasa forestal suministrado por el Ministerio de la Agricultura.

Hay potencialidades para crecer un 10 % en el 2025 en la producción de energía eléctrica a partir de biomasa. Decisivo en ese crecimiento exponencial será la instalación de bioeléctricas en varios centrales azucareros, que podrán producir energía hasta 250 días al año.

Cuba ha identificado un potencial de más de 2 000 MWh posibles a generar con energía eólica; aunque los análisis técnicos recomiendan la instalación de hasta 600 MW. En el Norte de la zona oriental está el mayor potencial eólico. La construcción de un parque eólico de 50 MW, para el que se tendrán en cuenta las experiencias de los tres parques eólicos experimentales que están en operación, los que han logrado factores de capacidad por encima de sus valores de proyecto y de la media internacional.

El sol, es otra fuente promisoría de energía. Ahora solo se cuenta con pequeñas instalaciones fotovoltaicas conectadas al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y más de 9 000 servicios aislados. Sin embargo, el potencial reconocido en el mapa solar de Cuba es de más de 2 000 MW. El combinado de componentes eléctricos de Pinar del Río tiene la responsabilidad de fabricar los paneles solares para el desarrollo de esta energía en el país.

### **1.7 Estado actual de la energía solar térmica en Cuba.**

Sobre cada metro cuadrado de suelo cubano inciden 5 kWh diarios. El consumo de agua caliente de una vivienda cubana<sup>1</sup> es de 80-100 L a 45°C diarios, para lo que se requiere una energía eléctrica que es menor de 3 kWh, por lo que la energía solar incidente por metro cuadrado es superior a este valor. Por tanto, este gasto de electricidad se puede satisfacer con un metro cuadrado de colector solar. El empleo del agua caliente solar en instalaciones industriales y turísticas traería ahorros apreciables de electricidad y otros portadores no renovables de energía.

Existen otras formas de empleo de la energía solar que aún no se utilizan, como el curado solar del tabaco en sustitución de las instalaciones que hoy se emplean y que son altas consumidoras de combustible, y el secado de madera, frutas, semillas y otros productos que sustituyen a los secadores eléctricos y los que funcionan a base del consumo de combustible fósil. Ya están en explotación las plantas solares térmicas de gran escala que transforman la energía solar en electricidad, en las cuales se aplica el principio de la concentración solar. Sobre ellas no existen experiencias en Cuba y es necesario comenzar a investigar su aplicación en el país,(Finalet 2016)

### **1.8 Uso de la energía solar en hoteles.**

Los hoteles y otras instalaciones colectivas se benefician especialmente de la energía solar térmica. Hoteles, campings, instalaciones deportivas, hospitales, residencias y otras instalaciones colectivas en la energía solar térmica. Las empresas hoteleras pueden beneficiarse de un ahorro importante de costes gracias al uso de la energía solar, que sustituye a los tradicionales combustibles fósiles. Otras instalaciones de las que podría beneficiarse una empresa hotelera son las calderas de alto rendimiento.

El agua caliente, el aire acondicionado y los elevadores son tres de los servicios imprescindibles para la industria hotelera, por lo que la calidad y el buen

---

<sup>1</sup> NC-193-2013 "Reglamento del consumo de agua en Cuba"

funcionamiento de los mismos no deben descuidarse para no comprometer la excelencia en el servicio que se brinda a los huéspedes. Tomando en cuenta estas necesidades, los proveedores de esos productos actualmente se encuentran trabajando en nuevas tecnologías que permiten optimizar los equipos y aseguran mayor ahorro de energía, (Castillo, Pineda *et al.* 2019 )

### **1.9 La eficiencia energética en el sector hotelero cubano.**

El turismo representa uno de los más importantes y dinámicos sectores de la economía cubana, y se prevé un crecimiento sostenido del mismo para los próximos años. El sector hotelero se caracteriza en general por su elevado consumo energético y es así, porque se absolutiza el concepto de que la principal función del hotel es dar el máximo confort a sus clientes y para ello, se necesita energía. Sin embargo, existen oportunidades de reducción de consumos y costos energéticos, sin afectar el nivel ni la calidad de los servicios prestados, mediante una efectiva gestión energética.

El costo energético oscila normalmente entre el 3 al 10 % de los costos globales del hotel, siendo a la vez la partida de presupuesto más elevada tras los gastos de personal y de alimentación. Este indicador varía en función del tipo y la categoría de hotel, así como del tipo de servicios que preste. En Cuba, este indicador alcanza valores que oscilan del 8 al 16 % de los gastos, y pueden llegar hasta el 20 % dependiendo de su infraestructura y los niveles de comercialización.

Una de las vías de reducir el consumo energético es el mejoramiento del sistema de producción de agua caliente sanitaria de la instalación hotelera con la aplicación de recuperadores de calor en los sistemas de climatización centralizada, para recuperar el calor residual del compresor y la selección apropiada de un calentador de apoyo que siempre puede satisfacer la demanda del hotel, (Acevedo. 2019)

### **1.10 Descripción del sistema de agua caliente sanitaria propuesto en el hotel.**

El sistema de agua caliente sanitaria (ACS) basa su principio de funcionamiento en la recuperación de calor proveniente de los tubos de vidrio al vacío, lugar que

se considera como la fuente primaria de generación del agua caliente, la cual es almacenada en tanques para su posterior empleo en la instalación.

El esquema térmico está conformado por tres circuitos; el primario, lugar donde se produce el agua caliente, conforma un circuito cerrado; el secundario cuya función es almacenar y distribuir el agua caliente, presenta una configuración en lazo abierto, el terciario es el encargado de retornar el agua que queda en las tuberías que va a clientes

### **1.11 Componentes de una instalación solar térmica.**

Una instalación solar térmica está formada por captadores solares, un circuito primario y secundario, intercambiador de calor, acumulador, vaso de expansión y tuberías. Si el sistema funciona por termosifón será la diferencia de densidad por cambio de temperatura la que moverá el líquido. Si el sistema es forzado, además necesitaremos bombas y un panel de control principal.

#### **1.11.1 Componentes del circuito primario.**

**Captadores solares:** Elementos que capturan la radiación solar y la convierten en energía térmica, en calor.

**Intercambiador de calor:** El intercambiador de calor calienta el agua de consumo a través del calor captado de la radiación solar. Se sitúa en el circuito primario, en su extremo. Tiene forma de serpentín, ya que así se consigue aumentar la superficie de contacto y, por lo tanto, la eficiencia.

**El acumulador:** Es un depósito donde se acumula el agua calentada útil para el consumo. Tiene una entrada para el agua fría y una salida para la caliente. La fría entra por debajo del acumulador donde se encuentra con el intercambiador, a medida que se calienta se desplaza hacia arriba, que es desde por donde saldrá el agua caliente para el consumo.

#### **1.11.2 Componentes del circuito secundario.**

Por el circuito secundario o de consumo (circuito abierto), entra agua fría de suministro y por el otro extremo del agua calentada se consume (ducha, lavado).

El agua fría pasa por el acumulador, primeramente, donde calienta el agua hasta llegar a una cierta temperatura.

**Bombas:** Las bombas, en caso de que la instalación sea de circulación forzada, son de tipo recirculación (suele haber dos por circuito), trabajando una la mitad del día, y la pareja, la mitad del tiempo restante. En total y tal como se define anteriormente, suele haber 4 bombas, dos en cada circuito. Dos en el circuito primario que bombean el agua de los colectores y las otras dos en el circuito secundario que bombean el agua de los acumuladores, en el caso de una instalación de tipo circulación forzada.

**Vaso de expansión:** El vaso de expansión absorbe variaciones de volumen del fluido caloportador, el cual circula por los conductos del captador, manteniendo la presión adecuada y evitando pérdidas de la masa del fluido. Es un recipiente con una cámara de gas separada de la de líquidos y con una presión inicial en función de la altura de la instalación.

**Tuberías:** Las tuberías de la instalación se encuentran recubiertas de un aislante térmico para evitar pérdidas de calor con el entorno.

