

DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO (REFRIGERACIÓN) CON CHILLER DE ABSORCIÓN Y SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA CALIENTE MEDIANTE COLECTORES SOLARES

Ritcher-Fuyivara, Hector¹; Ríos-Orozco, Carlos Omar¹; Sosa-Montemayor, Fernando²; Escobedo-Bretado Jorge Alberto²; Martín-Domínguez Ignacio Ramiro²; Bravo Santillán, Juan¹

¹ Departamento de Metal – Mecánica, Instituto Tecnológico de Durango
Felipe Pescador 1803 Ote, Nueva Vizcaya, 34080, Durango, Dgo., México.
Teléfono +52 (618) 829 0900

h.ritcher.f@gmail.com, c.omar.rios@gmail.com, bravoitd@yahoo.com.mx

² Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C. Unidad Durango
Victoria 147 Norte Zona Centro, 34000, Durango, Dgo., México.
Teléfono +52 (618) 811 3572 y +52 (618) 811 0774

fernando.sosa@cimav.edu.mx, jorge.escobedo@cimav.edu.mx,
ignacio.martin@cimav.edu.mx

RESUMEN

En este trabajo presenta el dimensionamiento del sistema de aire acondicionado con calentadores solares, de placa plana y tubos evacuados, para un edificio (Laboratorio del Centro de Investigación de Materiales Avanzados CIMAV-Unidad Durango). La simulación es mediante TRNSYS (Transient System Simulation Tool).

En el análisis se considera los límites de temperatura (21°C y 24°C), horarios de trabajo, materiales de construcción empleados para el edificio y ganancias o pérdida de calor para generar el entorno.

Para la simulación se toma como base del equipo necesario para enfriar el edificio considerando como base al día más caliente del año, con una temperatura máxima de 35°C. Las cargas térmicas máximas basan en un máximo número de personas (148 personas capacidad de ocupación del edificio).

Considerando los resultados de la simulación se considera que dada la baja temperatura que se alcanza con los colectores solares de placa plana, no es costeable utilizarlos dado el alto número de colectores necesarios, por lo tanto, el equipo seleccionado es un chiller de 50 toneladas con 320 colectores solares de tubos evacuados. El sistema cuenta con un Termo-Tanque de 102 m³ y una fracción solar de 0.75. Dado los altos costos del Termo-Tanque, se utilizaron dos Termo-Tanques en paralelo con 160 colectores solares de tubos evacuados cada uno. Así se obtiene una fracción solar de 0.72 y con dos Termo-Tanques de 15.29 m³ cada uno.

INTRODUCCIÓN

En Durango, se construye un nuevo centro de investigación, el Centro de Investigación de materiales Avanzados (CIMAV). Se va a construir, entre otros, un edificio de Laboratorios. Debido a que es un edificio nuevo y es un centro de investigación, con un área de enfoque al medio ambiente, es necesario poner el ejemplo de los recursos naturales abundantes. El equipo de refrigeración es de los equipos del edificio que más contamina y más consume energías fósiles. Dado que el edificio aún no cuenta con equipo de refrigeración, es necesario minimizar costos implementando desde el principio un equipo que utiliza energía solar para su funcionamiento.

La implementación de un sistema de aire acondicionado solar es conveniente para el nuevo edificio del CIMAV-Unidad Durango, dado que el área donde se ubicará cuenta con radiación solar todo el año, ya que es un área donde ningún obstáculo genera sombra y la instalación estará sujeta a radiación solar todo el día. La cantidad de personas con las que va a contar el edificio y equipos harán necesario un sistema de aire acondicionado para que todo esté trabajando con su máxima eficiencia y no haya fatiga por calor. Dado que este centro de investigación está enfocado al medio ambiente, es necesario demostrar que se utilizan los recursos naturales para la satisfacción de las necesidades, aportando lo mínimo a la contaminación, y así obteniendo un sistema que contamina menos. Este proyecto sirve para empezar a fomentar en Durango el uso y estudio de los recursos naturales abundantes para satisfacer las necesidades que existen. Al implementar un sistema de aire acondicionado solar, desde la inauguración del edificio, se ahorraría el costo de un sistema de aire acondicionado convencional. Aun que el costo de un sistema convencional es de menor costo que un sistema solar, se ahorraría el doble costo que generaría después implementar el sistema solar y llevar a cabo todas las preparaciones en el edificio para que dicho sistema solar se pueda utilizar con máxima eficiencia. También, el tiempo necesario para que el equipo de "pague" sea más corto y se aportaría menos a la contaminación desde un inicio.

