

PROYECTO SOLAR TÉRMICO CON COLECTORES SOLARES DE TUBOS AL VACÍO CHINOS.

M.Sc. Ing. Joel Morales Salas – jmorales@ceter.cujae.edu.cu
Ing. Jesús Iglesias Ferrer – intersol@ceter.cujae.edu.cu
Guiubel Centurión Garlobo – guiubelc@mecanica.cujae.edu.cu
Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, CETER

Resumen: En el presente trabajo se hace un análisis de los resultados del Proyecto solar térmico instalado en la Zona Reparto Industrial en Nueva Gerona, Isla de la Juventud. Se describe los sistemas instalados en Nueva Gerona, Isla de la Juventud, y la situación que existía. Se muestran los resultados de la encuesta que se realizó para conocer datos del consumo de agua caliente. Se exponen dos propuestas de diseño de instalaciones para las cuales se realizaron los cálculos pertinentes para conocer el número de colectores que se necesita para satisfacer la demanda de agua caliente de los 8 edificios del la Zona Reparto Industrial. A los mismos, se le realizaron análisis económicos para conocer cual escenario es el adecuado, para la toma de decisión.

Palabras-clave: *Energía Solar, Colectores solares, Tubos al vacío*

1. INTRODUCCIÓN

En el empeño de nuestro país de lograr un desarrollo sostenible, en los últimos años se ha incrementado el uso de las energías renovables, y entre ellas, la energía solar térmica. El calentador solar de agua constituye uno de los equipos más eficientes en el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. En la actualidad se fabrican equipos con más de 60 % de eficiencia. En las últimas décadas se han utilizado en nuestro país, calentadores solares para calentar agua, pero la mayoría de ellos ha sido importada, hoy se necesita que estos calentadores sean diseñados específicamente para trabajar en el trópico, pues puede ser mucho más sencillo, económico y de alta eficiencia. Producto a la calidad y su bajo precio en el mercado, nuestro país compra colectores solares térmicos de tubos al vacío a la República Popular de China, los cuales, para las características climatológicas en nuestro país, funcionan adecuadamente y tienen un alto rendimiento. Uno de los lugares en los cuales están instalando esta tecnología, es en la Isla de la Juventud, por la necesidad imperante de disminuir los consumos energéticos, y también, por servir como un polígono de prueba de esta tecnología, es un sitio ideal, sumando sus condiciones solares, para la instalación de esta tecnología. Actualmente, no se tiene claro los beneficios exactos que están aportando estas instalaciones, en cuanto al ahorro, aporte real de agua caliente, la demanda real, y sumándole a todo esto, la correcta instalación de los colectores solares térmicos. Es por ello, que el presente trabajo versa sobre esta problemática, dándole respuesta al país sobre las instalaciones solares térmicas en la Isla de la Juventud.

2. SITUACIÓN QUE EXISTÍA

En el momento de instalación de los colectores solares térmicos en los edificios del Reparto Industrial en Nueva Gerona, existía una situación grave con el abasto de agua para el consumo de los habitantes, ya que el agua no llegaba con regularidad a las cisternas de almacenamiento. También había problemas con las bombas para llevar el agua a los tanques en la azotea de los edificios, por lo que a los apartamentos el agua llegaba con mucha irregularidad, en ocasiones, estaban varios días afectados sin tener agua para el consumo.

Esto era un problema para el funcionamiento de los colectores solares, puesto que el agua no les puede faltar en ningún momento del día para su correcto funcionamiento. Para esto se tomaron medidas y se hicieron los arreglos pertinentes entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- Se arreglaron las cisternas de almacenamiento del agua.
- Se ubicaron bombas nuevas en cada uno de los edificios.
- Se garantizó la entrada con frecuencia del agua a las cisternas.

En el Reparto Industrial de Nueva Gerona en la Isla de la Juventud, se instalaron calentadores solares térmicos de tubos de vacío con el fin del calentamiento de agua sanitaria para el consumo de personas en ocho edificios, estos son de tres plantas con tres escaleras de seis apartamentos, para un total de 144 apartamentos beneficiados con el servicio de agua caliente para sus necesidades.

