

*Universidad de Matanzas
Sede "Camilo Cienfuegos"
Departamento de Mecánica
Facultad de Ciencias Técnicas*



**PROPUESTA DE CALENTADORES SOLARES PARA GENERAR
AGUA CALIENTE SANITARIA EN EL HOTEL *STARFISH* CUATRO
PALMAS**

Ejercicio de Culminación de Estudios en Ingeniería Mecánica

Autor: María Isabel Martínez Domínguez.

Tutor: M.Sc. Ing. Jorge Luis Lamas Acevedo.

Matanzas, 2021

DEDICATORIA

A mis queridos padres Niurys Domínguez Rodríguez y a Cecilio Ricardo Martínez Montada por darme la oportunidad de vivir para disfrutar de este momento, por su confianza, cariño, dedicación y la fuerza necesaria para culminar mi carrera y este trabajo de diploma, logrando mi sueño y el de ellos también.

A mi hermano Ricardo David Martínez Domínguez, por ser una persona tan especial

A mi tutor Jorge Luis, por su ayuda y dedicación en todo el proceso, sin eso no fuese posible el resultado final, gracias.

AGRADECIMIENTOS

A MIS QUERIDOS PADRES NIURYS DOMÍNGUEZ RODRÍGUEZ y A CECILIO RICARDO MARTÍNEZ MONTADA POR PERMITIRME HACER REALIDAD MI SUEÑO Y EL DE ELLOS TAMBIÉN.

A MI HERMANO RICARDO, QUE ESTUVO PENDIENTE DE MÍ DÁNDOME UNA DOSIS DE ÁNIMO CUANDO ME HIZO FALTA

A MI NOVIO, LUIS MIGUEL, QUE ESTUVO A MI LADO TODO EL TIEMPO, POR CONFIAR EN MÍ Y BRINDARME LO MEJOR DE SU ENERGÍA, Y TODO SU AMOR.

A MI TUTOR JORGE LUIS, POR BRINDARME UNA MANO GUÍA PARA ENSEÑARME EL CAMINO A TRANSITAR.

A TODO QUE DE UNA FORMA U OTRA HICIERON POSIBLE LA REALIZACIÓN Y EL ACABADO DEL TRABAJO.

A TODOS MI ETERNO AGRADECIMIENTO.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que, yo María Isabel Martínez Domínguez, 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.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

RESUMEN

Los sistemas de producción de agua caliente sanitaria están muy extendidos en la sociedad moderna donde la disponibilidad de agua caliente es considerada un requisito de confort imprescindible. En el hotel *Starfish* Cuatro Palmas este sistema energético del tipo semi-acumulación, se fundamenta en un calentador a gas que trabaja permanentemente según la demanda existente por lo que existe un gran consumo de gas licuado del petróleo, pudiéndose disminuir este mediante la introducción de la energía renovable solar térmica. Para lograr este propósito se dimensiona un campo solar mediante calentadores solares de tubos al vacío, partiendo de la demanda energética de la instalación y de las temperaturas de trabajo del agua caliente. Esto posibilitará seguir brindado este servicio con una disminución de los costos del hotel y de la emisión de gases de efecto invernadero al medio ambiente.

Palabras claves: agua caliente, energía solar térmica, costos, medio ambiente.

ABSTRACT

Domestic hot water production systems (ACS) are widespread in modern society where the availability of hot water is considered an essential comfort requirement. One of the sectors that most demands this service is the hotel sector, where domestic hot water needs represent an important part of energy consumption. And since the sun is an inexhaustible and free source of energy that can satisfy a large part of our needs if we have the appropriate means to do so. Therefore, the present work is the analysis to determine the feasibility of inserting solar heaters to obtain sanitary hot water in Starfish Cuatro Palmas hotel, in order to reduce environmental pollution caused by the use of fossil fuel

Key words:

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo 1 Revisión bibliográfica.....	4
1.1 Energías renovables.....	4
1.2 La energía solar y sus aplicaciones	5
1.3 Métodos de producción de agua caliente.....	7
1.4 Componentes principales de un sistema de ACS	10
1.5 Eficiencia energética en los hoteles cubanos.....	13
1.1 Legionella.....	14
Capítulo 2 Materiales y métodos	16
2.1 Descripción de la instalación.....	16
2.2 Metodología para el análisis del calentamiento del agua en el hotel	18
2.2.1 Necesidad de agua caliente sanitarias en el hotel.....	18
2.2.2 Capacidad del sistema de apoyo.	21
2.3 Estudio climatológico de la zona.....	23
2.4 Dimensionamiento y ubicación del campo solar térmico.....	26
2.4.2 Elegir el tipo de colector solar a utilizar.	27
2.4.3 Formas de montaje e instalación de los calentadores solares.	28
2.4.3 Elegir el lugar de instalación e inclinación del colector	30
2.4.5 Elegir el sistema de respaldo energético tradicional.	31
2.4.6 Analizar la posibilidad de uso de partes del sistema anterior.	32
2.5 Impacto económico y medio ambiente de la propuesta.....	32
Capítulo 3 Análisis de los resultados.....	36
3.1 Demanda pico de la instalación.....	36
3.2 Demanda energía calorífica en el circuito primario	37
3.3 Cálculo de flujo y diámetros de tuberías`	37
3.4 Selección del calentador y ubicación del campo solar	37
3.5 Cálculo del área y cantidad de captadores solares.....	37
3.6 Análisis económico y medioambiental de la propuesta	38
Conclusiones.....	41
Recomendaciones	42
Bibliografía.....	43
Anexos.....	45

Introducción

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Citma) de Cuba explica en su sitio web, que la generación de electricidad en el mundo parte, en gran medida, de la sobreexplotación de los combustibles fósiles, y cerca del 80 por ciento de la energía global se produce a partir de esos portadores energéticos.

Sin embargo, como demuestra la Agencia de la ONU, continúa siendo ínfimo el número de gobiernos, sobre todo grandes países industrializados, comprometidos con revertir esta situación y con la protección del planeta y el aprovechamiento de las energías limpias.

La situación energética mundial ha repercutido desfavorablemente en los precios de los combustibles, incluyendo el del GLP lo que hace los costos relacionados con la energía aumenten considerablemente.

En este caso, el trabajo se enmarca en el proyecto de IDENTUR, ya que se quiere un cambio de energía para la producción de ACS a partir de fuentes renovables de energía con esto se dejará de consumir GLP logrando una mayor eficiencia en la instalación

Como parte de una política de Estado y de su plan de desarrollo hacia el 2030, Cuba ha aumentado más previsiones sobre el papel de las energías renovables en su matriz energética hacia ese año. Continúan planes e inversiones en este sector. Hoy día se investiga y se trabaja en la isla en bioeléctricas, parques eólicos y tecnologías solar fotovoltaica, pero también en otros campos como edificios inteligentes y vehículos eléctricos.

Actualmente, el 95% de la matriz energética se compone de combustible fósil.

La política para el desarrollo prospectivo de las fuentes renovables de energía (FRE) y el uso eficiente de la energía hasta 2030, aprobado por el Consejo de Ministros en 2014, y el Decreto Ley No. 345, "Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía", en vigor desde finales de 2019, han trazado el camino y establecido vías, objetivos y regulaciones para que la balanza se vaya inclinando paulatinamente hacia el medio ambiente y la soberanía energética.

Y es que, la nación caribeña puede beneficiarse mucho de la alta incidencia solar que recibe durante prácticamente todo el año, convirtiéndola en energía limpia que permita a

la economía nacional liberarse de la dependencia de los hidrocarburos. Además, siendo un país tropical y por su ubicación recibir una radiación promedio anual de 5kW/h/m^2 y parejo en todo el territorio nacional, es atractivo pensar en el aprovechamiento de este potencial energético renovable.

Aunque todavía para Cuba la producción de Agua Caliente Sanitaria en instalaciones hoteleras, resulta de elevados costos de inversión, es la mejor opción desde el punto de vista energético y ambiental. Y se labora para aumentar su implementación futura.

En la actualidad existen diferentes alternativas para la producción de ACS como: calderas de gas u otros combustibles fósiles, calentadores eléctricos, recuperación del calor de condensación de equipos de climatización, calentadores solares, bombas de calor.

La selección adecuada de la misma depende de diferentes factores tales como: las características de la instalación y del equipamiento disponible en la misma (posible integración con otros sistemas para la recuperación de energías residuales), la disponibilidad y costo del agua, las tarifas de energía eléctrica en el lugar de la aplicación, las normativas vigentes así como de los parámetros climatológicos y de operación que garanticen la seguridad y la vida útil del equipamiento y el mantenimiento de las condiciones de confort. De ahí se deriva el siguiente **problema científico**:

¿Cómo reducir el consumo de combustibles, en este caso de gas licuado, que se destina al calentamiento de agua de una manera eco-eficiente para aportar a la disminución de la huella de carbono?

Dando al traste a los **problemas específicos**:

- ¿Cuáles son los suministros de energía en los hoteles?
- ¿Qué suministro de energía es el que más conviene en los hoteles?
- ¿Cuál es la demanda cubierta con el suministro de energía más conveniente para el hotel?

En el polo turístico de Varadero las fuentes de energía más usuales de obtención de agua caliente sanitaria (A.C.S) son:

- Recuperación del calor rechazado en las enfriadoras del sistema de climatización central.
- Energía solar, en sistemas individuales o centrales.
- Electricidad, mediante resistencias eléctricas inmersas en tanques de acumulación.
- Gas licuado del petróleo.
- Combustible diesel.

