

DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA SOLAR TERMICO COMBINADO (SOLAR COMBISYSTEM)

Nájera-Trejo M.*, Martin-Domínguez I.R.*

* Energía renovable y protección al medio ambiente, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., Ave. Miguel de Cervantes, Chihuahua, 31109, (Chihuahua) México, +52(614)4391100, mario.najera@cimav.edu.mx

RESUMEN

Se presentan los resultados de un modelo de simulación dinámica, propuesto para asistir con energía solar térmica a un sistema de calefacción por piso radiante y suministro de agua caliente de uso doméstico, para una vivienda situada en la ciudad de Chihuahua. El sistema es analizado bajo las condiciones climatológicas de un año típico y es sometido a la variación del tipo y número de los colectores solares, así como de la capacidad del tanque de almacenamiento. Se utilizó TRNSYS como herramienta principal para diseñar y simular el sistema, con el fin de minimizar el consumo de gas LP en la vivienda hasta un 92.5%.

PALABRAS CLAVE: Energía Solar, TRNSYS, Piso Radiante, Agua Caliente.

ABSTRACT

The results of a dynamic simulation model are presented in this work. A solar thermal heating system is been proposed to provide heating through radiant floor and hot water supply for a dwelling in the city of Chihuahua. The system is analyzed under the climatic conditions of a typical year and is subject to parameter analysis in the type and number of solar collectors as well as storage tank capacity. TRNSYS was used as the main tool to design and simulate the system, in order to minimize the LPG consumption up to 92.5%.

KEYWORDS: Solar Energy, TRNSYS, Combi-system, Rediant Floor, Hot Water.

INTRODUCCIÓN

Cerca del 16% del total de la energía del país es consumida por el sector residencial y se considera para la región norte que más de la mitad de este consumo se debe al uso de calefacción y calentamiento de agua de uso doméstico. Además, se observa que existe un constante incremento en el consumo energético de este sector, que está estrechamente ligado al creciente sedentarismo y demanda de confort térmico.

La región norte de México posee condiciones climatológicas severas en invierno ya que las bajas temperaturas pueden llegar a ser de hasta -17°C , no obstante esta región también posee altos niveles de incidencia solar, lo que indica que el aprovechamiento de las tecnologías térmicas solares aplicadas al sector residencial serán altamente redituables para el país.

El concepto de sistema térmico combinado no es nuevo, sin embargo sigue siendo ampliamente estudiado, ganando cada vez más aceptación en regiones como Europa y Estados Unidos por su gran número de ventajas por sobre los sistemas convencionales de calefacción y calentamiento de agua a nivel residencial.

Sin embargo la variabilidad natural de los parámetros que influyen en el comportamiento del sistema asistido con energía solar, tales como son la temperatura ambiente y la irradiación solar disponible, hacen necesaria la utilización de herramientas de cómputo especializadas para simular el comportamiento térmico de los sistemas sobre periodos extendidos de tiempo.

El objetivo de este trabajo es determinar el diseño óptimo de un sistema térmico solar/gas utilizado para la calefacción y el agua caliente de uso doméstico de una vivienda unifamiliar que está situada en Chihuahua, Chih., utilizando el programa de simulación dinámica TRNSYS.

METODOLOGIA

Se diseñó un sistema térmico solar para abastecer a una vivienda con agua caliente para el uso doméstico de sus habitantes y para uso de calefacción por piso radiante. El sistema cuenta con un conjunto de colectores solares, cuya energía captada es almacenada en un tanque de almacenamiento. Una caldera auxiliar es utilizada como sistema de apoyo en caso de que se requiera incrementar la temperatura del flujo de agua en demanda tanto para el del piso radiante de la vivienda como para uso sanitario. El agua utilizada para la calefacción, retorna al tanque de almacenamiento después de recorrer los serpentines del piso radiante. El diseño del sistema también considera la reposición del agua caliente utilizada con agua fría de la red, la cual varía su temperatura a lo largo del año.

Para fines prácticos el sistema se divide en dos partes principales como se muestra en la Fig. 1 Sistema de captación de energía solar, así como Sistema de calefacción y Agua caliente de uso doméstico.