**Panel de control:** Se dispone también de un panel principal de control en la instalación, donde se muestran las temperaturas en cada instante (un regulador térmico), de manera que pueda controlarse el funcionamiento del sistema en cualquier momento,(Finalet 2016)

### **1.12 Aspectos económicos relativos a la energía solar**

Una buena razón para utilizar sistemas solares térmicos es la disminución de los costes energéticos. Las aplicaciones térmicas de la energía solar requieren una inversión inicial más elevada que la de un sistema térmico tradicional. No obstante, una vez que el sistema solar está instalado, los gastos de funcionamiento son mínimos y consisten únicamente en los escasos costes para el funcionamiento y el control del sistema, eventuales reparaciones y manutención periódica. En el caso de los sistemas que utilizan combustibles fósiles, en cambio, es necesario un suministro de los mismos y, por tanto, una compra en función de la necesidad térmica,(Castillo, Pineda *et al.* 2019 )

### **1.13 Conclusiones parciales del capítulo.**

Las tecnologías más utilizadas para reducir los índices de consumo son el aprovechamiento de la energía solar, la aplicación de la cogeneración, el control, la regulación de la energía, el mantenimiento adecuado y utilización de la luz natural y aislamiento térmico.

En Cuba se relacionan por orden de importancia la siguiente estructura de costos energéticos: electricidad 65-75 %, diesel 10-15 %, gas licuado 8-12 % y otros hasta un 5 % del costo total, demostrando que el área de mayor incidencia a aplicar mejoras y reducción de costos energéticos es la electricidad.

Se muestra la variante de empleo de un sistema más eficiente de calentadores solares, así como el mejoramiento del agua, que deben ser evaluadas como alternativas competentes.

## **CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **2.1 Descripción del hotel.**

El hotel es un centro vacacional "Todo Incluido" de categoría Cuatro Estrellas Superior que abarca 60 000 m<sup>2</sup>. Sus 350 habitaciones se distribuyen en un moderno edificio de cinco plantas, con dos ascensores panorámicos, y edificios de tres plantas. Dos vestíbulos: uno en planta baja y otro principal con acceso a gran terraza lobby bar.

Ubicado en primera línea de playa en Varadero. Rodeado de grandes terrazas y jardines con paseos, pérgolas, palapas, lagos y áreas de parques para el mayor disfrute y esparcimiento al aire libre. Destaca por su vestíbulo principal con jardines colgantes, luz natural y bella vista al segundo vestíbulo de planta baja y los parques del hotel,(Antilla 2020)

El sistema de ACS, caso de estudio correspondiente, está conformado por enfriadoras de agua centralizada las cuales recuperan una parte del calor de sobrecalentamiento. En las condiciones actuales, no se encuentra instalado el sistema de recuperación de calor de condensación debido al gran deterioro que presentan las tuberías que interconectan los diferentes componentes del circuito primario, por lo que todo el volumen de agua que se consume en el hotel es producido por un calentador de agua marca Alastor, modelo CAC-750, con una producción de agua caliente de 0,8 l/s y un consumo de combustible de 17 kg/h de GLP, lo cual representa un gasto considerable en recursos financieros y ambientales para la entidad y el país.

El intercambio de calor entre los circuitos primario y secundario se realiza en dos intercambiadores de calor de placa, marca Alfa-Laval. El sistema de acumulación de ACS está compuesto por cuatro tanques de 8 m<sup>3</sup> cada uno para un total de 32 m<sup>3</sup>, el agua almacenada es impulsada a las diferentes dependencias del hotel y la que no se consume retorna apoyada por la bomba de recirculación, un sistema de

bombeo primario con dos bombas en línea (una de reserva) con un caudal  $G = 8,2 m^3/h$  y una altura de descarga  $h = 15m$  y el secundario con el mismo diseño y bombas de  $G = 7,5 m^3/h$  y  $h = 8 m$

### 2.1.1 Facilidades

- Aire acondicionado
- Teléfono directo en dormitorio
- Camas king o dobles
- TV-satélite
- Caja fuerte con llave
- Minibar (agua, refrescos y cervezas) con reposición diaria
- Cafetera eléctrica con servicio diario de café
- Plancha y tabla de planchar
- Baño con servicio de amenidades diarias y secador de pelo
- Voltaje (corriente): 220v/60 Hz (Antilla 2020)

### 2.2 Métodos de producción de agua caliente sanitaria.

Los sistemas de producción de (ACS) se dividen en tres grupos:

**Instantáneo:** Se calienta el agua que se va utilizar en el mismo instante de su utilización, esto significa que la fuente de calor debe suplir el consumo horario punta, y por tanto la fuente de calor debe ser de gran capacidad; se utiliza mucho este sistema en industrias con consumo continuo perfectamente definido en cantidad y duración, y también en calentamiento de piscinas.

**Semi-acumulación:** Este sistema se basa en una importante producción instantánea combinada con una cierta reserva de agua en un depósito de modo que absorba los picos de consumo de corta duración. Esto hará que no se manifiesten carencias en la cantidad de agua caliente sanitaria suministrada durante los períodos cortos de fuerte consumo.

**Acumulación:** El agua caliente permanece en un depósito del que sale cuando se demanda en los puntos de consumo; a medida que esta se va consumiendo viene siendo reemplazada por agua fría procedente de la red que penetra en el depósito



por la parte inferior. El agua acumulada necesita unos minutos para alcanzar su temperatura de régimen, pero una vez caliente está disponible para ser utilizado durante el periodo de tiempo que se desee.

Algunos ejemplos de los sistemas anteriores son:

**Recuperación del calor rechazado en las enfriadoras del sistema de climatización central:** Consiste en la utilización del calor rechazado por el gas refrigerante sobrecalentado, mediante un recuperador que generalmente es un intercambiador de placa o de tubo y coraza, donde el agua es calentada en circuito cerrado.

**Calentador solar:** Un calentador solar es un aparato que utiliza la energía térmica aportada por el sol para calentar alguna sustancia, como puede ser agua, aceite o incluso aire. Su uso más común es para calentar agua para uso en piscinas o servicios sanitarios, tanto en ambientes domésticos como hoteles. Son sencillos y resistentes, pueden tener una vida útil de hasta 20 años sin mayor mantenimiento. En muchos climas un calentador solar puede disminuir el consumo energético utilizado para calentar agua.

**Calentador eléctrico:** Las calderas eléctricas pueden asemejarse a las de gas en climatización o funcionamiento pero sus componentes difieren mucho; una caldera eléctrica estándar posee: ingreso de agua fría y salida de agua caliente; requiere de una instalación mínima para conexiones libres o para sistemas ventilados y sin ventilar. Su rendimiento está estimado en un 99,8%, es un sistema libre de contaminación lo que lo convierte en el más conveniente; como no requiere de ventilación, no desperdician calor y por lo tanto logran una eficiencia mayor a cualquier otro calefactor.

**Calentamiento con gas licuado del petróleo:** Los calentadores a gas son equipos que calientan agua utilizando el método de convección, a un flujo y temperatura determinado utilizando el gas como combustible en sus dos versiones: gas licuado de petróleo (GLP) o gas natural. El calentador de agua a gas es muy parecido a uno eléctrico, solo que este no contiene dos elementos de calentamiento, pero en cambio tiene un quemador de gas en la parte inferior con la chimenea corriendo por el centro del tanque.

**Calentamiento con combustible diésel:** Consiste en el calentamiento del agua mediante una caldera que consume diesel,(Alwin 2012)

### 2.3 Demanda de agua caliente sanitaria en el hotel

La demanda energética en instalaciones de agua caliente sanitaria viene dada por el volumen de consumo diario, el consumo horario punta y las temperaturas de consumo y de agua fría de la red.

Lo ideal para determinar el consumo diario de agua caliente (ACS) sería disponer de metros contadores de agua que proporcionen estos valores durante un período prolongado de tiempo que permita determinar cómo fluctúa el mismo tanto durante el día como en el transcurso del año.

Como estos instrumentos de medición no se encuentran en el Hotel exclusivos para medir el agua caliente sanitaria, no existen registros de consumo de agua caliente de la instalación, por lo que es necesario acudir a información especializada que haga posible su estimación.

El pliego de condiciones técnicas para instalaciones de baja temperatura o la (NC45-9 1999) recomienda como criterio de diseño el uso de los consumos unitarios expresados en la tabla 2.1, en la que se ha considerado una temperatura de consumo de referencia de 60°C. En caso de tomar una temperatura de referencia distinta de 60°C los valores expresados en la tabla 2.1 pueden ser fácilmente modificados calculándolos por la siguiente fórmula:

$$C_{dt} = \frac{C_{d60}(60 - T_{ared})}{T_{ac} - T_{ared}} \quad (2.1)$$

En la ecuación (2.1) se cumple que:

$C_{dt}$  es el consumo unitario diario a temperatura de consumo deseada, lt/uxdía

$C_{d60}$  es el consumo unitario diario a temperatura de consumo de referencia, (60°C), en lt/uxdía

$T_{ared}$  es la temperatura del agua de la red, en °C.