Características técnicas de los calentadores solares:

En la tab. 1 se muestran los valores de capacidad de entrega diaria de agua caliente, así como el volumen de agua que almacenan, etc., tomando como nivel promedio de insolación 4200 kCal/m² al día.

Tabla 1 Datos técnicos de los colectores solares térmicos

Modelo	Número de tubos	Volumen del tanque (L)	Peso bruto Kg	Entrega litros/día (a 45°C)	Área de absorción (m ²)
LPC47-1512-30-ACF	12	90	125	160	2,09
LPC47-1530-30-ACF	30	200	260	350	5,23

En la azotea de cada edificio se instaló una batería de seis módulos donde cada módulo cuenta con tres colectores, estos están conectados individualmente para cada apartamento, es decir, que cada apartamento consume agua de un solo colector, para un total de 18 colectores por edificios.

En el esquema de la instalación de cada uno de los edificios se muestra como es la ubicación de cada colector y su modo de identificación para de esta forma poder localizar un colector determinado para brindarle un posible mantenimiento o reparación en caso de que lo necesite.

Para poder llevar a cabo el proyecto, en la isla se efectuó una búsqueda de los edificios que cumplían con las condiciones necesarias para la instalación de los colectores solares, pues en muchos de ellos el tanque de alimentación de agua no tiene la altura suficiente para garantizar el correcto funcionamiento de los calentadores térmicos, también se estudiaron los entornos, por si se encontraban barreras arquitectónicas que afectaran a los colectores, provocando sombras en algún horario determinado del día.

En la encuesta realizada para monitorear el uso del agua caliente, obtenida de los colectores solares térmicos, y el nivel de satisfacción de los clientes, se llegó a los siguientes resultados:

1. Se dejan de utilizar los equipos eléctricos para calentar agua, que en encuesta anterior al montaje (118 viviendas), se comportaba de la siguiente manera:

- a. Con tirabuzón: 54,2 %
- b. Con hornilla eléctrica: 30,5 %
- c. Con olla arrocera: 1.7 %
- d. Con olla reina: 1,7 %
- e. Con gas: 2,5 %
- f. El 87,3 % calentaba agua para el baño.
- g. Un total de 343 personas utilizaban agua caliente para bañarse, para un 76,7 % del total.

2. Se comienza a utilizar este servicio en otras actividades como la preparación de alimentos, el fregado de los utensilios de cocina, en el afeitado, etc.

3. Disminución del consumo de la energía eléctrica.

Alto nivel de satisfacción con el uso de esta tecnología por su sencillez en cuanto a la adaptación a la misma, facilidades en nuevos usos que brinda, casi nulo nivel de rotura y/o problemas técnicos.

Con la instalación de los calentadores solares térmicos se logró una disminución del consumo de la energía eléctrica y/o gas en cada uno de los apartamentos de los edificios, debido a que no tenían que emplear ningún tipo de energía para calentar el agua que necesitaban para su consumo.

Esto se muestra en los análisis siguientes:

Datos y premisas para el análisis.

➤ Variante 1

Resultados de las mediciones en el reparto Zona Industrial, Gerona, a los que se les instalaron calentadores solares térmicos y puestos en marcha a finales del mes de diciembre 2007. Las mediciones son realizadas antes y después de la instalación.

➤ Variante 2

Resultados de las mediciones en 3 edificios del reparto Abel Santamaría cada uno con 40 apartamentos o clientes (120 clientes), a los cuales no se les instalaron calentadores solares térmicos.

El consumo total mensual disminuyó en los meses de enero y febrero, en los años correspondientes a 2007 y 2008.