Los beneficiados al implementar un sistema de aire acondicionado solar serian todas las personas que viven en este mundo, ya que el sistema disminuye a la contaminación. Los usuarios de este edificio serán beneficiados, ya que el sistema no genera ruido, a comparación de un sistema convencional de aire acondicionado. Los usuarios del laboratorio trabajaran con mayor comodidad ya que el área estará a una temperatura a la cual los usuarios podrán realizar sus actividades sin contar con fatiga por calor.

METODOLOGÍA

El dimensionamiento del sistema de acondicionamiento (refrigeración) del laboratorio que se va a construir para el CIMAV Unidad Durango previamente fue creado por personal de la institución en SketchUp se simula en TRNSYS. Con el uso de TRNbuild, una extensión de TRNSYS, se delimitan la temperatura, horarios de trabajo y ganancias de calor para generar un entorno para realizar la simulación con la mayor precisión posible. Se fijan los límites de temperatura, de 21°C y 24°C. En TRNbuild también se especifican los materiales de construcción empleados para el edificio. El equipo necesario para enfriar el edificio es seleccionado en base al día más caliente del año, para el cual se considera una temperatura máxima de 35°C. Las cargas térmicas son las máximas (con un máximo número de personas de 148). [1] Dado que la temperatura confort es de 22.5°C en el verano [2], al realizar una actividad, la temperatura debe ser menor para poder mantener el confort. Con el rango, se satisface esa necesidad, así como también la necesidad de los equipos que se encuentran en el laboratorio.

Para la simulación en TRNSYS se considera un periodo de 8760 horas (un año). La figura 1 muestra el diagrama del sistema propuesto en TRNSYS. El equipo se dimensiona según el día más caliente del año. De esta manera, el equipo puede cubrir la demanda en cualquier día del año.

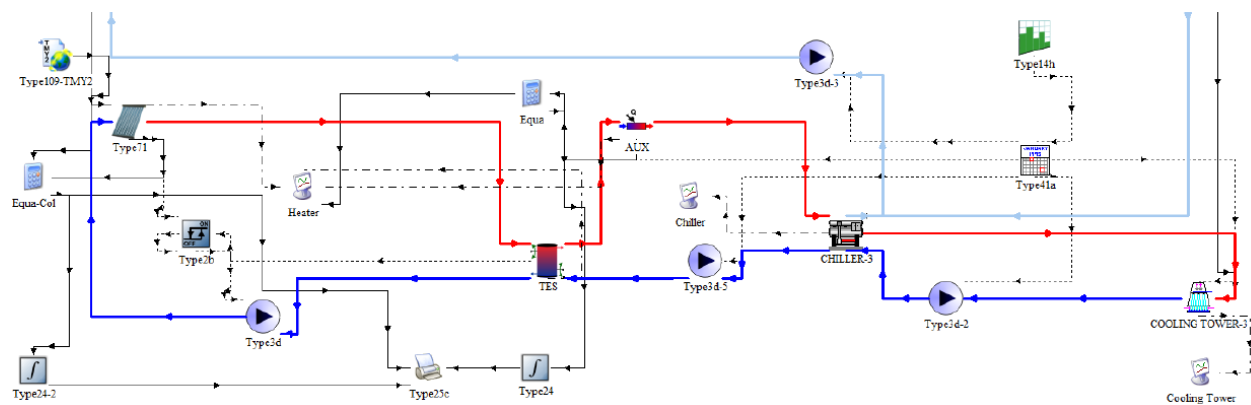


Figura 1. Esquema en TRNSYS con 1 Termo-Tanque

Equipos y condiciones de operación

Chiller

El chiller seleccionado es modelo WFC-SC50, Yazaki, de una capacidad nominal de 175.8 KW, Tabla 1. Es un chiller de absorción de efecto simple que usa agua/bromuro de litio como los fluidos de trabajo. Este equipo fue seleccionado debido a que cumple con la capacidad para enfriar el edificio y a la disponibilidad de información del fabricante.