$T_{ac}$  es la temperatura requerida de ACS, en °C.

Tabla 2.1 Valores de consumos unitarios para diferentes usos.

Criterio de consumo	Litros/día
Viviendas unifamiliares	30 por persona
Viviendas multifamiliares	22 por persona
Hospitales y clínicas	55 por cama
Hoteles (4 y 5 estrellas)	70 por cama
Hoteles (3 estrellas)	55 por cama
Hoteles/Hostales (2 estrellas)	40 por cama
Campings	40 por emplazamiento
Hostales/Pensiones (1 estrella)	35 por cama
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	55 por cama

**Fuente:** (NC45-9 1999)

Las temperaturas del agua en los diferentes puntos del sistema de preparación y acumulación, son fijadas por (SEDICAL 1995), (NC45-9 1999) y la (UNE-100-030 1994). Las mismas hacen referencia a una temperatura mínima de 45°C del ACS y una temperatura de almacenamiento del agua caliente de como mínimo de 55°C, para garantizar una temperatura de distribución no inferior a 50°C. Además, el sistema de calentamiento debe ser capaz de llevar la temperatura hasta 70°C de forma periódica. Para determinar la temperatura del agua fría de la red se debe recolectar estos datos en el hotel u obtenerlos de la empresa encargada de su suministro.

Con los valores de consumo unitarios de ACS obtenidos de la Tabla 2.1 y los datos de ocupación suministrados por el hotel se calcula el consumo mensual de ACS con la siguiente fórmula:

$$V_m = N_{dm} \left( \frac{O_{cm}}{100} \right) V_{dmax} \quad (2.2)$$

En la ecuación (2.2) se cumple que:

$V_m$  es el consumo mensual de ACS, en m<sup>3</sup>.

$N_{dm}$  son los números de días que contiene el mes analizado.

$O_{cm}$  es la ocupación hotelera, en %.

$V_{dmax}$  es el consumo diario máximo de ACS, en  $m^3$ .

El consumo diario máximo de ACS  $V_{dmax}$  se calcula por la siguiente fórmula:

$$V_{dmax} = D_{eh} \frac{C_{dt}}{1000} C_{hab} \quad (2.3)$$

En la ecuación (2.3) se cumple que:

$D_{eh}$  Densidad habitacional, (huésped/habitación. 2 huéspedes).

$C_{hab}$  es la cantidad total de habitaciones en el hotel, 350 habitaciones.

$C_{dt}$  es el consumo diario en litros por huéspedes a la temperatura de consumo deseada, en  $lt/huésped \times día$ .

En el presente trabajo, de acuerdo a lo mostrado en la tabla 2.1, se considerará que  $C_{dt} = 70$  litros/día

Para el cálculo de las necesidades energéticas mensuales de ACS se emplea la siguiente fórmula:

$$Q_m = \rho_{H2O} V_m C_{p_{H2O}} (T_{ac} - T_{ared}) \quad (2.4)$$

En la ecuación (2.4) se cumple que:

$Q_m$  es la demanda calorífica mensual de ACS, en J

$\rho_{H2O}$  es la densidad del agua, en  $kg/m^3$ .

$C_{p_{H2O}}$  es el calor específico del agua, en  $J/(kg \cdot ^\circ C)$ .

Con los valores mensuales de la demanda calorífica se puede construir una tabla agrupada por meses para calcular la demanda energética anual con la siguiente fórmula:

$$Q_a = \sum_{i=1}^{12} Q_{mj} \quad (2.5)$$

En la ecuación (2.5)  $Q_a$  es la demanda calorífica anual de ACS, en J

Para el cálculo del consumo horario punta se puede tomar como referencia lo expuesto en (ASHRAE\_Applications\_Handbook 1999) que da como recomendación general para hoteles un factor de demanda del 25 % de la demanda diaria de ACS a  $60^\circ C$  y también lo planteado por (ACV 1993), que recomienda para hoteles de cuatro y cinco estrellas con 250 habitaciones un

caudal punta de 10 minutos de 5 525 litros y un caudal horario punta de 16 000 litros ambos de agua caliente a 55°C.

No obstante estas recomendaciones, con el objetivo de tener una mayor capacidad de respuesta ante posibles consumos horarios puntas elevadas es posible utilizar un factor de demanda superior. El cálculo del consumo horario se efectuaría de la siguiente manera:

$$V_{hp} = V_{dmax} F_d \quad (2.6)$$

En la ecuación (2.6) se cumple que:

$V_{hp}$  es el consumo en el horario punta, en m<sup>3</sup>

$V_{dmax}$  Consumo diario máximo del año, en m<sup>3</sup>.

$F_d$  es el factor de demanda máxima con respecto al consumo diario de ACS.

#### **2.4 Estudio climatológico de la zona**

Para realizar el cálculo del sistema, se propuso obtener un resultado fiable en el dimensionado del mismo, para lo cual se analiza el comportamiento de la radiación solar en el lugar. Los datos climatológicos de Varadero se obtienen de la página Web de (SWERA), un proyecto de evaluación de recursos solares y eólicos dirigido por la División de Tecnología, Industria y Economía del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). El equipo de SWERA se apoyó en observaciones recogidas por satélite y por instrumentos terrestres, así como en modelos numéricos y métodos de evaluación tanto analíticos como empíricos.

A partir de estos datos se calculan los valores de radiación sobre superficie con diferentes ángulos de inclinación. La media mensual de radiación diaria incidente sobre una superficie fue calculada por la relación siguiente:

$$H_i = R \cdot H \quad (2.7)$$

En la ecuación (2.7) se cumple que:

$H_i$  es la media mensual de la radiación diaria incidente sobre una superficie, en kJ/m<sup>2</sup>.

$R$  es la relación entre la media mensual de la radiación diaria sobre una superficie horizontal.

$H$  es la media mensual de la radiación diaria sobre una superficie horizontal, en  $\text{kJ/m}^2$ .

La relación entre la media mensual de la radiación diaria sobre una superficie horizontal, puede valorarse considerando por separado las componentes directa, difusa y reflejada de la radiación. Suponiendo que la componente difusa se distribuya uniformemente en la atmósfera puede expresarse por:

$$R = R_b \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) + \frac{H_d(1+\cos \beta)}{2H} + \frac{\rho(1-\cos \beta)}{2} \quad (2.8)$$

En la ecuación (2.8) se cumple que:

$R_b$  es la relación entre la componente directa de la radiación solar sobre una superficie inclinada y la radiación directa sobre una superficie horizontal.

$\beta$  es la Inclinación del captador, en grados.

$\rho$  es la reflectancia del suelo.

$H_d$  es la radiación difusa media diaria mensual sobre superficie horizontal, en  $\text{kJ/m}^2$ .

$H$  es la radiación global media diaria mensual sobre superficie horizontal,  $\text{kJ/m}^2$ .

El parámetro  $R_b$  se calcula para cada mes como la relación entre la radiación extraterrestre sobre una superficie inclinada y sobre una horizontal, lo cual viene dado por la siguiente relación:

$$R_b = \frac{\cos(\theta-\beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega \cdot \sin(\theta-\beta) \cdot \sin \delta}{\cos \theta \cdot \cos \delta \cdot \sin \psi + \left(\frac{\pi}{180}\right) \psi \cdot \sin \theta \cdot \sin \delta} \quad (2.9)$$

En la ecuación (2.9) se cumple que:

$\theta$  es la latitud del lugar, en grados.

$\delta$  es la declinación solar, en grados.

$\omega$  es el ángulo horario del ocaso del sol en una superficie inclinada, en grados.

$\psi$  es el ángulo horario del ocaso del sol en superficie horizontal, en grados.

## 2.5 Selección del tipo de sistema.

En el Capítulo I se describen los tipos de instalaciones de energía solar térmica, se exponen sus características, ventajas y desventajas. El sistema a instalar en el hotel es el de colector solar con tubos al vacío con apoyo de resistencia eléctrica. Donde los calentadores solares trabajan junto con el convencional calentador eléctrico, que se activa cuando es necesario.

