

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



**USO DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN EL CIRCUITO
PRIMARIO DE AGUA CALIENTE DEL HOTEL ARENAS BLANCAS**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Autor: Leonardo Sánchez Acevedo.

Tutor: MSc. Ing. Jorge Luis Lamas Acevedo.

Matanzas, 2019

DEDICATORIA

A mis padres, mi hermano y mi novia por hacer posible este sueño y ser mi apoyo en cada momento.

A todos los profesores que tuvieron que ver en mi desarrollo como estudiante.

AGRADECIMIENTO

A mi familia y novia por su apoyo incondicional en cada momento.

A mi tutor MSc. Ing. Jorge Luis Lamas Acevedo, por su imprescindible ayuda y dedicación.

A todos que de una forma u otra hicieron posible la realización de este trabajo.

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.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

RESUMEN

Se realiza una propuesta en el sistema de agua caliente sanitaria en una instalación hotelera consistente en el cambio del sistema de tubería de acero negro por tuberías polipropileno de alta densidad en el circuito primario del sistema. Se dimensiona un campo de colectores solares de tubos al vacío para que funcione en sustitución del sistema de recuperación de calor de la enfriadora de agua. Se realiza un análisis económico y medioambiental de la propuesta. Los resultados obtenidos demuestran la factibilidad del uso de la energía solar térmica en el calentamiento de agua sanitaria debido a la disminución del consumo de gas licuado del petróleo y por tanto se reduce el daño medioambiental al dejar de emitirse gases de efecto invernadero.

Palabras claves: agua caliente sanitaria, energía solar térmica, colectores solares, recuperación de calor, ahorro energético, ahorro económico.

ABSTRACT

A proposal is made in the sanitary hot water system in a hotel installation consisting in the change of the black steel pipe system by high density polypropylene pipes in the primary circuit of the system. A field of vacuum tube solar collectors is sized to work in replacement of the heat recovery system of the water chiller. An economic and environmental analysis of the proposal is made. The results obtained demonstrate the feasibility of using solar thermal energy in the heating of sanitary water due to the decrease in the consumption of liquefied petroleum gas and, therefore, the environmental damage is reduced when greenhouse gases are no longer emitted.

Keywords: sanitary hot water, solar thermal energy, solar collectors, heat recovery, energy saving, economic saving.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica	4
1.1 Recuperación de calor en sistemas centralizados de aire acondicionado.....	4
1.2 Métodos de producción de agua caliente sanitaria.....	6
1.3 Sistemas de apoyo en la producción de A.C.S más empleados en instalaciones hoteleras.....	7
1.4 La energía solar como fuente de energía renovable.....	8
1.4.1 Energía solar térmica. Colectores solares.....	9
1.5 La Eficiencia Energética.....	12
1.5.1 La Eficiencia de un Colector Solar.....	13
1.5.2 La Eficiencia Energética en el Sector Hotelero Cubano.....	13
1.6 Legionella.....	14
Capítulo 2 Materiales y Métodos.....	<u>1516</u>
2.1 Descripción de la instalación.....	<u>1516</u>
2.2 Recuperación de calor cuando se utiliza refrigerante R-134A.....	<u>1516</u>
2.3 Descripción de la metodología a utilizar para el cálculo de la demanda de agua caliente.....	<u>1718</u>
2.4 Método de cálculo de la demanda de ACS por muebles sanitarios.....	<u>1718</u>
2.5 Estudio climatológico de la zona.....	<u>2021</u>
2.5.1 Elección de la superficie de captación.....	<u>2021</u>
2.6 Dimensionamiento del campo de colectores solares.....	<u>2425</u>
2.7 Descripción del sistema propuesto.....	<u>2728</u>
2.8 Propuesta de cambio de tuberías del circuito primario.....	<u>2829</u>
2.7 Selección del aislamiento térmico.....	29
2.8 Sistema de apoyo.....	<u>2930</u>
2.9 Propuesta de un plan de mantenimiento.....	<u>2930</u>
2.10 Impacto ambiental y consumo de GLP para el calentamiento de agua.....	<u>3031</u>
Capítulo 3 Análisis de los resultados	<u>3233</u>
3.1 Análisis de resultados.....	<u>3233</u>

3.2 Análisis de las necesidades energéticas.	<u>3233</u>
3.3 Análisis del estudio climatológico de la zona.	<u>3233</u>
3.4 Análisis del dimensionamiento del campo de colectores.	<u>3334</u>
3.5 Análisis de la selección de tuberías y aislantes térmicos.	<u>3536</u>
3.7 Análisis del plan de mantenimiento.	<u>3738</u>
3.8 Análisis económico y medioambiental.	<u>3839</u>
3.8.1 Consumo de GLP, perjuicio económico y ambiental.	<u>4243</u>
Conclusiones	<u>4445</u>
Recomendaciones	<u>4546</u>
Referencias Bibliográficas	<u>4647</u>
Anexos	<u>4950</u>

INTRODUCCIÓN

La participación de las tecnologías energéticas renovables crece a nivel mundial en 20% anual, si se tienen en cuenta todas sus manifestaciones. La mayoría de los países desarrollados invierten sumas millonarias para poner en explotación las diversas fuentes renovables de energía, por ser limpias y sobre todo sostenibles. Los mayores progresos se observan en las energías eólica, solar fotovoltaica y térmica. Avances importantes se aprecian en los biocombustibles y en el empleo de los desechos. Se puede afirmar, por tanto, que en no menos de diez años las fuentes renovables de energía serán las de mayor participación en el balance energético mundial.

Cuba no está de espaldas a esta realidad, es rica en recursos energéticos renovables y pobre en los no renovables; el sol, el viento, la biomasa (fundamentalmente la procedente de la caña de azúcar) y la hidroenergía son las fuentes a las cuales se les puede apostar con mayor certeza para la diversificación de la matriz energética. Lograr 100% de autoabastecimiento energético con fuentes renovables de energía es un reto para esta generación [Moreno 2015].

Con este amplio diapasón, no hay dudas de que la meta de 100% con energías renovables es alcanzable; no es un sueño inalcanzable. Por otro lado, no son pocos los años que estiman los países más avanzados para satisfacer esta meta. Se necesita un período de transición donde paulatinamente se vayan introduciendo estas tecnologías en conjunto con un programa de medidas (ahorro, eficiencia energética y cogeneración) para disminuir la demanda hasta llegar a igualar esta demanda con la energía proporcionada con fuentes renovables de energía. Se puede comenzar por los edificios con energía convencional cero, pasando por comunidades y poblados hasta la ciudad satisfecha a 100% con fuentes renovables de energía.

El hotel Arenas Blancas perteneciente a la cadena hotelera Gran Caribe está ubicado en el kilómetro (Km) 3 ½, carretera Las Américas, entre el Hotel Cuatro Palmas y el Hotel Solymar, se puso en marcha en 1998. En un principio el sistema de agua caliente sanitaria recuperaba el calor de sobrecalentamiento del refrigerante en la descarga del compresor mediante intercambiadores de calor de tubo y coraza que se localizaban en esta zona en

las tres enfriadoras que pertenecían a la compañía cubana Frioclima, posteriormente estas enfriadoras fueron sustituidas por dos enfriadoras *Hitachi* y una *Blue Box*, de igual capacidad frigorífica y tenían incorporados sus respectivos intercambiadores de calor para la recuperación de calor. A pesar de la instalación tener contrato de mantenimiento, este solo abarca el sistema de aire acondicionado central y no la recuperación de calor, aunque forme parte íntegra de dichas enfriadoras, provocando serias obstrucciones en la superficie de transferencia de calor, sobre todo en el interior de los tubos por donde circula el agua primaria del sistema de agua caliente sanitaria (ACS). En otro aspecto, el sistema de tuberías que conforman la recuperación de calor debe ser aislado térmicamente del ambiente exterior con el propósito de minimizar las pérdidas térmicas en el sistema; en su recorrido desde las enfriadoras hasta la sala de máquina, las mismas están expuestas al agresivo ambiente reinante en esta península que ha hecho posible el deterioro paulatino del aislamiento y la aparición de cavidades en las tuberías de acero negro que lo conforman. Esta situación ha provocado la salida de servicio del sistema de recuperación y en la actualidad para garantizar el ACS en la instalación, trabaja de forma ininterrumpida, un calentador de gas pirotubular, que usa como fuente de energía primaria el gas licuado del petróleo (GLP), lo que presupone un gran consumo de este portador energético, aumentando los costos del hotel y el perjuicio ambiental.

Problema Científico:

Existe un alto consumo de gas licuado del petróleo en la producción de agua caliente sanitaria, debido al elevado grado de deterioro del circuito primario.

Hipótesis:

Con el cambio del sistema de tuberías y uso de la recuperación de calor del ciclo de condensación, así como la instalación de colectores solares se cubrirá la demanda de agua caliente sanitaria con la disminución de portadores energéticos no renovables.

Objetivos Generales:

Reanimar el sistema de recuperación de calor, garantizando la calidad demandada por la instalación, mediante el uso de la energía solar térmica a través de un campo de colectores.

Objetivos Específicos:

- 1 Realizar un estudio del arte sobre la producción de ACS por recuperación de calor en sistemas centralizados.
- 2 Selección y propuesta del tipo de colector solar más adecuado para el sistema de ACS.
- 3 Selección y propuesta de cambio del tipo de tuberías de agua caliente actual del circuito primario por tuberías plásticas de alta densidad.
- 4 Hacer un estudio económico y ambiental para la propuesta realizada
- 5 Determinar el volumen de agua caliente demandada por día en la instalación.

CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se realizará una búsqueda bibliográfica que permita abordar los aspectos fundamentales relacionados con los sistemas de producción de agua caliente sanitaria en instalaciones hoteleras, la importancia de la recuperación de calor en los sistemas centralizados de agua helada y los colectores solares, para de esta forma dar cumplimiento al objetivo propuesto en el presente trabajo.