Colector de Placa Plana

En la tabla 2, se presentan los datos técnicos del colector solar de placa plana usado en la simulación. El calentador solar cuenta con certificación SRCC y se proporcionan los datos necesarios para realizar la simulación, como son los datos de la eficiencia del colector solar. Está construido con un absolvedor de cobre y una capa absolvedora azul. [3] La carcasa está construida con aluminio y cuenta con un vidrio templado de 4 milímetros.

Tabla 1 Especificaciones del Chiller de Absorción.

Capacidad	kW	175.8
Agua Caliente		
Temperatura Entrada	°C	88
Temperatura Salida	°C	83
Flujo	L/s	12
Agua de Enfriamiento		
Temperatura Entrada	°C	31
Temperatura Salida	°C	35
Flujo	L/s	25.5
Agua Fría		
Temperatura Entrada	°C	12.5
Temperatura Salida	°C	7
Flujo	L/s	7.64

Tabla 2 Especificaciones del colector de placa plana.

Climasol modelo Climasol 2.50		
Área Colector	2.315	m ²
Flujo	0.0240	kg/(s m ²)
Eficiencia	0.632	
Coefficiente Negativo de primer orden de eficiencia	3.29640	W/(m ² K)
Coefficiente Negativo de segundo orden de eficiencia	0.01553	W/(m ² K ²)

En la tabla 3, se presentan los datos técnicos del calentador solar de tubos evacuados usado en la simulación. Este es un colector solar certificado por la SRCC. Es un modelo comercial en Estados Unidos y las especificaciones proporcionadas son las necesarias para la simulación en TRNSYS. Está construido con tubos al vacío con heat-pipe de cobre y contiene aletas de aluminio. [4] Las uniones contienen pasta de conducción térmica para eliminar el aire en las uniones.

Tabla 3 Especificaciones del colector de tubos evacuados.

Duda solar modelo SC5815		
Área Colector	2.342	m ²
Flujo	0.0118	kg/(s m ²)
Eficiencia	0.420	
Coefficiente Negativo de primer orden de eficiencia	0.65440	W/(m ² K)
Coefficiente Negativo de segundo orden de eficiencia	0.00310	W/(m ² K ²)

Horarios

Los horarios de operación del edificio son especificados para así poder simular con más precisión el comportamiento de los equipos. El horario de operación del edificio es de 09:00 a 19:00 horas, de lunes a viernes.

Personas

En un edificio, como en laboratorios, las personas generan calor y como consecuencia lo transmiten a su entorno. Esto hace que se eleve la temperatura en sus alrededores. El número de personas para el cálculo de las cargas térmicas es importante, ya el funcionamiento del equipo de aire acondicionado es función de la carga térmica (equipos y personas). Establecido que como

máximo sea 1 persona por cada 4.6 m² de área. [1] Lo establecido de la carga de ocupación está en base a la seguridad de las personas que se encuentran dentro del edificio y el área aproximada necesaria que necesitan para llevar a cabo sus actividades.

Termo – Tanque

De acuerdo al manual de diseño de ASHRAE, el tamaño óptimo de Termo-Tanque es de entre 20.4 L/m² y 81.6 L/m² de área bruta de colectores. [5] No solo es el tamaño óptimo, sino también el de menor costo que satisface las necesidades del sistema solar. El tamaño del Termo-Tanque varía de 1.5 m³ hasta 215 m³.

Se siguió un proceso iterativo para dimensionar el Termo-Tanque para los colectores de placa plana y de tubos evacuados. El tamaño de cada iteración se hizo de de 5 L/m² empezando de 40.8 L/m². Después, se realizaron de 1 L/m² hasta encontrar el óptimo. Se realizaron simulaciones hasta 560 colectores solares en el caso de los colectores de tubos evacuados. Se hicieron los cálculos en Excel y se graficó la fracción solar. La grafica generada se analizó para ver los puntos donde la gráfica tenía puntos o valores irregulares. De la misma manera se llevó a cabo para los colectores de placa plana hasta 900 colectores solares.