Cuando se usa un calentador de agua solar, el agua que llega al tanque de agua caliente esta precalentada, por eso el calentador eléctrico no necesita encenderse o solo en casos contados y por muy poco tiempo. El componente clave son los tubos de vidrio al vacío de alta tecnología, que absorben no solamente los rayos solares directos (radiación solar directa) sino también el calor del medio ambiente cuando es nublado (radiación solar difusa).

Están hechos en líneas paralelas. Cada uno consiste de un tubo exterior y uno interior o tubo de absorción, que lo cubre una capa especial que absorbe la energía solar e inhibe la pérdida de calor radiante. El aire es evacuado (extraído) del espacio entre los dos tubos para formar el vacío, el cuál elimina la pérdida de calor y calienta el agua que fluye adentro de él, (Finalet 2016)

## 2.6 Ubicación del sistema.

Se comprueba las disponibilidades que ofrecen el hotel para la instalación de los colectores y su correspondiente sala de máquinas. Se empieza por determinar la superficie total disponible exterior ( $S_{td}$ ) para la instalación de los mismos teniendo en cuenta varios de los criterios de diseño mencionados anteriormente. A ésta se le debe restar las zonas de sombra ( $Z_s$ ), los obstáculos ( $O_{bs}$ ) que puedan existir y otros espacios no aprovechables ( $E_{na}$ ). La superficie efectiva disponible ( $S_{ed}$ ) resultante definiría en un principio la superficie de captadores solares que se pudieran instalar en el hotel.

La superficie efectiva disponible para la instalación de los colectores se calcularía de la siguiente forma:

$$S_{ed} = S_{td} - Z_s - O_{bs} - E_{na} \quad (2.10)$$

## 2.7 Sistema de acumulación.

A continuación se debe decidir qué tipo de sistema de calentamiento que se va a escoger, existen tres fundamentales que son:

**Sistema instantáneo:** Se calienta el agua que se va utilizar en el mismo instante de su utilización, esto significa que la fuente de calor debe suplir el consumo horario punta, y por tanto la fuente de calor debe ser de gran capacidad; se utiliza mucho este sistema en industrias con consumo continuo perfectamente definido en cantidad y duración, y también en calentamiento de piscinas.

**Sistema de semi-acumulación:** Este sistema se basa en una importante producción instantánea combinada con una cierta reserva de agua en un depósito de modo que absorba los picos de consumo de corta duración.

**Sistema por acumulación:** Este sistema requiere potencias aún más pequeñas de la fuente de calor, puesto que se calienta durante varias horas para ser posteriormente utilizada el agua caliente. Desde el punto de vista de una fuente de calor eléctrica (resistencias o bombas de calor) este sistema reúne grandes ventajas puesto que permite aprovechar las bajas tarifas nocturnas calentando de noche para utilizar el agua por el día. La dificultad fundamental es la lentitud de recuperación. Este sistema no es aconsejable para hoteles, es más aconsejable para edificios o industrias que tengan un período diario de trabajo y otro de descanso como son los edificios de oficinas.

En dependencia de la superficie efectiva disponible en la sala de máquinas se calcula el volumen de acumulación a instalar. La referencia, (ASHRAE\_Applications\_Handbook 1999) da una recomendación general para hoteles del factor de acumulación es de 80% de la demanda máxima horaria probable de ACS. Pero es necesario señalar que mientras el volumen de acumulación sea mayor, permitirá la selección de un intercambiador de calor de menor potencia.

El volumen de acumulación se calcula por la siguiente fórmula:

$$V_{ac} = V_{hp} \cdot F_a \quad (2.11)$$

En la ecuación (2.11) se cumple que:



$V_{ac}$  es el volumen de acumulación, en  $m^3$

$V_{hp}$  es el consumo horario punta, en  $m^3$

$F_a$  es el factor de acumulación.

## 2.8 Cálculo de sombras.

La distancia  $d$ , medida sobre la horizontal, entre una fila de captadores y un obstáculo de altura  $h$ , que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de cuatro horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia  $d$  será superior al valor obtenido por la expresión:

$$d = h / \tan(61 - \textit{latitud del lugar}) \quad (2.12)$$

La separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente no será inferior a la obtenida por la expresión anterior

## 2.9 Selección del colector solar.

Para la selección del captador solar se debe tener en cuenta las características de las diferentes marcas y modelos de captadores de tubos al vacío existentes en el mercado. Esta selección debe salir de un análisis que tenga en cuenta las peculiaridades de cada captador: su eficiencia, durabilidad, caída de presión, flujo recomendado por el fabricante, precio, superficie neta de captación ( $S_{nc}$ ), etc. y conjugarlas con el espacio disponible para la ubicación de los mismos.

## 2.10 Superficie total de captación solar y cantidad de colectores.

Para calentamiento de agua se recomienda en el pliego de condiciones técnicas para instalaciones de baja temperatura (IDAE 2009) y requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos (Muhlía V. Agustín 2005), una cantidad de colectores solares que cumpla la siguiente condición:

$$45 < V_{ac} / (N_C S_{nc}) < 180 \quad (2.13)$$

En la ecuación (2.13) se cumple que:

$V_{ac}$  es el volumen de acumulación, en litros.

$N_C$  es el número de colectores solares.

$S_{nc}$  es la superficie de captación solar del colector seleccionado, en  $m^2$ .

La superficie total de captación solar se calcula por la siguiente expresión:

$$S_c = N_c S_{nc} \quad (2.14)$$

En la ecuación (2.13)  $S_c$  es la superficie total de captación solar, en  $m^2$ .

Con el número de colectores solares calculado con la ecuación (2.13) se hace un replanteo de los mismos sobre la superficie efectiva disponible (SED), teniendo en cuenta la distancia mínima entre colectores, zonas de sombra entre filas de colectores, inclinación, orientación, espacio para las tuberías, etc. Este replanteo proporciona la cantidad máxima permisible de colectores (CMC) que se pueden ubicar. Con este valor se comienza el cálculo del dimensionado del sistema de energía solar térmica.

El resultado del análisis técnico-económico de la propuesta definirá si esta es factible o no. En caso de no ser factible la propuesta, se realiza el cálculo nuevamente con un número menor de colectores. Por el contrario, si la propuesta es factible es posible presentarla a las instancias correspondientes. La cantidad definitiva de colectores solares a utilizar debe cumplir con la relación (2.13).

### **2.11 Diseño del sistema hidráulico.**

Teniendo definido el lugar y el área disponible para la colocación de los colectores y del sistema hidráulico, se realiza el dimensionado del circuito primario, secundario y terciario a partir de los siguientes pasos:

- Confeccionar un esquema con la ubicación y trazado de las tuberías, accesorios y equipos en cada circuito.
- Dividir los circuitos en zonas, secciones y/o ramales de acuerdo a sus características específicas y determinar la longitud de estas divisiones.
- Elegir el material de las tuberías: Los materiales más utilizados en tuberías de ACS son el cobre, el hierro galvanizado y los plásticos. El utilizado en este caso es el hierro galvanizado con recubrimiento debido a las altas temperaturas alcanzadas por este tipo de colector solar de tubos al vacío

#### **Calculo del flujo que circulará por cada circuito:**

El flujo que circulará en el circuito primario se calcula a partir del flujo recomendado por el fabricante de los colectores solares que se seleccione, y el

flujo que circulará en el circuito secundario se calcula a partir de los cálculos de necesidad de agua caliente sanitaria de la instalación hotelera. Normalmente suele ser el 65 % del primario para este tipo de Instalaciones, por lo que se debe determinar el diámetro de las tuberías de acuerdo al flujo que circulará por las mismas y teniendo en cuenta una velocidad del fluido que proporcione una caída de presión admisible.

El diámetro de cada sección y ramal se calcula por la ecuación de continuidad:

$$G_V = A_{st}V \quad (2.15)$$

En la ecuación (2.15) se cumple que:

$G_V$  es el caudal volumétrico que circula por la tubería, en m<sup>3</sup>/s.

$A_{st}$  es el área de la sección transversal de la tubería, en m<sup>2</sup>.

$V$  es la velocidad del fluido por la tubería, m/s.

Conociéndose la relación entre el diámetro y el área de la tubería:

$$A_{st} = \pi \cdot d_i^2 / 4 \quad (2.16)$$

En la ecuación (2.16)  $d_i$  es el diámetro interior de la tubería, en m.