1.1 Recuperación de calor en sistemas centralizados de aire acondicionado.

Cuando en una edificación cualquiera se decide instalar un sistema centralizado de aire acondicionado para mantener las condiciones de confort establecidas, durante el proceso de condensación del aire acondicionado se rechaza una cantidad de calor equivalente a la carga de enfriamiento de la instalación más el calor generado en el proceso de compresión debido al rozamiento presente en este. En las instalaciones que tienen grandes cargas de frío, el calor se descarga a la atmósfera en enormes cantidades y esta energía debe ser reutilizada para de esta forma aumentar la eficiencia del sistema, logrando con ellos la reducción del consumo y por consiguiente los costos energéticos. Afortunadamente, recuperar calor de las enfriadoras a la temperatura de condensación normal es usualmente simple aunque no está exento de problemas. Sin embargo, la baja temperatura del calor recuperado, para temperaturas de sobrecalentamiento bajas es una limitación que se presenta en muchas instalaciones. Para alcanzar la máxima eficiencia, las enfriadoras se diseñan normalmente para operar con temperaturas de condensación próximas a la temperatura del aire exterior. La mayoría de estas instalaciones no pueden usar gran parte del calor que se recupera a estas bajas temperaturas. El precalentamiento de agua para uso sanitario es la aplicación más común. Un aspecto clave de la recuperación de calor es que es absolutamente necesario tener una carga de enfriamiento a la misma vez que hay una necesidad de calentamiento. Por esta razón se instalan calentadores de apoyo para asegurar la demanda de ACS de la instalación cuando la carga de enfriamiento no es suficiente. [Cero Grados, 2017]

Puede incrementarse la temperatura del calor recuperado de 11°C a 28°C incrementando la temperatura de condensación. También se incrementa la cantidad de calor que puede recuperarse, y es factible también encontrar nuevas aplicaciones para el calor recuperado, incluyendo calentamiento del espacio y aplicaciones de calentamiento industrial. Sin embargo, incrementar la temperatura de condensación puede también penalizar seriamente la eficiencia de la enfriadora. También se producen otras complicaciones y problemas. Las enfriadoras están diseñadas para producir una capacidad especificada a una temperatura máxima ambiente máxima, que típicamente implica temperaturas de condensación en el rango de 38 °C a 43 °C. En operaciones normales, la temperatura de condensación promedio es inferior a éstas. Es usualmente seguro operar una enfriadora continuamente a su temperatura máxima de diseño, o incluso a temperaturas más altas, pero la vida del motor puede reducirse [Placco 2010].

En la norma cubana [NC 45-6 de 1999] se establece que en los hoteles con sistemas de climatización centralizados todo-agua o agua helada como suelen llamarse, se debe implementar la recuperación de calor como requisito que permite utilizar el calor de la etapa de condensación de las unidades enfriadoras. Este calor se utiliza en el calentamiento del agua sanitaria, la cual puede usarse no solo por los clientes, sino para otros usos tales como la cocción de alimentos, en lavanderías, etc.

Los parámetros de la condensación varían en el tiempo, esto depende en primer lugar de las condiciones técnicas de los condensadores y de la temperatura ambiente como parámetro fundamental del medio de enfriamiento. En Cuba predomina el turismo de sol y playa, esto obliga a que los hoteles se ubiquen en las cercanías del mar. El ambiente agresivo del mar contribuye al deterioro sobre todo de los condensadores de las enfriadoras.

La norma cubana [NC 220-3-2002] complementa lo planteado por la [NC 45-6-1999] referido a la recuperación de calor cuando expresa: "...se requiere la recuperación de calor en los equipos acondicionadores de aire mayores de 35 kW (10 Toneladas de Refrigeración) de capacidad frigorífica o compresores mayores de 11 kW, para edificios con servicio de agua caliente con un rango de entrada mayor de 22 kW (combustible

fósil) o 12 kW de potencia eléctrica, a no ser que se demuestre que el sistema no resulta efectivo económicamente por encima de su vida útil...”

1.2 Métodos de producción de agua caliente sanitaria.

Los sistemas de producción de (ACS) se dividen en tres grupos, [Finalet, 2016]:

1. 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.
2. 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.
3. 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, [Alwin, 2012]:

- 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 diesel: Consiste en el calentamiento del agua mediante una caldera que consume diesel.

1.3 Sistemas de apoyo en la producción de ACS más empleados en instalaciones hoteleras.

Los sistemas de producción de ACS están muy extendidos en la sociedad moderna donde la disponibilidad de agua caliente es considerada un requisito de confort imprescindible. Uno de los sectores que más demanda este servicio es el sector hotelero, donde las necesidades de agua caliente sanitaria representan una parte importante del consumo energético. Estas necesidades varían sensiblemente dependiendo de la categoría del hotel

y nivel de ocupación, alcanzando valores de hasta un (15-25) % del consumo total de energía del mismo, [Valdivia 2015].

La producción de ACS puede lograrse a través de diferentes tecnologías. Una parte significativa es producida por calderas de agua caliente, aunque en la mayoría de las instalaciones hoteleras que poseen sistemas de climatización centralizada se obtiene a partir del aprovechamiento del calor de condensación residual, según lo establecido por la norma NC 45-6:1999.

En estas instalaciones, la disponibilidad de calor para la recuperación es variable y, en ciertas condiciones de operación, resulta insuficiente para satisfacer la demanda de ACS, lo que conlleva a la necesidad de un calentamiento auxiliar y por tanto un consumo adicional de energía. Los portadores energéticos que por lo general se utilizan para ello son: gas licuado del petróleo, diesel, fuel oil y energía eléctrica [Valdivia 2015].

1.4 La energía solar como fuente de energía renovable.

Anualmente el astro rey derrama sobre el planeta cuatro mil veces más energía de la que hoy se consume. El sol es la fuente de vida del planeta y el origen de las fuentes de energías que la humanidad ha empleado en las distintas etapas de su historia, [Martínez, 2015].

La utilización de la energía solar, el viento, las corrientes de los ríos, entre otras, más que una alternativa, son la única solución posible a las exigencias energéticas del país y del mundo de cara al desarrollo sostenible. Cada metro cuadrado del territorio recibe diariamente, como promedio anual, 5 kWh de energía solar, equivalente a la energía química acumulada en un litro de petróleo. Con el aprovechamiento tanto directo como indirecto de la energía solar se pueden satisfacer todas nuestras necesidades energéticas, [Bravo 2015].

A escala universal, en la última década la inversión en energía solar ha crecido en un 905 por ciento, [Cubadebate, 2017], lo que ha tenido su impacto en el mercado petrolero, reduciendo los precios y los montos de transacción. Ello ha provocado que, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Energía, mientras que la generación

de electricidad mediante carbón y petróleo ha caído en más de un 30 y un 75 por ciento, respectivamente, la solar ha aumentado a más de un cuatro mil por ciento.[Cubadebate 2017]

1.4.1 Energía solar térmica. Colectores solares.

Como se mencionó anteriormente, sobre cada metro cuadrado de suelo cubano inciden 5 kWh diarios. El consumo de agua caliente de una vivienda cubana es de (80-100) lts 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 [Moreno 2015].

En China y Taiwán se concentra la producción de calentadores solares, con 80% de la producción mundial. Le siguen Europa, India, Japón y Estados Unidos. El empleo del agua caliente solar en instalaciones industriales y turísticas traería ahorros apreciables de electricidad y otros portadores no renovables de energía. En 2008 se puso en funcionamiento una fábrica de calentadores solares de tubos al vacío en la ciudad de Morón, en la cual se producirán más adelante calentadores solares planos y de tipo compacto. Es indudable que el calentamiento solar presenta ventajas económicas que lo hacen una tecnología viable para las condiciones cubanas, [Moreno 2015].

Los colectores solares son dispositivos utilizados para coleccionar, absorber y transferir energía solar a un fluido, que puede ser agua o aire. La energía solar, puede ser utilizada para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas. Desde su invención se han desarrollado diversas formas de colectores solares térmicos, que van de los colectores planos a los colectores parabólicos y helióstatos, [Placco 2010].

Un colector necesita ser seleccionado cuidadosamente de acuerdo a la temperatura del fluido que debe proporcionar, para la aplicación prevista y de acuerdo al clima del lugar en el cuál va a estar emplazado. Un colector diseñado para aplicaciones en las que se

necesitan fluidos a alta temperatura no resulta más eficiente cuando operan a bajas temperaturas.

En función de lo planteado anteriormente los colectores se clasifican en:

- ❖ Colectores de placa plana con cubierta
- ❖ Colectores concentradores parabólicos compuestos
- ❖ Colectores de placa plana sin cubierta
- ❖ Colectores de tubos de vacío

Colectores de placa plana con cubierta: Los colectores de placa plana son los más usados para calentar agua en los hogares y para los sistemas de calefacción. Un colector de placa plana se compone básicamente de una caja metálica con aislamiento con una cubierta de vidrio o de plástico (la ventana) y de una placa absorbidora de color oscuro. La radiación solar es absorbida por la placa que está construida de un material que transfiere rápidamente el calor a un fluido que circula a través de tubos en el colector (Anexo I, figura 1.1).

Este tipo de colectores, calientan el fluido que circula a una temperatura considerablemente inferior a la del punto de ebullición del agua y son los más adecuados para aplicaciones donde la demanda de temperatura es de $(30-70)^{\circ}\text{C}$. Son los más utilizados para calentar agua en sistemas domésticos y comerciales y en piscinas cubiertas. (Anexo I, figura 1.2).

Colectores concentradores parabólicos compuestos (CPC) estacionarios: Su funcionamiento e instalación es exactamente la misma que los colectores de placa plana convencionales. Estos colectores poseen un sistema de concentración de radiación solar tipo Concentradores Parabólicos Compuestos, para obtener temperaturas más elevadas y un mayor rendimiento. Estas características se deben a que el área de pérdidas es menor al área de colección logrando una minimización de las pérdidas y alcanzando un rendimiento cercano al 50% (Anexo I, figura 1.3).

Colectores de placa sin cubierta: Este tipo de colectores, sencillos y baratos, consisten en un absorbedor pero carecen de la cubierta transparente. No incluyen ningún aislamiento adicional, de manera que la ganancia de temperatura queda limitada a unos 20°C sobre la del aire del ambiente, son los más adecuados para aplicaciones de baja temperatura. Actualmente, son utilizados para la calefacción de piscinas al aire libre, pero existen otros mercados, incluidos los de calefacción de temporada en las piscinas cubiertas, calefacción de agua para lavar coches, y calefacción del agua utilizada en piscicultura. También existe un mercado potencial de estos colectores para calentamiento de agua en lugares remotos, como campamentos de verano.

Los absorbedores de estos colectores son generalmente de plástico negro tratado para resistir la luz ultravioleta, o están contruidos por tubos de metal o plástico recubiertos de pigmentos ennegrecidos por los que circula el agua (Anexo I, Figura 1.4). Dado que estos colectores no tienen cubierta, una gran parte de la energía solar absorbida se pierde principalmente por convección.