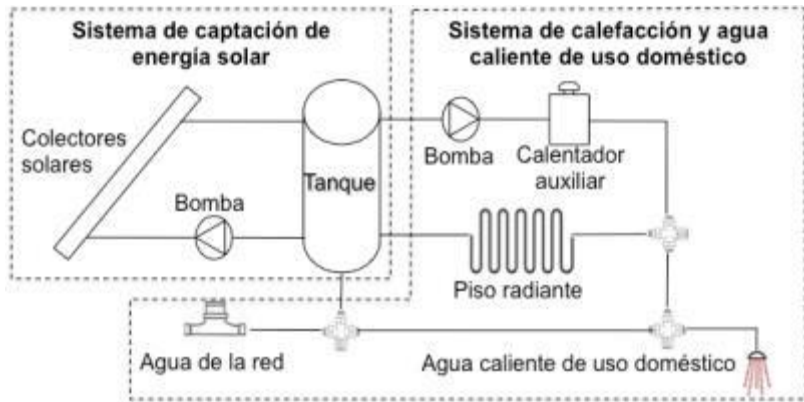


Fig. 1. Diagrama de los principales componentes involucrados en el sistema.

Principales componentes del sistema de captación

Colectores Solares. Se analiza el efecto térmico de los colectores solares de placa plana (Kioto Clear Energy, FP7.25.0H) así como colectores solares de tubos evacuados (Apricus, AP-30) con una inclinación fija a 40° .

Tanque de almacenamiento. El tanque utilizado en el análisis es cilíndrico-vertical con tres niveles de estratificación térmica para lo cual se considera una altura máxima de 2.1 m. No se encuentra presurizado y se considera lleno de agua.

Bombeo. El encendido y apagado de la bomba depende de un control de temperaturas. Este control mide la temperatura en la salida del tanque de almacenamiento y lo compara con la temperatura en la salida del colector. Al ser mayor la temperatura del fluido en la salida del colector entonces la bomba enciende, siempre y cuando el tanque no tenga una temperatura mayor a 98°C para evitar ebullición.

Sistema de calefacción y agua caliente en la vivienda

Vivienda. La vivienda que se analiza se ubica en Chihuahua, Chihuahua, México. Esta vivienda consta de dos plantas. El espacio considerado como habitable de la planta baja tiene un área superficial de 83.31 m^2 y cuenta con un vestíbulo, sala, comedor, cocina y baño. Por otra parte, el espacio habitable considerado para la planta alta cuenta con un área superficial de 120 m^2 en la cual se encuentra la estancia, lavandería, 3 recamaras, 2 baños y un vestidor, tal como se muestra en la Fig. 2.

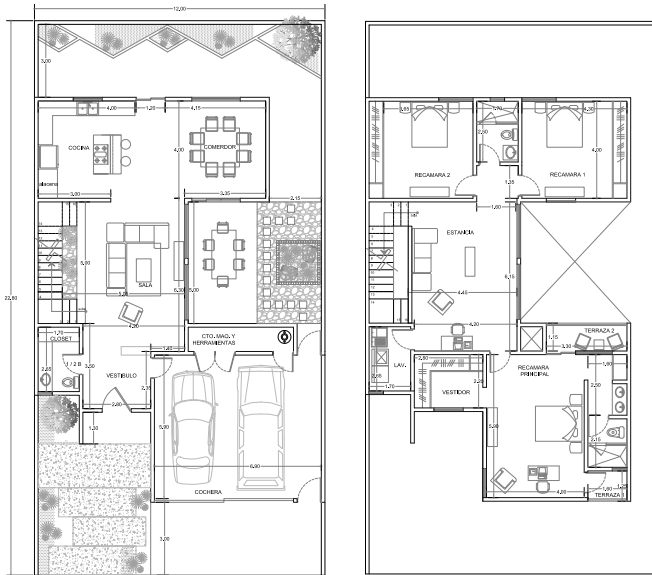


Fig. 2. Planos de la vivienda.

