



SISTEMA SOLAR DE CALENTAMIENTO DEL AGUA DEL ALBERGUE DE "TEMAXCALAPA, VERACRUZ"

Jorge Arturo del Angel Ramos
Antonio Sarmiento Sera

RESUMEN/ABSTRACT

En el presente reporte, se presenta el cálculo de un sistema solar de calentamiento de agua para uso doméstico en un albergue de estudiantes del estado de Veracruz, México. Se hace énfasis especial en el cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento del agua caliente, para lo cual se introducen algunos aspectos novedosos con respecto a los tradicionales y se presenta las diferencias entre ambos criterios y sus resultados de diseño.

Palabras claves: Energía Solar, calentamiento de agua, energía renovable.

The sizing of a solar water heating system is presented for domestic use in a housing for students of the state of Veracruz, Mexico. A special emphasis is made in the calculation of the hot water storage tank capacity, in which some novel aspects are introduced with regard to the traditional ones and differences between both approaches and their design results are presented.

Key words: Solar Energy, water heating, renewable energy

INTRODUCCIÓN

La necesidad de proyectar un albergue en la localidad de Temascalapa, municipio de Zongolica surge a raíz de que la Escuela Secundaria Técnica Agrícola No. 101 con clave 30DST0101A, rebasó su capacidad para resolver la necesidad de albergar a un grupo de jóvenes (76 alumnos) que tienen que hacer un recorrido desde su lugar de origen hasta la escuela para recibir su instrucción de nivel medio básico. Las comunidades que atiende la Escuela Secundaria Técnica Agropecuaria No. 101 de Temascalapa son las siguientes: 24 comunidades del Municipio de Zongolica; 16 comunidades del municipio de Eloxochitlan, Puebla; 4 comunidades del municipio de Mixtla de Altamirano, Veracruz y 2 comunidades del municipio de Tehuipango, Veracruz. En dicha institución se veían en la necesidad de alojar a estos alumnos adaptando, los salones de clase y la cocina para que por las noches tuviesen un lugar donde dormir. Como consecuencia de la sobrepoblación, se veían distorsionadas otras áreas, pues los servicios sanitarios se deterioran a causa del uso excesivo, la cocina no da abasto a los comensales y no existen locales para guardar las colchonetas y ropa de cama. El Director de la Escuela Secundaria fue el encargado de promover ante el Desarrollo Integral de la Familia

DIF. Estatal la creación de este albergue alternativo a las instalaciones de la Escuela Secundaria; que cumpla con las necesidades de los jóvenes y con sus actividades. El D.I.F. Estatal se dio a la tarea de implementar un programa bajo la creación de un patronato llamado "Patronato Pro-Construcción Albergue Temascalapa", encargado de recibir los materiales y equipo para la construcción del inmueble. Estos materiales y equipos lo proporcionan mediante donaciones de la Secretaría de Comunicaciones (S.C.O.P.), Secretaría de Finanzas, UNETE, PEMEX, SEDERE, que apoyan esta labor del D.I.F.

En la figura 1 se presenta un croquis de la Escuela Secundaria Técnica No. 101, en la cual hay 236 alumnos (edades entre 12 y 17 años); de los cuales 76 alumnos se quedan a pernoctar. En este croquis se observa que el conjunto gira alrededor de la cancha (plaza cívica); en las aulas durante el día se tienen actividades escolares y por la noche estas aulas y la cocina se utilizan como dormitorios, aquí los niños duermen hacinados en el suelo, también se observan los sanitarios (deteriorados) y tienen una caldera en desuso.