Por ende, la **Hipótesis:**

Si se instalan calentadores solares para la producción de agua caliente sanitaria (ACS) se podrá reducir el consumo de combustible y disminución de la huella ecológica del carbono.

Objetivo general: Insertar un sistema de calentadores solares para la producción de agua caliente sanitaria sin prescindir de los calentadores a gas.

Lo que se deriva los **objetivos específicos:**

- Compilar bibliografía de temas relacionados con energía renovable.
- Analizar del sistema actual de agua caliente sanitaria en el hotel.
- Valorar la disponibilidad de la energía solar en la zona.
- Realizar un análisis económico.

Capítulo 1 Revisión bibliográfica

En este capítulo se realiza una exhausta revisión de la bibliografía referente al sistema de agua caliente sanitaria en una instalación hotelera, los métodos de producción y como aprovechar los recursos renovables como la energía solar térmica para generar este servicio.

1.1 Energías renovables

La energía se define tradicionalmente como la capacidad de los cuerpos para realizar trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos.

Las fuentes de energía primaria son aquellas que se encuentran libremente en la naturaleza como la madera, el petróleo, el gas natural, el carbón, la nuclear, la energía hidráulica, la eólica y la solar. Estas deben transformarse en otras formas para que resulten útiles al hombre en diversas aplicaciones. En algunos casos pueden transformarse directamente en una energía útil como es el caso de la combustión de la madera para la cocción de alimentos. Así la energía eólica puede transformarse en energía eléctrica y ésta a la vez transformarse en energía luminosa en una lámpara.

Las energías renovables son aquellas fuentes de energías basadas en la utilización de recursos naturales: el sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal, capaces de renovarse ilimitadamente. Conocidas como energías alternativas o verdes, ya que no generan contaminantes (C. Gutiérrez, 2005) (Rousand, 2018).

La energía está ligada a toda actividad que realiza el hombre. Para poder satisfacer sus necesidades vitales el hombre no tiene otra alternativa que recurrir a la energía. Solamente para su propia subsistencia el hombre necesita de una cierta cantidad de energía, pero en la sociedad actual la alimentación, vivienda, vestido, educación, transporte, estas necesidades se acentúan de forma creciente (Figueredo, Energías renovables, 2016)

En los primeros años de la humanidad el hombre no disponía de más energía que la que su propio organismo le proporcionaba, alimentándose de otros seres vivos y obtenía una energía adicional de animales que domesticaba para sus propias necesidades. Cuando descubrió el fuego, comenzó la utilización de la energía de la naturaleza.

Las cantidades de energía proveniente de la naturaleza que los seres humanos vienen empleando es cada vez más creciente. Todo esto viene dado por los adelantos tecnológicos, como lo es por ejemplo las posibilidades de transportarse, utilizando desde hace cientos de años máquinas y equipos capaces de desplazarse en el agua, el aire o la tierra. Estos elementos de transporte le han dado al hombre mayores facilidades y posibilidades de éxito en su desarrollo social.

Cualquier actividad en la sociedad moderna está unida a sistemas energéticos que aseguren un suministro estable y seguro de energía. Los sistemas energéticos empleados hoy en día están basados en recursos naturales que se pueden obtener a costos no excesivos, que se pueden transportar fácilmente y que poseen una adecuada calidad de la energía contenida en el recurso. Estos tres elementos permiten aplicarlos a las máquinas transformadoras de energía con suficiente facilidad y viabilidad (Figuredo, 2015).

El uso de las energías renovables contribuye a que las casas sean mucho más autosuficientes en el consumo eléctrico. En un futuro no muy lejano, todos los edificios construidos deberán tener sus propias placas solares, calderas de biomasa o puntos de recarga para el coche eléctrico en su garaje comunitario; el autoconsumo eléctrico es mucho más fácil de alcanzar de lo que lo imaginamos (Rousand, 2018).

En la actualidad el problema energético es muy complejo y es atendido por especialistas de diferentes ramas. Hace 20 o 30 años los problemas energéticos se enfocaban en términos puramente técnicos o económicos y la planificación energética se limitaba a asegurar una determinada demanda creciente. Hoy, además de los asuntos de aseguramiento de un suministro, el enfoque se amplía a problemas medioambientales, de rendimiento y aprovechamiento racional de los recursos, legales, etc. conjuntamente con los ya conocidos estudios de factibilidad económico-financieros.

1.2 La energía solar y sus aplicaciones

La energía solar es la energía proveniente del Sol y que podemos captar gracias a la radiación solar. Esta fuente de energía representa la principal fuente energética en la Tierra. Debido a que es una fuente inagotable se le considera una energía renovable.

Sus menores costos de instalación y bajo mantenimiento hacen frecuente el uso de sistemas tanto fotovoltaico como térmico (IDAE, 2006).

Soluciones que brindan son (Lorenzo, 2017)

Solar térmica

- Calentar el agua de una piscina
- Calentar el agua de las duchas o para lavar los platos
- Secadores de productos agrícolas
- Uso industrial (hornos solares)
- Funcionamiento de máquinas de refrigeración
- Desalinización mediante energía solar

Solar fotovoltaica

- Cargadores solares para teléfonos móviles y para vehículos
- Alumbrado público (iluminar las entradas de los pueblos, cruces de carreteras, áreas de descanso, carteles publicitarios, monumentos y paradas de autobuses, farolas de alumbrado público, iluminación de túneles)
- Semáforos
- Drones
- Aplicaciones agrícolas y de ganado (bombeo de agua, sistemas de riego, iluminación de invernaderos y granjas, refrigeración de leche y electrificación de cercas, controles de riego y electroválvulas)
- Electrificación de viviendas alejadas de la red eléctrica
- Sistema de depuración de aguas.

Transportes alimentados por energía fotovoltaica.

- Los ejemplos más comunes incluyen a los autobuses, los ferrocarriles, los coches e incluso en la actualidad las carreteras pueden ser accionadas con la luz solar. De hecho, los coches impulsados con energía solar están jugando un papel clave en las competiciones de carreras alrededor del mundo, lo que habla también de que se puede generar mucho impulso.

La electrónica de consumo se encuentra en todas partes y es hoy más popular que nunca. Por ejemplo, los cargadores solares como *Anker Powerport*, tienen la capacidad de cargar todo, desde un *Smartphone* hasta un *tablet* o lector electrónico. Incluso existen

linternas, celulares, *wearbles*, altavoces, termostatos, así como secadores o radios, postes de SOS, radares y telefonía rural vía satélite que usan la energía solar.

La iluminación solar exterior, que no requiere de ninguna configuración, son inalámbricas y aprovechan la energía solar durante el día para evitar la necesidad de suministrar energía durante la noche. Además, no solo pueden mejorar la decoración exterior de la vivienda, sino que tanto su disponibilidad como bajo costo de estos productos, es tan común en los alumbrados públicos.

Los calentadores solares aprovechan la energía del sol y la transforman en energía térmica mediante el uso del líquido o aire. Pueden ser sistemas pasivos que utilizan la circulación natural o sistemas activos, que utilizan las bombas para hacer circular el agua y generar calor (Lorenzo, 2017).

Los paneles solares contribuyen al ahorro de la electricidad y al medio ambiente.

1.3 Métodos de producción de agua caliente

La producción de ACS puede hacerse de forma individual o colectiva. La instalación individual abastece de agua caliente a una única vivienda, mientras la colectiva suministrará agua a varias viviendas. En ambos casos se pueden calentar el agua de forma instantánea o mediante acumulación.

Tabla 1. Características de los sistemas de producción de ACS.

Sistemas instantáneo	Sistema de semi-acumulación	Sistema de acumulación	Características
Calienta el agua en el instante de su utilización	Se basa en la producción instantánea combinada con una cierta reserva de agua en un depósito de modo que absorba los picos de consumo de poca duración	Se calienta durante varias horas para ser utilizada posteriormente el agua caliente	Tiempo que tarda para la utilización del agua

Disponibilidad instantánea por tiempo ilimitado	Disponibilidad tanto de caudal punta como de caudal continuo	Disponibilidad importante en corto espacio de tiempo (caudal punta muy elevado)	Disponibilidad
La fuente de calor debe ser de gran capacidad para suplir el horario pico	No hay carencia de aguas calientes suministradas durante los períodos cortos de fuerte consumo	Aprovechas las bajas tarifas nocturnas calentando de noche y utilizando el agua caliente de día, desde el punto de vista de una fuente de calor eléctrica (resistencias o bombas de calor)	Capacidad de la fuente de calor
No le hace falta recuperarse	No le hace falta recuperarse	Lentitud de recuperación, ya que si el consumo real sobrepasa las estimaciones sobre la que se dimensionó la acumulación, puede presentar un largo período de espera de la nueva preparación de calentamiento de agua.	Tiempo de recuperación
Debe de disponer de una gran potencia para calentar de forma inmediata todo el caudal	Menor potencia de calentamiento	No es necesario una potencia elevada de calentamiento ya que el agua almacenada se calienta con cierto margen de tiempo	Potencia de calentamiento

solicitado			
Caudal de agua caliente varía a la medida que se van abriendo los grifos		Apenas existe deferencia mientras haya agua en el acumulador	Caudal de agua
Precisa de una menor inversión inicial		Precisa una mayor inversión inicial	Inversión inicial
Ocupación del mínimo espacio	Necesita un mayor espacio	Necesita espacio para colocar los depósitos propios de la instalación	Utilización del espacio
Alto rendimiento	Buen rendimiento	Baja su rendimiento por los depósitos que van cediendo calor al entorno	Rendimiento
Individuales: calentador instantáneo a gas, caldera mixta instantánea		Individuales: termoacumulador a gas, termoacumulador eléctrico, caldera mixta de acumulación Colectivos: termoacumulador a gas, Caldera + intercambiador + acumulador, caldera + interacumulador.	
Se utilizan en industrias de consumo continuo	Se utilizan en industrias de consumo continuo	No se aconseja para hoteles, sino para industrias o edificios como	Utilidad

definido en cantidad, duración y calentamiento de piscinas	perfectamente definido en cantidad	oficinas que tengan un período diario de trabajo y otro de descanso	
--	------------------------------------	---	--

Los sistemas de producción de Agua Caliente Sanitaria:

- Calentadores de gas.
- Acumuladores de gas.
- Equipos generadores con acumulación incorporada.
- Termos eléctricos.
- Bombas de calor para ACS.
- Hibridación con otras fuentes renovables.
- Combinación con sistemas solares fotovoltaicos.