Materiales de Construcción. La construcción representa una vivienda con un buen nivel de resistencia térmica ya que se constituye principalmente del material térmico llamado Hebel. El Hebel es un concreto celular ultra ligero en cuya composición existen miles de celdas de aire esféricas, homogéneas e independientes, que proporcionan ventajas como el aislamiento térmico. Además se utilizan ventanas de doble vidrio, así como un aislamiento térmico en el techo de la segunda planta. Los materiales y sus propiedades termo-físicas utilizadas en el análisis se definen en la Tabla 1. y Tabla 2.

Tabla 1. Propiedades Termo Físicas de los materiales en la construcción.

	Capas	Espesor (m)	Conductividad (kJ/h m K)	Capacidad (kJ/kg K)	Densidad (kg/m ³)
Muros	Yeso interior	0.015	5	1	2000
	Hebel	0.15	0.468	1.36	500
	Yeso exterior	0.015	5	1	2000
Pisos	Piso	0.005	0.252	1	800
	Concreto C1	0.12	7.56	0.8	2400
	PEX	-	1.368	2.3	951
	Concreto C2	0.12	7.56	0.8	2400
	Aislamiento	0.3	0.1224	1.4	55
Techo	Poliuretano	0.051	0.13	1.47	40
	Concreto	0.24	7.56	0.8	2400
	Yeso	0.015	5	1	2000

Tabla 2. Propiedades Termo Físicas de las ventanas en la construcción.

Capa	Valor-U (W/m ² K)	Valor-G (%)	Área del Marco (%)	Valor U del Marco (kJ/h m ² K)	Absortancia del Marco
Vidrio	1.4	0.589	0.2	8.17	0.65

Calefacción. La vivienda analizada cuenta con un sistema de calefacción por piso radiante, el cual consiste en un conjunto de redes de tuberías que transportan un fluido térmico bajo la superficie de una zona. El fluido térmico en este caso agua, transmite calor a las paredes de las tuberías que a su vez lo conducen a la superficie del piso y lo llevan hacia la zona térmica por medio de radiación, conducción y convección.

El sistema está constituido por tubería PEX (Polietileno reticulado) que posee resistencia a condiciones de alta temperatura, impactos, presión y flexibilidad. Las características utilizadas para el análisis se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características Físicas y Térmicas de la tubería PEX

Tubería	Espaciamiento entre tuberías (m)	Diámetro exterior de la tubería (m)	Espesor de la pared de la tubería (m)	Conductividad térmica de la pared de la tubería (kJ/h m K)
PEX	0.4	0.025	0.0023	1.368

Para la distribución de las redes de tuberías, se consideran dos distribuidores. Para la planta baja se considera un distribuidor de 8 salidas, así como para la planta alta se considera un distribuidor de 11 salidas.

El control de la temperatura ambiente de las zonas térmicas se da por medio del encendido y apagado de la bomba que lleva el agua caliente a las tuberías de piso radiante, además de la modulación de los flujos máscicos en la válvula diversora, como se muestra en la Fig. 3.

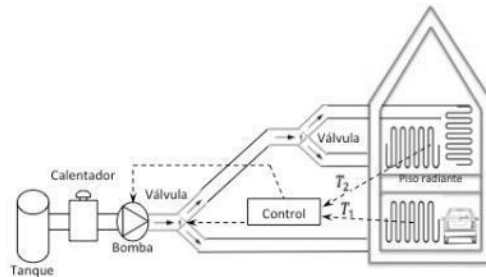


Fig. 3. Diagrama del control utilizado para el piso radiante.

La temperatura ambiente en las zonas térmicas debe ser menor a 21°C para el encendido de la bomba, sin embargo se consideró que la bomba permanece apagada de las 8:00 a las 15:00 h por la usual ausencia de los habitantes.

La válvula diversora funciona por medio de una señal que regula la cantidad de flujo máscico de agua caliente a la planta baja o a la planta alta dependiendo de la diferencia de temperatura entre las dos zonas térmicas.

Agua caliente de uso doméstico. Se reporta que se consumen 96.1 L de agua caliente diariamente por cada habitante de la ciudad de Chihuahua. Sin embargo en el análisis de la vivienda se consideran 4 habitantes, dando como consumo total de agua caliente 384.4 L/día. Este consumo se supone para su uso diario durante todo el año en un horario de las 6:00 a las 8:00 horas.

