

PROPUESTA DE MEJORAS EN EL SISTEMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA EN HOTELES

Eduard Felices Fernández (estudiante) Universidad de Matanzas

Tutor: Marta Valera de Armas (MSc.) Universidad de Matanzas

Resumen

El empleo de tecnologías sustentadas en las fuentes de energías renovables es de vital importancia en la actualidad, especialmente para Cuba, debido a la situación existente en relación a los precios de los combustibles fósiles en el mercado internacional. Sin lugar a dudas, el elemento más controversial y complejo del ahorro de energía eléctrica es el cambio de concepción ante la vida que se requiere para lograr avances significativos en esa dirección. Alcanzar una verdadera conciencia basada en la cultura de la energía, es una tarea que requiere de un gran trabajo educativo incorporando a esta batalla la conservación de los recursos energéticos y la protección del medio ambiente, es un loable esfuerzo dirigido en el sentido de la promoción y el fomento de una ética y una cultura para el desarrollo sostenible. Este trabajo presenta un estudio comparativo de alternativas de calentamiento auxiliar para la producción de agua caliente sanitaria en instalaciones hoteleras con climatización centralizada y una propuesta de instalación de un sistema de colectores solares. Se utilizan la evaluación termodinámica y el costo del ciclo de vida como herramientas para la selección de la variante más económica y de menor impacto ambiental. Se evalúan tres alternativas de calentamiento auxiliar: con resistencias eléctricas, gas licuado de petróleo y energía solar. 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 clave: Agua caliente sanitaria, climatización centralizada, calentadores auxiliares, energías renovables

Summary

The use of technologies based on renewable energy sources is of vital importance today, especially for Cuba, due to the existing situation in relation to the prices of fossil fuels in the international market. Undoubtedly, the most controversial and complex element of saving electricity is the change in conception of life that is required to achieve significant progress in that direction. Reaching a true consciousness based on the culture of energy, is a task that requires a great educational work incorporating into this battle the conservation of energy resources and the protection of the environment, it is a commendable effort directed in the sense of promotion and promoting an ethic and culture for sustainable development. This work presents a comparative study of auxiliary heating alternatives for the production of sanitary hot water in hotel facilities with centralized air conditioning and a proposal for the installation of a solar collector system. Thermodynamic evaluation and life cycle cost are used as tools for the selection of the most economical variant with the least environmental impact. Three auxiliary heating alternatives are evaluated: with electric heating elements, liquefied petroleum gas and solar energy. The results obtained demonstrate the feasibility of using solar thermal energy in heating sanitary water due to the decrease in the consumption of liquefied petroleum gas and therefore, environmental damage is reduced as greenhouse gases are no longer emitted.

Keywords: Domestic hot water, centralized air conditioning, auxiliary heaters, renewable energies

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. Nuestro país es rico 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. No podemos demorarnos más; no podemos continuar pensándolo. [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. Los sistemas de producción de agua caliente sanitaria (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 Nodal, Y., Díaz Torres, Y., & Lapido Rodríguez, M. (2015) <http://rus.ucf.edu.cu/>

La producción de agua caliente sanitaria 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 (GLP), diésel, fuel oil y energía eléctrica.

Varios autores (M Llancer-2021 C Mudarra 2018; L Ledesma 2019; Bernardo, 2012; Ayompe, 2013) refieren que no existe una única variante para el calentamiento de agua sanitaria, que ello depende de diversos factores como las características de la edificación, equipamiento disponible, el uso de la fuente de calor residual, disponibilidad y costo del agua, tarifa eléctrica, regulaciones, así como parámetros climatológicos y de operación que aseguren el confort y un funcionamiento adecuado del equipamiento.