Por lo tanto, el diámetro interno de tubería requerido se obtiene a partir de la ecuación de continuidad, o sea:

$$m = V \cdot \pi d_i^2 / 4 \cdot \rho \quad (2.17)$$

Para obtener el tipo y la cantidad de accesorios necesarios y calcular la caída de presión en los tramos de cada circuito, esto es posible hacerlo por medio de la siguiente relación:

$$H = \Delta \frac{\alpha V^2}{2g} + \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho g} + H_f \quad (2.18)$$

En la ecuación (2.18) se cumple que:

$H$  es la energía total que se pierde en las condiciones de flujo dadas, en m.c.a.

$\Delta \frac{\alpha V^2}{2g}$  es la pérdida energética por variación de energía cinética, en m.c.a.

$\Delta Z$  es la pérdida energética por variación de energía potencial, en m.c.a.

$\frac{\Delta P}{\rho g}$  es la pérdida energética por variación de presión, en m.c.a.

$H_f$  es la pérdida energética por resistencia a la circulación del fluido (fricción), en m.c.a.

Las pérdidas energéticas por variación de energía cinética y de presión son despreciables, las pérdidas por variación de energía potencial son iguales a cero por ser el circuito cerrado y las pérdidas por fricción se componen de las existentes en los tramos de tubería recta y las que ocurren en las resistencias locales.

$$H_f = \left( f \frac{l}{d_i} + \sum K_i \right) \frac{V^2}{2g} \quad (2.19)$$

En la ecuación (2.19) se cumple que:

$l$  es la longitud de tubería recta, en m.

$d_i$  es el diámetro interior de la tubería, en m.

$\sum K_i$  es la sumatoria de los coeficientes de pérdida de energía en resistencias locales, en m.

$V$  es la velocidad lineal del fluido, en m/s.

$g$  es la constante de aceleración gravitacional, en m/s<sup>2</sup>.

$f$  es el coeficiente de fricción de Darcy, adimensional.

El factor de fricción se puede determinar en el diagrama de Moody en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería.

Cuando se emplean tuberías de acero galvanizado que se consideran tuberías lisas como es el caso propuesto, el factor de fricción también puede determinarse por la fórmula de Blasius:

$$f = (0,316Re)^{0,25} \quad (2.20)$$

La ecuación (2.20) es válida para  $2 \cdot 10^3 < Re < 10^5$

No obstante, se usará la fórmula propuesta por Miller cuya desviación es despreciable para los cálculos de ingeniería y tiene un mayor rango de aplicación.

$$f = 1,325 \left[ \ln \left( \frac{e/d_i}{3,7} + \frac{5,74}{Re} \right) \right]^{-2} \quad (2.21)$$

La ecuación (2.21) es válida para  $5 \cdot 10^3 < Re < 10^8$  y  $10^{-6} \leq e/d_i \leq 10^{-2}$

En la ecuación (2.21) se cumple que  $e/d_i$  es la rugosidad relativa de la tubería y

$Re$  es el número adimensional de Reynolds. Este último se determina como:

$$Re = \frac{V d_i \rho}{\mu} \quad (2.22)$$

En la ecuación (2.21) se cumple que  $\rho$  es la densidad del fluido, en  $\text{kg/m}^3$  y  $\mu$  es la viscosidad dinámica del fluido, en  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ .

La velocidad del fluido se determina por la ecuación de continuidad como se explicó anteriormente.

## 2.12 Aislamiento térmico.

El espesor mínimo del aislamiento de acumuladores será el que corresponda a las tuberías de más de 140 mm de diámetro. Para la protección del material aislante situado en intemperie se podrá utilizar una cubierta de escayola protegido con pinturas asfálticas o láminas de aluminio. Para materiales con conductividad térmica  $\lambda$ , distinta de  $\lambda \neq 0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ , el espesor mínimo que debe usarse se determinará, en función del espesor de referencia de la tabla 2.3, aplicando las siguientes fórmulas:

- Aislamiento de superficies planas:

$$espesor = e_{ref} \frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \quad (2.23)$$

- Aislamiento de superficies cilíndricas

$$espesor = \frac{D_i}{2} \left[ e \left( \frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \ln \frac{D_i + e_{ref}}{D_i} \right)^{-1} \right] \quad (2.24)$$

Tabla 2.3 Espesores de aislamiento de tuberías y accesorios situados en interiores

Fluido interior caliente			
Diámetro exterior de tubería a aislar (mm)	Temperatura del fluido ( $^\circ\text{C}$ )		
	40 a 60	61 a 100	101 a 180
$35 \leq D_i$	25	25	30
$35 < D_i \leq 60$	30	30	40
$60 < D_i \leq 90$	30	30	40
$90 < D_i \leq 140$	30	40	50
$140 < D_i$	30	40	50

**Fuente:** (Finalet 2016)

En las ecuaciones (2.23) y (2.24) se cumple que:

$e_{ref}$  es el espesor de referencia, en mm

$D_i$  es el diámetro exterior de la sección circular a aislar, en mm.

$\lambda$  es la conductividad térmica del material propuesto, en  $W/(m \cdot ^\circ C)$

$\lambda_{ref}$  es la conductividad térmica de referencia,  $0,04 W/(m \cdot ^\circ C)$

### **2.13 Intercambiadores de calor.**

Un intercambiador de calor debe tener una capacidad de intercambio igual a la potencia máxima del generador energético, con un caudal y salto térmico en el circuito primario que éste establezca. con esta definición podemos establecer que una instalación de EST con colectores de tubos al vacío para la producción de ACS desarrollará su máxima potencia durante los meses de máxima radiación, siempre y cuando estemos dentro de los valores recomendados de orientación.

A lo largo de un día medio de estos meses se producirá una curva de aprovechamiento energético teórico de la instalación, desde las 09:00 hasta 17:00 horas solares, alcanzando su máxima potencia entre las 9:00 y las 16:00. En este intervalo de máxima potencia de la instalación es cuando el Intercambiador debe tener la capacidad de intercambio equivalente. Por lo tanto la potencia del intercambiador deberá ser igual a la potencia horaria promedio entre las 9:00 y 16:00 de la energía generada por la Instalación de EST en ese día.

Por otro lado hay que tener en cuenta los caudales de los tres circuitos. El primario viene calculado por la bomba de circulación requerida por la instalación, el secundario será recomendado por el fabricante y el terciario no entra en este proceso. También hay que tener en cuenta la importancia que tienen las pérdidas de carga que producen los intercambiadores de calor a la hora de calcular las bombas de circulación. Las mismas serán facilitadas por los fabricantes y en su defecto no deben sobrepasar los 3 m de la columna de agua de caída de presión.

### **2.14 Disipador de calor.**

Estos equipos son utilizados en algunos sistemas de producción de agua caliente con el objetivo de disminuir las temperaturas del agua a la entrada de los tanques de acumulación, protección contra sobrecalentamientos. Se deben dotar a las

instalaciones solares de dispositivos de control manuales o automáticos que eviten los sobrecalentamientos de la instalación. Nueva gama de disipadores de calor para instalaciones de energía solar térmica Escosol, especialmente diseñados para instalar a la intemperie. Ventiladores helicoidales con rejilla protectora impulsando contra la batería. Sistema de soporte incorporado para fijar a la pared en los modelos más pequeños.

### **2.15 Bombas de circulación.**

La instalación presenta tres circuitos. El cálculo del caudal del circuito principal o primario, encargado de recircular el fluido caloportador por los colectores, se basa en los requisitos técnicos que el fabricante indica. Por lo tanto la bomba de circulación de este circuito debe ser capaz de suministrar el caudal total correspondiente a la suma de caudales de la instalación de colectores, considerando las correspondientes pérdidas de cargas por tubería (tipo, diámetro), accesorias de conexión, intercambiadores de calor y la propia pérdida producida por los colectores.

Para calcular la bomba de circulación del circuito secundario, se hará referencia a lo que requiera el intercambiador. Para instalaciones de EST para producción de ACS, se puede aproximar al 65 % del caudal requerido por el circuito primario. Igualmente hay que considerar las pérdidas de carga correspondientes. En el tercer circuito se retorna el agua que está en la tubería cliente y se mezcla con la del sistema, la bomba se selecciona bajo las condiciones anteriores.