1.4 Componentes principales de un sistema de ACS

Generalidades

En toda instalación solar térmica de baja temperatura debe estar formada por los siguientes sistemas:

- Sistema de captación de radiación solar: está formado por uno o varios colectores o captadores solares, los cuales se encargan de absorber el calor del sol y transformarlo en energía térmica aumentando la temperatura de fluido que circula por la instalación.
- Sistema de intercambio o intercambiador: realiza la transferencia de calor entre los fluidos que circulan por circuitos diferentes. Puede ir instalado dentro o fuera del acumulador.
- Sistema de acumulación de energía solar: su misión es la de almacenar el agua caliente obtenida en un depósito para su posterior utilización.
- Sistema de transporte o de circulación: formado por las tuberías dotadas de aislamiento térmico y de los elementos de impulsión (bomba de agua) y otros accesorios, como vaso de expansión, purgadores de aire, válvulas.

- Sistemas auxiliares o convencionales de apoyo energético: éstos se emplean como apoyo en los momentos en los que no hay radiación solar o se ha producido un consumo de la energía superior al previsto.
- Sistema de control y regulación: asegura el correcto funcionamiento del conjunto de componentes que conforman el sistema termosolar.

Elementos principales de la instalación.

- Captadores solares térmicos: es el componente de la instalación encargado de recibir la radiación solar y de transferir esta energía a un fluido térmico que circula por su interior. Para los captadores solares de baja temperatura se pueden distinguir dos grandes grupos: captadores solares vidriados y captadores solares no vidriados.
- Intercambiador de calor: es el dispositivo donde se realiza la transferencia de calor desde el fluido caloportador del circuito primario al fluido del circuito secundario que conforma la instalación, manteniendo separadas las corrientes de ambos fluidos sin que lleguen a mezclarse.
- Depósito interacumulador La demanda y la producción de energía solar están casi siempre desfasados de tal forma que es necesario almacenar la energía para disponer de ACS cuando no se tenga suficiente radiación para cubrir las necesidades de demanda. Por la razón comentada anteriormente se instalan y son fundamentales los depósitos de acumulación. Dichos depósitos suelen llenarse cargar durante el mediodía que es cuando mayor es la radiación solar incidente. Cabe destacar que el depósito debe aislarse bien para mantener la temperatura del agua hasta las horas de mayor demanda como son últimas horas de la tarde y primeras de la mañana. Los depósitos normalmente se colocan en vertical para favorecer la estratificación de la temperatura. Esta disposición es para que por la diferencia de densidad entre el agua caliente y la fría, en la parte alta del acumulador se tenga el agua más caliente y sea donde se coloca la toma de salida para el consumo. El interacumulador está destinado a lo mismo que el depósito de acumulación, la principal diferencia es que el interacumulador tiene un serpentín dentro del depósito (intercambiador de calor), el depósito de acumulación siempre tiene un intercambiador en el exterior. Salvo esta diferencia, su funcionamiento es el mismo. El serpentín tiene como función

mantener el depósito a la temperatura deseada y la energía suministrada es producida por la caldera auxiliar en este caso.

- **Caldera:** Es necesario contar con un sistema de apoyo para cuando no haya suficiente radiación y no quede el agua necesaria para cubrir la demanda en el depósito de acumulación. La caldera puede ser eléctrica, convencional, de biomasa. La función de la caldera es calentar un fluido, normalmente agua, que se envía al serpentín que está dentro del interacumulador para así calentar el agua de la que se dispone en el interior del depósito.
- **Bombas:** Son los elementos encargados de mover el fluido tanto en el circuito primario como en el secundario. Contienen motores eléctricos y actúan a velocidad variable para que se pueda trabajar en diferentes rangos de condiciones de operación.
- **Vasos de expansión:** El objetivo de los vasos de expansión es absorber el aumento de volumen que se produce en el fluido caloportador cuando sube la temperatura. Lo que se evita es que haya presiones altas en el circuito así como problemas mecánicos.
- **Válvulas:** Son dispositivos cuya función es regular y controlar el fluido. Se puede afirmar que son un elemento clave en la instalación. Se distinguen varios tipos: vaciado, de corte, de retención, de tres vías, de seguridad y reguladora de caudal.
- **Tuberías:** Debemos contar con una red de tuberías para transportar los fluidos. Normalmente deberán ser de distintos diámetros en función de la aplicación que se requiera.
- **Aislamiento:** Tanto las tuberías como el depósito de acumulación deben tener un buen aislamiento con objeto de evitar pérdidas a través de las paredes y mantener la temperatura del fluido.
- **Sistema de control** En la instalación hay que ir colocando dispositivos de control tales que permitan realizar mediciones de diversos parámetros del sistema (manómetros, termómetros). Estas mediciones se envían al sistema de control que se encargará de actuar en los dispositivos correspondientes dependiendo de lo que se necesite en cada instante.

Se colocan dos sondas de temperatura, una a la salida de los captadores solares (SC) y otra a la salida del depósito que comunica con la entrada de la bomba (SF). El control

está programado de tal manera que si $SC > SF + 6$, el sistema dará orden a la bomba para que esta funcione. En el caso de que $SC < SF + 3$, el sistema dará orden de detención a la bomba. El objetivo es el ahorro en el consumo eléctrico de los motores que accionan las bombas de circulación y evitar que circule el fluido en horas en las que no hay radiación y conseguir que aumente la vida útil de las bombas. El sistema de control asegura que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos, y que en ningún punto la temperatura del fluido descienda por debajo de una temperatura $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ superior a la de congelación del fluido. El sistema de control también debe controlar el sistema auxiliar, haciendo arrancar la caldera cuando sea necesario (Alwin, 2012)

1.5 Eficiencia energética en los hoteles cubanos

La eficiencia energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el confort y la calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso. La reducción de la intensidad energética es un objetivo prioritario para cualquier economía, siempre que su consecución no afecte negativamente al volumen de actividad. Uno de los parámetros que determinan la correlación entre consumo de energía y crecimiento económico es la evolución de la intensidad energética, indicador generalista que señala la relación entre consumos de energía y el Producto Interno Bruto (Hernández, 2008).

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 y 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.

1.1 Legionella

La bacteria de la Legionella causante de la legionelosis, que aparece frecuentemente en aguas dulces, puede llegar a colonizar los sistemas de aire acondicionado o refrigeración y las instalaciones de aguas sanitarias (sobre todo depósitos donde se almacena agua, como los termos eléctricos). Y muchas ocasiones, no se llega a erradicar.

Podemos hacer contacto a través de la inhalación de gotitas de agua que contengan la bacteria. Los síntomas principales son muy similares a los de la gripe y en ocasiones confundirla con los del coronavirus (Covid-19): pérdida del apetito, dolor de cabeza (cefalea), fiebre. Dolores musculares, cansancio, tos, problemas para respirar, dolores en el tórax, diarrea náuseas, vómitos y dolor abdominal, confusión o alteración del estado de conciencia.

Para evitar la aparición y proliferación de Legionella en instalaciones de agua calientes sanitarias, la normativa vigente establece una serie de criterios higiénicos-sanitarios que fija en 600 °C la temperatura continua de acumulación y en 500 °C la temperatura en los puntos de consumo.

Y, además, exige que toda instalación alcance los 700 °C al menos una vez al año.

No obstante, hay 4 pasos que se deben de seguir si ya estás ante un brote de Legionella:

- Desinfección de la instalación ACS

Donde se re realiza la limpieza y desinfección, eliminando la contaminación causada por la bacteria. Se tomarán muestras que serán analizadas, y se repetirá el mismo proceso las veces que sean necesarias.

La desinfección puede ser química (cloro-Peróxido de hidrógeno-otros), la cual debe tener la agresividad justa, puesto que deterioran el interior de las instalaciones (tuberías, válvulas y depósitos)

Desinfección térmica, suele ser más caro que la anterior, puesto que debe alcanzar altas temperaturas todo el circuito hidráulico

- Equilibrado hidráulico

Como el agua debe viajar dentro de la red de tubería a una velocidad tal que recorra el circuito completo sin que le dé tiempo de bajar la temperatura de los 50 °C, hay que trabajar para que no retorne de los primeros anillos hacia el acumulador. Para ello hay repartir el caudal en función de las longitudes de las tuberías y ver las válvulas a instalar para el equilibrio de la velocidad.

- Localización de ramales perdidos

Suele verse en modificaciones de cocinas, baños y al realizar cambios de uso de estancia. Y no son más que aquel tramo de tubería que ha sido taponeado sin desmontar el tramo de tubería que conduce el tapón. Cuya temperatura disminuye hasta la temperatura ambiente y son factibles para nidos de Legionella; pues al ser ramal sin continuidad, el ACS está estancada en su interior y no hay circulación de agua que lleve los productos químicos o el agua a altas temperaturas.