La temperatura del agua se controla por medio de una señal diseñada para regular el mezclado de agua fría de la red, con el agua caliente que proviene del calentador auxiliar para obtener 45°C constantes. La temperatura del agua de la red se define mediante una función parabólica. En esta función se considera la temperatura al inicio y al final del año como 16°C, teniendo a la mitad del año una máxima temperatura de 23°C.

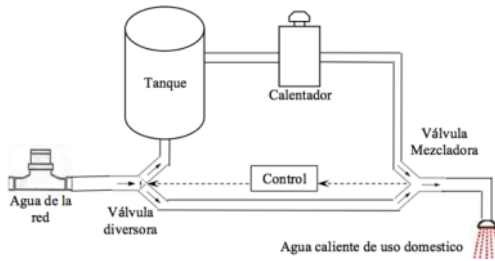


Fig. 4. Diagrama del control utilizado para el agua caliente de uso doméstico.

Simulación numérica

La simulación se llevó a cabo mediante TRNSYS 16 y para su correcto funcionamiento, se requirió de la integración de un considerable número de módulos y parámetros.

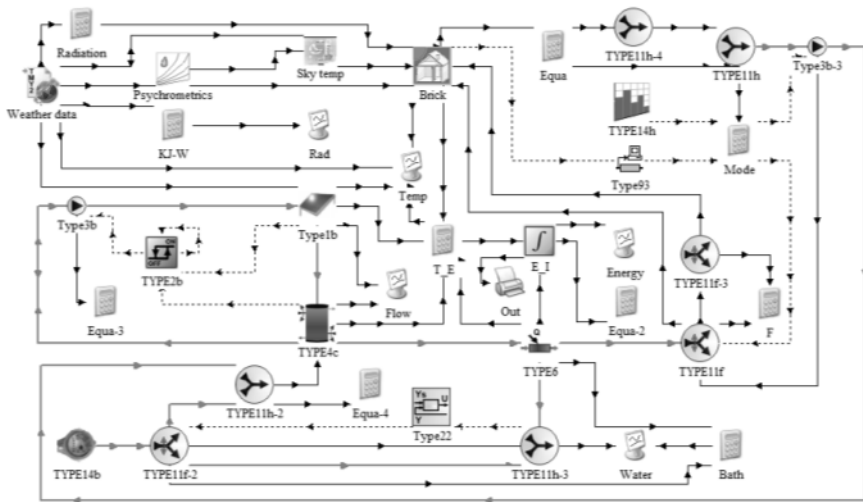


Fig. 5. Simulador en TRNSYS

Costos

La implementación de un sistema térmico solar generalmente es utilizado para la reducción de costos por consumo energético, por lo tanto la rentabilidad de estos sistemas es analizado contra los costos de adquisición de los equipos, operación y vida útil.

Costos de Inversión. Se consideran los colectores solares como se muestra en la Tabla 4. y el tanque de almacenamiento.

Tabla 4. Costos de los colectores solares

Equipo	Marca	Modelo	Costo
Colector de tubos evacuados	Apricus	AP-30	\$8,500
Colector de placa plana	Kioto Clear Energy	FP 7.25.0 H	\$4,176

Debido al tamaño de los tanques, se considera utilizar como máximo 3 de 2500L. En la Fig. 6 se observa una regresión lineal obtenida con los costos de la marca Swimquip. Con esto se puede obtener una estimación del precio del tanque en base a su capacidad.

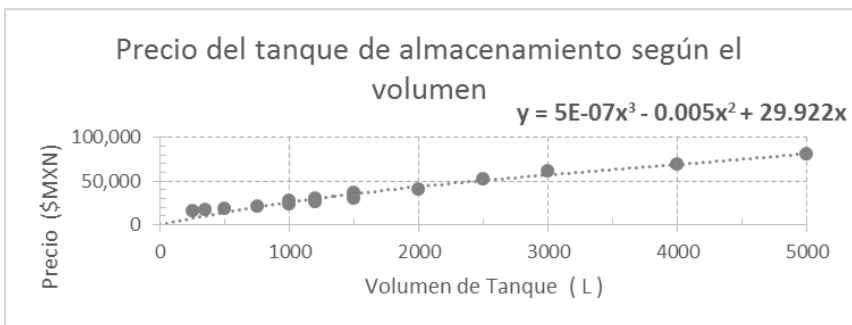


Fig. 6. Correlación de los costos del tanque de almacenamiento.