### **2.16 Rendimiento de la instalación de energía solar térmica.**

El rendimiento de la instalación se refiere sólo a la parte solar de la misma. A estos efectos, se definen los conceptos de fracción solar y rendimiento medio estacional o anual de la siguiente forma:

$$\text{Fracción solar mensual "x"} = \frac{\text{Energía solar aportada en el mes "x"}}{\text{Demanda energética durante el mes "x"}} \quad (2.25)$$

$$\text{Fracción solar anual "y"} = \frac{\text{Energía solar aportada en el año "x"}}{\text{Demanda energética durante el año "x"}} \quad (2.26)$$

$$\text{rendimiento medio anual "y"} = \frac{\text{Energía solar aportada en el mes "y"}}{\text{irradiación durante el año "y"}} \quad (2.27)$$

$$\text{irradiación incidente anual "y"} = \sum \text{irradiación incidente mensual en el año} \quad (2.28)$$

$$\text{irradiación incidente mensual "y"} = (\text{Radiacionen el mes "x"}) \cdot \text{superficie captadora} \quad (2.29)$$

El concepto de energía solar aportada el año “y” se refiere a la energía demandada realmente satisfecha por la instalación de energía solar. Esto significa que para su cálculo nunca podrá considerarse un valor mayor que la unidad de aporte solar en un determinado mes.

Para el cálculo del dimensionado básico de instalaciones a medida podrá utilizarse cualquiera de los métodos de cálculo comerciales de uso aceptado por proyectistas, fabricantes e instaladores. El método de cálculo especificará, al menos sobre base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y del aporte solar. Asimismo, el método de cálculo incluirá las prestaciones globales anuales siguientes: La demanda de energía térmica, la energía solar térmica aportada, las fracciones solares medias mensuales y anuales y el rendimiento medio anual.

### **2.17 Cálculo del dimensionado básico del sistema.**

De entre los diversos métodos de cálculo existentes, se deberán elegir aquellos que procedan de entidades de reconocido prestigio y estén suficientemente avalados por la experiencia práctica.

Un método de cálculo de este tipo es el f-chart, que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo período de tiempo. Ampliamente aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, no ha de aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario.

Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, y es perfectamente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en



instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares de tubos al vacío.

La ecuación utilizada en este método es:

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_2^2 + 0,0018 \cdot D_1^2 + 0,0215 \cdot D_1^3 \quad (2.30)$$

La secuencia que suele seguirse en el cálculo es la siguiente:

- Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS.
- Valoración de la radiación solar incidente en la superficie del captador o captadores.
- Cálculo del parámetro  $D_1$ .
- Cálculo del parámetro  $D_2$ .
- Valoración de la cobertura solar mensual (fracción solar mensual).

El parámetro  $D_1$  se calcula por la siguiente fórmula:

$$D_1 = E_a / Q_m \quad (2.31)$$

La energía absorbida por el captador  $E_a$  viene dada por la siguiente expresión:

$$E_a = S_C \cdot (F_r \cdot t_a) \cdot R_{ad} \cdot N_{dm} \quad (2.32)$$

En la ecuación (2.32) se cumple que:

$S_C$  es la superficie total de captación solar, en  $m^2$ .

$R_{ad}$  es la radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie del colector, en  $kJ/m^2$ .

$N_{dm}$  es el número de días del mes analizado.

$(F_r \cdot t_a)$  es un factor adimensional que viene dado por la siguiente expresión:

$$(F_r \cdot t_a) = (F_r \cdot t_a)_n \cdot [(t_a)/(t_a)_n] \cdot (Fr'/Fr) \quad (2.33)$$

En la ecuación (2.33) se cumple que:

$(F_r \cdot t_a)_n$  es el factor de eficiencia óptica del captador.

$(t_a)/(t_a)_n$  es el modificador del ángulo de incidencia. Se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) ó 0,94 (superficie transparente doble).

$Fr'/Fr$  es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

El parámetro  $D_2$  se calcula por la siguiente fórmula:

$$D_2 = E_P / Q_m \quad (2.34)$$

La energía perdida por el captador  $E_P$  viene dada por la siguiente expresión:

$$E_P = S_C \cdot (Fr' / U_L) \cdot (100 - T_{ambd}) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (2.35)$$

En la ecuación (2.35) se cumple que:

$S_C$  es la superficie total de captación solar, en  $m^2$ .

$\Delta t$  es el período de tiempo considerado, en segundos.

$T_{ambd}$  es la temperatura media mensual del ambiente durante el día, en  $^{\circ}C$ .

$(Fr' / U_L)$  es el coeficiente global reducido de pérdidas del captador.

$K_1$  es el factor de corrección por almacenamiento.

$K_2$  es el factor de corrección, para ACS.

Los últimos tres elementos se determinan como:

$$(Fr' / U_L) = (Fr / U_L) \cdot (Fr' / Fr) \quad (2.36)$$

En la ecuación (2.36)  $(Fr' / U_L)$  es el coeficiente global de pérdidas del captador.

$$K_1 = 1 / \sqrt[4]{\frac{M_{ac}}{75S_C}} \quad (2.37)$$

En la ecuación (2.37) tiene que cumplirse que  $37,5 < M_{ac} / S_C < 300$ , además el término  $M_{ac}$  es la masa de ACS de acumulación, en kg.

El factor  $K_2$  relaciona la temperatura mínima de ACS, la del agua de red y la media mensual diurna ambiente, y se calcula por la siguiente expresión:

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 \cdot T_{ac} + 3,86 \cdot T_{ared} - 2,32 \cdot T_{ambd})}{100 - T_{ambd}} \quad (2.38)$$

En la ecuación (2.38) se cumple que:

$T_{ac}$  es la temperatura requerida del ACS, en  $^{\circ}C$

$T_{ared}$  es la temperatura del agua de la red, en  $^{\circ}C$

Una vez obtenido  $D_1$  y  $D_2$ , aplicando la ecuación (2.30) se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar.

De esta forma, la energía útil captada cada mes,  $Q_u$  se se calcula por:

$$Q_u = f \cdot Q_m \quad (2.39)$$

En la ecuación (2.39)  $Q_m$  es la carga calorífica mensual de ACS, en J.

Con igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:

$$F_S = \frac{\sum_1^{12} Q_i}{\sum_1^{12} Q_a} \quad (2.40)$$

### **2.18 Elección del sistema de respaldo energético.**

Los sistemas de calentamiento por energía solar necesitan un sistema de respaldo energético tradicional para compensar el déficit energético cuando hay días de poca radiación solar. Una valoración importante, si existe previamente un sistema de producción de ACS y está en buen estado, es usar los componentes del sistema anterior como sistema de respaldo energético tradicional, lo que permitiría disminuir el valor de la inversión inicial de la propuesta, dicho esto se emplearía el sistema de apoyo por calentadores de gas.

## **CONCLUSIONES.**

1-Con la utilización de un sistema de energía solar térmica con colectores solares de tubos al vacío para la producción de agua caliente sanitaria es factible económicamente y aumenta la capacidad de respuesta del hotel para ese servicio.

2-Las modificaciones propuestas ejercen un beneficio económico neto en el Hotel, al permitir un considerable ahorro de energía eléctrica para generación de agua caliente sanitaria.

3-El equipamiento y los materiales seleccionados para la ejecución de los trabajos permiten garantizar la solución de los problemas actuales por un largo período, debido a su probada calidad operando en las condiciones adversas que allí existen.

4-Se lograr garantizar un mejor servicio de habitación, incrementándose así la satisfacción al cliente.

## **RECOMENDACIONES.**

1-Capacitar desde el período de ejecución, al personal que va a supervisar, mantener y reparar estas instalaciones.

2-Acometer la instalación en el *Hotel Meliá Las Antillas* del sistema propuesto de energía solar térmica con colectores solares de tubos al vacío para producir agua caliente sanitaria.

3-Fiscalizar la ejecución de la inversión para asegurar una buena calidad en el montaje, instalación y puesta en marcha del equipamiento adquirido y obras ejecutadas.

4-Se recomienda que se concluya el análisis de los resultados en futuros trabajos, ya que por causas externas no se logró el cumplimiento de este aspecto.

5-Implementar este trabajo en otras instalaciones hoteleras en caso de obtener resultados positivos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, L. S. (2019). USO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN EL CIRCUITO PRIMARIO DE AGUA CALIENTE DEL HOTEL ARENAS BLANCAS, Universidad de Matanzas Sede "Camilo Cienfuegos"

Acevedo., L. S. (2019). "USO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN EL CIRCUITO PRIMARIO DE AGUA CALIENTE DEL HOTEL ARENAS BLANCAS ".