- Sustitución de acumuladores (como última alternativa)

En caso de que con los pasos anteriores no erradicarse, es posible que se encuentre la bacteria en interior de los acumuladores.

Capítulo 2 Materiales y métodos

En este capítulo se hace una descripción general del sistema que actualmente funciona y se describe la metodología de cálculo para poder dimensionar adecuadamente el sistema de ACS mediante la introducción de un campo de calentadores solares de agua, así como el método para poder realizar el análisis económico para conocer la factibilidad de la inversión propuesta.

2.1 Descripción de la instalación

La instalación turística Hotel *Starfish* Cuatro Palmas, está ubicada en primera avenida entre calles 60 y 64 en Varadero, con la elegancia y distinción que le caracteriza, en uno de los polos turísticos más importantes del país. Cuatro Palmas combinan en perfecta armonía el estilo colonial de su arquitectura y decorado con su abundante vegetación creando un entorno típico de playa de agradable confort.

Su apertura fue el 13 de marzo de 1992, y actualmente forma parte del Grupo Hotelero Gran Caribe que incluye hoteles de 4 y 5 estrellas. Ha sido remodelado en el 2003 y en este momento se está remodelando otra vez.

El Hotel de playa dispone de 312 habitaciones distribuidas por 3 edificios de la siguiente forma:

- 100 habitaciones en el edificio principal y 60 en El Colonial, ambos con tres plantas.
- 122 habitaciones en los bungalows 2, 3 y 4, con dos plantas cada uno.
- 30 habitaciones en las casas.

La producción de agua caliente sanitaria (ACS) en el hotel está dividida en dos áreas principalmente:

- Edificio principal: consta de 100 habitaciones, *Snack Bar*, *Lobby Bar*, Restaurante Cuba, ranchón playa (TropiPalma), cocina central, lavandería y baños públicos (4).
- Colonial, casas y bungalows 2, 3 y 4: provisto de calentadores solares con respaldo eléctrico para el calentamiento del agua.

En el área 1 este sistema ingeniero se encuentra en una sala de máquinas o de calderas ubicada en la parte posterior de la cocina, detrás del Hotel. Consta con dos calderas de gas, dos intercambiadores de calor y seis bombas de agua (Anexo 1).

Este sistema está formado por dos circuitos, uno primario y uno secundario. En el circuito primario el agua se hace circular agua a través de dos calentadores directos (a gas), donde se calienta y en dos intercambiadores de placa transfiere su calor y energía al agua del circuito secundario.

El agua del circuito secundario se almacena en dos tanques de los cuales se distribuye a los puntos de consumo.

La aplicación para la cual el aprovechamiento de la energía solar está más indicado es para la producción de agua caliente sanitaria, fundamentalmente, porque la temperatura de preparación del agua es relativamente baja. Lamentablemente como la radiación solar es muy variable y la energía que proporciona no siempre está disponible, la instalación tiene que contemplar un aporte energético alternativo de apoyo, ya que:

- A veces en días nublados no se logra la temperatura requerida.
- Si se instala solo un sistema de calentadores solares no garantizan que funcione correctamente todos los días del año, pues por lo general hay déficit en cuanto a mantenimiento de calentadores solares, o sea, no servicio oportuno y rápido por parte de los terceros que brindan este servicio.
- En ocasiones no se garantiza la temperatura requerida debido a la no existencia de resistencias ni termostatos para los respaldos eléctricos.
- Además todos los meses se debe dar un golpe de 70°C con el objetivo de eliminar microbios y con los calentadores solares es difícil alcanzar esta temperatura.

En el edificio principal de producción de agua caliente se realiza a partir del GLP con una caldera ubicada en la sala de máquinas. Están instaladas dos calderas del 100% de capacidad cada una, siendo una de ellas de reserva, estas presentan una capacidad de producción estimada de 250 kW. Este sistema está compuesto por dos circuitos; el primario de circulación entre la caldera de gas y los intercambiadores de placas, el secundario desde los intercambiadores de placa hasta los tanques de acumulación y de estos hasta los consumidores. Las redes interiores de agua caliente proceden desde las

válvulas en espera ubicadas en el local técnico y permiten conectar los servicios sanitarios y la cocina. Están creadas desde la alimentación principal, dos redes acordes a las funciones del edificio principal. Este es un sistema de distribución con red de suministro y de retorno y estarán equipados con una bomba dosificadora para evitar las incrustaciones.

2.2 Metodología para el análisis del calentamiento del agua en el hotel

Para proceder a evaluar el sistema de agua caliente sanitaria con energía solar térmica, se partió de una serie de criterios a tener en cuenta:

- Cantidad de habitaciones: 100
- Turistas días máximos: 200
- Capacidad de termo acumulación: 5 m³

2.2.1 Necesidad de agua caliente sanitarias en el hotel

Para realizar éste cálculo primeramente debe determinarse la máxima demanda de agua caliente sanitaria, también llamado consumo horario pico, mediante la ecuación 2.1.

$$V_{hp} = L1 \cdot R1 \cdot Fs \quad (2.1)$$

Donde:

V_{hp}: consumo de horario pico, m³/h.

L1: Norma de consumo a 50°C por baño, se escoge de la tabla 2.1, L/h.baño.

R1: cantidad de baños, uno por habitación.

Fs: Coeficiente de simultaneidad, expresa la coincidencia de uso del agua caliente sanitaria en la máxima demanda, fracción.

Par el cálculo de Fs existen tres ecuaciones, que están en función de la cantidad de baños (R₁) por cama.

$$\text{Para } \frac{R1}{\text{Cantidad de camas}} = 0,5$$

La ecuación es:

$$Fs = \frac{73,4832229 \cdot e^{\frac{1,614857}{R1}}}{100} \quad (2.2)$$

$$\text{Para } \frac{R1}{\text{Cantidad de camas}} = 0,3$$

La ecuación es:

$$F_s = \frac{82,1508255 \cdot e^{\frac{1,5705035}{R1}}}{100} \quad (2.4)$$

$$\text{Para } \frac{R1}{\text{Cantidad de camas}} = 0,15$$

La ecuación es:

$$F_s = \frac{90,800872 \cdot e^{\frac{1,4700732}{R1}}}{100} \quad (2.5)$$

Los valores de L1, o sea, la norma de consumo a 50°C por baño, se escoge de la siguiente tabla de acuerdo a la cantidad de habitaciones y a la categoría del hotel:

Tabla 2.1: Valores orientativos de caudales

Cant. habitaciones	Consumo de agua caliente sanitaria en litros por hora y baños				
	1 Estrella	2 Estrellas	3 Estrellas	4 Estrellas	5 Estrellas
10	120	240	270	230	270
20	94	187	234	199	240
30	84	168	210	179	228
40	79	158	198	168	216
50	74	149	186	158	216
60	72	144	180	153	198
70	70	139	174	148	192
80	67	134	168	143	180
90	65	130	162	138	180
100	65	130	162	138	171
150	62	125	156	133	173
200	62	125	156	133	173
250	62	125	156	133	173
300	60	120	150	127	162
350	60	120	150	127	162
400	60	120	150	127	162
450	60	120	150	127	162
500	60	120	150	127	162

La instalación que se diseñe debe garantizar el consumo pico de agua caliente sanitaria, pero además debe de garantizar el consumo máximo y mínimo, los cuales se calculan de la forma siguiente:

$$V_{max} = C_{lmax} \cdot R2 \quad (2.5)$$

$$V_{min} = Cl_{max} \cdot R2 \quad (2.6)$$

Donde:

Vmax: consumo diario máximo, l/día.

Vmin: consumo diario mínimo, l/día.

Clmax: consumo diario en litros por personas máximo, l/huésped.día.

Clmin: consumo diario en litros por personas mínimo, l/huésped.día.

R2: cantidad máxima de huéspedes que puede existir en un día.

Los valores de consumo diario por personas máximo y mínimo se obtienen de la tabla 2.2, de acuerdo a la categoría del hotel.

Tabla 2.2: Consumo máximo y mínimo por personas

Consumo de agua caliente sanitaria en litros al día y por persona					
Descripción	1 Estrella	2 Estrellas	3 Estrellas	4 Estrellas	5 Estrellas
Máximo	80	90	110	100	120
Mínimo	45	50	55	60	70

A continuación se pasa a calcular la potencia calorífica y la capacidad de acumulación, pero ambos están en dependencia del tipo de sistema de calentamiento que se escoja, existen 3 fundamentales que son:

- Sistema instantáneo
- Sistema de semi-acumulación
- Sistema por acumulación

Se escoge un sistema de semi-acumulación por sus múltiples ventajas respecto a los otros dos sistemas y por ajustarse a las peculiaridades del sistema tratado. En el sistema de semi-acumulación se debe cumplir la siguiente expresión:

$$V_{hp} \leq 1,11 \cdot (V_{ac} + V_{ge}) \quad (2.7)$$

Donde:

V_{ac} : volumen de acumulación, m^3 .

V_{ge} : volumen que garantiza la fuente de calor, m^3/h . Este valor puede ser lo mismo V_{max} que V_{min} , lo que de acuerdo a lo que se escoja, la fuente de calor será de mayor o menor potencia, y la termo acumulación será mayor o menor.

La instalación que se diseñe debe garantizar este consumo pico de agua caliente sanitaria, pero además debe garantizar el consumo mínimo y máximo, los cuales se calculan de la forma siguiente:

$$V_{max} = Cl_{max} \cdot R2 \quad (2.8)$$

$$V_{min} = Cl_{min} \cdot R2 \quad (2.9)$$

Donde:

V_{max} : Consumo diario máximo, l/día.