Tabla 2 Disminución de consumo total mensual

Disminución del consumo total mensual (MWh)						
	Enero			Febrero		
	2007	2008	ahorro	2007	2008	ahorro

Variante 1	23,4	18,84	4,56	21,036	17,97	3,07
Variante 2	3,294	2,296	1,00	2,129	2,789	0,66

Como se puede observar en la Tab. 2, el ahorro del consumo con relación a los dos meses de estudio, disminuyo mucho más en los edificios en los cuales fueron beneficiados con el montaje de los colectores solares térmicos. Hay que señalar, que esta disminución de consumo, no necesariamente depende de las instalaciones solares, puesto que pueden influir otros factores que influyan en la disminución energética; pero brinda una amplia idea, de lo beneficioso que es para el ahorro energético, la inclusión de esta tecnología la cual es nueva en Cuba. El consumo promedio por cliente también disminuye en relación de un año con respecto a otro.

Tabla 3 Disminución de consumo promedio por cliente

Disminución del consumo promedio por cliente (kWh)						
	Enero			Febrero		
	2007	2008	ahorro	2007	2008	ahorro
Variante 1	185,7	149,5	36,2	167,0	142,6	24,4
Variante 2	183,0	127,6	1,8	154,9	118,3	1,3

En la Tab. 3 también se puede observar una disminución en el consumo promedio por cliente. La variante 1 presenta una disminución mucho mayor a la de la variante 2, debido en gran medida a la introducción de los colectores solares de vacío en los edificios de la Zona Reparto Industrial.

En el gráfico se puede apreciar como en el horario de 6 a 10 PM, que es el horario en que se encuentra la mayoría de las personas en los apartamentos por lo que aumenta la demanda, la curva después de la puesta en marcha de los calentadores solares registra una reducción importante.

Donde:

- La curva de los puntos en negro muestra el comportamiento de la demanda del consumo de la energía eléctrica de los clientes antes de instalarse los calentadores solares
- La curva de las líneas continua de color rojo, muestra el comportamiento de la demanda del consumo de la energía eléctrica de los clientes después de instalarse los calentadores solares

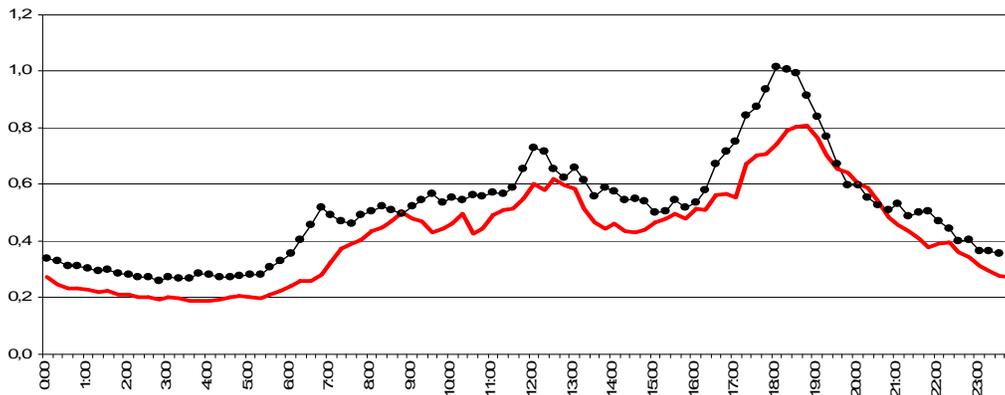


Gráfico. 1 Demanda energética de los consumidores antes y después de la instalación de los colectores solares térmicos. kW vs. Horas al día

Por las lecturas realizadas por los metros contadores eléctricos en los mismos edificios, antes y después de la puesta en marcha del proyecto, se obtuvo que como promedio se observa una disminución de la demanda en el horario pico de 0,2 kW por vivienda, en tanto el consumo en este mismo horario bajó 0,8 kWh.

2.1 Propuesta de un nuevo diseño de instalación de los colectores solares térmicos

En este caso se centró también el análisis, en los edificios de la zona Reparto industrial, Nueva Gerona en la Isla de la Juventud.

Para esto se tiene en cuenta que la demanda de agua caliente de los apartamentos, tomando como promedio 4 personas por apartamentos, es de 50 a 60 litros de agua caliente sanitaria diariamente, y cada apartamento tiene un colector solar térmico que produce un volumen de agua a 45 °C de 160 litros diarios. Hacia este sentido es que está dirigida la propuesta de diseño del nuevo sistema de calentamiento de agua.