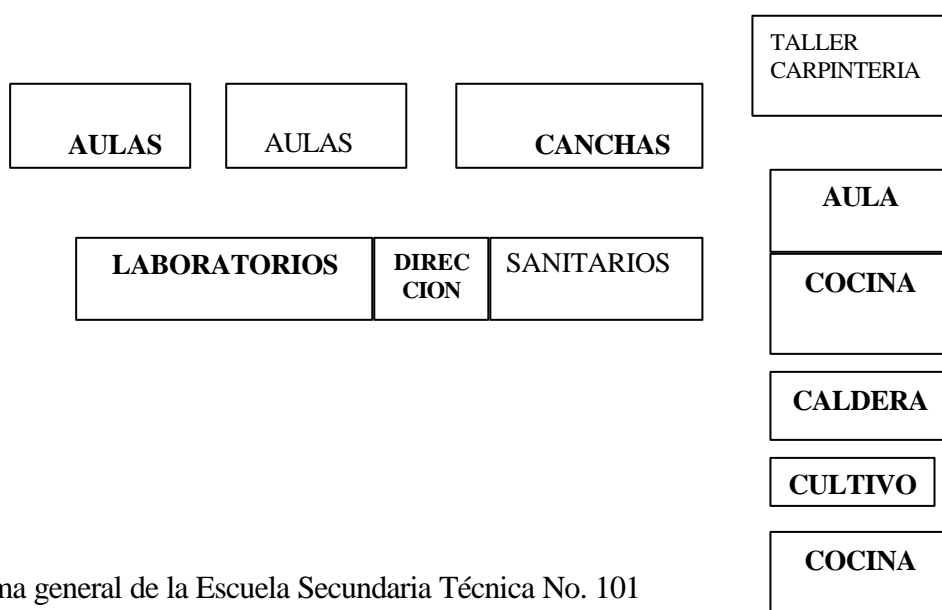


Fig. 1 Esquema general de la Escuela Secundaria Técnica No. 101

CONSIDERACIONES GENERALES

Para la solución del problema presentado, se propuso:

1. Para la red principal hidráulica de distribución, tubería de PVC hidráulico RD-26 y para los ramales interiores, tubería de cobre tipo M.
2. Para el calentamiento del agua, una elevación de temperatura de aproximadamente 40°, la cual proporcionarán los colectores solares planos.
3. Que los horarios de uso de las regaderas sean después del medio día, dividiéndose en 2 turnos separados.
4. Proyectar la tubería de la red de agua caliente, previendo que el calentamiento de los colectores solares planos sea suficiente para calentar agua a niveles aceptables sin el uso de la red de agua fría.

El agua que llega al albergue es tomada de la red hidráulica de la localidad de la cual llega agua de un pozo de absorción; esta agua llega a la red hidráulica del albergue, el cual se compone de la siguiente descripción hidráulica:

CÁLCULO DEL GASTO NECESARIO TOTAL

Se consideró suponer un gasto similar al necesario para una casa habitación normal, ya que en el albergue deberán cubrir todas sus necesidades de consumo de agua.

DOTACIÓN NECESARIA = 150 Lt/persona.día

POBLACIÓN DE CALCULO = 250 personas

DOTACIÓN DIARIA DE AGUA = (150Lt/persona.día) (250 personas) = 37,500 lt/día

GASTO MEDIO = 3125 lt/hr = 0.87 Lt/s

GASTO MÁXIMO DIARIO = (1.3) (GASTO MEDIO) = (1.3) (0.87 Lt/s) = 1.13 Lt/s

GASTO SANITARIO (80 % MÁXIMO DIARIO) = (0.80) (1.13 Lt/s) = 0.90 Lt/s

CONSUMO DE AGUA CALIENTE

El método que se utilizó para calcular el consumo de agua caliente es el de las unidades muebles, propuesto por el Dr. Roy B. Hunter [1]. Tomando la descripción hidráulica señalada anteriormente pero ahora con su respectiva unidad mueble; considerando que donde llegará el agua caliente de los colectores solares será en las regaderas, se utiliza la siguiente ecuación para convertir las unidades muebles a lt/s.

$$G(\text{lt/s}) = \frac{\sqrt{U.M.}}{2.3}$$

Donde:

G (Lt/s) = Consumo de agua caliente

U.M. = Unidades muebles

2.3 = Constante

Sustituyendo en la fórmula anterior las unidades muebles calculadas:

$$G(\text{lt/s}) = \frac{\sqrt{86 U.M.}}{2.3} = 4.03 \text{ lt/s}$$

Gasto esperado = 4.03 lt/s

Utilizando la fórmula de simultaneidad [2]:

$$\frac{19 + N}{10(N + 1)}$$

Donde:

N = Número de salidas de agua caliente

Sustituyendo las salidas en la fórmula de simultaneidad:

$$\frac{19 + 43}{10(43 + 1)} = 0.14$$

Se obtiene:

$$G = (0.14) (4.032) = 0.564 \text{ lt/s}$$

Convirtiendo los Lt/s. a Lt/día, lo cual se consigue multiplicando por el tiempo en el cual estarán funcionando las regaderas en el albergue en un día. Este tiempo se obtiene de la siguiente relación:

$$T.E. = (n / m) * t$$

n = Número de usuarios: 236 alumnos más 14 maestros y personal administrativo

t = tiempo de uso/turno: 12 min

m = número de regaderas: 86

$$T.E. = (250/86) * 12 = 34 \text{ minutos}$$

Por lo tanto deberá garantizarse el suministro de agua caliente para esta media hora (≈ 34 min), aunque se considerará una capacidad doble (1 hora = 3 600 s) para cubrir 1 día de autonomía en el caso de nublados.

$$\text{Consumo Total de Agua Caliente diario} = 0.564 * 3600 = 2032 \text{ litros}$$

Se calcula la necesidad calorífica (Q [kCal/día]) que se requiere para poder calentar el agua del albergue con los colectores solares ya que el agua tendrá un incremento de temperatura de 44°C . Así la variación de la temperatura mínima del agua es de 16°C (temperatura tomada al agua que sale de la red hidráulica de la localidad de Temaxcalapa que llega a los colectores solares), la cual llega de la red hidráulica y se llevará a una temperatura máxima de 60°C ; que es la temperatura de diseño de los colectores que se propondrán en el albergue.

$$DT = 60 - 16 = 44^\circ\text{C}$$

Así con el incremento de temperatura se puede calcular la energía calorífica (Q [kCal/día]) que se necesitará para calentar el agua del albergue de Temaxcalapa, mediante la fórmula [3]:

$$Q(DT) = (44^\circ\text{C}) * 2032 \text{ litros} = 89024 \text{ kCal/día}$$

Se necesitan 89 024 kCal/día para poder calentar el agua del albergue; y son estas kCal/día las que proporcionará la fuente inagotable de energía que es el sol.

CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS COLECTORES SOLARES PLANOS

Para poder calcular el número de colectores solares tomando la fórmula [3]; la cual es la que permitirá saber cuantos m^2 de colectores solares se necesitan para poder calentar el agua. Tomando la fórmula descrita anteriormente:

$$ENERGIA_{SOLARREQ} = QDT = (S)(I)(h)$$

donde $Q \Delta T$ = energía calorífica necesaria para poder calentar el agua

S = Superficie en m^2

I = Irradiación de la localidad de Temaxcalapa (kCal/día m^2)

h = Eficiencia del colector solar propuesto al albergue

De la fórmula en la que expresa la energía requerida para poder tener la energía calorífica necesaria se despeja la superficie; la cual dará los m^2 de paneles necesarios para las kCal/día requeridas:

$$S = \frac{Q\Delta T}{Ih}$$

Se calcula la eficiencia del colector solar, el cual es propuesto de la marca CHROMAGEN. De la fórmula [3] se calcula la eficiencia, la cual se describe a continuación:

$$h = 0.82 - 6.3x$$

Se calcula la constante x y la temperatura media del colector solar; tomando como temperatura ambiente $t^{\circ}_a = 25^{\circ}\text{C}$ a la temperatura de entrada, mientras que la salida del colector solar $t^{\circ}_e = 40^{\circ}\text{C}$. Ahora se calcula la temperatura media del colector solar de la siguiente manera:

$$X = \frac{t^{\circ}_m - t^{\circ}_a}{I} \quad t^{\circ}_m = \frac{t^{\circ}_e + t^{\circ}_s}{2}$$

$$tm = (ts - te)/2 = (60 + 16)/2 = 38^{\circ}\text{C}$$

Ahora se calcula la eficiencia del colector solar y se sustituirán los datos calculados de la temperatura del colector y la variable x :

$$x = (tm - ta)/I$$

$$x = \frac{38^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{3729.1666} = 0.00348$$

tomado de gráfica del colector

$$h = 0.82 - 6.3(0.00348) = 0.798$$

El colector solar CHROMAGEN tiene una eficiencia de 0.798, lo cual indica que es un colector solar eficiente para esta instalación.