V_{min} : Consumo diario mínimo, l/día.

Cl_{max} : Consumo diario en litros por personas máximo, l/huésped.día.

Cl_{min} : Consumo diario en litros por personas mínimo, l/huésped.día.

$R2$: Cantidad máxima de huéspedes que pueden existir en un día.

Escogiendo como V_{ge} el V_{min} , se obtiene una fuente de calor de menor tamaño y una acumulación mayor, despejado y calculando se obtiene el volumen de acumulación V_{ac} :

$$V_{ac} = \frac{V_{hp}}{1,11} - V_{ge} \quad (2.10)$$

2.2.2 Capacidad del sistema de apoyo.

La capacidad de calor de la fuente de calor está en dependencia de que exista un circuito primario que abastezca de calor un circuito secundario que sería el de agua caliente sanitaria, por tanto la cantidad de calor para garantizar ese flujo máximo, se determina por la expresión:

$$Q_{min} = V_{max} * \rho_{agua} * Cp_{agua} * \Delta t \quad (2.11)$$

Donde:

Q_{min} : Calor mínimo necesario para suplir el calor necesario para el flujo máxima, kW.

El calor necesario para lograr la acumulación en dos horas de trabajo de la fuente de calor, se calcula por la siguiente expresión:

$$Q_{ac} = \frac{V_{ac} \cdot \rho_{agua} \cdot C_{p_{agua}} \cdot \Delta t}{\tau \cdot 3600} \quad (2.12)$$

Donde:

τ : Tiempo de recuperación de la termoacumulación, h.

Q_{min} : Calor necesario para lograr la acumulación, kW.

El calor necesario para el agua caliente sanitaria será:

$$Q_{acs} = Q_{min} + Q_{ac} \quad (2.13)$$

Considerando una eficiencia en el intercambiador de calor de 0,90, se obtiene el calor necesario en el circuito primario, que no es más que el calor que debe entregar la fuente de calor:

$$Q_{cp} = \frac{Q_{acs}}{\eta_{int}} \quad (2.14)$$

Donde:

Q_{acs} : Calor necesario para calentar el agua caliente sanitaria, kW.

Q_{cp} : Calor que debe entregar la fuente de calor al circuito primario, kW.

Flujo volumétrico de agua en el circuito primario, m³/h.

$$V_{acp} = \frac{Q_{cp} \cdot 3600 \text{ s/h}}{\rho_{agua} \cdot C_{p_{agua}} \cdot \Delta t} \quad (2.15)$$

El diámetro de la tubería del circuito primario se determina por la ecuación de continuidad:

$$V_{acp} = A_{cp} \cdot v \quad (2.16)$$

Donde:

A_{cp} : área de la sección transversal de la tubería, m².

V : velocidad del fluido por la tubería, m/seg, se escoge entre 2 y 5 m/s.

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

$$A_{cp} = \frac{\pi \cdot d_{cp}^2}{4} \quad (2.17)$$

Despejando esta ecuación y sustituyendo en la ecuación de continuidad se puede obtener el diámetro de la tubería:

$$d_{cp} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot V_{acp}}{\pi \cdot v \cdot 3600}\right)} \quad (2.18)$$

El valor obtenido se normaliza y con este diámetro se puede sustituir en la ecuación de continuidad y calcularse la velocidad real.

2.3 Estudio climatológico de la zona.

En Varadero, los veranos son cálidos, opresivos y mayormente nublados y los inviernos son cortos, cómodos, secos, ventosos y mayormente despejados. Durante el transcurso del año, la temperatura (Tabla 2.1) generalmente varía de 19°C a 31°C y, rara vez, baja de 14°C o sube más de 33°C. El período más resplandeciente dura 2 meses, marzo y mayo, con una energía de longitud de onda corta incidente diaria promedio por metro cuadrado superior a 6.3 kWh y el período más oscuro (Tabla 2.2) del año dura 3 meses (Octubre, Noviembre y Diciembre), con una energía de longitud de onda corta incidente diaria promedio por metro cuadrado de menos de 4.7 kWh.

Tabla 2.1: Temperaturas anuales en la península de Varadero.

Meses	Máxima (°C)	Temperatura promedio (°C)	Mínima (°C)
Enero	26	22	19
Febrero	26	22	19
Marzo	27	23	20
Abril	28	25	21
Mayo	29	26	23
Junio	30	27	24
Julio	31	28	24
Agosto	31	28	24
Septiembre	31	27	24

Octubre	29	26	23
Noviembre	27	24	21
Diciembre	26	23	20

Tabla 2.2: Nubosidad anual en la península de Varadero.

Meses	Más nublado (%)	Más despejado (%)
Enero	26	74
Febrero	22	78
Marzo	24	76
Abril	31	69
Mayo	47	53
Junio	69	31
Julio	64	36
Agosto	65	35
Septiembre	68	32
Octubre	55	45
Noviembre	38	62
Diciembre	31	69

Donde la salida del sol más temprano es a las 6:33 h el 7 de noviembre, y la más tardía a las 7:34 h el 14 de marzo. La puesta del sol más temprana es a las 17:38 h y la más tardía es a las 20:14 h.

- Energía solar de onda corta incidente diaria promedio en Varadero se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Energía solar incidente en Varadero.

Meses	Energía solar kWh
Enero	4.5
Febrero	5.4
Marzo	6.3
Abril	6.8
Mayo	6.3
Junio	5.2
Julio	5.1
Agosto	4.9

Septiembre	4.5
Octubre	4.6
Noviembre	4.4
Diciembre	4.2

En la Tabla 2.4 se muestran los valores de radiación solar en Varadero en función del ángulo de inclinación respecto a la horizontal (β).

Tabla 2.4: Radiación solar incidente en Varadero según ángulo de inclinación.

Radiación solar en Varadero (kJ/m ²)								
β°	0°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
Enero	10724	11663	12144	12487	12750	12919	12974	12956
Febrero	14966	15895	16243	16470	16592	16604	16500	16293
Marzo	15851	16149	16149	16050	15853	16559	15172	14492
Abril	16667	16548	16316	15973	15524	14988	14370	13675
Mayo	17952	16512	16184	15725	15156	14508	13787	13003
Junio	18748	18386	17971	17407	16709	15922	15057	14123
Julio	18513	17720	17407	16966	16406	15756	15023	14215
Agosto	18432	18532	18401	18149	17783	17321	16749	16080
Septiembre	16789	19235	19449	19524	19479	19313	19027	18625
Octubre	15507	16866	17397	17818	18138	18320	18353	18276
Noviembre	14734	16777	17662	18434	19122	19620	19895	20058
Diciembre	11196	12649	13282	13832	14324	14679	14856	14960
Promedio	15840	16361	16550	16572	16486	16292	15980	15580

Inclinación de los colectores:

La literatura especializada recomienda elegir la inclinación de los colectores solares igual a la latitud del lugar (23,5°) para obtener la mayor ganancia energética posible durante todo el año; pero la elección del ángulo de inclinación no debe ser esquemática, debe basarse en un análisis de las demandas energéticas mensuales y diarias, teniendo en cuenta los meses de mayor necesidad sin descuidar los valores para el resto del año. Las necesidades energéticas diarias y mensuales en el Hotel Cuatro Palmas, es mayor en el mes de Enero que es cuando la temperatura ambiente y del agua de la red son más bajas y es mayor la ocupación del hotel, pero le sigue febrero y marzo.

Al observar la tabla se puede concluir que el ángulo de inclinación más favorable es de 30°, pues es el que presenta mayor radiación solar en el mes de Febrero y Marzo y el tercero en Enero superado por muy poco margen por los ángulos de 35° y 40°.

En la tabla 2.5 se muestran los valores de radiación solar para $\beta=30^\circ$ para el mes de Enero.

Tabla 2.5 Datos climáticos correspondiente al mes de Enero.

Mes	Temp. amb. media diurna ($^\circ\text{C}$)	Temp. Agua red ($^\circ\text{C}$)	Radiación solar diaria (kWh/m^2)	Radiación media (W/m^2)
Enero	23	21	3.59	494

2.4 Dimensionamiento y ubicación del campo solar térmico

2.4.1. Generalidades

Elementos para el cálculo del sistema de calentadores solares (Serrano, 2019):

Una vez que se tienen los datos de disponibilidad del recurso solar durante el año, se necesitan las necesidades de agua caliente del área (Consumo total y demanda pico y temperatura del agua de consumo).

Después se procede al cálculo de la superficie útil de los captadores solares a utilizar.

Para su cálculo se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de calentador solar: Marca, modelo, dimensiones.
- Tipos de sistema: Termosifón o Forzado. Abierto o cerrado.
- Condiciones de la instalación: orientación, inclinación, espacios disponibles, distancias entre zonas de captación y acumulación, sombras, pérdidas energéticas.
- Temperatura de consumo.
- Necesidades Energéticas.

Para su instalación se recomiendan un lugar donde no existan zonas de sombra, y que haya suficiente espacio. La orientación debe ser al sur y la inclinación, si queremos aprovechar la radiación durante todo el año, debe ser igual a la latitud del lugar. Teniendo definida una temperatura de consumo que cumpla con las normas establecidas se procede a definir como suplir las necesidades energéticas que requiere el área con el porcentaje de utilización de la energía solar térmica con respecto al total del calor

necesario y el tipo de respaldo energético tradicional. En base a estos cálculos se puede determinar el área y el número de colectores necesarios.