Para se tomó dos escenarios como propuesta de análisis:

Escenario 1

Teniendo en cuenta que cada apartamento demanda de 50 a 60 litros de agua, nos da la idea de cuenta demanda una escalera de seis apartamentos, dividido en dos hileras de tres apartamento, cada hilera demanda de 30 a 60 litros de agua diariamente, y sabiendo que los sábados y domingos son los días de mayor demanda por los quehaceres domésticos y esto hace que se incremente la demanda de agua caliente hasta 60 litros de agua por apartamento, teniendo por hilero una demanda promedio de 180 litros de agua caliente sanitaria. Temperatura de entrada del agua al colector será de 25⁰ y con una salida de 50⁰.

Demande energética

$$E = M * C_p (T_f - T_i) \quad (1)$$

Donde:

E : Demanda energética (kJ/día)

M : Masa del agua a calentar en un día (kg/día)

C_p : Capacidad calorífica del agua (4,18 kJ/kg °C)

T_i : Temperatura inicial del agua °C

T_f : Temperatura final del agua °C

La masa del agua esta dada por la ecuación.

$$M = n_p * \rho_{H_2O} * V_p \quad (2)$$

Donde:

n_p : Numero de personas

V_p : Volumen de agua per cápita (lts/personas-día)

ρ_{H_2O} : Densidad de agua (1000 kg/m³)

El volumen de agua caliente que necesita una persona como promedio es de 15 litros, esto llevado a una hilera de tres apartamentos, en los que promedian 4 personas, será de 180 litros.

Resultado del cálculo de la demanda energética:

$$E = 18837 \text{ kJ/día}$$

Determinar el número de colectores que se necesitan se hará uso de la formula siguiente:

Para la determinación de número de colectores del sistema de calentamiento es necesario conocer el área de captación de y la eficiencia general del colector.

Área de captación:

$$A_{Cap} = \frac{E}{H_p * \eta_g} \quad (3)$$

Donde:

H_p : Radiación solar promedio diaria a 30⁰ de inclinación (kWh/m²día)

η_g : Eficiencia global del sistema (70%)

Tabla 4 Radiación solar promedio diaria

Radiación solar promedio diaria (HSP) (kWh/m ² día)												
	Ene.	Feb.	Ma.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Rs(30°)	5,19	5,14	5,13	4,32	4,22	4,3	4,47	3,74	4,34	4,99	5,1	5,19

Tabla 5 Resultado del cálculo del área de captación

Resultado del cálculo del área de captación												
Meses	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Área de captación	1,55	1,44	1,45	1,46	1,73	1,77	1,74	1,67	2,00	1,72	1,50	1,47

Número de colectores

$$N_c = \frac{A_{cap} * F_s}{A_C} \quad (4)$$

Donde:

N_c : Número de colectores.

A_{cap} : Área de captación o de absorción.

F_s : Factor de seguridad o de proyección. Es un factor con el cual se toma un valor para tener un por ciento de seguridad en el cálculo a realizar ($F_s = 1,5$).

A_C : Área del colector (2.09 m²)

Sustituyendo en la ecuación obtenemos un número de colectores siguientes:

Tabla 6 Resultado del cálculo de número de colectores por hileras

Resultado del cálculo de número de colectores por hileras.												
	Ene.	Feb.	Ma.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Número de colectores	1,12	1,03	1,04	1,05	1,24	1,27	1,25	1,20	1,43	1,24	1,08	1,05

En la Tab. 6 se muestran los resultados del cálculo del número de colectores por cada hilera de tres apartamentos de las escaleras. El valor más elevado es el del mes de septiembre con 1,43 colectores por hilera, por lo que se necesita más de un colector por cada hilera de tres apartamentos, por lo que tomando por exceso el número real será dos colectores de 90 litros.