Ya con todos los datos calculados sustituyendo en la fórmula de la superficie para poder calcular el número de colectores solares:

$$S = \frac{89024 \text{ kCal} / \text{día}}{(3729.1666 \text{ kCal} / \text{m}^2 \text{ día})(0.798)} = 29.9 \text{ m}^2$$

Se requieren 30 m² de colectores solares para calentar el agua. El colector solar CHROMAGEN CR-100 es el que se propone para el albergue y tiene las siguientes características:

CARACTERÍSTICAS DEL COLECTOR CHROMAGEN CR-100

TIPO		CR-100	DIMENSIONES del CR-100	
Área bruta	m ²	2.1	Ancho (cm)	109
Abertura efectiva	m ²	1.9	Alto (cm)	109
Relación área neto/bruto		0.90	Espesor (cm)	9
Peso	Kg	39		
Capacidad del fluido	litro	3.6		
Control de operación	bar	14		
Presión de operación	bar	8		
Eficiencia térmica (para $x=0.050$)	%	62		

Para el calcular el número de colectores solares se dividirá el área en m² requerida entre el área en m² del colector solar CR-100.

$$\text{Número de colectores solares} = \frac{29.9 \text{ m}^2}{1.9 \text{ m}^2} = 15.73 \text{ colectores solares}$$

Se necesitan 16 colectores solares marca CHROMAGEN CR-100 para que se tenga agua caliente a una temperatura de 60 °C, está es la temperatura de diseño de este colector solar lo cual indica, que los 16 colectores solares proporcionarán agua caliente en el albergue de Temaxcalapa.

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

Aunque normalmente los tanques de agua caliente se calculan a través de la demanda máxima por el tiempo de duración de este pico de demanda y restándolo de la capacidad calorífica del calentador o caldera, para un equipamiento a través de colectores solares esto no sería posible estimarlo de esta forma ya que el cálculo para determinar el número colectores se realiza delimitándolos para que en un día cubran los requerimientos de agua de la instalación, pero cómo las horas pico del consumo no coinciden con las horas de pre-

sencia del recurso solar, es necesario tener un almacenamiento para que el calentamiento del agua se pueda disponer para cuando se requiera, haciendo una analogía con los sistemas fotovoltaicos el tanque juega el mismo papel que las baterías. Algunas de las razones por las que es necesario proponer una forma de relacionar los diversos factores que pueden influir en la capacidad de almacenamiento del tanque son las siguientes :

§ Los textos especializados [1] , [4] sólo proponen un promedio basándose en el área del colector. Este promedio no puede considerarse una regla debido a las diferentes características climatológicas de un emplazamiento a otro.

§ Una mala selección del acumulador de agua caliente puede significar no tener el fluido disponible en el momento requerido, a pesar de una buena selección de los colectores solares.

§ Aunado al punto anterior puede, una mala selección del tanque acumulador, incidir en mayor consumo del energético auxiliar, prolongando de esta forma, el tiempo de recuperación de la inversión.