El dimensionamiento de una instalación solar térmica dependerá de la demanda energética que se necesite, de las condiciones climáticas del lugar (en especial de la irradiación solar a temperatura ambiente disponible), de la fracción solar, y de la orientación e inclinación que puedan darse a los captadores solares.

En este sentido la demanda energética que se requiere para el dimensionado de la instalación solar térmica viene determinada además por la temperatura de consigna que se desea que permanezca constante en el acumulador de ACS (normalmente alrededor de 60°C), del caudal de agua caliente requerido para el consumo y de la temperatura de entrada del agua fría que se ha de calentar.

Evidentemente, a mayor temperatura de consigna para el agua almacenada en el acumulador con respecto a la temperatura final del agua en el punto de consumo (normalmente a 50°C), dará como resultado que el caudal que circulará por el acumulador será menor.

A la hora de elegir la zona donde instalar el sistema de captación solar, esta deberá ser la que reciba mayor insolación y con la menor presencia posible de obstáculos alrededor que puedan proyectar sombras sobre los colectores. Por ello, suelen ser las partes altas de las construcciones (tejados y cubiertas) las más idóneas, aunque para ello haya que realizar una comprobación previa resistente de la estructura de la cubierta para poder recibir con todas las garantías de seguridad el nuevo peso propio del equipo.

Otro aspecto importante a cuidar es minimizar la distancia entre el captador solar y el depósito acumulador. En los equipos compactos que funcionan por termosifón esto no es un problema dado que el acumulador es obligatorio colocarlo sobre el panel captador, pero en aquellos sistemas con circulación forzada donde el sistema es partido, habrá que cuidar no separar mucho el acumulador de los captadores para no incurrir en pérdidas innecesarias de calor durante el trayecto.

2.4.2 Elegir el tipo de colector solar a utilizar.

Se usarán colectores solares de tubos al vacío pues hoy en día pueden alcanzar mayor rendimiento que los colectores planos pues reducen las pérdidas de calor que se

producen en la convección y conducción entre la superficie captadora y el cristal exterior existente entre ellos (Mosquera, 2011).

Hay varios modelos de colectores de tubos al vacío, en dependencia del movimiento del fluido y el método de transferencia de calor utilizado. Los principales son: tubos termosifónicos, tubos en U y tubos caloríficos (Mosquera, 2011).

En el mercado existe una gran variedad de colectores solares para el calentamiento de agua a baja temperatura (menos de 100 °C), desde los colectores de placa plana, los de tubos al vacío con sus variantes constructivas hasta los compactos, parabólicos y concentradores solares para temperaturas medias y superiores muy usados en procesos tecnológicos y para la producción de energía eléctrica.

En este trabajo, teniendo en consideración el volumen de agua a calentar y la temperatura de trabajo a alcanzar, se seleccionó el colector solar de tubos al vacío por ser colectores de alta calidad, y dada la baja emisividad del tubo (0,08), su alta absorbencia (0,93) y su aislamiento por vacío, se consiguen rendimientos superiores frente a otros tipos de calentadores solares. Además, en días totalmente nublados aprovechan muy bien la radiación solar difusa y permite alcanzar valores de temperaturas ligeramente superiores a los 40 °C, son de fácil manipulación y montaje y requieren de muy poco recursos y tiempo para su mantenimiento.

En Cuba se ensamblan los colectores solares de tubos al vacío de tecnología china modelo LPC 47-1530 (Anexo 2) el cual tiene un rendimiento óptico de 75 % y un área bruta de 6,2 (m²) y un área de captación de 3,75 (m²), estos parámetros definirán la cantidad de paneles a instalar y el área total del campo.

El coeficiente de pérdidas lineales (K_1) y cuadráticas (K_2) de este tipo de colector es 0,85 W/m²K y 0,01 W/m²K² (Acevedo, 2021).

2.4.3 Formas de montaje e instalación de los calentadores solares.

Estos equipos se pueden instalar de dos formas diferentes: de forma aislada como un equipo, o formando por un grupo de calentadores solares que reciben el nombre de batería de paneles solares o batería de calentadores solares. Cualquiera de las dos formas, por su ubicación puede montarse a nivel del terreno (NT) o sobre la cubierta terminada de una edificación

- Como calentador solar independiente, sobre una cubierta.

Este tipo de instalación calienta el agua y solo necesitan una entrada de agua fría (inferior) y una de salida (superior) para el agua caliente a través de sus canalizaciones insuladas y por presión en la línea y gravedad distribuye el agua para el servicio

- Ventajas y desventajas.

- Necesitan estar ancladas a una base, para tolerar la influencia de vientos tormentosos, y si es posible protegidas por un pretil sobre la cubierta y donde el equipo ofrezca la menor resistencia al aire predominante.
- Necesitan para su montaje eficiente una pendiente de la cubierta, o una estructura auxiliar de base y apoyo con pendiente con ángulo entre 40° y 45°.
- Montarse de forma orientada con su cabezal inferior (entrada de agua) hacia el oeste, o hacia la caída del sol en el horizonte.
- Mas trabajoso su mantenimiento por la altura.
- Es un aumento de peso adicional sobre la estructura de la edificación.
- De existir salideros producen filtraciones en la cubierta por saturación.

- Como calentador solar independiente, sobre el nivel del terreno.

Este tipo de instalación calienta el agua y solo necesitan una entrada de agua fría (inferior) y una de salida (superior) para el agua caliente a través de sus canalizaciones insuladas y por presión en la línea distribuye el agua para el servicio.

- Ventajas y desventajas.

- Necesitan estar ancladas a una base, para tolerar la influencia de vientos tormentosos.
- Necesitan para su montaje eficiente una pendiente de la estructura auxiliar de base y apoyo con pendiente con ángulo entre 35° y 45°.
- Montarse de forma orientada con su cabezal inferior (entrada de agua) asía el oeste, o la caída del sol en el horizonte.
- Más fácil su mantenimiento; pero a su vez más frecuente por el crecimiento de vegetación adyacente con posibilidad del corte o perforación de las canalizaciones de agua.

- Pérdidas de calor en canalizaciones soterradas, sin insulación.
 - Pérdida de eficiencia por proyecciones de sombra de árboles y edificaciones adyacentes.
- Como batería de calentadores solares, sobre cubierta de edificaciones.

Este tipo de instalación necesita de un local auxiliar para instalar otros equipos de apoyo, como: electrobombas de recirculación del agua caliente, intercambiadores de placa o de calor, suavizadores de agua, termo tanque acumulador de agua caliente con resistencia, manómetros y termómetros. Se utiliza para servir de agua caliente a un grupo de habitaciones mucho mayor, lo que convierte a la instalación en un sistema para el calentamiento del agua. Los calentadores solares en estas baterías, pueden ser conectados a través de sus tuberías en paralelo (mayor fiabilidad y operatividad para los mantenimientos) o en serie (menor fiabilidad).

- Ventajas y desventajas.
- Necesitan de una mayor área sobre las cubiertas de las edificaciones para su instalación.
 - Se mantienen las ventajas y desventajas de calentador solar independiente, sobre una cubierta.

Como batería de calentadores solares, sobre el nivel del terreno.

Su instalación es igual a las baterías de calentadores solares, sobre cubierta de edificaciones con las ventajas y desventajas del calentador solar independiente, sobre el nivel del terreno y una mayor área sobre el nivel del terreno para su instalación.

2.4.3 Elegir el lugar de instalación e inclinación del colector.

La literatura consultada recomienda un lugar de instalación donde se conjuguen la no existencia de zonas de sombra, suficiencia de espacio y cercanía al área de servicio. La orientación debe ser al sur y la inclinación, si queremos aprovechar la radiación durante todo el año, debe ser igual a la latitud del lugar. No obstante a estas recomendaciones, el valor de la inclinación se elegirá después de analizar la radiación solar sobre el plano con diferentes ángulos de inclinación.

2.4.4 Determinar el área y número de colectores.

Teniendo definida las necesidades energéticas de agua caliente sanitaria del Hotel incluyendo el calor necesario para suministrar al agua a la temperatura de consumo, este se divide por la radiación solar incidente en la superficie captadora del calentador y se obtiene el área de captadores necesaria (Nodal, 2019), (Figueredo, Energías renovables, 2017) (Pérez, 2008).

$$S_c = \frac{Q_{cp}}{R_{sim} * \eta_{col}} \quad (2.19)$$

Donde:

S_c - Superficie de captadores, m².

R_{sim} - Radiación solar incidente media, W/m².

η_{col} - Eficiencia global del colector, %.

Para calcular el número de captadores solares se divide la superficie de captación por la superficie del captador que se haya escogido.

$$NC = \frac{S_c}{S_{ef}} \quad (2.20)$$

Donde:

NC - Número de colectores.

S_{ef} - Superficie efectiva del colector, m².

La eficiencia global del colector será:

$$R_{col} = \eta_0 - (K_1 - K_2 * (t_m - t_{amb})) * \frac{(t_m - t_{amb})}{R_{sim}} \quad (2.21)$$

2.4.5 Elegir el sistema de respaldo energético tradicional.

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. Los sistemas de respaldo más utilizados son los eléctricos o con combustibles fósiles. En este caso se propone el sistema actual a base de GLP como respaldo para este sistema de calentadores solares.