Disminución de Costos

Debido a los altos costos de los Termo-Tanques, se vio la necesidad de disminuir los costos sin afectar la fracción solar y el ahorro anual. Debido a que el flujo necesario en los colectores solares es menor al flujo del chiller del agua caliente para hacer funcionar el chiller, se separó el sistema de colectores en dos grupos, como se muestra en la figura 2. Los 320 colectores solares de tubos evacuados, con los cuales se obtuvo la fracción solar de 0.75, necesita un Termo-Tanque de 96m³. En la tabla 4 se muestra el tamaño de Termo-Tanque de acuerdo al número de colectores solares. Al separar el sistema en dos grupos de colectores solares, los cuales están conectados en paralelo a la caldera auxiliar, se utilizan dos Termo-Tanques de menor tamaño. Cada grupo contiene 160 colectores solares y un termo tanque de 15.29m³.

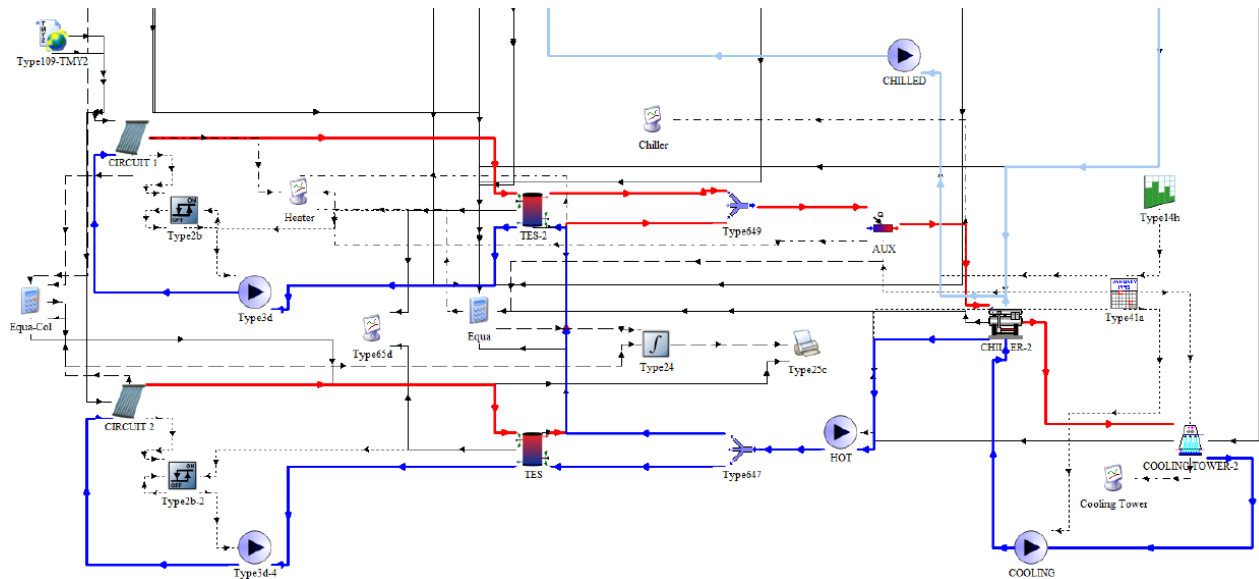


Figura 2. Esquema en TRNSYS de 2 Termo-Tanques conectados en paralelo

Como se ve en la Tabla 4, en el rango de 100 a 220 colectores, se necesitan Termo-Tanques de menor capacidad. El sistema que cuenta con dos Termo-Tanques contiene un tamaño de Termo-Tanques combinado de 1/3 menor que el sistema con 1 Termo-Tanque.

Tabla 4 Tamaño de Termo-Tanque según el número de colectores solares de tubos evacuados.

NUMERO DE COLECTORES	VOLUMEN DE TERMO-TANQUE (m3)
20	6.00
40	12.00
60	18.00
80	24.00
100	9.56
120	11.47
140	13.38
160	15.29
180	17.20
200	19.11
220	21.02
240	72.00
260	78.00
280	84.00
300	90.00
320	96.00
320	30.58
340	102.00
360	108.00
380	114.00
400	120.00
420	126.00
440	132.00
460	138.00
480	144.00
500	150.00
520	156.00
540	162.00
560	168.00

RESULTADOS

Para obtener una fracción solar de 0.75, se necesitan 320 colectores de tubos evacuados, como se muestra en la figura 1a. Se puede apreciar que al aumentar el número de colectores a partir de una fracción solar de 0.80, el cambio en la fracción solar no es significativo. Se puede apreciar en la figura 1b el costo de operación anual del sistema. De igual manera, a partir de los 400 colectores el costo de operación no disminuye considerablemente, en comparación de los anteriores.