Por lo que se calcula una probable disponibilidad adicional o días de autonomía. Estos días de autonomía deben estar dados por un factor que abarque la variación de la Irradiancia durante el recorrido estacional, esto se consigue:

$$VT = \frac{(C - G)}{f}$$

donde:

VT = Volumen del tanque de almacenamiento de agua caliente, en litros

f = factor de capacidad calorífica estacional del colector

G = Probable demanda máxima, en litros

C = Capacidad de calentamiento de los colectores solares, en litros

$$f = (Q_{inv}/Q_{ver}) \text{ (días con sol/360),}$$

de dónde:

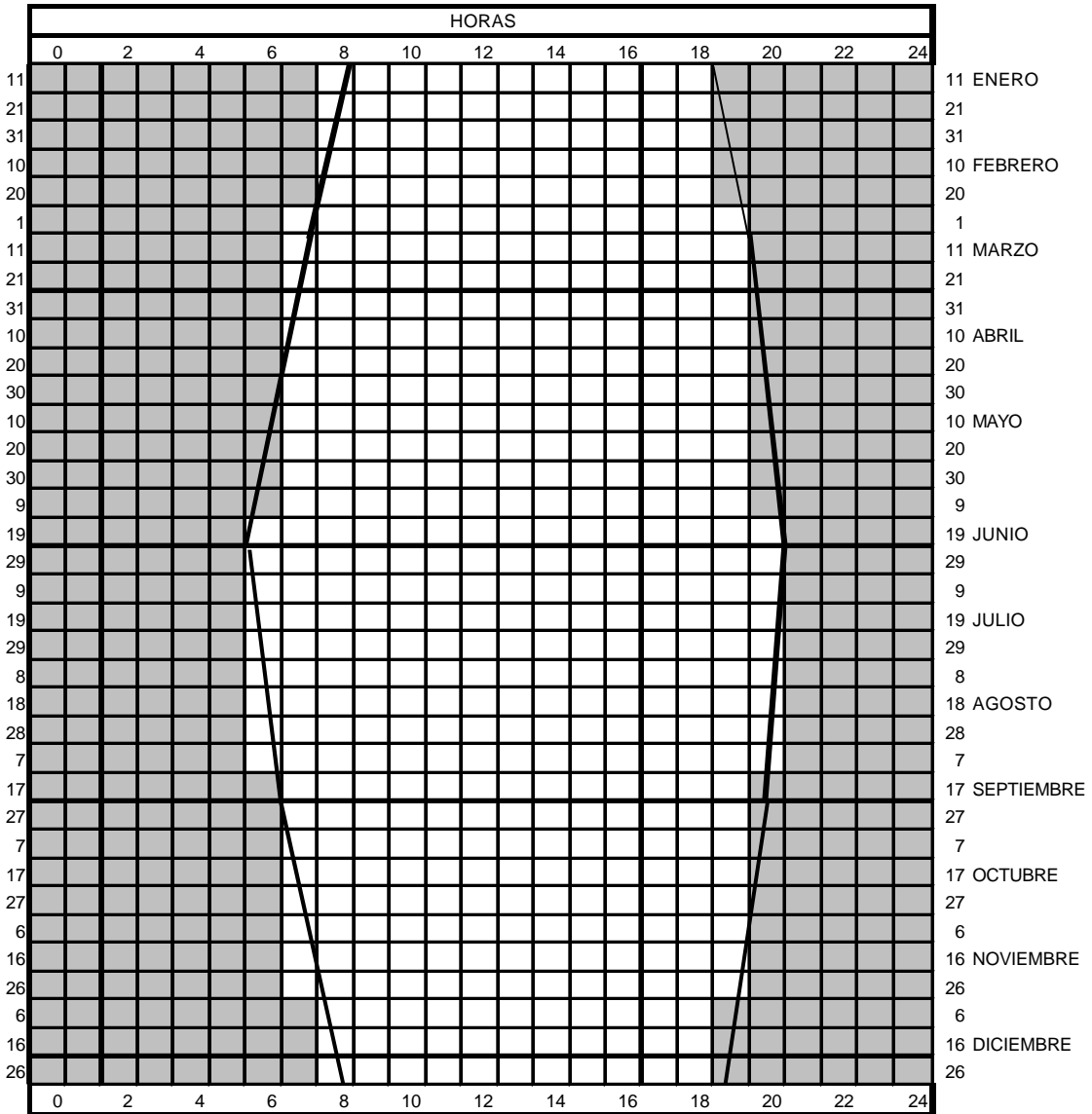
f = factor de capacidad calorífica estacional del colector

Q_{inv} = Capacidad calorífica invierno,

Q_{ver} = Capacidad calorífica verano,

(días con sol/360) = porcentaje de días despejados (sin nublados) de la zona del lugar dónde se instalará el sistema calefactor.