Colectores de tubos de vacío: Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados) cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calo-portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de (77°C a 177)°C. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura.

Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día. Estos colectores son hasta unos 30% más eficientes que los colectores planos, pero son bastante caros, por unidad de superficie suelen costar aproximadamente el doble que un colector de placa plana. En los últimos años la China ha perfeccionado la construcción de este tipo de colectores a precios competitivos con los colectores planos y ha entrado a competir con éxito en el mercado mundial.

Existen dos tipos de colectores tubulares de vacío, según sea el método empleado para el intercambio de calor entre la placa y el fluido caloportador:

- De flujo directo.
- Con tubo de calor (*Heat pipe*)

De flujo directo: Estos consisten en un grupo de tubos de vidrio dentro de cada uno de los cuales hay una aleta de aluminio absorbedor, conectada a un tubo de metal (normalmente cobre) o tubo de vidrio. La aleta posee un recubrimiento selectivo que absorbe la radiación solar, e inhibe la pérdida de calor radiactivo. El fluido de transferencia de calor es el agua y se distribuye a través de las tuberías, una para la entrada del líquido y el otro para la salida de fluidos (Anexo I, Figura 1.5). Los colectores de tubos de vacío de corriente directa vienen en varias variedades de acuerdo al tipo de tubería utilizada (Anexo I, figura 1.6).

Con tubo de calor (*heat pipe*): En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido vaporizante que no puede salir del interior del tubo y que funciona como calefactor. Este fluido se evapora por efecto de la radiación solar, asciende hasta el extremo superior del tubo que se encuentra a temperatura inferior, esto hace que el vapor se condense, ceda su energía y retorne a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad a la parte inferior del tubo, donde al recibir más radiación, vuelve a evaporarse y comienza un nuevo ciclo (Anexo I, figura 1.7).

Los tubos de calor son considerados como los “superconductores” del calor, debido a su muy baja capacidad calorífica y a su excepcional conductividad (miles de veces superior a la del mejor conductor sólido del mismo tamaño). El uso del tubo de calor está muy extendido en la industria y, basándose en este principio de funcionamiento se fabrican los actuales colectores de vacío con tubo de calor (Anexo I, figura 1.9).

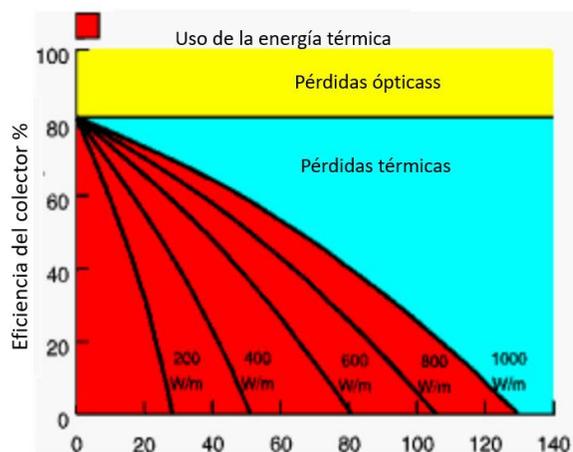
1.5 La eficiencia energética.

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, [Montelier, 2008].

1.5.1 La eficiencia de un colector solar.

La eficiencia de un colector solar se define como el cociente de la energía térmica útil frente a la energía solar total recibida. Además de las pérdidas térmicas existen las pérdidas ópticas. El factor de conversión o eficiencia óptica indica que porcentaje de los rayos solares que penetran en la cubierta transparente del colector (la transmisión) es absorbido. Básicamente, es el producto de la tasa de transmisión de la cubierta y la tasa de absorción del absorbedor (Figura 1.10)[Placco 2010].



Fuente(Cubasolar), Figura 1.10 Eficiencia de colectores solares

1.5.2 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[Montelier, 2008].

1.6 Prevención de la Legionella.

Las instalaciones de ACS, si no son convenientemente diseñadas y mantenidas, pueden convertirse en focos amplificadores de la bacteria Legionella, causante de la legionelosis. Desde un punto de vista estrictamente técnico, cualquier instalación de ACS, podría suponer un cierto riesgo de transmisión de Legionelosis, basada fundamentalmente en el mayor tamaño y la complejidad de las instalaciones que incluyen circuito de retorno. Las instalaciones de ACS con acumulador ofrecen un volumen de agua, que en función de la temperatura de almacenamiento, podrían crear un entorno adecuado para el desarrollo de Legionella. Por ello, es importante garantizar que la temperatura del agua en los acumuladores no descienda de 60°C. Esta enfermedad infecciosa prospera en el agua a temperaturas entre 25 °C a 45 °C, y un óptimo de 35 °C. La infección puede manifestarse de dos formas distintas: La fiebre de Pontiac y la enfermedad del legionario. El soporte férrico influye en su crecimiento, por lo que se consigue mediante el hierro de las tuberías de agua y es muy peligrosa en las alcachofas de las duchas, por eso es mejor que sean de plástico[UNE-100-030, 1994].

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo tiene como objetivo exponer la metodología de cálculo del dimensionamiento del campo de colectores solares que funcionara como apoyo a la recuperación de calor partiendo de la potencia térmica demandada, así como proponer el cambio del sistema de tubería y aislamiento de la instalación actual de agua caliente sanitaria.

2.1 Descripción de la instalación.

El sistema de ACS caso de estudio, correspondiente al Hotel Arenas Blancas, del polo turístico de Varadero. Está conformado por tres 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 750 gal/h 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 m³ cada uno para un total de 32 m³, 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 $G=8.2\text{m}^3/\text{h}$ y una altura de descarga $H=15\text{m}$, y el secundario con el mismo diseño y bombas de $G=7.56\text{m}^3/\text{h}$ y $H=8\text{m}$.

2.2 Recuperación de calor cuando se utiliza refrigerante R-134A.

Cuando se comienza a desarrollar la industria turística en el polo de Varadero, aparejadamente también lo fue el sector de la climatización en el país, y fue de uso

obligatorio el sistema centralizado de aire acondicionado en las instalaciones hoteleras. En un principio las enfriadoras de agua utilizaban como sustancia de trabajo el refrigerante R-22, el cual posee muy buenas propiedades tanto físicas como termodinámicas y lo hacían una sustancia preferida y muy conocida en el sector. No obstante, esta situación fue cambiando progresivamente debido, aunque bajo, a su potencial de agotamiento de la capa de ozono y su alto potencial de calentamiento global, lo que produjo un cambio y la introducción de un nuevo refrigerante conocido como R-134A.

El uso de esta sustancia en las enfriadoras de agua provoca una sensible disminución del calor de recuperación ya que la temperatura de descarga, en condiciones reales de funcionamiento apenas rebasa los 70°C para cuando el compresor trabaja al 100 % de su capacidad, para un 75 % de capacidad, la temperatura de descarga desciende hasta un valor cercano a los 60°C, por lo que lograr la temperatura de 65°C solo podrá ser posible con el sistema de apoyo al circuito primario de agua caliente. No obstante los fabricantes en sus catálogos de productos [Climaveneta 2009] muestran una potencia calorífica o capacidad de recuperación de calor para cuando la enfriadora trabaja a su máxima capacidad, y si tenemos en consideración que este tipo de equipamiento, según la [AHRI 2016], funciona al 100% de su capacidad solo el 1 % del total del tiempo trabajado se puede deducir, entonces, los bajos niveles del calor de recuperación para estas temperaturas. No obstante, existen enfriadoras de agua que utilizan otro tipo de refrigerante en su operación como es: R-407C y R-410A, el primero de éste con temperaturas y presiones de trabajo muy similares al R-22 y el segundo con temperaturas similar a su predecesor pero con presiones de trabajo mucho más elevadas.

Las enfriadoras que se encuentran instaladas actualmente en esta instalación hotelera funcionan con R-407C, sin embargo, teniendo en consideración la opinión del departamento de mantenimiento y del grupo de inversiones Gran Caribe del hotel, estas enfriadoras serán sustituidas el año próximo por otras de capacidad frigorífica similares a las instaladas actualmente, se decidió realizar el estudio teniendo en consideración el cambio de refrigerante.

2.3 Descripción de la metodología a utilizar para el cálculo de la demanda de agua caliente.

Para el cálculo de la demanda de ACS lo ideal serían metrocontadores que registraran la cantidad de litros consumidos por habitaciones para así obtener un valor exacto de la misma, al no contar con esta tecnología se procede al método de cálculo expuestos en la bibliografía, [ATECYR 2010] e introducido al software Excel por [Santamaría 2006], que basa su resultado en la existencia de muebles sanitarios y su consumo:

Se fijan como valores constantes la temperatura de entrada del agua en la red como 27°C, y como horario de demanda pico entre las 6:00 y las 10:00 pm, correspondiente a 4 hrs. La temperatura de referencia de 60 °C se corresponde con la de acumulación del ACS para prevención de la legionelosis y será la mínima habitual en los sistemas centralizados.

2.4 Método de cálculo de la demanda de ACS por muebles sanitarios.

Cálculo de la demanda por consumidor

$$D_{max} = \Sigma D_{mxapt} \cdot C_{apts} \quad (2.1)$$

Dónde:

D_{max} → Demanda máxima, en l/día.

D_{mxapt} → Demanda máxima por muebles sanitarios, en l/día.

C_{apts} → Cantidad de muebles sanitarios.

Tabla 2.1 Litros consumidos según tipo de mueble sanitario.

Cantidad de Muebles	Tipo de Muebles	Demanda por muebles l/día	Máxima demanda l/día
366	Duchas	284	103 944
366	Lavamanos privados	7,6	2781,6
6	Fregaderos de cocina	114	684
Factor de demanda		0,25	
Factor de almacenamiento		0,8	

Se tomó de la tabla 2.1 los valores de consumo y factores para el tipo de edificación y muebles, extraído de [IDAE 2010]. Litros de agua por mueble sanitario.