La selección adecuada de los calentadores auxiliares debe realizarse sobre la base de criterios energéticos, económicos y ambientales. En este sentido, la evaluación energética y el costo de ciclo de vida constituyen herramientas de apoyo en la toma de decisiones, tanto en el diseño como en la operación de los sistemas. En las instalaciones que poseen climatización centralizada, el sistema de producción de agua caliente sanitaria está integrado por las enfriadoras de agua que incorporan recuperadores de calor sensible, en los que se logra el aprovechamiento del potencial térmico del refrigerante en este punto del ciclo. Este calor se utiliza para calentar agua en un circuito cerrado, donde por medio de intercambiadores de calor agua-agua el mismo se transfiere en un circuito secundario al agua de consumo. Cuando la cantidad de calor recuperado es insuficiente para alcanzar la temperatura deseada del agua para consumo, entonces se requiere del uso de

calentadores auxiliares para satisfacer estas necesidades. (V García, A Iriarte, S Justinovich 2016 - sedici.unlp.edu.ar)

En este estudio se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

Se limita el sistema solamente al circuito de producción de agua caliente sanitaria y los componentes que intervienen en dicho esquema, para el cálculo de la eficiencia.

Se estima el costo de la energía eléctrica mediante el cálculo de un promedio ponderado, según la tarifa eléctrica del hotel, el cual es 0,249 \$/kWh, así como el costo del GLP de 0,42 CUC/kg.

El costo del ciclo de vida se realiza bajo la suposición de que el sistema se encuentra trabajando con un 50 % de recuperación de calor, por ser el caso en que se necesita mayor uso del calentador auxiliar y como consecuencia mayor consumo energético.

Los costos de instalación y mantenimiento se estimaron como un 15% y 1 % del costo total del sistema respectivamente.

Presión de referencia 1 bar, Temperatura de referencia, 25° C .

(Valdivia Nodal, Y., Díaz Torres, Y., & Lapido Rodríguez, M. (2015) <http://rus.ucf.edu.cu/>

En el estudio se utilizan los métodos de análisis termodinámico y del costo del ciclo de vida para determinar los indicadores de eficiencia energética y económicos necesarios. Dentro de los índices se determinan la eficiencia energética del sistema combinado de producción de agua fría y caliente por la expresión 1 donde η representa la eficiencia energética del sistema de recuperación de calor con el calentador de apoyo.

$$\eta = \frac{Q_{recup} + Q_{apoy}}{W_{apoy}} \quad (1)$$

Donde, Q_{rec} , Q_{ap} , y W_{ap} son la capacidad de calor producida por el recuperador de calor, cantidad de calor producida por el calentador de apoyo y la energía suministrada por el calentador auxiliar, respectivamente, en kW, las cuales se determinan por las siguientes expresiones de cálculo:

$$Q_{rec} = m_{agua} * C_p * (T_{s_{rc}} - T_{e_{rc}}) \quad (2)$$

$$Q_{ap} = m_{agua} * C_p * (T_{s_{ap}} - T_{s_{rec}}) \quad (3)$$

C_p , es el calor específico del agua, (kJ/kgK); t_{eRec} , la temperatura del agua a la entrada del recuperador, (K), y t_{sRec} , temperatura del agua a la salida del recuperador, t_{sap} es la temperatura del agua a la salida del calentador de apoyo, t_{sacs} es la temperatura de agua de consumo, en (K). La expresión (4) define que la eficiencia exergética (ε) que relaciona los flujos de exergía según el concepto de productos/ recursos, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\varepsilon = n \frac{1 - T_0 / T_{acs}}{(1 - \frac{T_0}{T_{rec}}) + (1 - \frac{T_0}{T_{ap}})} \quad (4)$$

Donde T_0 , T_{acs} , T_{rec} , y T_{ap} son las temperaturas de referencia, agua caliente de consumo, salida del recuperador de calor, y agua caliente a la salida del calentador auxiliar respectivamente, en (K). Costo del ciclo de vida El costo del ciclo de vida de cualquier equipo es el costo total de toda su vida, desde la adquisición, instalación, operación y mantenimiento hasta el desmontaje y disposición final del mismo. La metodología a utilizar en esta investigación es tomada de la Norma Europea (UNI EN ISO 14040: 1997) y de manera muy general de otras bibliografías. Este método de análisis compara el total acumulativo de costos de instalación, operación y mantenimiento de dos o más alternativas según:

$$CCV = VPN = -k_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F C_i}{(i + D^i)} \quad (5)$$

En el caso el flujo de caja ($i F_c$) incluye: costo inicial (K_0),

Costo de instalación, costo de la energía, costo de operación, costo de mantenimiento, que se considerarán positivos.