Con el objetivo de disminuir los costos para lograr un tiempo de recuperación menor. Se observa un punto rojo en las figuras 1, 2, y 5, el cual es el resultado de separar el sistema de colectores en dos. Se separó el sistema de colectores en dos sistemas de 160 colectores solares con un Termo-Tanque de 15.29 m³ cada uno. Los Termo-Tanques están conectados en paralelo, de tal manera que los dos sistemas de 160 colectores solares no se conectan entre sí. Al conectar los Termo-Tanques en serie, se desperdicia energía de los colectores solares.

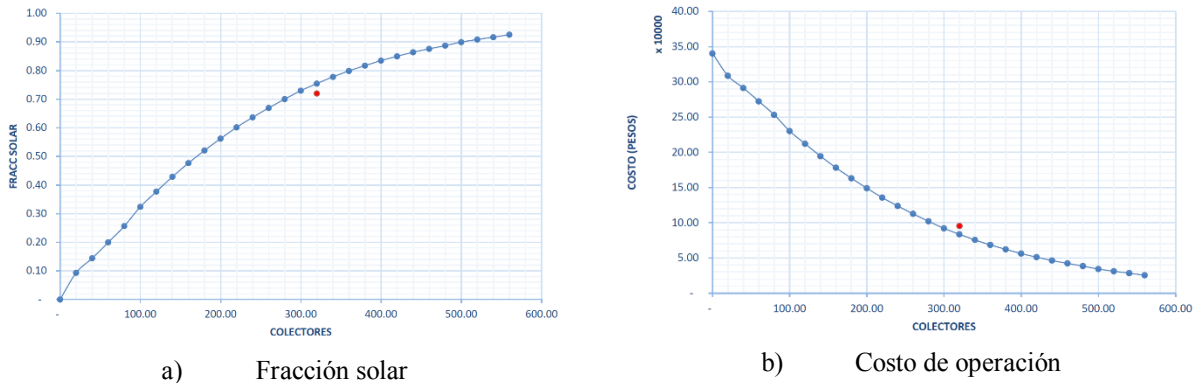


Figura 1 Colectores de tubos evacuados y caldera de Gas L.P.

En la figura 2a se puede apreciar que el sistema de colectores con tubos evacuados y con caldera eléctrica, de acuerdo a su fracción solar, es igual que el sistema de colectores de tubos evacuados con caldera de gas, dado que los colectores surten el mismo requerimiento. A diferencia con caldera de gas L.P., el costo de operación del sistema con caldera eléctrica, figura 2b, es más elevado. Esto es porque la electricidad tiene un costo elevado en comparación con el Gas L.P., el cual es aproximadamente el doble.