Cálculo de la demanda máxima de agua caliente en el pico.

$$D^{\max \text{ pico}} = D_{\max} * f_{\text{demandada}} \quad (2.2)$$

Donde:

$D^{\max \text{ pico}}$ → Demanda de ACS en el horario pico, en l/h

$f_{\text{demandada}}$ → factor de demanda

Cálculo de la capacidad de almacenamiento.

$$\text{Cap}_{\text{almacenaje}} = D^{\max \text{ pico}} * f_{\text{almacenaje}} \quad (2.3)$$

Donde:

$\text{Cap}_{\text{almacenaje}}$ → Capacidad de almacenaje, en lts

$f_{\text{almacenaje}}$ → Factor de almacenamiento

Cálculo de la dotación de agua por habitación.

$$\text{Dot} = \text{Cap}_{\text{almacenaje}} / \text{Duchas}_{\text{hab}} \quad (2.4)$$

Donde:

Dot → Dotación habitacional, en l/hab

$\text{Duchas}_{\text{hab}}$ → Duchas por habitaciones

Necesidad de calor para calentar el agua a habitaciones (circuito secundario).

$$Q_{\text{hab}} = (D^{\max \text{ pico}} \cdot (T_{\text{acum}} - T_{\text{entrada}}) \cdot 4.18) / (3600 \cdot T_{\text{pd}}) / 0.98 \quad (2.5)$$

Donde:

Q_{hab} → Calor necesario para calentar el agua en el circuito secundario, en kW

T_{acum} → Temperatura del agua en los tanques de acumulación, en °C

T_{entrada} → Temperatura del agua a la entrada del sistema, en °C

T_{pd} → Tiempo de duración del pico de la demanda, en s.

Potencia necesaria de producción de ACS (circuito primario).

$$Q_{\text{cp}} = Q_{\text{hab}} / \eta_{\text{int}} \quad (2.6)$$

Donde:

Q_{cp} → Calor necesario para el circuito primario, kW

η_{int} → Eficiencia del calentador, generalmente se toma valor 0,885, a fin de considerar las pérdidas de eficiencia por incrustaciones y otros factores.

Caudal de agua en el circuito secundario.

$$G_{\text{sec}} = Q_{\text{cons}} \cdot 3600 / (\rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_p \text{H}_2\text{O} \cdot \Delta t) \quad (2.7)$$

Δt → ($T_{\text{acumulacion}} - T_{\text{entrada}}$)

Caudal de agua en el circuito primario

$$G_{\text{prim}} = Q_{\text{cp}} \cdot 3600 / \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_p \text{H}_2\text{O} \cdot \Delta t \quad (2.8)$$

Cálculo del diámetro de la tubería del circuito secundario

$$\Phi_{\text{sec}} = 29 \cdot \sqrt{G_{\text{sec}} \cdot 1000 / 3600} \quad (2.9)$$

Cálculo del diámetro de tubería del circuito primario.

$$\Phi_{\text{prim}} = 29 \cdot \sqrt{G_{\text{prim}} \cdot 1000 / 3600} \quad (2.10)$$

Tiempo de calentamiento de la acumulación.

$$T_{\text{acumulación}} = (V_{\text{acum}} \cdot C_p \text{H}_2\text{O} \cdot (T_{\text{final}} - T_{\text{entrada}}) / 3600) / (f_{\text{almacenaje}} \cdot Q_{\text{cp}} \cdot \eta_{\text{int}}) \quad (2.11)$$

Donde:

T_{final} → Temperatura del agua en los tanques de acumulación

T_{entrada} → Temperatura del agua a la entrada del sistema secundario, en °C.

Se considera que toda la acumulación se descarga totalmente hasta la temperatura del agua de reposición y que la reposición de agua estará a la temperatura del agua de la cisterna.

Cálculo del diámetro de tubería del cabezal de entrega a consumidores.

$$\Phi_{\text{consu}} = 29 \cdot \sqrt{MD_{\text{pico}}/3600} \quad (2.12)$$

2.5 Estudio climatológico de la zona.

Para el estudio climatológico de la zona se precisó obtener los resultados más exactos por lo que se consultan diferentes fuentes, [SWERA& CUBASOLAR], con el fin de obtener los valores más fiables posibles. En Anexo II, Tabla 1 se reflejan los principales valores de radiación solar media en el transcurso del año, además de los factores correctivos, las temperaturas medias mensuales y las horas de sol aprovechables.

2.5.1 Elección de la superficie de captación

Para el dimensionado de las instalaciones de energía solar térmica se sugiere el método *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. Su aplicación sistemática consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calentamiento solar y utilizar la simulación de funcionamiento mediante ordenador, para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema

para un dilatado período de tiempo, [Bruno, 2019]. Para su realización se desarrolló una Hoja de cálculo de Excel con el fin de optimizar las operaciones.

La ecuación utilizada en este método puede apreciarse en la siguiente fórmula:

$$f = 1,029D_1 - 0.065D_2 - 0.245D_1^2 + 0.0018D_2^2 + 0.0215D_1^3 \quad (2.13)$$

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

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS. o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro D_1 .
4. Cálculo del parámetro D_2 .
5. Determinación de la gráfica f .
6. Valoración de la cobertura solar mensual.
7. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

Las cargas caloríficas determinan la cantidad de calor necesaria mensual para calentar el agua destinada al consumo doméstico, calculándose mediante la siguiente expresión:

$$Q = C_e \cdot C \cdot N(t_{ac} - t_r) \quad (2.14)$$

Donde:

Q_a → Carga calorífica mensual de calentamiento de ACS (J/mes).

C_e → Calor específico. Para agua: 4187 J/ (kg°C).

C → Consumo diario de ACS (l/día).

t_{ac} → Temperatura del agua caliente de acumulación (°C).

t_r → Temperatura del agua de red (°C).

N → Número de días del mes.

El parámetro D_1 expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}} \quad (2.15)$$

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

$$E_a = S_c \cdot F_r'(\tau\alpha) \cdot R_1 \cdot N \quad (2.16)$$

Donde:

S_c → Superficie del captador (m²)

R_1 → Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kJ/m²)

N → Número de días del mes

$F_r'(\tau\alpha)$ = Factor adimensional, que viene dado por la siguiente expresión:

$$F_r'(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n [\tau\alpha / (\tau\alpha)_n] (F_r' / F_r) \quad (2.17)$$

Donde:

$F_r(\tau\alpha)_n$ = Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

$(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$ → Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).

F_r' / F_r → Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}} \quad (2.18)$$

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

$$E_p = S_c \cdot F_r' U_L (100 - t_a) \nabla t \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (2.19)$$

Donde:

$S_c \rightarrow$ Superficie del captador (m^2)

$$F_r' U_L = F_r \cdot U_L (F_r' / F_r) \quad (2.20)$$

Donde:

$F_r \rightarrow$ Pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador)

$t_a \rightarrow$ Temperatura media mensual del ambiente

$\nabla t \rightarrow$ Período de tiempo considerado en segundos (s)

$K_1 \rightarrow$ Factor de corrección por almacenamiento que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$k_1 \rightarrow [\text{kg acumulación}/(75S_c)]^{-0,25} \quad (2.21)$$

$$37.5 < (\text{kg acumulación})/(m^2 \text{captador}) < 300$$

$K_2 =$ Factor de corrección, para ACS., que relaciona la temperatura mínima de ACS la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = 11.6 + 1.18t_{ac} + 3.86t_r - 2.32t_a/(100 - t_a) \quad (2.22)$$

Donde:

$t_{ac} \rightarrow$ Temperatura mínima del ACS, en $^{\circ}\text{C}$

$t_r \rightarrow$ Temperatura del agua de red, en $^{\circ}\text{C}$.

$t_a \rightarrow$ Temperatura media mensual del ambiente, en $^{\circ}\text{C}$.

Una vez obtenido D_1 y D_2 , aplicando la ecuación inicial 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 , tiene el valor:

$$Q_u = f Q_a \quad (2.23)$$

Donde:

Q_a → Carga calorífica mensual de ACS.

Mediante 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 cargas caloríficas, o necesidades mensuales de calor, determinará la cobertura anual del sistema:

$$\text{Cobertura solar anual} = \sum_{u=1}^{u=12} Q_u \text{ necesaria} / \sum_{a=1}^{a=12} Q_a \text{ necesaria} \quad (2.24)$$

2.6 Dimensionamiento del campo de colectores solares.

Para el diseño del campo solar se utiliza primeramente la demanda energética de la instalación y el área disponible para la colocación de los colectores solares. Para la selección de los colectores solares se realiza un trabajo de investigación en diferentes instalaciones del país y la localidad, con el fin de obtener variantes en cuanto a eficiencia, precio y disponibilidad en el mercado, se escoge el colector del tipo tubo de vacío de la marca *Viessmann* por su alta eficiencia, teniendo como propuestas: *Vitosol 200-TM* y *Vitosol 300-TM*, seleccionando el primero ya que presenta la posibilidad de orientar sus tubos en un ángulo de +/- 45°.



Figura 2.1 Foto de colector Vitosol 200-TM en cubierta

Descripción del producto seleccionado.

En todos los tubos de vacío se encuentra integrado un absorbedor de metal con recubrimiento altamente selectivo. El absorbedor de metal garantiza una elevada absorción de la radiación solar y una reducida emisión de radiación térmica. En el absorbedor se ha instalado un tubo de calor lleno de líquido de evaporación. El tubo de calor está conectado al condensador. Este se introduce en un intercambiador de calor de cobre. Se trata de la denominada “unión seca”, que permite sustituir tubos de vacío incluso cuando la instalación esté llena y bajo presión. El absorbedor transmite el calor al tubo de calor. De este modo, el líquido se evapora. El vapor asciende al condensador. A través del intercambiador de calor con colector de cobre, en el que se encuentra el condensador, el calor se transmite al medio portador de calor. Esto provoca la condensación del vapor. Los condensados vuelven a bajar al tubo de calor y el proceso se repite. Para garantizar la recirculación del líquido de evaporación en el intercambiador de calor, el ángulo de inclinación debe ser superior a cero. Este ángulo mínimo entre el condensador y el final del tubo de calor, lo proporcionan las piezas de montaje y no es superior a 3°. Girando axialmente los tubos de vacío, los absorbedores se pueden orientar de forma óptima hacia el sol. Los tubos de vacío se pueden girar 45° para no proyectar sombra sobre las superficies de absorción. Se pueden ensamblar hasta 20 m² de superficie de absorción en una batería de colectores. Para este fin se suministran tubos de unión flexibles y termoaislantes, hermetizados con juntas tóricas. Un juego de conexión con uniones por anillos de presión permite conectar de forma sencilla la batería de colectores a las tuberías del circuito de energía solar. El juego de conexión está disponible con o sin vaina de inmersión. La sonda de temperatura del colector se monta en la vaina de inmersión del juego de conexión, tabla 2.2. Los colectores también pueden utilizarse en zonas cercanas a la costa (Anexo II, figura 2.2), [Viessmann, 2017].