El factor de capacidad calorífica viene dado por la relación



Gráfica que muestra la variación de la irradiancia durante el recorrido estacional

Nota: Debe señalarse que aunque el gráfico se refiere a las horas del día, se conoce que la ganancia de calor es directamente proporcional al tiempo de exposición a la fuente de calor en este caso a la radiación solar, o sea que esta gráfica también muestra la variación de los valores de ganancia energética durante el año por lo que no es conveniente tener un valor en función del área instalada si no más bien de acuerdo a la variación de irradiación de cada lugar del mundo.

El factor de capacidad estacional de los colectores de forma sencilla se toma de los datos del fabricante el cuál señala:

Verano - (850 W/m ²)	Producción de calor 1,2 kW
Invierno - (450 W/m ²)	0,52 kW

Por lo tanto dicho factor quedará:

$$f = (0.52/1.2) 0.74 = 0.320$$

Sustituyendo los valores calculados del consumo de agua caliente:

$$G = 0.564 \text{ Lt/s} * 34 \text{ min} * 60 \text{ s/min} = 1150.56 \text{ Lt}$$

$$C = 2032 \text{ Lt}$$

$$VT = \frac{(2032 \text{ Lt} - 1150.6 \text{ Lt})}{0.32} = 2754.34 \text{ Lt}$$

Por lo tanto se requiere un tanque de almacenamiento de **2750 Lts.**

Si se hubiese seguido el método propuesto de igualar la capacidad con respecto al área se hubiera obtenido un tanque de 2100 Lt., esta diferencia entre los valores de capacidad del tanque resulta importante y constituye uno de los aspectos

Las consecuencias de haber aplicado el método tradicional pueden analizarse al existir algún día nublado con baja irradiancia, en el invierno (cuando el colector tan sólo captaría 450 W/m^2) el fluido se necesitaría calentar con electricidad desde la temperatura mínima de la región, mientras que con el tanque de mayor capacidad se tendría un almacenamiento mayor, con una temperatura bastante más elevada que la mínima.

En el verano que existe una mayor probabilidad de darse un segundo baño por día, el sistema lo podría proporcionar sin menoscabo de la operación del día siguiente.

CONCLUSIONES

En el presente reporte, se ha presentado el diseño del sistema de calentamiento de agua, utilizando como energía primaria a la energía solar. Se han presentado los pasos considerados para el diseño o dimensionamiento y en el caso del cálculo del tanque de almacenamiento del agua caliente, se presentaron elementos novedosos,

con respecto a los tradicionales, ya que el no considerar las características propias de los colectores puede llevarnos a sobrestimar la capacidad de captación de calor del sistema, subdimensionando el equilibrio entre la captación de calor y el almacenamiento, reportándose las diferencias entre los criterios para su estudio.

REFERENCIAS

- [1] Zepeda S., 2000, Manual de Instalaciones Hidráulicas, Sanitarias, Aire, Gas y Vapor. Editorial LIMUSA, México.
- [2] Biblioteca Atrium de las Instalaciones, 1998. Agua. Tomo III. Sevilla, España).
- [3] CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar) 1999, Tomo II. Energética Solar. Editorial Censolar. España.
- [4] CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar) 1999, Tomo III. Sistemas de Aprovechamiento Térmico. Editorial Censolar. España.

AUTORES

Jorge Arturo del Angel Ramos
 Profesor Titular, Academia de Termofluidos,
 Universidad Veracruzana, Veracruz, México

Antonio Sarmiento Sera.
 Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular,
 Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas
 Renovables (CETER), Instituto Superior "José
 Antonio Echeverría" (CUJAE), Ciudad de La
 Habana, Cuba.