ACV (1993). " Manual de sistemas de cálculo para la producción de agua caliente."

Alwin, I. S. (2012). Análisis de alternativas de producción de agua caliente sanitaria en instalaciones hoteleras y propuesta de mejoras de su eficiencia energética. Tesis en opción al título de Master de Eficiencia Energética., Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".

Antilla, H. M. L. (2020). from [https://www.ecured.cu/idex.php?title=Hotel\\_Meliá\\_Las\\_Antillas& oldid=3508250](https://www.ecured.cu/idex.php?title=Hotel_Meliá_Las_Antillas& oldid=3508250).

ASHRAE\_Applications\_Handbook (1999). Applications Handbook (SI).

Borja, V. L. M. A. C. (2010). Diseño y construcción de un calentador solar de placa plana combinado con un sistema de calefacción convencional a gas, Universidad Nacional de Loja.

Camaraza, D. C. Y. (2020). Transferencia de calor por conducción E. Universitaria. La Habana.

Camaraza, Y. (2018). Introducción a la termotransferencia. Centro de Estudios de Energía y Tecnologías Ambientales Facultad de Ingenierías Mecánica e Industrial Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Segunda edición.

Castillo, Y. F. B., J. A. C. Pineda and A. E. J. Torrez. (2019 Mayo). "Evaluación del impacto económico social y ambiental de la implementación de colectores solares en Hotel Quiabuc y Hotel Casa Vínculos en la ciudad de Estelí en el período 20152019."

Delgado, J. L. (2007). Diseño de calentadores solares termosifónicos., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

Energías., S. (2019). "Un futuro sostenible.", from <https://solaresenergia.com/uncategorized/ventajas-y-desventajas-de-los-calentadores-solares/>.

Finalet, D. (2016). Propuesta de colectores solares para la producción de agua caliente sanitaria en el Bungaló de 48 habitaciones del Hotel "Ocean Vista Azul". Trabajo de Diploma., Universidad de Matanzas SEDE "Camilo Cienfuegos".

IDAE (2009). "Pliego de Condiciones Técnicas de instalaciones de baja temperatura." Instalaciones de Energía Solar Térmica.

Mancebo, I. M. A. (2013). Desarrollo y evaluación de alternativas de colectores solares baratos apropiados para su generalización en Cuba y el CELAC. Tesis de Maestría, Universidad de Oriente.

Muhlia V. Agustín, S. F. A., Sierra C. Federico y Ramoneda R. Enrique. (2005). "Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos, para calentamiento de agua. E. 2005. México.

Nandwani, S. S. (2005). "ENERGIA SOLAR- CONCEPTOS BASICOS Y SU UTILIZACION." 2773 344.

NC45-9 (1999). Requisitos de Hidráulica. Bases para el diseño y construcción de inversiones turísticas. Parte 9.

Rugama, B. S. J. M. U. B. M. Á. R. (2011). Diseño de un calentador agua solar para el Hotel Cosigüina en Chinandega, Pedro Arauz Palacios.

SEDICAL (1995). Manual de técnicas para el ahorro.

SWERA, S. a. W. E. R. A.

UNE-100-030, N. ( 1994). Guía para la prevención de la legionela en instalaciones.

V. Cardozo, F. F., J. Duarte (2005). "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DIDÁCTICO " REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA VOL. 37, No. 2. .

# ANEXOS

## Anexo I

Datos climatológicos de Varadero.

Radiación solar media mensual sobre superficie horizontal en kJ/m<sup>2</sup>. (SWERA)

Mes	Directa Promedio	Directa Máxima	Difusa Promedio	Global Promedio
Enero	14551	25571	5699	13657
Febrero	16819	27223	6073	16306
Marzo	19829	29902	6710	20315
Abril	21769	31590	7042	22787
Mayo	18731	27328	8874	22909
Junio	17986	26881	9184	22708
Julio	18965	27626	8698	22899
Agosto	18036	26438	8528	22054
Septiembre	16027	26687	8068	19532
Octubre	16009	24322	6721	17036
Noviembre	14054	23393	5879	13969
Diciembre	13590	23252	5332	12468

Temperaturas de bulbo seco en °C. (SWERA)

Mes	Promedio diaria	Promedio diurna
Enero	22,3	24,3
Febrero	22,1	23,5
Marzo	23,2	25,5
Abril	25,1	27,1
Mayo	26,1	28,2
Junio	26,7	29,1
Julio	27,6	29,9
Agosto	27,3	29,4
Septiembre	27,1	29,3
Octubre	26,2	27,9
Noviembre	24,5	25,7
Diciembre	21,6	23,9



## Anexo II

Radiación solar diaria en Varadero ( $H_i$ )(kJ/m <sup>2</sup> )								
b	0°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
Enero	13 657	15 264	15 944	16 536	17 033	17 433	17 732	17 928
Febrero	16 306	17 724	18 287	18 745	19 097	19 339	19 470	19 487
Marzo	20 315	21 286	21 591	21 773	21 830	21 762	21 569	21 254
Abril	22 787	22 913	22 787	22 534	22 158	21 660	21 045	20 317
Mayo	22 909	22 372	21 941	21 406	20 771	20 039	19 217	18 311
Junio	22 708	21 914	21 370	20 732	20 004	19 191	18 301	17 340
Julio	22 899	22 197	21 691	21 084	20 381	19 588	18 710	17 755
Agosto	22 054	21 880	21 625	21 261	20 790	20 216	19 542	18 775
Septiembre	19 532	20 035	20 128	20 113	19 990	19 761	19 428	18 992
Octubre	17 036	18 222	18 667	19 009	19 244	19 372	19 390	19 300
Noviembre	13 969	15 460	16 081	16 613	17 051	17 393	17 635	17 776
Diciembre	12 468	14 050	14 729	15 325	15 834	16 253	16 577	16 805
Promedio	18 887	19 443	19 570	19 594	19 515	19 334	19 051	18 670

Donde se cumple que:

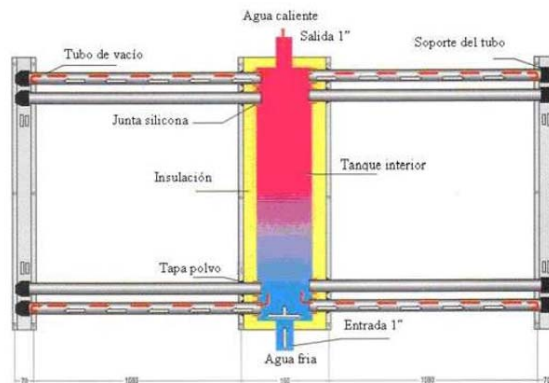
$H_i$  Es la radiación solar diaria incidente sobre una superficie horizontal  $kJ/m^2$ .

$B$  Ángulo de inclinación sobre la horizontal, grados.

### Anexo III Ficha técnica. Colector industrial modelo LPC47-1530

#### APLICACIONES

Se emplea en sistemas donde se requieren grandes volúmenes de agua Ej: Industrias de alimentos, Hoteles, Hospitales, lavanderías, etc. Se puede emplear tanto en instalaciones termosifónicas como con circulación forzada.