Tabla 2.2 Datos técnicos del colector Vitosol 200-TM

Modelo SPEA		1,63 m ²	3,26 m ²
Número de tubos		9	18
Superficie bruta (dato necesario a la hora de solicitar subvenciones)	m ²	2,69	5,3
Superficie de absorción	m ²	1,63	3,26
Dimensiones			
Anchura a		1173	2343
Anchura	mm	1194	2364
Altura	mm	2244	2244
Profundidad	mm	160	160
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie de apertura:			
– Rendimiento óptico	%	73,9	72,3
– Coeficiente de pérdida de calor k ₁	W/(m ² · K)	1,74	1,554
– Coeficiente de pérdida de calor k ₂	W/(m ² · K ²)	0,004	0,006
Los siguientes valores hacen referencia a la superficie total:			
– Rendimiento óptico	%	48,1	47,2
– Coeficiente de pérdida de calor k ₁	W/(m ² · K)	1,188	1,014
– Coeficiente de pérdida de calor k ₂	W/(m ² · K ²)	0,003	0,004
Capacidad térmica	kJ/(m ² · K)	3,53	3,58
Peso	kg	64	129
Volumen de líquido (medio portador de calor)	Litros	0,85	1,72
Presión de servicio admisible	bar/MPa	6/0,6	6/0,6
Temperatura máx. de inactividad	°C	190	190
Capacidad de producción de vapor	W/m ²	60	60
Conexión	Ø mm	22	22

Cálculo del área de captación del colector.

$$A_{cap} = Q / (H_p \cdot \eta_g) \quad (2.25)$$

Donde:

Q → Demanda energética, en kW/día

A_{cap} → Área de captación, m²

H_p → Radiación solar de los meses más desfavorables, en kW/m²

η_g → Eficiencia global diaria del sistema, en %

Cálculo del número de colectores necesarios.

$$N_c = (A_{cap} \cdot FS) / A_c \quad (2.26)$$

Donde:

N_c → Número de colectores.

FS → Factor de seguridad o proyección de demanda. (1-1,5).

A_c → Área de un colector, en m^2

2.7 Descripción del sistema propuesto.

Una vez conocido el número de colectores solares, y por tanto, el área de captación necesaria para nuestra instalación, se procede a situar de forma más concreta los elementos de la misma sobre el área propuesta. La disposición de los captadores se puede realizar de la siguiente manera:

- En serie.
- En paralelo.
- En serie-paralelo.

La conexión en serie hace que el fluido atraviese sucesivamente los captadores así acoplados. Como el rendimiento energético de un captador solar disminuye cuando aumenta la temperatura de entrada, la conexión en serie de dos captadores o de dos filas de captadores hace que el rendimiento de la instalación disminuya. La disposición más adecuada es la de captadores conectados en paralelo, cuyas filas se conectan también en paralelo, pero razones de espacio y economía pueden imposibilitar a veces esta solución. Hay que tener en cuenta que las instalaciones con conexiones de sus captadores en paralelo requieren mayor caudal de fluido y secciones mayores de tuberías, por lo que es una instalación más costosa [Pérez & González 2008].

La sección [HE4, 2013] del Documento Básico de Ahorro de Energía establece las condiciones que deben cumplir las conexiones de los captadores:

- Se debe presentar especial atención a la estanquidad y durabilidad de las conexiones del captador.

- Los captadores se pondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie, o en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.
- Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante.
- La conexión entre captadores y entre filas se realizará de manera que el circuito resulte equilibrado hidráulicamente recomendándose el retorno invertido frente a la instalación de válvulas de equilibrado.

2.8 Propuesta de cambio de tuberías del circuito primario.

El circuito primario de la instalación presenta un estado crítico debido a agentes externos como el sol y el salitre marino, además de otro tipo de consecuencias como la falta de aislamiento en casi todo el sistema, falta o mal estado de componentes como válvulas, uniones y codos. Por lo que se propone un cambio total de la red hidráulica del circuito con el fin de obtener la mayor eficiencia posible del sistema que se pretende instalar, además reanudar el sistema de recuperación de calor en las enfriadoras que también se encuentra desconectado.

Los materiales más utilizados en tuberías de ACS son el cobre, el acero galvanizado y los ahora más empleados en la industria moderna, plásticos, aunque históricamente se ha recomendado utilizar tuberías de conexión metálicas debido a las altas temperaturas y presiones que se alcanzan en el circuito. La tecnología ha sido capaz de desarrollar materiales plásticos de igual e incluso más resistencia en cuanto a presión y temperatura que los aceros. Con el objetivo de evitar pérdidas térmicas, la longitud de las tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible y evitar al máximo los codos y pérdidas de carga en general.

2.7 Selección del aislamiento térmico.

Los materiales utilizados para el aislamiento de estas tuberías deben superar correctamente cualquier tipo de incidencia climatológica, ya que, en muchos casos se encuentran situadas en tramos exteriores. Las pérdidas de calor en tuberías y conductos de ida y retorno a los colectores pueden ser significativas.

2.8 Sistema de apoyo.

Para prevenir las posibles faltas derivadas de la insuficiente insolación, en determinadas horas o días, las instalaciones de energía solar térmica cuentan con un sistema de apoyo basado en energías convencionales, eléctricas, caldera de gas o gasóleo.

Adicionalmente se dispone de estos equipos de energía convencional auxiliar que se utiliza para complementar la contribución solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o demanda superior a la prevista. El circuito de apoyo será el responsable de calentar el agua proveniente del sistema auxiliar hasta 60°C cuando no llegue a esta temperatura. El agua llega del circuito auxiliar. Si llega a menos de 60°C, entonces pasa a través de la caldera y después entra en el acumulador de ACS. Si el agua ya llega a la temperatura de 60°C, toma un camino alternativo sin pasar por la caldera y entra directamente en el depósito de ACS. En el caso que ocupa, se encuentra instalada una caldera de GLP, la cual es actualmente la encargada de satisfacer la demanda de ACS de toda la instalación, por lo cual se determina que cumple con los requisitos para ser la adecuada como sistema de apoyo para aquellos períodos en los que la energía solar suministrada sea insuficiente.

2.9 Propuesta de un plan de mantenimiento.

La implementación de este sistema de producción de ACS en el ya existente, deberá traer como consecuencia que se apliquen todas las medidas de mantenimiento, el control y monitorización, permite mantener los niveles óptimos de las temperaturas de los tanques de acumulación, asegurando la continuidad del servicio, el cumplimiento de las normas y

salvaguardar la instalación. Asimismo permite obtener un equilibrio entre el confort de los usuarios y el coste energético.

2.10 Impacto ambiental y consumo de GLP para el calentamiento de agua.

El uso de los calentadores solares permite mejorar de forma significativa 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 GLP en este tipo de instalaciones, lo cual contribuye en conjunto al deterioro de la calidad del aire y la emisión de gases de efecto invernadero, con graves repercusiones locales, regionales y aún globales.

El calentador tiene emplazado un metrocontador para registrar el consumo de GLP, lo que permite que se lleve una estadística exacta reflejando del consumo diario del mismo. En base a estos datos aportados por la instalación se realiza un estudio y se llega a los siguientes resultados:

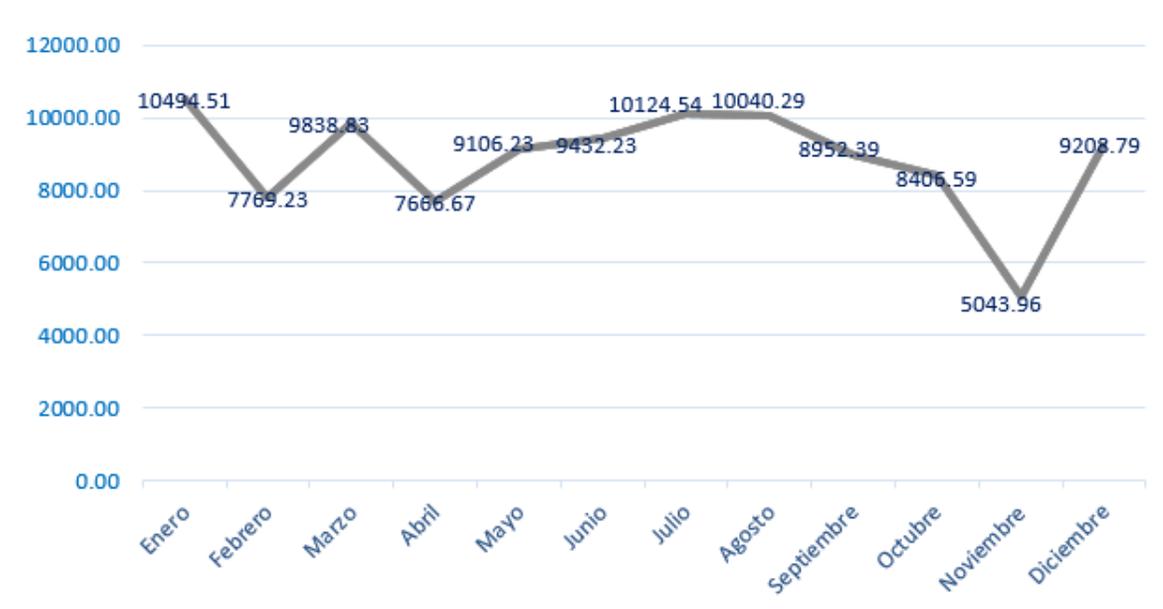


Figura 2.1 Gráfico de consumo mensual de GLP (2018)

En la figura anterior (Figura 2.1) se puede observar que el consumo mensual de gas se comporta de manera regular entre 7 500 y 10 500 litros de combustible, a excepción del

mes de noviembre en el cual ocurrió un incendio en la estación eléctrica y los días ocupados fueron solo 17, además se muestra que los meses de mayor consumo se corresponde a los de temporada invernal, diciembre-febrero, donde se hace mayor uso del agua caliente. El pasado año se produjo un gasto de 106 086 litros en la caldera, es decir, solo para la producción de agua caliente.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Análisis de resultados.

Una vez obtenidos los resultados de las metodologías de cálculos expuestas anteriormente, y las diferentes ecuaciones empleadas, se procede al análisis de los resultados obtenidos para la implementación del servicio en la instalación hotelera.

3.2 Análisis de las necesidades energéticas.

En este epígrafe se realiza mediante el empleo de un software, determinar la demanda de agua caliente sanitaria en la instalación con el fin de obtener la necesidad de calor necesaria. Para ello, fue necesario hacer un estudio del método de cálculo para obtener resultados precisos, lo que permite determinar incógnitas como el consumo, el pico de demanda máximo, y el período de recuperación del sistema de acumulación.