Es por esta causa que se propone la siguiente solución:

En lugar de un colector solar térmico de 90 litros por apartamento, colocar dos colectores por cada tres apartamentos, es decir, dos colectores por hilera de tres apartamentos.

Estos colectores solares estarán conectados en paralelo, de forma tal que sean dos por módulos en una batería de doce colectores, en la salida de agua caliente tendrá una tubería que dará entrada a cada uno de los tres apartamentos de la hilera, logrando así un volumen de agua a 50 °C de 142 litros, lo que satisface las necesidades de los clientes en el momento más crítico de la demanda. (Ver el siguiente esquema)

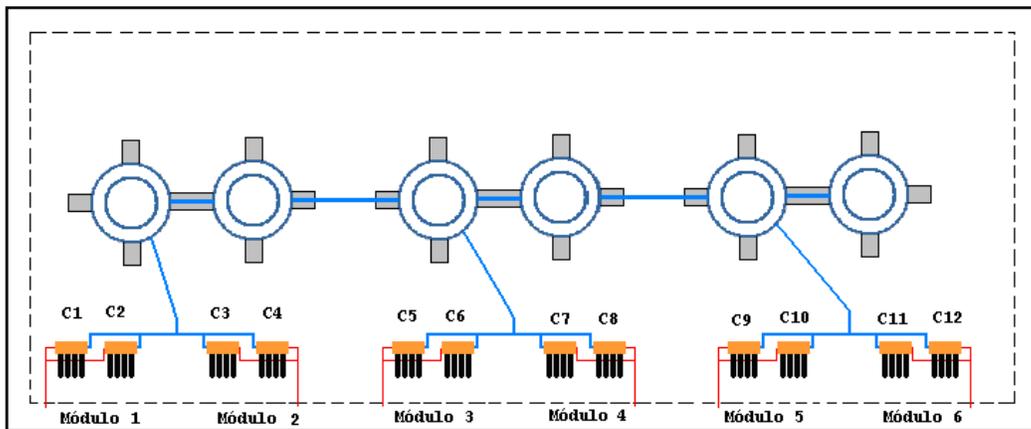


Figura 1. Esquema del primer escenario propuesto.

De esta forma se reduce el número de colectores de 18 en la instalación anterior a 12 en la nueva instalación.

Escenario 2

En este escenario se tendrá en cuenta todo lo analizado en el escenario 1, también se determina el número de colectores solares que son necesarios para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria pero en este caso con los calentadores de 200 litros.

En este caso la demanda energética calculada es la misma que la de escenario 1, ya que el número de personas, el volumen de agua caliente, la temperatura de entrada (agua fría) y la de salida (agua caliente), se mantienen constante, puesto que son los mismos apartamentos.

$$E = 18837 \text{ (kJ/día)}$$

El área de captación es:

Tabla 7. Resultado del cálculo del área de captación

Resultado del cálculo del área de captación												
	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Área de captación	3,10	2,88	2,90	2,91	3,46	3,54	3,47	3,34	3,99	3,44	2,99	2,93

Sustituyendo en la ecuación obtenemos un número de colectores siguientes:

Tabla 8. Resultado del cálculo de número de colectores por hileras

Resultado del cálculo de número de colectores por hileras.												
	Ene.	Feb.	Ma.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Numero de colectores	0,45	0,41	0,42	0,42	0,50	0,51	0,50	0,48	0,57	0,49	0,43	0,42

En la Tab. 8 se muestran los resultados del cálculo del número de colectores por cada hilera de tres apartamentos de las escaleras. El valor más elevado es el del mes de septiembre con 0,57 colectores por hilera, por lo que se necesita menos de un colector por cada hilera de tres apartamentos, por lo que tomando por exceso el número real será un colector de 200 litros.

Es por esta causa que se propone la siguiente solución:

La instalación de un colector de 200 litros por hilera de escalera, es decir, seis colectores solares por edificios, estos colectores entregan un volumen de agua a 50 °C de 310 litros diarios, lo que satisface las necesidades de los tres clientes por hileras de 180 litros en el día de mayor demanda.