2.4.6 Analizar la posibilidad de uso de partes del sistema anterior.

Una valoración importante debe ser la posibilidad de usar componentes del sistema anterior de calentamiento (a base de GLP) que permite disminuir el valor de la inversión inicial de la propuesta. Teniendo en cuenta que el campo de calentadores solares se emplazará como parte del circuito primario, los cálculos que trae implícito esta metodología con respecto al circuito secundario no se efectuarán debido a que este circuito permanecerá igual, es decir con sus bombas secundarias, de recirculación, tanques de acumulación e intercambiadores de calor de placa.

Esta metodología de cálculo ha sido utilizada para dimensionar sistemas similares en otras instalaciones y puede ser consultada (Corzo, 2016)(Ramos, 2007))

2.5 Impacto económico y medio ambiente de la propuesta.

El gas licuado de petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos compuesto fundamentalmente por propano y butano. Los productos de la combustión del mismo son el vapor de agua y el dióxido de carbono, siendo éste último un compuesto de un gran efecto contaminante.

- Costo total de la inversión inicial.

Un indicador muy importante para la realización del análisis económico es el costo total de la inversión inicial, pues es la base para el cálculo de los demás indicadores y se calcula de la forma siguiente:

$$CTI = CI + CO * \left[\frac{(1+i)^m - 1}{(1+i)^{m+1}} \right] \quad (2.21)$$

Donde:

CTI: Costo total de la inversión, \$.

i: Tasa de interés del banco de donde se extrajo el dinero, o la tasa de interés del crédito o préstamo solicitado, fracción.

CI: Costo de instalación, que es la suma del costo de la inversión más el montaje, \$.

CO: Costo de operación y mantenimiento, \$.

m: Vida útil, se debe utilizar la que el suministrador provea, si no se toma 5 años.

$\left[\frac{(1+i)^m-1}{(1+i)^{m*1}}\right]$: Coeficiente que tiene en cuenta el costo de operación y mantenimiento que se produce durante su vida útil.

En este caso el costo de operación no existe, debido a que estos sistemas son totalmente automáticos, por lo que sólo llevará implícito el costo de mantenimiento del equipamiento que se compró, el cual se calcula por la siguiente expresión:

$$CO=0.03*CO \quad (2.22)$$

El costo de la instalación también se puede subdividir en:

$$CI= C_{inv}+C_{mon} \quad (2.23)$$

Donde:

C_{inv} : Costo de la inversión, \$.

C_{mon} : Costo del montaje, \$.

El costo de la inversión y montaje se obtiene del proveedor.

- Movimiento de fondos.

El movimiento de fondos de una inversión consiste en determinar en cada uno de los períodos en que se dividió el horizonte, cuántos cobros y cuántos pagos se realizan. Para facilitar su confección y análisis se realizará este movimiento en forma de tablas a partir del momento en que se debe culminar la inversión; la resultante de esta tabla va a ser el movimiento de fondos, y se confecciona por períodos, teniendo en cuenta que todo lo que se ahorra se cobrará a más tardar al finalizar el año, y lo que se compra se pagará a más tardar al finalizar el año.

El valor resultante puede ser positivo o negativo, el valor positivo es lo que se desea; el valor negativo significa que la inversión no es recuperable en el horizonte determinado, esto ocurre generalmente cuando el valor de la producción que se logra con la inversión se encuentra por debajo del punto de isorrentabilidad de la empresa.

La depreciación se calcula como tiene normado el país, y se encuentra regulado por el fisco, un 10 % anual del costo de la inversión; sustituyendo en la siguiente ecuación se obtiene el valor de la depreciación para cada variante:

$$D=0.10*CI \quad (2.24)$$

Para el cálculo del movimiento de fondos en los costos fijos se tiene en cuenta la depreciación del equipamiento, su falta de inclusión falsearía los resultados, el resto de los costos fijos y variables son los mismos, debido a que se mantienen los mismos operadores y no se introduce ningún consumidor extra de agua ni de electricidad, por lo que al no sufrir ninguna variación no se incluyen en el movimiento de fondos. El total de cobros no son más que los ahorros que se pueden lograr.

A continuación se calculan los diferentes criterios de selección para alternativas de inversión, estos son:

- Período de recuperación de la inversión.

Se calcula en función de los costos y los ingresos promedios anuales durante el horizonte analizado; para ello se utilizó la siguiente ecuación adaptada para una inversión que va a durar menos de un año; además tiene en cuenta que todos los cobros y los pagos anuales son iguales.

$$Tri = \frac{CTI}{[\text{Cobros} - \text{Pagos} * (Ib + 1)] * (1 - Isr)} \quad (2.25)$$

Donde:

Tri: Período de recuperación de la inversión, en años.

Ib: Intereses a pagar por préstamos en el año k o intereses dejados de cobrar por extraer dinero del banco.

n: Horizonte analizado.

Isr: Impuesto sobre la renta, es la parte de lo ahorrado que se paga cómo impuesto a la ganancia de la empresa.

- Valor actual neto.

Este criterio tiene en cuenta que el dinero invertido pierde valor con el tiempo, debido fundamentalmente al interés bancario. En su cálculo se actualizan todos los flujos de fondo de un año base, y se compara el flujo equivalente, si es mayor que cero es económico realizar la inversión, ya que permite obtener una mayor cantidad que el

dinero invertido inicialmente. Todos los cálculos se realizan sobre la base de un interés conocido.

Su ecuación es la siguiente:

$$VAN = \sum \frac{St * k}{(1+i)^k} \quad (2.26)$$

Donde:

St → Movimiento de fondos, en \$.

k → Período analizado, en este caso el año.

- Tasa interna de retorno.

Consiste en la tasa de interés calculada cuando la ecuación del valor actual neto se iguala a cero. Se aplica generalmente para determinar qué interés máximo se debe aceptar de los créditos propuestos o existentes en el mercado financiero; o sea, cualquier interés de crédito o préstamo menor que el calculado es aceptable para realizar la inversión. Se calcula despejando el interés de la siguiente ecuación.

$$0 = \sum \frac{St * k}{(1+TIR)^k} \quad (2.27)$$

Donde:

TIR → Tasa interna de retorno, en fracción.

Capítulo 3 Análisis de los resultados.

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos al aplicar la metodología descrita anteriormente para determinar las necesidades de ACS de la instalación, así como, el dimensionamiento del campo solar. Todo esto fue desarrollado en una hoja de cálculo Excel.

3.1 Demanda pico de la instalación

A continuación en la Tabla 3.1 se muestra la demanda de agua caliente sanitaria y las necesidades energéticas, tanto diarias como mensuales en el Hotel Cuatro Palmas donde se encuentra el control diario de los portadores energético del hotel, dicha tabla proporcionada por los compañeros de servicios técnicos del hotel.

Tabla 3.1: Demanda mensual de ACS en el hotel.

<i>Mes</i>	<i>n</i>	<i>Tar</i>	<i>Taf</i>	<i>Ta</i>	<i>Op</i>	<i>Oc</i>	<i>Vd</i>	<i>Vm</i>	<i>Qd</i>	<i>Qm</i>
Enero	31	21	50	23	100.0	6200	22	682	870	26970
Febrero	28	22	50	24	99.0	5600	21	616	869	24332
Marzo	31	24	50	26	100.0	6200	22	682	778	24118
Abril	30	26	50	28	70.0	5110	14	420	496	14880
Mayo	31	28	50	30	50.0	3100	10	310	317	9827
Junio	30	30	50	32	50.0	3000	10	300	287	8610
Julio	31	30	50	32	64.5	5084	14	434	376	11656
Agosto	31	30	50	32	70.0	5270	13	403	410	12710
Septiembre	30	29	50	31	60.0	4960	12	360	367	11010
Octubre	31	28	50	30	60.0	4800	12	372	385	11935
Noviembre	30	26	50	28	62.0	4860	13	390	437	13110
Diciembre	31	23	50	26	75.0	5425	17	527	601	19270
Total anual	365				71.7	59609		5496		188428

Donde:

N: Cantidad de días del mes.

Tar: Temperatura del agua de la red, (°C)

Taf: Temperatura deseada del agua caliente, (°C)

Ta: Temperatura ambiente, (°C).

Op: Ocupación mensual estimada del Hotel, (%).

Oc: Ocupación mensual estimada del hotel.

Vd: Demanda de agua caliente sanitaria diaria, (m³).

Vm: Demanda de agua caliente sanitaria mensual, (m³).

Qd: Necesidad energética diaria, (kWh), Qm: Necesidad energética mensual, (kWh)

Parámetros de ACS.

Temperatura de agua de entrada (°C)	20
Temperatura del agua en tanque de almacenamiento (°C)	50
Tiempo de duración del pico horario (h)	3

3.2 Demanda energía calorífica en el circuito primario

Calculando	
	Cuatro Palmas
Qcp (kW)	33,71
Qcp (kW) normalizado	40,00

3.3 Cálculo de flujo y diámetros de tuberías`

Flujo volumétrico de agua en el circuito primario.

Calculando	
	Cuatro Palmas
Vacp (m³/h)	6,89

Diámetro de tubería del circuito primario.

Calculando	
	Cuatro Palmas
dcp (cm)	3,49
dcp (") Normalizado	2 1/2"

3.4 Selección del calentador y ubicación del campo solar

El tipo de colector seleccionado fue el colector solar industrial de tubos al vacío tipo LPC 47-150 *SUNNYPOWER* producidos en nuestro país por la empresa RENSOL y cuyas características fueron expuestas en el acápite 2.4.2. Serán ubicados en la extensa área de techo (muy próxima al sistema que presta servicio actual) que existe disponible encima del zona de servicio de la instalación hotelera, este es un lugar donde no existe la influencia de sombra en ningún momento del día y de fácil acceso que permite acciones mantenimiento.