3.3 Análisis del estudio climatológico de la zona.

El objetivo de este estudio fue conocer la disponibilidad solar en la localidad. Los datos climatológicos que se utilizan son latitud, temperatura ambiente, radiación solar global media diaria sobre superficie horizontal, radiación solar directa y radiación solar difusa media diaria, para esto se realiza un análisis de la radiación solar media en los 12 meses del año, la cual fue afectada por varios factores como: factor de corrección H para calidad del aire, intensidad de la radiación en el día y el factor correctivo K dependiente de la latitud e inclinación del captador dando como resultado la radiación solar efectiva mostrada en la siguiente tabla.

Fuente (SWERA) Tabla 3.1 Radiación Solar mensual en Varadero.

Meses	Radiación solar media sobre superficie plana (kWh/m ² /día)	Radiación solar efectiva
Enero	4.11	4.52
Febrero	5.09	5.26
Marzo	6.1	5.85
Abril	7.03	6.15

Mayo	7.16	5.86
Junio	6.85	5.41
Julio	7.08	5.79
Agosto	6.74	5.96
Septiembre	5.96	5.83
Octubre	5.14	5.56
Noviembre	4.25	4.87
Diciembre	3.71	4.25

Se emplea el método *f-chart* en el cual se muestra el análisis de la instalación solar que aportará la energía necesaria para el funcionamiento del campo de colectores, permite conocer la demanda energética mensual, así como la energía que se aprovecha y se pierde durante el funcionamiento del campo solar, las cuales están dentro de los valores obtenidos por otros autores que emplean este método para predecir el funcionamiento de este tipo de instalación.

3.4 Análisis del dimensionamiento del campo de colectores.

Para el diseño del campo de colectores se realizó una búsqueda de los principales proveedores de colectores solares de tubo al vacío, y con los datos obtenidos en epígrafes anteriores se procede a la selección del mismo.

Se selecciona el colector del tipo tubo de vacío de la marca *Viessmann* del modelo *Vitosol 200-TM* ya que presenta la posibilidad de orientar sus tubos en un ángulo de +/- 45°. Este producto posee dos variantes del modelo seleccionado, con 9 o con 18 tubos, por lo que se procede a realizar una búsqueda del lugar idóneo para su instalación, resultando ser, la superficie del techo de la sala de máquinas (lugar donde se encuentra la caldera), al estar lo más cerca posible de los componentes del sistema como acumuladores, intercambiadores y bombas, y además de la enfriadoras. Dicha área cuenta con dos superficies de 660 m² para un total de 1 320 m² de superficie aprovechable, sin obstáculos intermedios, ni objetos contundentes que aporten sombra sobre los mismos, de forma que se cumple con la recomendación propuesta.

Para la determinación del área de captación, la cantidad de colectores y la superficie necesaria para la instalación se procede a la realización del cálculo lo cual arrojó los siguientes resultados:

Área de captación: 639 m²

Número de colectores: 196 unidades

Superficie necesaria: 1 039 m²

Como el área de captación resultó ser grande, se determina seleccionar la mayor variante de ese modelo, que cuenta con 18 tubos, representando 3,26 m² de superficie de captación y una superficie bruta de 5,3 m², al contar con dos áreas de 22x30 m, se decide optar por conexiones serie-paralelo de dichos captadores, atendiendo a las limitaciones que se establecen en el conexionado de los mismos, y como el fabricante de los colectores no establece ninguna limitante en cuanto a este tipo de disposición, se opta por distribuir los 196 colectores en dos ramas de 98 unidades en cada sección, y cada una a su vez está distribuida por dos grupos de 49 unidades, tal y como se muestra en la siguiente figura 3.1:

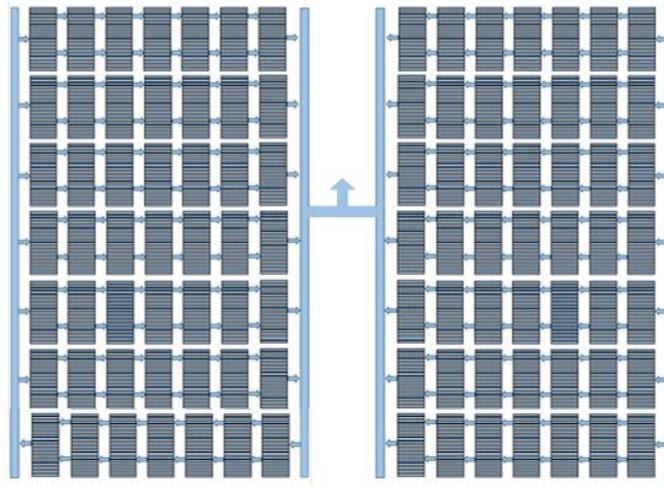
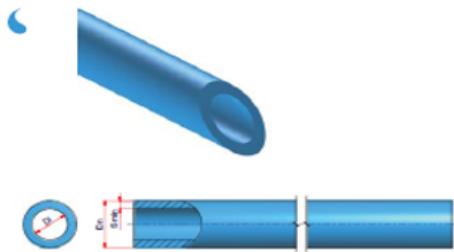


Figura 3.1 Diseño de la conexión de los colectores de una sección

3.5 Análisis de la selección de tuberías y aislantes térmicos.

En el caso de las tuberías, se recomienda realizar una sustitución capital del circuito primario, al encontrarse en estado crítico, para ello se estudian opciones fiables en cuanto a localidad y se determina por sus características seleccionar las tuberías de polipropileno *Random* (PP-R), de la marca *Niron*, empresa italiana que abastece a otros hoteles de las zona como el Meliá América e Iberostar Varadero. El PP-R, es un polímero (plástico), que debido a sus excelentes propiedades, lo convierten en la mejor alternativa para la distribución y suministro de agua potable a presión, tanto en el sector doméstico como industrial, también alimentario, ya que garantiza total atoxicidad para el ser humano [*Niron*, 2016].

Entre sus muchas cualidades destacan que no transmite olor ni sabor al agua, son resistentes a las condiciones de trabajo (presión y temperatura), la unión se realiza por termofusión, no precisa de conexiones mecánicas ni material de aporte y una de las ventajas principales es que no sufre corrosión, ni externa ni interna, ya que se encuentra ubicado en una zona prolífera a la corrosión por el aerosol marino. En el aspecto económico es importante destacar que cualquier tubería de polipropileno sin importar el proveedor que sea, será siempre mucho más económica frente a las galvanizadas y de cobre, este modelo seleccionado lo pone en evidencia. En la figura 3.2, se observa:



NIRON
BLUE PPR

TUBO NIRON MONOSTRATO IN PPR
Struttura del tubo: Tubo monostrato • Materiale: PPR • Colore: Azzurro
Norme: UNI EN ISO 15874 - DIN 8077 - DIN 8078 - CSA B 137.11 - ASTM F 2389 - UNI EN ISO 15494 - ISO 4065
Gamma: ø16 e da ø40 a ø125mm • Imballo: Lunghezza barra 4m

NIRON FULL PPR PIPE
Pipe structure: Monolayer pipe • Material: PPR • Colour: Blue
Standards: UNI EN ISO 15874 - DIN 8077 - DIN 8078 - CSA B 137.11 - ASTM F 2389 - UNI EN ISO 15494 - ISO 4065
Range: ø16 and from ø40 to ø125mm • Packaging: Bar length 4m

Applicazioni/Applications:



SDR 6 - S 2,5 - PN 20

Codice Code	Ø	Imb Pack	Q.ta / Q.ty Pallet	kg/m	l/m	Dn	S min	Di	€/m
03TNIRR16	16	100	4.600	0,11	0,09	16	2,7	10,60	1,54
03TNIRR40	40	40	800	0,66	0,56	40	6,7	26,60	7,95
03TNIRR50	50	20	560	1,03	0,87	50	8,4	33,20	10,08
03TNIRR63	63	16	352	1,62	1,38	63	10,5	42,00	16,22
03TNIRR75	75	12	240	2,29	1,96	75	12,5	50,00	33,04
03TNIRR90	90	8	160	3,30	2,83	90	15,0	60,00	47,94
03TNIRR110	110	8	112	4,92	4,21	110	18,4	73,20	70,99
03TNIRR125	125	4	80	6,30	5,46	125	20,8	83,40	90,98

Fuente (Catálogo técnico) Figura 3.2 Catálogo de tuberías PP-R Niron

Para la selección del aislante se escoge el proveedor *Armaflex*, conocido en nuestro país y unos de los principales en la zona de Varadero, ya que cuenta con un alto nivel de confiabilidad entre sus clientes y una gran calidad de producto.

Para la determinación del espesor del mismo se emplea el catálogo del fabricante que se apoya del reglamento [RITE 2013] “Espesores mínimos de aislamiento de tuberías y accesorios que transportan fluidos térmicos”, Figura 3.3, en el que muestra cómo seleccionar los espesores a través de fluidos que discurren en exterior o interior de edificios, y a través del cual se determina que corresponde 40 mm.

FLUIDOS QUE DISCURREN POR EL EXTERIOR DE EDIFICIOS

Diámetro exterior tubería / mm	De -10 a 0 °C	De 0 a 10 °C	Más de 10 °C	De 40 a 60 °C	De 60 a 100 °C	De 100 a 180 °C
D ≤ 35	50	45	40	35	35	40
35 < D ≤ 60	60	50	40	40	40	50

Figura 3.3 Espesores mínimos, exterior de edificios.

La cantidad de material necesario tanto para las tuberías como para el aislante es la misma, para su obtención se realizan mediciones en la propia instalación a pesar de contar con los planos de la misma, y se conoce que la distancia de tuberías es de 20 m, al ser ida y retorno y contar con tres enfriadoras, se determina que es 100m lo que se necesitan.

Ya conocido el espesor mínimo del aislamiento y el diámetro de las tubería, se determinan los precios de cada uno, los cuales son, 3.71, (Figura 3.4) y 8.60 cuc, respectivamente, según la tasa de cambio del BFI.

