

# Validación de un sistema de secado solar térmico-fotovoltaico usando simulación con TRNSYS

Fernando Rosas Ruiz, Erick C. López Vidaña, Jorge Alberto Escobedo Bretado, Mario Nájera Trejo  
Ingeniería sustentable, CIMAV, C. Ignacio Allende, Victoria de Durango, Durango, México,  
6182227778, [Fernando.rosas@cimav.edu.mx](mailto:Fernando.rosas@cimav.edu.mx).

## Resumen

Las tecnologías de simulación por computadora permiten realizar experimentaciones a bajo costo con una alta confiabilidad, se realizó una simulación con ayuda del software TRNSYS, representando la configuración del sistema de secado ubicado en el CIMAV unidad Durango, además se añadió las características de funcionalidad del equipo previamente caracterizadas, se compararon los resultados de la simulación con las mediciones de temperatura en lugares de interés, una vez obtenidos los resultados se compararon entre sí, se determinaron las diferencias y se calculó el porcentaje de error obteniendo una diferencia mínima 0.47 % y una máxima de 6.8%.

## Abstract

Computer simulation technologies allow experiments to be carried out at low cost with high reliability, a simulation was carried out with the help of the TRNSYS software, representing the configuration of the drying system located in the Durango unit CIMAV, in addition the functionality characteristics of the equipment were added. previously characterized, the results of the simulation were compared with the temperature measurements in places of interest, once the results were obtained they were compared with each other, the differences were determined and the percentage of error was calculated obtaining a minimum difference 0.47% and a maximum difference of 6.8%.

Palabras clave: TRNSYS, simulación, sistemas térmico, sistemas fotovoltaico, secado solar.

## Introducción

La energía es algo imprescindible para la existencia de los seres vivos, particularmente para los seres humanos como los seres vivos más evolucionados del planeta hemos basado nuestra forma de vida en un alto consumo de energía, principalmente en el sector industrial que es el responsable de transformar las materias primas o recursos naturales en productos disponibles para satisfacer nuestras necesidades. Como dato de la administración de la información energética (EIA) la industria absorbe el 54 % de la energía consumida en el mundo (Lamrani et al., 2019).

Los altos niveles de contaminación y el cambio climático ligado a las emisiones de CO<sub>2</sub> han migrado la atención a nuevas tecnologías, las cuales tienen un impacto menor en el medio ambiente, dichas tecnologías aprovechan los recursos renovables que la naturaleza ofrece tales como: la energía mareomotriz, solar o eólica (Lamrani, Kuznik, et al., 2021); sin embargo dado a la naturaleza transitoria de estos de estas fuentes de energía se ha vuelto todo un reto el poder aprovecharlas de una manera eficiente ya que aun con los avances tecnológicos de hoy en día no podemos predecir con completa exactitud el comportamiento climático que influye para obtener el mayor rendimiento (Aviara et al., 2014).

La energía solar es la fuente de energía más abundante del mundo a la que se tiene acceso, cada día hacemos uso de ella de manera directa o indirecta, aunque actualmente ya se explota este recurso de muchas formas distintas aún no se utiliza de la forma en la que esta tiene potencial, ya que la energía solar que llega diariamente puede satisfacer varias veces la demanda energética que la humanidad tiene (Fudholi et al., 2014).

El secado solar es una operación unitaria que consiste en reducir el contenido de humedad de algún producto hasta un nivel en donde no haya daño microbiano por bacterias y hongos en el producto, todo esto usando la energía radiante del sol, para lo cual existen distintas tecnologías y configuraciones posibles según la disponibilidad de recursos (Tagnamas et al., 2021).

El problema con el aprovechamiento de la energía solar, como ya se mencionó es su naturaleza transitoria por lo cual no existe un modelo que nos muestre con exactitud cuanta energía podremos obtener en un día en específico, en cambio podemos hacer estimaciones y para ello el apoyarse con un software como TRNSYS resulta bastante conveniente ya que permite simular, distintas configuraciones y distintos equipos de una manera rápida, barata y confiable usando datos de distintos registros meteorológicos creando una estimación sobre el comportamiento de un sistema de aprovechamiento de energía solar en una fecha determinada (Lamrani, Draoui, et al., 2021).