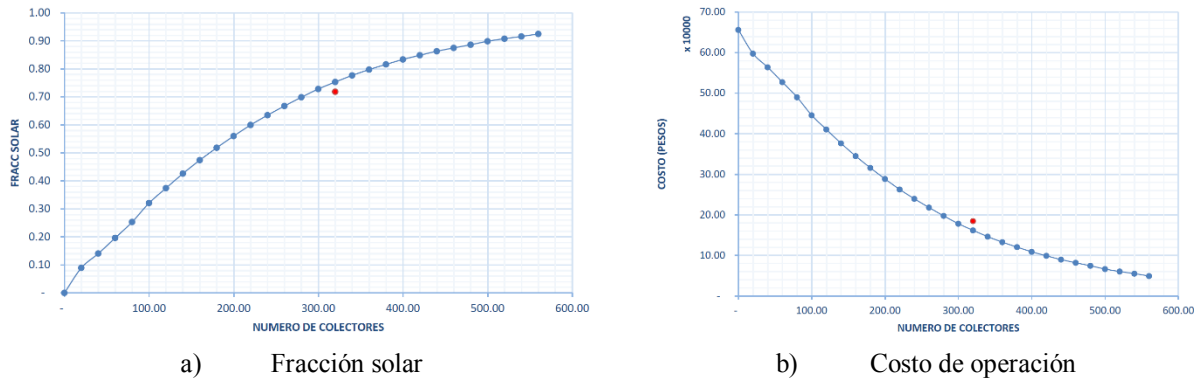
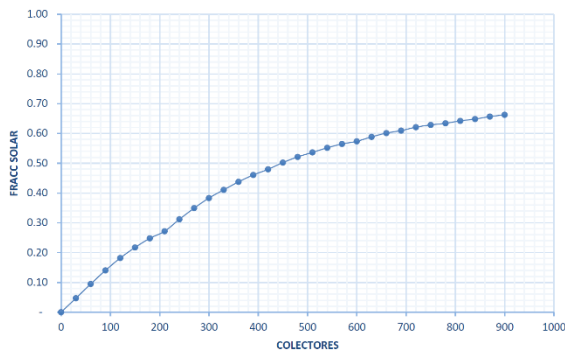
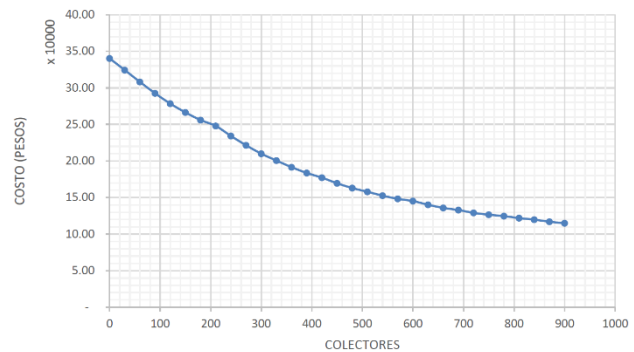


Figura 2 Colectores de tubos evacuados y caldera eléctrica.

Dado que los colectores solares de placa plana no alcanzan una temperatura alta, como los colectores solares de tubos evacuados, se necesitan más para alcanzar la fracción solar similar a tubos evacuados. Como se muestra en la figura 3a, se necesitan 450 colectores solares para alcanzar una fracción solar de 0.50. A partir de los 600 colectores solares, no es conveniente aumentar el número de colectores solares. Después de los 600 colectores, la disminución de costo de operación anual es pequeña. Esto es como resultado que son menos eficientes que los colectores de tubos evacuados y alcanzan una menor temperatura. En la figura 3b se muestra el costo de operación anual del sistema con colectores de placa plana y caldera de Gas L.P. Se demuestra que, al aumentar el número de colectores, el costo de operación no disminuye, el cual ocasiona que el tiempo de recuperación del sistema solar aumente y no es viable.



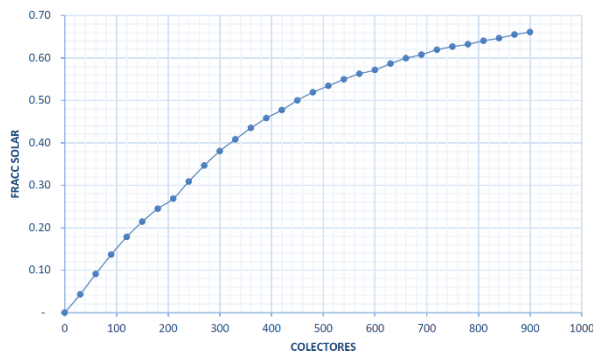
a) Fracción solar



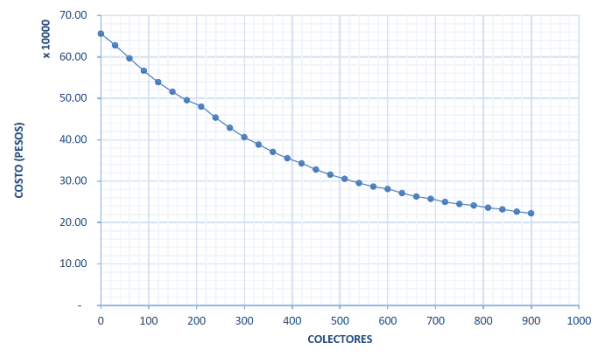
b) Costo de operación

Figura 3 Colectores de placa plana y caldera de Gas L.P.