Ø ext máx. de tubería [mm]	ESPESOR DE AISLAMIENTO							
	9,0 MM				10,0 MM			
	Espesor [mm]	Referencia	m/cartón	€/m	Espesor [mm]	Referencia	m/cartón	€/m
12					11,0	SH-10X012 •	180	1,28
15					11,0	SH-10X015 •	150	1,39
18					11,0	SH-10X018 •	130	1,59
20					11,0	SH-10X020 •	100	1,67
22					11,0	SH-10X022 •	100	1,73
25					11,0	SH-10X025 •	80	1,97
28					11,0	SH-10X028 •	80	2,22
32					10,0	SH-10X032 •	70	2,64
35					10,0	SH-10X035 •	70	2,95
40					10,0	SH-10X040 •	60	3,29
45					10,0	SH-10X045 •	60	3,50

3.7 Análisis del plan de mantenimiento.

Para que se realice un adecuado uso y explotación del sistema es necesario cumplir con los parámetros de mantenimiento establecidos para el funcionamiento de la instalación según recomienda el fabricante, con el fin de aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones complementarios de actuación:

- **Un plan de vigilancia**, que se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación.
- **Un plan de mantenimiento**, preventivo y correctivo. El plan de mantenimiento preventivo lo forman las operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener dentro

de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la misma. El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión cada seis meses para la instalación.

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

El mantenimiento correctivo se realiza como consecuencia de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de la instalación, en el plan de vigilancia o en el de mantenimiento preventivo.

3.8 Análisis económico y medioambiental.

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:

$$CTI = CI + CO \cdot \left[\frac{(1+i)^m - 1}{(1+i)^{m+1}} \right] \quad (3.1)$$

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.

$\left[\frac{(1+i)^m-1}{(1+i)^m \cdot i}\right]$ → 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:

$$CO=0.03 \cdot CO \quad (3.2)$$

El costo de la instalación también se puede subdividir en:

$$CI= C_{inv}+C_{mon} \quad (3.3)$$

Donde:

C_{inv} → Costo de la inversión, \$.

C_{mont} → 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:

$$D=0.10 \cdot CI \quad (3.4)$$

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 simple 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.

$$Tri = \frac{CTI}{[\text{Cobros} - \text{Pagos} \cdot (1 + Ib)] \cdot (1 - Isr)} \quad (3.3)$$

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:

$$VAN = \sum \frac{St.k}{(1+i)^k} \quad (3.5)$$

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.

$$0 = \sum \frac{St.k}{(1+TIR)^k} \quad (3.6)$$

Donde:

TIR → Tasa interna de retorno, en fracción.

Con la realización de este análisis se pudo determinar que el costo de la inversión representa un valor de 142 231,00 de cuc, y con ella el ahorro del portador energético es de 51 728,00 anuales, además se obtuvo que el período de recuperación de la inversión es

de 5.88 años, que aunque se pase un poco del horizonte propuesto de 5 años, sigue resultando ser una gran decisión. El Anexo II, Figuras 2.2, 2.3 y 2.4 muestran un resumen de los cálculos realizados para este análisis. Para la obtención de resultados se emplea Hoja de Cálculos Económicos.

3.8.1 Consumo de GLP, perjuicio económico y ambiental.

Actualmente el sistema de producción de agua caliente en la instalación, es a través del calentador de GLP, el cual aporta un consumo significativo, el pasado año se produjo un gasto de 106 086 litros en la caldera, es decir, solo para la producción de agua caliente.

Para el análisis del ahorro de consumo del GLP en relación con la instalación de los colectores solares, se realiza una estimación en función de las horas de trabajo del calentador, al no tener registrado dicho tiempo y ser un proceso de encendido automático, se prevé que trabajará solamente 8 h/día, en horario nocturno, aunque dejando una válvula de tres vías en caso de rotura o alta demanda. En este espacio de tiempo, al no poder trabajar los colectores por la ausencia de radiación solar, el calentador y los tanques de almacenamientos con el líquido acumulado de las anteriores horas del día realizarán la cobertura de este servicio.

Se obtuvo el gasto que reportaba este equipo basándose en el consumo de combustible y en el precio del litro del mismo, el cual varía de entre 0.4753 hasta 0.5897 lts/cuc, tomando como valor promedio 0.5325 lts/cuc. En el siguiente gráfico (Figura 2.2) se expone dicho consumo.



Figura 2.2 Gráfico de gasto mensual de GLP (2018).

Con los datos aportados se obtiene que el gasto diario promedio es de 301.86 lts y mensual de 8 840.36 lts, representando un costo de 160 cuc y 4 707.50 cuc respectivamente.

Al analizar las variables obtenidas, y conociendo que la densidad del GLP es de 0.56 kg/L y cuenta con un factor de emisión de 0.234Kg de CO₂ eq/kWh, se determina que con el empleo de los colectores hay un descuento de emisión de alrededor de los 104,6 Ton de CO₂eq anuales al ambiente, llegando a tener solamente 209,17 Ton de CO₂eq después de implementados dichos equipos, frente a los 313,75 Ton de CO₂eq sin implementar los mismos.

En la parte que corresponde a la inversión, para la puesta en marcha de las propuestas, se demuestra que los gastos iniciales son grandes en comparación con cualquier otro tipo de sistema, pero al ser una fuente de energía, ya solo por ser renovable se está ganando la no afectación al medio ambiente. También posee un período de amortiguamiento corto, ya que la vida útil de este tipo de componente sobrepasa los 10 años sin presentar algún tipo de rotura grave y 25 para cambio de componente.

CONCLUSIONES

1. Con la sustitución de las tuberías de hierro por *Niron* en el área expuesta al ambiente exterior, se impedirá la corrosión exterior del tubo otorgándole más fiabilidad al servicio.
2. Para satisfacer las necesidades de calentamiento del circuito primario de ACS se necesitan un total de 196 colectores solares Vitosol 200-TM, que representan una superficie de 1 039 m².
3. Con la instalación de los colectores solares el hotel descontará de su consumo anual 27 545 litros de GLP (15 425 kg), equivalente a 51 728 cuc, dejando de emitir al ambiente 104,58 Ton de CO₂eq.
4. Con el cambio de refrigerante la recuperación de calor se verá afectada debido a las bajas temperaturas de descarga del R-134A.
5. El tiempo de recuperación simple de la inversión será de 5,88 años

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.
4. Realizar un estudio para precalentar el agua de la red antes de mezclarse con el agua de los tanques de acumulación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (AHRI) (2016). Performance Rating of Water-chilling and Heat Pump Water-heating Packages Using the Vapor Compression Cycle, Estados Unidos
- (ATECYR) (2010). Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración *Guía técnica de agua caliente sanitaria central* [Publicación periódica]. - Madrid: IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía c/ Madera, 8 E – 28004-Madrid
- (RITE) Reglamento de Instalaciones Térmicas de la Edificación, 2013. Espesores mínimos de aislamiento de tuberías y accesorios que transportan fluidos térmicos”. España
- Ahorro de Energía HE, (2013). Documento Básico *.Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*. España
- Alwin Mc, Ing. Sherman (2012). *Tesis en opción al título de Master de Eficiencia Energética, Análisis de Alternativas de Producción de Agua Caliente Sanitaria en Instalaciones Hoteleras y Propuesta de Mejoras de su Eficiencia Energética*. Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”. Cuba
- Bravo Hidalgo, Debrayan (2015). *Energía y desarrollo sostenible en Cuba*, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez" Cuatro Caminos, Cuba
- Bruno (2019). Cálculo de Instalaciones Solares Térmicas con f-chart. Disponible en Internet: <https://www.ingenierosindustriales.com/calculo-de-instalaciones-solares-termicas-con-f-chart/>
- Cero Grados. Revista Digital. Disponible en Internet: <https://0grados.com/chillers-aspectos-tecnicos/#comments>
- Climaveneta (2009). Boletín técnico, FOCS_CA_1502_5424_GB. España

- Cubadebate, Energía Fotovoltaica en Cuba: Florecen campos de silicio en Las Tunas, Disponible en Internet: www.cubadebate.cu/etiqueta/energía-solar/Energía Fotovoltaica en Cuba
- CUBASOLAR. Datos Climatológico de la Localidad, Disponible en Internet: www.cubasolar.cu
- Finalet Corzo, Dunisvel (2016). *Propuesta de colectores solares para la producción de agua caliente sanitaria en el Bungaló de 48 habitaciones del Hotel “Ocean Vista Azul”*. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Matanzas
- IDEA (2010). Guía técnica: Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización. España
- Niron (2016). Catálogo Técnico Listino Prezzi. Italia
- Santamaría, Alberto. Hoja de cálculo en Excel (2006). Cálculos ACS
- Moreno Figueredo, Conrado (2015). *Cuba hacia 100% con energías renovables*
- Martínez Sánchez, Alejandro (2015). Estudio preliminar de alternativa de empleo de energía solar térmica en al UCLV, Trabajo de Diploma, Universidad Central Marta Abreu, Villa Clara
- Montelíer Hernández, Sergio (2008). *“Reducción del Consumo de Energía en Instalaciones con Sistemas de Climatización Centralizados Todo-Agua a Flujo Constante”* UCF
- NC 45-6 (1999). Oficina Nacional de Normalización. “NC 45-6: Bases para el diseño y construcción de inversiones turísticas”. Parte 6: Requisitos de mecánica. Cuba
- NC 220-1,2,6, 9 (2002). Oficina Nacional de Normalización. *“Requisitos de diseño para la eficiencia energética”*. Cuba
- Placco, Cora (2010). Colectores Solares para agua caliente. INENCO. Argentina

Pérez, Luis Bértiz & González, Manuel Álvarez. (2008). *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares*. Cuba.

Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA). Disponible en Internet:
<http://swera.unep.net>.

UNE 100-030 (1994). *Norma Guía para la prevención de la legionela en instalaciones*.
Informe

Valdivia Nodal, Y. & Díaz Torres, Y., (2015). Alternativas de producción de agua caliente sanitaria en instalaciones hoteleras con climatización centralizada. *Revista Universidad y Sociedad*

Viessmann (2017). Catálogo de datos técnicos de Colectores solares de tubos de vacío

ANEXOS

Anexo 1

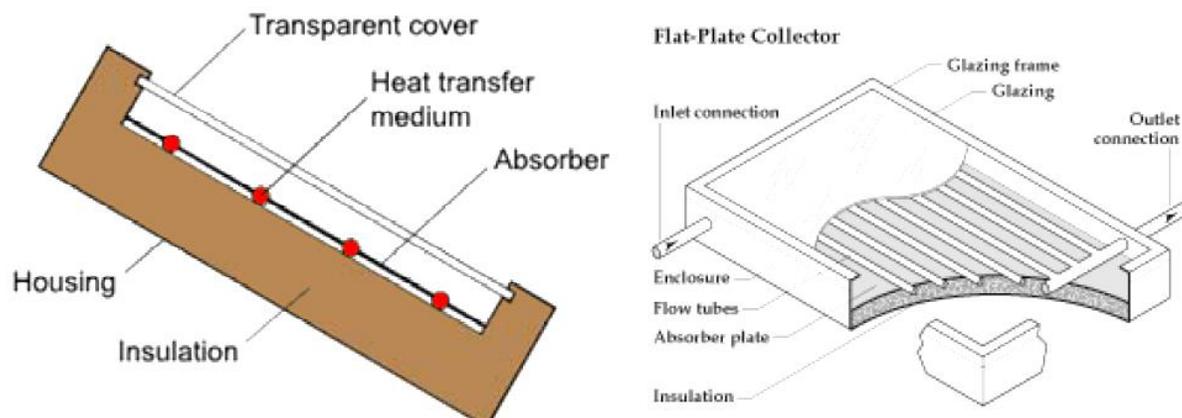


Figura 1.1 Esquema de colector de placa con cubierta.