De esta forma se reduce el número de colectores de 18 de 90 litros en la instalación anterior a 6 de 200 litros en la nueva instalación. (Ver el siguiente esquema)

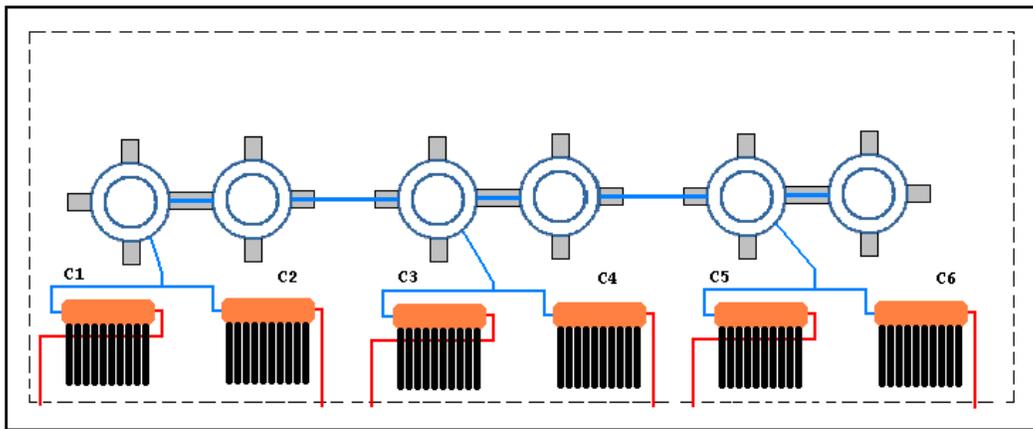


Figura 2. Esquema del segundo escenario propuesto.

2.1 Comparación entre Escenarios

En la Tab. 9 se muestran los dos escenarios. Para esto nos auxiliamos de cuatro herramientas económicas.

Van- Valor actual neto

VAN/Inversión

TIR-Tasa de rendimiento interno

Tiempo de recuperación de la inversión

Tabla 9 Resultados cuantitativos de los dos escenarios

Escenarios	VAN (\$)	VAN/Inversión	TIR	Tiempo de recuperación de la inversión
1	3226,3	8,1	112,65	1,36
2	3289,3	9,81	137,65	1,14

El VAN más elevado es del escenario 2, la relación VAN/Inversión más elevada es la del escenario 2, el escenario que presenta la tasa TIR más elevada es el 2, el escenario de menor tiempo de recuperación de la inversión es el 2.

Por lo hallado anteriormente, el mejor escenario es el segundo, donde tendremos el mayor VAN, la relación VAN/Inversión más elevada, la tasa TIR mas elevada, con el tiempo de recuperación de la inversión menor.

3. CONCLUSIONES

1. Se determinó el mejor escenario propuesto, que fue ubicar un colector solar térmico al vacío de 200 litros, por hilera, con una temperatura de salida del agua caliente sanitaria de 50 grados.

Otras conclusiones de este trabajo son:

- Se comprobó el elevado nivel de satisfacción de las personas beneficiadas con estos sistemas de calentamiento de agua solar.
- Se mantienen en buen estado técnico las instalaciones debido al cuidado de los residentes de estos lugares, donde se ha limitado el acceso de personas a las azoteas donde está instalados los colectores.
- Se ha elevado el nivel de vida a estas personas, además de la instalación de los colectores, por el suministro con regularidad de agua a los edificios.

4. Bibliografía

1. www.paradigma.ch. 2008

THERMAL SOLAR PROJECT WITH SOLARS COLLECTORS CHINESE OF VACUUM TUBES

Summary: *Presently work is made an analysis of the results of the thermal solar Project installed in Nueva Gerona, Islade la Juventud. The systems installed and the situation it existed is described. The results of the investigation are shown was carried out to know data of the consumption of hot water. Two proposals of design are exposed for which were carried out the pertinent calculations to know the number of collectors that is needed to satisfy the demand of hot water of the 8 buildings.*

Key Word: Solar energy, solar Collectors, vacuum tubes