De forma general el flujo de caja se puede calcular como:

$$F_{Ci} = (I_i - G_i - D_{ap}) * (1 - t / 100) + D_{ap} \quad (6)$$

Donde I , G , t , , son los ingresos (\$), gastos (\$), tasa de impuestos (%) y depreciación del equipamiento en el año i , quedando la expresión:

$$CCV = - \left[K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{(i + D)^i} \right] \quad (7)$$

Dado que en muchos equipos y sistemas energéticos los costos de la energía y el mantenimiento constituyen las partidas principales, es importante considerar, no solo los costos actuales, sino también las tasas de incremento anual esperadas en los precios de la energía y en los costos de la mano de obra y materiales para el mantenimiento y reparación del sistema. Estudio de caso en una instalación hotelera La instalación en estudio cuenta con dos enfriadoras de la marca CHAWT- 1402 de configuración simétrica con 404 kW de capacidad cada una, conectadas en paralelo a flujo constante y como sustancia refrigerante utiliza R22. Se recupera calor de ambas enfriadoras en un circuito cerrado de agua caliente que es circulada por tres tanques de 5m³, dos intercambiadores de calor agua – agua que elevan la temperatura del agua del tanque superior a 50°C y de ahí es bombeada a los bloques habitacionales. Este sistema cuenta además con un calentador auxiliar que es el encargado de llevar el agua a la temperatura deseada (60°C). La presión de succión es de 3.9 bar; presión de descarga, 17.3 bar; flujo de refrigerante, 2.45 kg/s el flujo de agua caliente circuito primario, 5.83 kg/s flujo de agua caliente circuito secundario 2.8 kg/s, flujo de agua en el evaporador, 19.4 kg/s flujo de aire en el condensador 48.35 kg/s, Potencia eléctrica 110 kW, rendimiento isotrópico 0.8. Los resultados del análisis termodinámico se muestran en la tabla 1, para el sistema de climatización centralizada con recuperación de calor, operando a 100, 75 y 50% de la capacidad frigorífica y 50% de recuperación de calor para cada capacidad de frío mencionada anteriormente. Además se muestra la cantidad de calor que necesita el calentador de apoyo para elevar la

temperatura hasta 60 °C. (YD Torres, JPM Yanes, DB Hidalgo - Ingeniería energética, 2015 - dialnet.unirioja.es)

Tabla 1. Resultados del análisis termodinámico para diferentes condiciones de operación y porcentaje de recuperación de calor.(elaboración propia)

Parámetros de operación/ capacidad frigorífica	100%	75%	50%
Trabajo de compresión (kW)	226.48	170.20	113.78
COP	3.57	4.75	7.10
Rendimiento del sistema	5.85	5.28	4.71
Temperatura a la salida del recuperador (°C)	71.2	61.9	55.3
Temperatura a la salida del calentador auxiliar(°C)	71.2	61.9	60.0
Temperatura de consumo de ACS (°C)	84.1	64.8	51.0
Q Recuperado (kW)	517,24	291,53	129,92
Q calentador auxiliar (kW)	0	0	114.07
Consumo de energía del calentador auxiliar (kWh)	0	0	13688
Consumo del chiller (kWh)	489207	367632	245754

Se puede apreciar que cuando el sistema trabaja al 100% y 75 % de capacidad frigorífica no es necesario utilizar calentador auxiliar pues se satisface la temperatura deseada (60°C), no así en el caso en que la operación es al 50 % donde se requiere el apoyo. Caso de estudio 1. Calentador de gas El régimen de trabajo del calentador a gas estará sujeto a las condiciones de operación del sistema para las cuales se requiera de calentamiento auxiliar. Se considera en el estudio una caldera del tipo pirotubular, marca Pegasus-F2-102 de 99 kW de potencia útil; 1.25kg/s de caudal de agua; alcanza temperaturas entre 60-80oC y 85% de eficiencia. Teniendo en cuenta que el sistema trabaja un promedio de 120 días al año bajo condiciones a cargas parciales, (75% y 50%) se estima un consumo total de 209 952 kg de GLP al año, trabajando 18horas al día. Según datos del proveedor este tipo de calderas en el mercado tienen un costo de 5787 CUC

A partir de la ecuación de balance térmico, se determina la eficiencia del calentador a gas como la razón que representa el calor útil (producción de agua caliente), entre el calor disponible (consumo de combustible), según la ecuación 8

$$n = \frac{Q_{util}}{Q_{disp}} = \frac{Q_{acs}}{m_{gas} * Cr} \quad (8)$$

Donde m_{gas} es el flujo de gas necesario para calentar el agua en el calentador (kg/s), cr es el valor calórico del combustible GLP (49742 kJ/Kg).