Figura 1.2 Foto de colector con placa plana con cubierta.



Figura 1.3a) Esquema de Colector CPC Estacionario y b) Foto de CPC Estacionario



Figura 1.4 Foto de Colector de placa sin cubierta

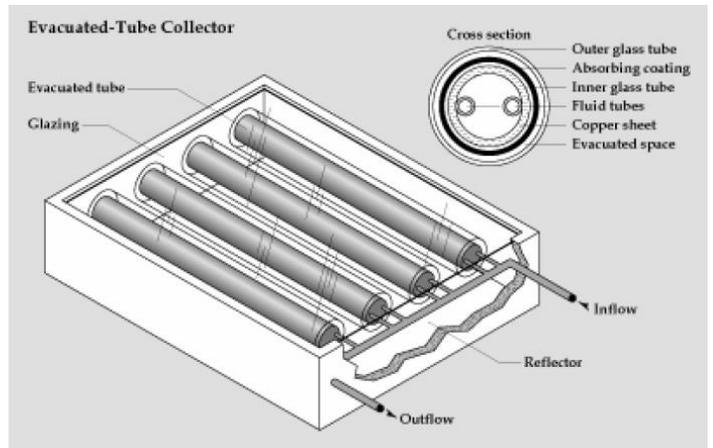
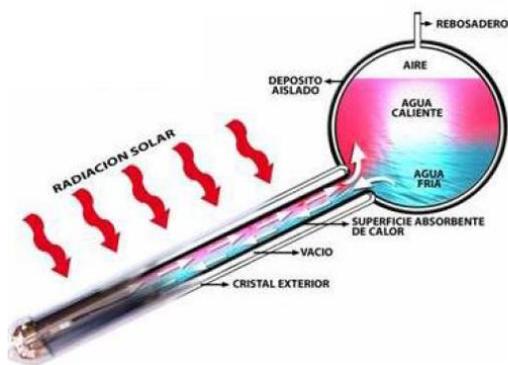


Figura 1.5 Principio de funcionamiento del Colector de Flujo Directo

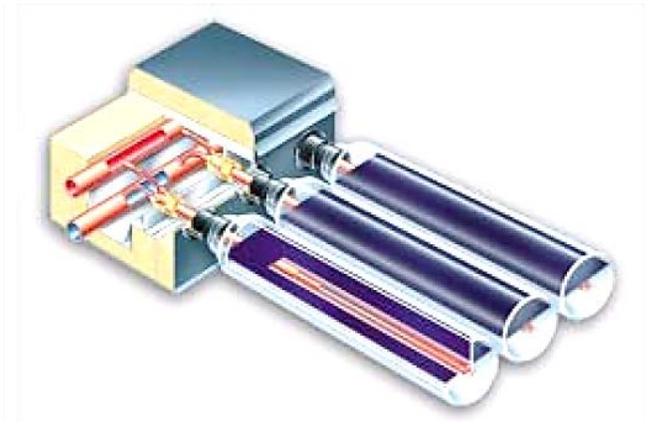


Figura 1.6 Foto de Colector de Flujo Directo

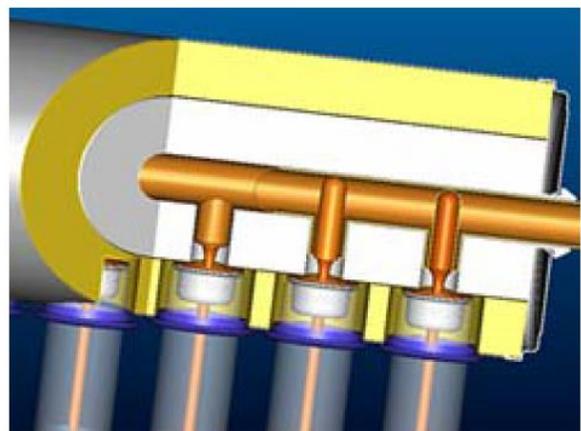
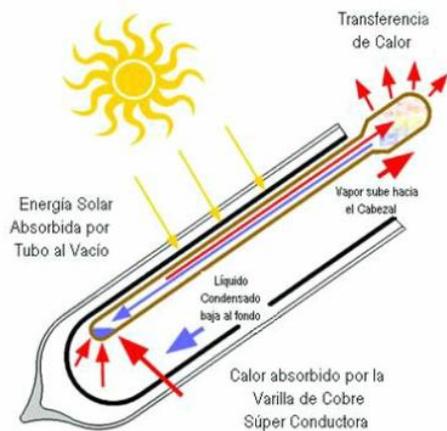


Figura 1.7 Esquema de Colector Heat-Pipe.



Figura 1.8 Foto de colectores Heat-Pipe y varios tipos de tubos al vacío

Anexo II

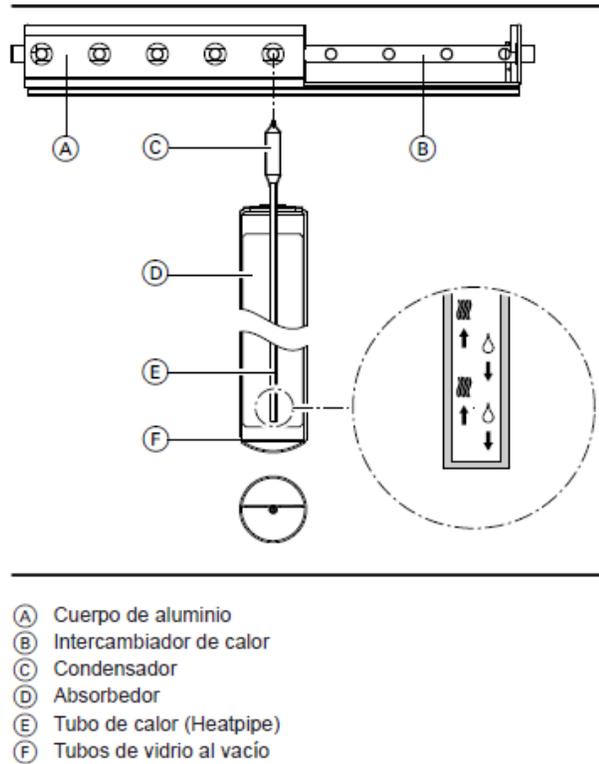


Figura 1 Esquema de colector Vitosol TM- 200

Tabla 1. Datos climatológicos

Meses	Radiación Solar Media Sobre Superficie Plana (kWh/m ² /día)	Corrección H para Calidad del Aire (H=1.05 AIRE LIMPIO – H=0.95 AIRE CON POLUCIÓN)	Corrección para tener en cuenta la intensidad de radiación en el día	Factor correctivo K dependiente de la latitud e inclinación del captador (LAT. 23° - INCL. 30°)	Radiación solar efectiva = B x C x D x E	Temp media mensual	Horas de sol aprovechables	Radiación media W/m ²
Enero	4,11	1	0,94	1,17	4,52	22,30	7,27	565,34

Feb.	5,09	1	0,94	1,1	5,26	22,10	7,60	669,74
Marzo	6,10	1	0,94	1,02	5,85	23,20	8,59	710,13
Abril	7,03	1	0,94	0,93	6,15	25,10	9,01	780,24
Mayo	7,16	1	0,94	0,87	5,86	26,10	9,33	767,42
Junio	6,85	1	0,94	0,84	5,41	26,70	9,47	723,34
Julio	7,08	1	0,94	0,87	5,79	27,60	9,34	758,03
Agosto	6,74	1	0,94	0,94	5,96	27,30	9,01	748,06
Sept,	5,96	1	0,94	1,04	5,83	27,00	8,59	693,83
Oct,	5,14	1	0,94	1,15	5,56	26,20	7,59	677,21
Nov,	4,25	1	0,94	1,22	4,87	24,50	7,26	585,40
Dic,	3,71	1	0,94	1,22	4,25	21,60	7,13	520,34
Media	5,77	/	/	/	5,44			
Total	/	/	/	/	/			

Datos generales para realizar el cálculo económico			
Magnitud	Designación	U/M	Valor
Costo de la inversión de los Colectores	CIVC	\$	137 200,00
Costo de la Instalación de Colectores	CIC	\$	3 800,00
Costo de las Tuberías	CT	\$	870,00
Costo del Aislante Térmico	CAT	\$	361,00
Ahorro de kW térmico,	Aqt	kW/año	194 955,00
Ahorro energía eléctrica	Aee	\$/año	51 728,00
Tasa de interés	Ib	%	2,00%
Impuesto sobre la renta	Isr	%	35,00%

Figura2,2

Tabla de movimientos de fondos						
Conceptos	Años					
	0	1	2	3	4	5
Costo total de la inversión	142 231,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costos fijos	0,00	14 223,10	14 223,10	14 223,10	14 223,10	14 223,10
Total de pagos	142 231,00	14 223,10	14 223,10	14 223,10	14 223,10	14 223,10
Total de cobros	0 00	51 728,00	51 728,00	51 728,00	51 728,00	51 728,00
Mov de fondos	-142 231,00	37 504,90	37 504,90	37 504,90	37 504,90	37 504,90
Mov acumulado	-142 231,00	-104 726,10	-67 221,20	-29 716,30	7 788,60	45 293,50

Figura 2,3

Resultados obtenidos para el cálculo económico			
Ahorro anual monetario	A anual	\$/año	51 728,00
Costo total de la inversión	CTI	\$	142 231,00
Período de recuperación de la inversión	Tri	años	5,88
Valor actual neto	VAN	miles \$	33 869,44
Tasa interna de retorno	TIR	%	10,0%

Figura 2,4