Costos de operación. En los costos de operación del sistema se consideró el consumo energético requerido por el calentador auxiliar a lo largo de 25 años de operación. Se considera que el calentador utiliza gas LP como combustible.

Para el análisis se utilizó la Ec. (1) que es el valor presente con gradiente (GPWF – Gradient Present Worth Factor) y se basa en la suposición teórica de que una cantidad, como por ejemplo el costo de la energía, aumenta uniformemente con el paso del tiempo.

$$GPWF = PC \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) + \frac{G}{i} \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - \frac{n}{(1+i)^n} \right] \quad (1)$$

El costo total está dado por la suma de los costos de inversión más los costos de operación.

Resultados

Generalmente la cantidad de variables que intervienen en la simulación dinámica de un sistema térmico son numerosas. Por tal motivo es imprescindible variar parámetros del sistema para poder hacer una comparación de los resultados y analizar que parámetros optimizan el funcionamiento del sistema. De esta forma utilizando TRNSYS fue posible simular y optimizar los parámetros del sistema con la finalidad de reducir al máximo el consumo de gas LP.

A partir de los datos obtenidos en TRNSYS se formularon tablas dinámicas utilizando Microsoft Excel con lo que se diseñaron las siguientes Gráficas en donde se observa la tendencia de los parámetros respecto al costo total.

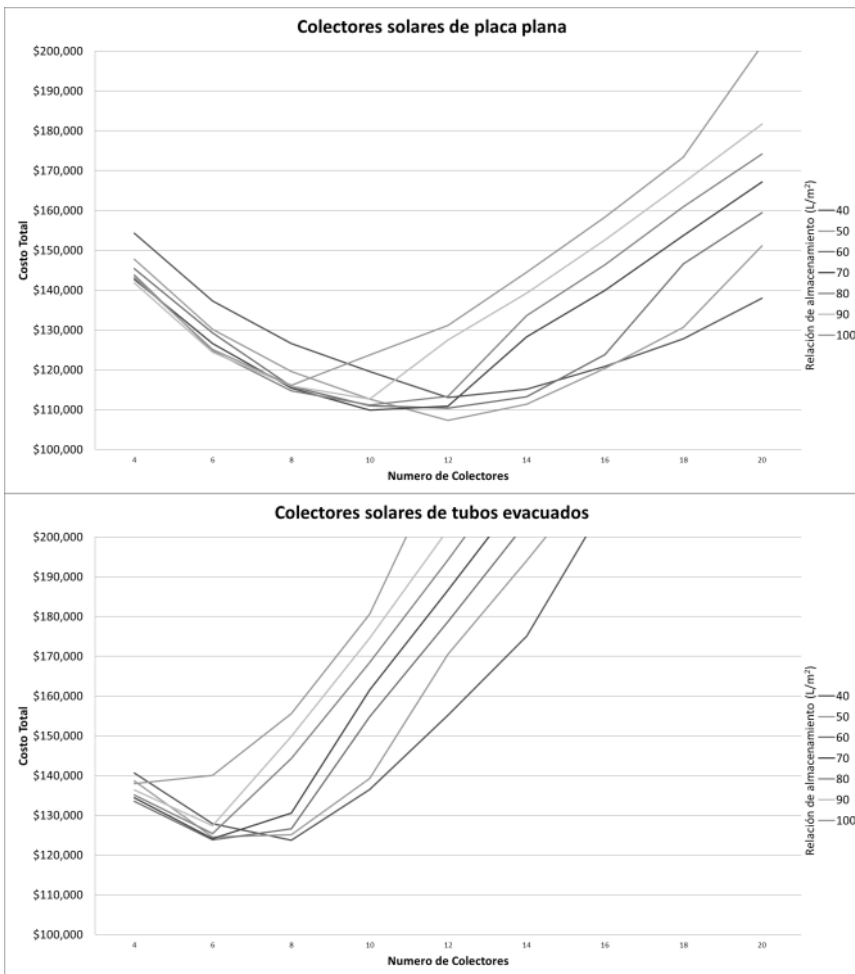


Fig. 7. Costo total según los parámetros.