Tipo de tubo al vacío  $\varnothing 47 \times 1500$  mm

Cantidad de tubos 30

Longitud expuesta del tubo 1.4

diámetro exterior del tubo 0.047

diámetro interior del tubo 0.037

Soldadura empleada Automática de Argón-Continua de contactos

Aislamiento térmico Espuma de poliuretano 50 mm

Unión tubo colector Anillo de silicona  $\varnothing 47$  mm

Presión de trabajo máxima 2,5 m.c.a

Presión máxima permisible 4.0 m.c.a

Caudal de trabajo 25-40 L/hr/m<sup>2</sup>

Producción promedio de agua caliente (50°C) 390 L

Diámetro de conexión 25 mm (1" NPT)

Dimensiones generales:

Ancho 3065 mm

Alto 1220 mm

Área bruta(3065x1220) 3.74 m<sup>2</sup>

Área de captación (superficie negra) 4.88 m<sup>2</sup>

Área efectiva 3.00 m<sup>2</sup>

Peso vacío 23 Kg

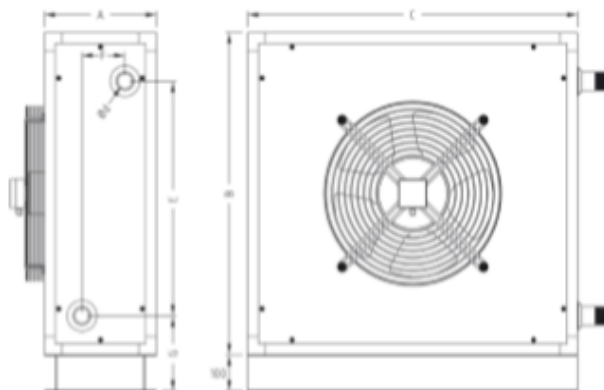
Capacidad de líquido 52.7 L

Peso lleno 81 Kg

## Anexo IV

### Disipador de calor dinámico

Código	Artículo	m <sup>2</sup> colector	Potencia disp. (kW)
<b>DISIPADORES DE CALOR DINÁMICOS CHAPA</b>			
SO 13 021	BD 08	10	8
SO 13 022	BD 16	20	16
SO 13 023	BD 24	30	24
SO 13 024	BD 32	40	32
SO 13 025	BD 40	50	40
SO 13 026	BD 48	60	48
SO 13 027	BD 56	70	56
SO 13 028	BD 64	80	64



Potencia 64 kW, Pe 0.42 kW, monofásico 220V.

Código	Modelo	A	B	C		E	F	Motor (230V II)	Nº Ventiladores
SO13021	BD 08	225	425	520	3/4''	261	51	100 W	1
SO13022	BD 16	225	500	600	1''	350	68	140 W	1
SO13023	BD 24	225	575	680	1''	426	68	150 W	1
SO13024	BD 32	250	650	770	1''1/4	488	68	180 W	1
SO13025	BD 40	250	690	800	1''1/4	526	68	2x140 W	2
SO13026	BD 48	250	730	850	1''1/4	564	68	250 W	1
SO13027	BD 56	250	800	880	1''1/4	640	68	250 W	1
SO13028	BD 64	250	880	1000	1''1/4	716	68	420 W	1

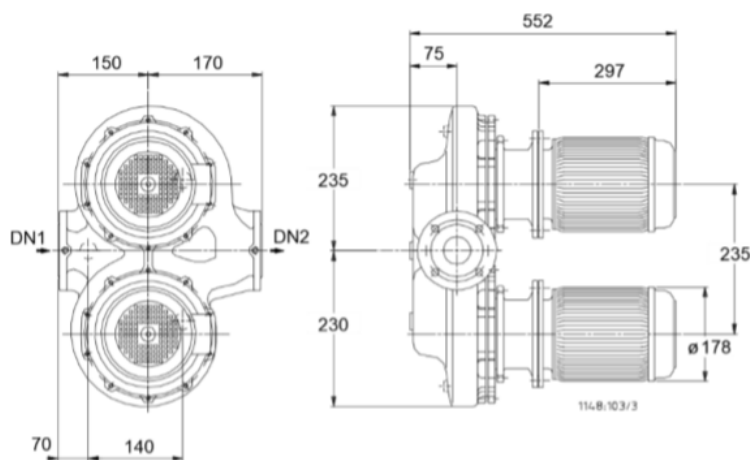
Fuente: (Finalet 2016)

## Anexo V Características de las bombas seleccionadas.

**Circuito primario: Etaline Z GN 032-160/114 G11**(bomba gemela en línea.)

Orientación	Horizontal
Diam. Nominal de aspiración	DN 2
Presión nominal de aspiración	PN 16
Posición de aspiración	180° (abajo)
Brida de aspiración taladrada de acuerdo con norma.	EN1092-2
Diám.nominal descarga	DN 2
Presión nominal de descarga	PN16

### Imagen de la bomba



### Datos de curvas

- Velocidad de giro 1 750 rpm.
- Densidad del fluido 998 kg/m<sup>3</sup>.
- Viscosidad 1,00 mm<sup>2</sup>/s.
- Corriente volumétrica 9,99 m<sup>3</sup>/h.
- Caudal bombeado requerido 10,00 m<sup>3</sup>/h.
- Altura de bombeo 9,99 m.
- Eficiencia 38,2 %.
- Absorción de potencia 0,71 kW.

-Diámetro efectivo del rodete 165,0 mm.

**Motor**

Fabricante del motor KSB

Tamaño del motor 90S

Potencia del motor 1,1 kW

Nº de polos 4

Velocidad de giro 1759 rpm

Posición de la caja de bornes 0° (arriba)

**Circuito secundario: TP 50-120/4 A-F-A BAQE**

Bomba sencilla centrífuga monocelular en línea:

-Anillos de desgaste de bronce

-Tratamiento por cataforesis.

-Acoplamiento compacto.

-Sistema de extracción para un mantenimiento sencillo.

-Hidráulica optimizada

-Diseño en línea con bocas de aspiración y descarga opuestas que permite su montaje en tuberías o en una cimentación de hormigón.

-Cierre mecánico resistente a la corrosión y libre de mantenimiento.

-El motor es trifásico y de corriente alterna.

**Imagen de la bomba**



**Líquido:**

Rango de temperatura del líquido: 0 ...120 °C

**Técnico:**

Velocidad para datos de bomba: 1720 rpm

Caudal nominal: 18.8 m<sup>3</sup>/h  
Altura nominal: 10.2 m  
Diámetro real del impulsor: 168 mm  
Cierre: BAQE  
Tolerancia de curva: ISO 9906

### **Instalación:**

Temperatura máxima ambiental 40 °C  
Presión de trabajo máxima: 16 bar  
Tipo de brida: DIN  
Diámetro de conexiones: DN 50  
Presión: PN 16  
Distancia entre conexiones de aspiración y descarga: 440 mm

### **Datos eléctricos:**

Tipo de motor: 090S  
Grado de rendimiento: 1  
Número de polos: 4  
Potencia nominal - P2: 1.1 kW  
Potencia (P2) requerida por la bomba: 1.1 kW  
Frecuencia de alimentación: 60 Hz  
Tensión nominal: 3 x 220-277 D / 380-480 Y V  
Corriente nominal: 4,35-3,50 / 2,50-2,06 A  
Intensidad de arranque: 670-850 %  
Cos phi - Factor de potencia: 0,79-0,77  
Velocidad nominal: 1690-1740 rpm  
Rendimiento del motor a carga total: 84,2-84,9 %  
Rendimiento del motor a 3/4 de carga: 84,6-85 %  
Grado de protección (IEC 34-5): IP55  
Clase de aislamiento (IEC 85): F

### **Circuito terciario: TP 40-40/4**

Bomba sencilla centrífuga mono celular en línea. El diseño en línea con bocas de aspiración y descarga opuestas permite su montaje en tuberías o en una cimentación de hormigón. El cierre es un cierre mecánico resistente a la corrosión y libre de mantenimiento. El motor es trifásico y de corriente alterna.

### **Imagen de la bomba**



### **Líquido:**

Temperatura min del líquido: 258 K  
Temperatura máx. del líquido: 413 K  
Líquido bombeado: Agua de calefacción

### **Técnico:**

Velocidad de bomba: 1770 rpm  
Caudal nominal: 10 m<sup>3</sup>/h  
Caudal de bomba: 11.6 m<sup>3</sup>/h  
Altura nominal: 3.1 m  
Altura proporcionada bomba: 2.8 m  
Tipo de cierre: BUBE  
Certificados en placa motor: UL RecognizedComponent, CSA

### **Instalación:**

Temperatura ambiente máx.: 313 K  
Presión del sistema: 1000 kPa  
Presión máx. de trabajo: 1000 kPa  
Presión de entrada mínima: 75 kPa  
Conexión de tubería, estándar: USA  
Dimensión de conexión de tubería: 1 1/2"

### **Datos eléctricos:**

Tipo de motor: Baldor, TEFC  
Nº de polos: 4  
Potencia de entrada velocidad 1-2-3:  
Potencia nominal (P2): 0.25 kW  
Frecuencia red: 60 Hz  
Corriente nominal: 1,8-1,6 / 0.8 A  
Factor de servicio: 1,35  
Corriente en velocidad 1-2-3:

Corriente de arranque en velocidad 1-2-3:  
Cos phi - factor de potencia: 57  
Velocidad nominal: 1725 rpm  
Rendimiento a plena carga: 68 %  
Clase de aislamiento (IEC 85): B