El sistema de colectores solares de placa plana con caldera eléctrica tiene el mismo comportamiento que el sistema de colectores solares de placa plana con caldera de Gas L.P., como se muestra en la figura 4a. De igual manera, no es conveniente aumentar el número de colectores a partir de los 600, ya que el aumento en la fracción solar no crece tanto. En la figura 4b, se muestra el costo de operación anual con caldera eléctrica. El costo es muy elevado, al igual que ocurre con los colectores de tubos evacuados, el costo de operación aumenta a casi el doble.



a) Fracción solar



b) Costo de operación

Figura 4 Colectores de placa plana y caldera eléctrica.

En la figura 5, se muestra el tiempo de recuperación de los sistemas con colectores de tubos evacuados, con calderas de Gas L.P. y eléctrica, respectivamente. Se aprecia que el tiempo de

recuperación es menor en el sistema con caldera eléctrica. Dado que el costo de operación anual de una caldera eléctrica es más elevado que el de una caldera de Gas L.P., el ahorro anual es menor, pero el costo de operación anual es mayor. El comportamiento de la recuperación no es lineal dado que el tamaño del Termo-Tanque no es lineal.

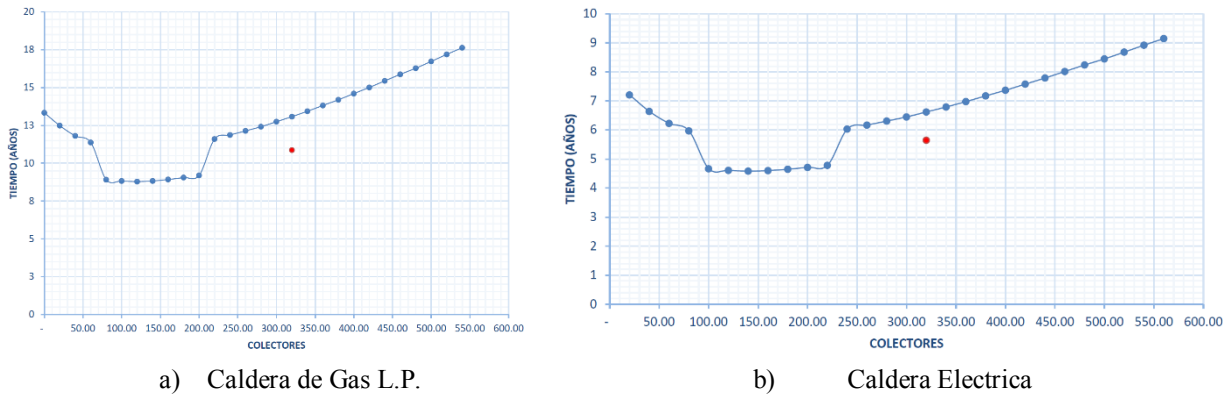


Figura 5 Tiempo de recuperación con colectores de tubos evacuados.

La figura 6, muestra el tiempo de recuperación en el sistema con colectores de placa plana, con caldera de Gas L.P. y eléctrica, respectivamente. Igual que en las anteriores, el tiempo de recuperación es menor en el sistema que cuenta con caldera electrica dado que el ahorro es más alto y como consecuencia el tiempo de recuperación es menor. No se realizó el mismo sistema de conectar los Termo-Tanques en paralelo, como se realizó con los de tubos evacuados porque al separar en dos sistemas con dos Termo-Tanques, lo único afectado sería la fracción solar. El tamaño de los dos Termo-Tanques sería el mismo tamaño que con un Termo-Tanque.