Tabla 5. Parámetros Óptimos según la simulación y su costo total

Tipo	Placa Plana	Tubos Evacuados	Sin Colectores
Colectores (Cantidad)	12	8	0
Tanques (Cantidad)	1	1	1
Tanque (L/m ²)	50	40	0
Capacidad tanque (L)	1543	1408	500
Aux (kJ)	3.04E+06	3.19E+06	4.06E+07
Costo Total	\$107,246	\$123,692	\$294,639

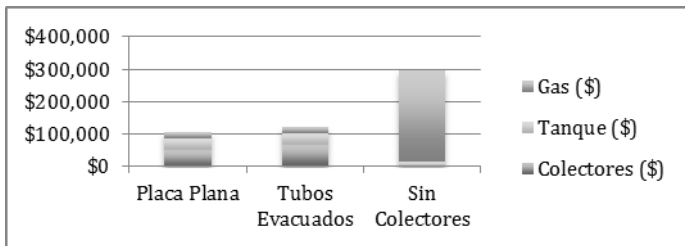


Fig. 8. Costos.

Conclusiones

El periodo de retorno de inversion del proyecto para el uso de colectores solares de placa plana llega a ser de aproximadamente de 9 años, mientras que para tubos evacuados es de casi 11 años. No obstante, aunque el costo total y el periodo de retorno de inversion resultan ser mas bajos para el proyecto con colectores solares de placa plana, sera necesario considerar la diferencia en los costos de instalacion para un analisis mas profundo y especifico.

El simulador desarrollado puede ser utilizado posteriormente para el dimensionamiento del sistema de captación solar y almacenamiento necesario para una vivienda con una carga térmica diferente.

Bibliografía

- Ampatzi, E., & Knight, Ian. (2012). Modelling the effect of realistic domestic energy demand profiles and internal gains on the predicted performance of solar thermal systems. *Energy and Buildings*, (2010). doi:10.1016/j.enbuild.2012.08.031
- Fernandez, X. (2011). Indicadores de eficiencia energética en el sector residencial.
- Gao, R., Li, A., Zhang, O., & Zhang, H. (2011). Comparison of indoor air temperatures of different under-floor heating pipe layouts. *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1295–1304. doi:10.1016/j.enconman.2010.09.027
- INE, & SEMARNAT. (2009). *Cuarta comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unicas sobre el cambio climático*. *atmosfera.unam.mx* (pp. 70–82).
- Leckner, M., & Zmeureanu, R. (2011). Life cycle cost and energy analysis of a Net Zero Energy House with solar combisystem. *Applied Energy*, 88(1), 232–241. doi:10.1016/j.apenergy.2010.07.031
- Maleh, H. a. L., & Tine, H. A. (2011). Studying, Testing and simulating floor heating solar system. *Energy Procedia*, 6, 337–346. doi:10.1016/j.egypro.2011.05.039
- Martín, I. R. (2004). Desarrollo de un simulador para la optimización termo-económica de viviendas de interés social.
- Martín, I. R., Burciaga-santos, J. A., & Castro-, P. E. (2011). Trnsys simulation and optimization of a solar-thermal collection and storage system for, 1-20.
- Paula, F. A. De, & Siegel, J. A. (n.d.). Comparison between Flat Plate and Evacuated Tube in Baltimore, MD Fabio Aliano de Paula University of Texas at Austin Supervision: Dr. Jeffrey A. Siegel, 4, 1–6.
- Wallin, J., Bastien, D., & Claesson, J. (2012). The Influence of Energy Conservation on the Performance of Solar Thermal Systems – A Cold Country Case Study. *Energy Procedia*, 30, 1069–1078. doi:10.1016/j.egypro.2012.11.120