Caso de estudio 2.

Calentador eléctrico En el caso del calentador eléctrico, prácticamente el 99% de la energía que consume se convierte en calor, por lo tanto su potencia eléctrica es casi la misma que su potencia térmica. En este caso de estudio se seleccionan 4 calentadores del tipo CE120-AS, de 30 kW de potencia eléctrica cada uno, para un total de 120 kW, capacidad de 450 lts. Igualmente considerando un tiempo de operación diario de 18 horas, durante el período de estimación constituye el elemento de mayor consumo energético, con 256 608 kWh al año, así como de mayor impacto ambiental con 241,2 ton de emisiones de CO2 anuales, y representa la variante de mejor eficiencia.

Caso de estudio 3.

Calentador solar

Datos meteorológicos de la región

Las condiciones meteorológicas de radiación y temperatura de la región de Matanzas donde está ubicado el caso de estudio, son las que se muestran en la figura 3. Reflejando que existe un comportamiento favorable de las variables meteorológicas que más inciden en la implementación de un sistema de apoyo por de calentamiento solar.

Elección de la superficie de captación

Para el dimensionado de las instalaciones de energía solar térmica se sugiere el método de las curvas 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 planos. 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].

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

$$f = 1.029D_1 - 0.065D_2 - 0.245D_1^2 + 0.0018D_2^2 + 0.0215D_1^3 \quad (9)$$

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 A.C.S. o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro .
4. Cálculo del parámetro
5. Determinación de la gráfica
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:

$$Q = C_e * C * N(t_{ac} - t_r) \quad (10)$$

Donde:

Q Carga calorífica mensual de calentamiento de A.C.S. (J/mes).

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

C Consumo diario de A.C.S. (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:

$$D_1 = \frac{\text{energía absorbida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}} \quad (10)$$

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

$$E_a = S_c * F_r'(\tau\alpha) * R_1 * N \quad (11)$$

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:

$$F_r'(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n [\tau\alpha / (\tau\alpha)_n] (Fr' / F_r) \quad (12)$$

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).

Fr' / 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:

$$D_2 = \frac{\text{energía perdida por el captador}}{\text{carga calorífica mensual}} \quad (13)$$

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

$$E_p = S_c * F'_r U_L (100 - t_a) \nabla t * K_1 * K_2 \quad (14)$$

Donde

S_c Superficie del captador (m²)

$$F'_r U_L = F_r * U_L (F'_r / F_r) \quad (15)$$

Donde:

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

t_a Temperatura media mensual del ambiente

∇t Período de tiempo considerado en segundos (s)

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

$$k_1 \rightarrow [kg \text{ acumulacion} / (75s_c)]^{-0.25} \quad (2.21)$$

$$37.5 \left[\frac{kg \text{ acumulacion}}{m^2 \text{ captador}} \right] < 300$$

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

$$K_2 = 11.6 + 1.18t_{ac} + 3.86t_r - 2.32t_a / (100 - t_a) \quad (16)$$

Donde:

t_{ac} Temperatura mínima del A.C.S.

t_r Temperatura del agua de red.

t_a Temperatura media mensual del ambiente.

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:

$$Q_u = fQ_a \quad (17)$$

Donde:

Q_a Carga calorífica mensual de A.C.S.

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:

$$\text{Cobertura solar anual } \sum_{u=1}^{u=12} Q_u \text{ necesaria } \sum_{u=1}^{u=12} Q_a \text{ necesaria} \quad (18)$$

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 realizó 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 escogió 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 +/- 45o.

Tabla 2 .Datos técnicos del colector Vitosol 200-TM [Viessmann 2017].

Modelo SPEA		1,63 m²	3,26 m²
Número de tubos		9	18
Superficie bruta	m ²	2,69	5,3
(dato necesario a la hora de solicitar subvenciones)			
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	Litros	0,85	1,72
(medio portador de calor)			
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.

$$A_{cap} = Q / (H_p * n_g) \quad (19)$$

Donde:

Q Demanda energética (KJ/día).