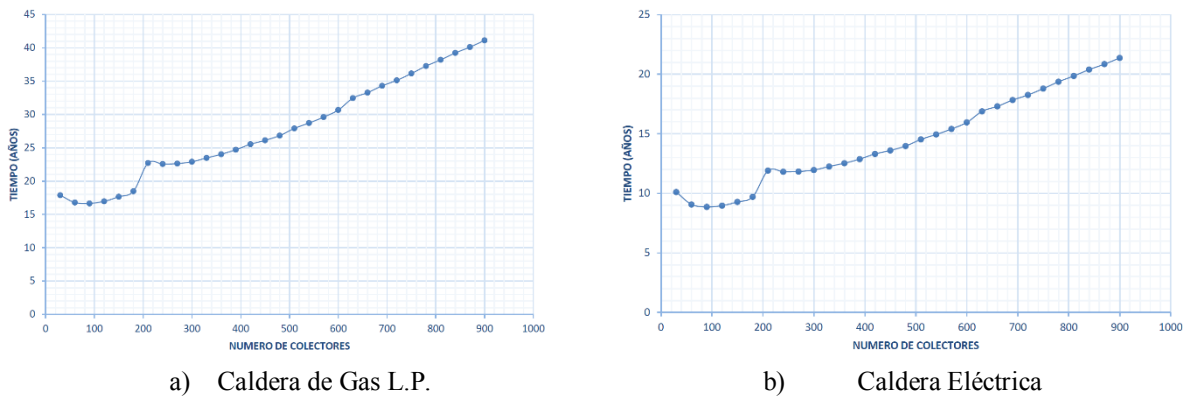


Figura 5 Tiempo de recuperación con colectores de placa plana.

Para la obtención de una fracción solar del 0.75, es más conveniente utilizar colectores de tubo evacuado. Esto es debido a que se necesita menos área de colectores de tubo evacuado porque pueden alcanzar una temperatura mayor y así satisfacer el requerimiento del sistema de aire acondicionado. El sistema de colectores de placa plana necesita un Termo-Tanque más pequeño. Esto es porque la temperatura alcanzada por los colectores de placa plana es menor y como resultado necesitan un Termo-Tanque más pequeño porque no alcanzaría a calentar el agua.

CONCLUSIONES

Es mejor utilizar el sistema de colectores solares con dos Termo-Tanques de 15.29 m³ y 160 colectores solares conectados a cada Termo-Tanque. Esto es porque el costo es menor que el sistema que tiene un Termo-Tanque de 96 m³ y 320 colectores. El tiempo de recuperación es menor con una reducción mínima en la fracción solar.

La caldera de Gas L.P. tiene un costo de operación anual menor que la caldera eléctrica. El tiempo de recuperación con una caldera eléctrica es menor porque el costo de la electricidad es mayor, lo que ocasiona que un ahorro del 50% sea mayor.

Recomendaciones

Si lo que se desea es disminuir los costos de operación con una mínima inversión en el sistema solar, se recomienda utilizar entre 100 y 220 colectores solares para obtener una fracción solar entre 0.26 y 0.54 con bajos costos de inversión. De esta manera, el tiempo de recuperación es relativamente rápido, mientras también se reduce la contaminación.

El sistema que cuenta con caldera de Gas L.P. es recomendado por el bajo costo de operación. Dado que el costo de la electricidad es más elevado que el costo del gas, se obtiene más ahorro en el sistema con caldera eléctrica. El costo de operación de la caldera de gas es un poco menos de la mitad del costo de operación de la caldera eléctrica. También, al querer disminuir la contaminación, al utilizar caldera eléctrica, se está contaminando porque existe contaminación para generar la electricidad necesaria para el funcionamiento de la caldera eléctrica.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo económico recibido por parte del:

Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CeMIE-Sol), A través del Proyecto:

P13 “Laboratorios de pruebas para baja y media temperatura, laboratorio para el diseño e integración de sistemas termo solares asistido por computadora”

Perteneciente a la Convocatoria 2013-02, del:

Fondo SECTORIAL CONACYT - SENER - SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA.

Para el desarrollo y presentación de éste trabajo.

Jorge Alberto Escobedo Bretado

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico, 2011
<http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/r406001.pdf>
- [2] Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, 2014
- [3] Solar Collectors, SOLE S.A., 2015, <http://www.eurostar-solar.com/solar-collectors.html>
- [4] Duda Solar Water Collector, Biodiesel & Alternative Energy Supplies, 2008,
https://www.dudadiesel.com/choose_item.php?id=DS-SC5814-15T
- [5] Active Solar Heating Systems Design Manual, ASHRAE, Inc., 1988 http://www.solar-rating.org/commercial/designmanual/ashraedesignmanualec3_4detaileddesign.pdf