3.5 Cálculo del área y cantidad de captadores solares

Para calcular el área de captación solar se divide el calor demandado en el circuito primario entre radiación media solar de Enero porque en este mes se produce la máxima demanda energética y además se puede deducir que Enero tiene la menor incidencia solar con respecto a los demás meses.

Los resultados de la cantidad y área total del campo solar se muestran en la figura 3.1

Resultados obtenidos		
Rcol	%	74,99
Sc	m ²	82
NC	U	22
Área total del campo solar	m ²	135

Figura 3.1: Resultados del dimensionamiento del campo solar

3.6 Análisis económico y medioambiental de la propuesta

En la tabla 3.2 se resumen los valores de la inversión inicial para el emplazamiento del campo solar térmico.

Tabla 3.2: Costo inicial del equipamiento de la inversión.

Descripción	Cantidad	Precio	Precio total
Colector solar	22	5250	115500
Base modular para montaje	15	2990	44850
Pizarra eléctrica	1	35653	35653
Instrumentos de medición	1	36370,5	36370,5
Montaje y puesta en marcha	1	113150	113150
TOTAL INVERSIÓN			345523,5

- Movimiento de fondo

El movimiento de fondos de una inversión consiste en determinar en cada uno de los períodos en que se dividió el horizonte, cuántos cobros y cuántos pagos se realizan. Para facilitar su confección y análisis se realizará este movimiento en forma de tablas con los cobros y pagos a partir del momento en que se debe culminar la inversión; la resultante de esta tabla va a ser el movimiento de fondos, y se confecciona por períodos, teniendo en cuenta que todo lo que se ahorra se va a cobrar a más tardar al finalizar el año, y todo lo que se compra se va a pagar a más tardar al finalizar el año.

El valor resultante puede ser positivo o negativo, el valor positivo es lo que se desea; el valor negativo significa que la inversión no es recuperable en el horizonte determinado, esto ocurre generalmente cuando el valor de la producción que se logra con la inversión se encuentra por debajo del punto de isorrentabilidad de la empresa.

Para realizar el análisis económico debemos de tener en cuenta el gasto consumido de GLP en el calentador y el valor monetario de dicho gasto para suplir la demanda actual del sistema de ACS.

Según datos aportados por el departamento de mantenimiento del hotel el consumo diario de GL para calentamiento de agua es de 50 litros por días, lo que representa un consumo anual de 18250 l/año (10.220,00 kg o 20 m³). Esto equivale, para un precio actual de 16,50 CUP/l, a un ahorro de 825,00 CUP diarios y 301.125,00 CUP anuales. La densidad del GLP es de 0.56 kg/L y cuenta con un factor de emisión de 0.234 Kg de CO₂eq/kWh (Selectra, 2021).

Es oportuno señalar que 1 m³ de GLP equivale 510 Kg y este a su vez equivalente a 12,64 kWh. Por lo que actualmente se emiten a la atmósfera 30.2 toneladas de CO₂.

Con la propuesta realizada en este trabajo los calentadores de gas dejaran de trabajar el 70 % del tiempo estimado (15h), es decir, 10,5 horas y solo funcionaran 4,5 diarias.

Esto conlleva a un ahorro de 35 litros de GLP diarios y un nuevo consumo anual de 5475 l/año, equivalente a un ahorro financiero de 210.787,5 CUP/año y se dejarán de emitir 21.15 toneladas de CO₂ al ambiente.

Los datos para el análisis de la inversión (figura 3.2) fueron desarrollados con la ayuda de una hoja de cálculo Excel y sus resultados se muestran a continuación.

ANÁLISIS DE MOVIMIENTO DE FONDO						
	AÑOS					
Conceptos	0	1	2	3	4	5
Inversión (CTI)	438634,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costos fijos (D)	0,00	34552,35	34552,35	34552,35	34552,35	34552,35
Total de pagos	438634,33	34552,35	34552,35	34552,35	34552,35	34552,35
Total de cobros	0,00	210787,50	210787,50	210787,50	210787,50	210787,50
Mov. de fondos	-438634,33	176235,15	176235,15	176235,15	176235,15	176235,15
Mov. acumulado	-438634,33	-262399,18	-86164,03	90071,12	266306,27	442541,42

Tri =	3,57	años	Datos	
VAN =	384355,80	\$	Tasa de interes	% 2
TIR =	28,88	%	Impuesto sobre renta	% 30
			Costo de inversión	\$ 345523,50
			Ahorro	\$/año 210787,5

Figura 3.2: Análisis del movimiento de fondo

Al realizar un análisis de los resultados económicos obtenidos vemos que el valor actual neto (VAN), alcanza valores positivos a partir del tercer año, lo que indica que la inversión debe ser aceptada para su ejecución. La tasa interna de retorno (TIR) indica que se puede aceptar créditos con una tasa de interés hasta un 28,88 %, superior al valor establecido de 2 %. El período de recuperación de la inversión será, por tanto, de 3,57 años, es decir en menos de cuatro años por lo que resulta ventajoso acometer los cambios propuestos en el sistema de ACS del hotel.

Conclusiones

1. Las necesidades energéticas del circuito primario de ACS se suplen con el emplazamiento de 22 calentadores solares tipo *SUNNYPOWER* LPC 47-1530, ocupando un área total de 135 m².
2. Se lograran ahorros de combustibles fósiles en el orden de los 12.755,00 litros de GLP, dejando de erogar el hotel 210.787,5 CUP/año.
3. La propuesta se puede considerar amigable con el medio ambiente ya que se dejan de emitir 21.15 toneladas de CO₂.
4. El tiempo de recuperación de apenas 4 años y demás índices económico demuestran la factibilidad del estudio realizado.

Recomendaciones

1. Llevar a cabo los cambios propuestos en este trabajo para el sistema de agua caliente sanitaria.
2. Capacitar al personal de mantenimiento encargado con la operación del sistema.
3. Realizar las actividades de mantenimiento recomendadas por los fabricantes para alcanzar la vida útil del equipamiento propuesto.

Bibliografía

- Nodas, Y.B (Septiembre 2019). Sanitary hot water production from heat recovery in hotel. (2019). *Ingeniería Energética*, 234-244.
- Acevedo, J. I. (Marzo de 2021). *Factibilidad del empleo de la energía solar térmica en edificios multifamiliares cubano para calentamiento de agua sanitaria*. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://cict.umcc.cu/cium>
- Alwin, S. (2012). Análisis de Alternativas de Producción de Agua Caliente Sanitaria en Cienfuegos, Cuba.
- C. Gutiérrez, O. (2005). Estrategia de desarrollo del turismo en Cuba: Resultados ,retos y perspectivas. M. d. turismo.
- Cerutti, A. (2014). *Journal of Cleaner Production*. *Assessment methods for sustainable tourism declarations: the case of holiday farms*.
- Corzo, D. F. (Julio de 2016). *Propuesta de colectores solares para la producción de agua caliente sanitaria en el Bungaló de 48 habitaciones del Hotel "Ocean Vista Azul*. Recuperado el Octubre de 2021, de [https://cict.umcc.cu/trabajo diploma/2016](https://cict.umcc.cu/trabajo_diploma/2016)
- Figueredo, C. M. (Febrero de 2016). *Energías renovables*. Recuperado el Septiembre de 2021, de <https://scholar.google.es/citation>
- Figueredo, C. M. (Febrero de 2017). *Energías renovables*. Recuperado el Septiembre de 2021, de <https://scholar.google.es/citation>
- Figuredo, C. M. (2015). Cuba hacia 100% con energías renovables. Habana, Cuba.
- Hernández, S. M. (2008). Reducción del Consumo de Energía en Instalaciones con Sistemas de Climatización Centralizados Todo-Agua a Flujo Constante. Cienfuegos, Cuba.
- IDAE. (Octubre de 2006). *Energía solar térmica*. Recuperado el Septiembre de 2021, de <https://www.idae.es>
- Instalaciones termosolares para la producción de aguas calientes sanitarias A.C.S.* (s.f.). Obtenido de ingemecanica.com.
- Lorenzo, J. A. (Marzo de 2017). *Sunfields*. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://www.sfe-solar.com/articulos>
- Mosquera, J. (9 de junio de 2011). *Energía solar. Tubos al vacío*. Recuperado el Octubre de 2021, de garcíabarba.com.

- Nodal, Y. V. (2019). Sanitary hot water production from heat recovery in hotel. *Ingeniería Energética*, 234-244.
- Pérez, L. B. (2008). *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares*. Habana: Cubasolar.
- Ramos, D. R. (2007). Propuestas de mejoras energéticas en el hotel Coral. Matanzas, Matanzas, Cuba.
- Rousand, E. (30 de Agosto de 2018). *Factorenergía*. Recuperado el Septiembre de 2021, de <https://factornergia.com/blog/nergias renovables>
- Selectra. (Noviembre de 2021). *PropanoGas*. Recuperado el Noviembre de 2021, de <https://propanogas.com/faq/factor>
- Serrano, M. Á. (Abril de 2019). *Colectores solares térmicos*. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://www.researchgate.net/publication/338254329>
- STOLIK, D. D. (6 de junio de 2021). El NET ZERO EN CUBA. *VIGILANCIA TECNOLÒGICA FV*. Cuba.

Anexos

Anexo 1 Vista de la instalación actual.



Calentadores a fuego directo de gas del hotel *Starfish* Cuatro Palmas y en el fondo las bombas de agua pintadas de negro



Tanques de acumulación de agua del hotel *Starfish* Cuatro Palmas



Sala de calderas con vista completa.

Anexo 2. Paneles solares *SUNNYPOWER*