A_{cap} Área de captación. (m²).

H_p Radiación solar de los meses más desfavorables (kW/m²).

n_g Eficiencia global diaria del sistema (%).

Cálculo del número de colectores necesarios.

$$N_c = (A_{cap} * FS) / A_c \quad (20)$$

Donde:

N_c Número de colectores.

FS Factor de seguridad o proyección de demanda. (1-1.5).

A_c Área de un colector. (m²).

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, procedemos 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.

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 nos 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 periodos en los que la energía solar suministrada sea insuficiente. (Valdivia Nodal, Y Díaz Torres... 2015 - scielo.sld.cu)

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 importante nuestro entorno ambiental. Los problemas de la contaminación en las zonas urbanas no sólo son provocados por los combustibles utilizados en el transporte y en la industria, sino también por el uso de 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 aun globales.

Tabla 3. Resultados del análisis energético, exergético, económico y Costo del Ciclo de Vida.(elaboración propia)

Resultados	Calentador Solar	Calentador de Gas	Calentador Eléctrico
η	1.79	1.83	2.06
ε	1.23	1.26	1.42
Costo inicial (\$)	320 540	5 787	14 169
Costo de Operación(\$)	10 901.2	18 160.4	126 448
	3 795,2	248,2	1 427, 4
CCV (\$)	762 839,6	49 879,1	286 913,5
Consumo de energía (kWh)	95 836	209 952	256 608
Costo de energía (\$/kWh)	23863.1	52278.0	63895.4
Costo de agua caliente (\$/ton)	0.141	0.308	0.377
Emissiones (ton-CO ₂ / año)	90.1	197.4	241.2
PRI (años)	5	1	2

El sistema con el calentador auxiliar a gas, tiene el menor costo del ciclo de vida a lo largo de su vida útil comparado con el resto de las alternativas, con una reducción del consumo energético de manera fiable y comprometida con el medio ambiente. Las emisiones equivalen a 197,4 tonCO₂/año, 15,4% menos que el equivalente con calentador eléctrico.

En el caso de los calentadores solares, desde el punto de vista energético y ambiental son la mejor opción teniendo en cuenta en bajo consumo de energía requerido lo que se traduce en menores emisiones en ton de CO₂. Pero el factor determinante es su elevado costo inicial que prolonga el periodo de recuperación de la inversión a 5 años, lo cual no se considera atractivo desde el punto de vista económico, además la desventaja de que se necesita la utilización de una fuente de apoyo, en este caso con GLP, para los días de invierno y lluvia en los que la radiación solar es muy baja.

Referencias biográficas

- Armas, J. C., et al. (2019). Evaluación termodinámica de sistemas de climatización centralizados por agua helada usando herramientas de inteligencia artificial. *Revista Ingeniería e Investigación*. 31 (2), pp..134-142.
- Bruno (2019). Cálculo de Instalaciones Solares Térmicas con f-chart. Disponible en Internet: <https://www.ingenierosindustriales.com/calculo-de-instalaciones-solarestermicas-con-f-chart/>
- Sánchez Acevedo, Leonardo (2019). uso de la energía solar térmica en el circuito primario de agua caliente del hotel arenas blancas. ``. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Matanzas

- 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

- Moreno Figueredo, Conrado (2015). Cuba hacia 100% con energías renovables

- Niron (2016). Catálogo Técnico Listino Prezzi. Italia
- Pérez, Luis Bériz □ González, Manuel Álvarez. (2008). Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares. Cuba
- República de Cuba. (1999). Oficina Nacional de Normalización. "NC 45-6: Bases para el diseño y construcción de inversiones turísticas". Parte 6: Requisitos de mecánica.
- Viessmann (2017). Catálogo de datos técnicos de Colectores solares de tubos de vacío Finalet .

- (Valdivia Nodal, Y., Díaz Torres, Y., & Lapidó Rodríguez, M. (2015) <http://rus.ucf.edu.cu/>

- V García, A Iriarte, S Justinovich 2016 - sedici.unlp.edu.ar

- YD Torres, JPM Yanes, DB Hidalgo - Ingeniería energética, 2015 - dialnet.unirioja.es