En el presente trabajo se hará una simulación en el software TRNSYS del sistema de secado solar ubicado en la plataforma de experimentación solar ubicada en el CIMAV unidad Durango (23.991359 N, -104.726192 O a 2000 m.s.n.m) En el cual se contempló el funcionamiento del equipo excluyendo la cámara de secado ya que no existe actualmente un tipo que la pueda simular, durante una corrida de secado de ciruelas. Los datos obtenidos en la simulación fueron comparados con los reales obtenidos por los sensores puestos en el equipo y se determinó la desviación entre una y otro.

## Descripción de materiales

En la figura 1 se puede observar un esquema del sistema de secado solar en el cual se incluyen todas las partes que lo conforman, así como la instrumentación colocada. El secador solar puede funcionar de manera indirecta o mixta si es que la cámara de secado es cubierta para evitar la incidencia de los rayos solares.

En un principio se tiene un tanque de almacenamiento térmico en el cual está el agua que usará el sistema, esta es bombeada a través de los paneles de placa plana que en este caso están colocados en serie para llegar a un intercambiador de calor donde la energía será transferida al aire y con ayuda de un ventilador propulsada dentro de la cámara de secado.

Se cuenta con un panel fotovoltaico que proporcionará la energía eléctrica necesaria ya sea en corriente directa o en corriente alterna para alimentar a los equipos.

Cabe mencionar que la cámara de secado al ser diseñada y construida por personal del CIMAV no tiene una caracterización definida que pueda adaptarse a algún tipo que el programa TRNSYS tenga actualmente por lo que para el análisis de la simulación será excluida.

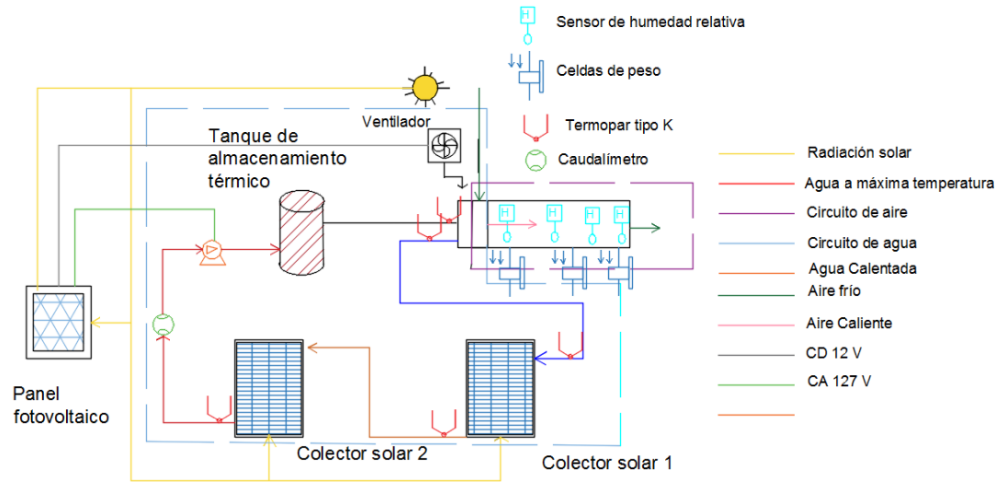




Figura 1: esquema del sistema de secado

Partes del sistema de secado solar, Tabla 1

Nombre / Cantidad	Características	Imagen
Colector solar de placa plana (2)	modelo: <i>Maxsol MS-2.5 full plate</i> , aislamiento de poliuretano, tiene una capacidad de líquido de 2.1 litros cuenta con una superficie total de 2.51 $m^2$ , una superficie de apertura de 2.31 $m^2$ , ángulo de inclinación 24° sur.	
Bomba de propulsión	NRF-36 Bell & Gossett modelo: 103400, de 270 W de potencia diseñado para agua caliente, 3 velocidades, 115 Volts - monofásico Contra-bridas: 3/4" , 1" ó 1-1/2" y Rotor Húmedo	

Tanque de almacenamiento térmico	Capacidad: 301.8 litros. Dimensiones: 1.38 m de alto, 0.6 de diámetro.	
Ventilador de velocidad variable	24 W, con 12 V de DC de alimentación	Sin imagen
Intercambiador de calor	Factor de intercambio 400 W/C°	

### Simulación en TRNSYS

En la figura 2 se puede observar el diagrama de bloques de la simulación en el cual están unidos con sus debidas conexiones cada uno de los tipos utilizados para representar el sistema de secado, cada uno de los tipos son llenados respectivamente con las características propias de cada elemento que conforma el sistema de secado.

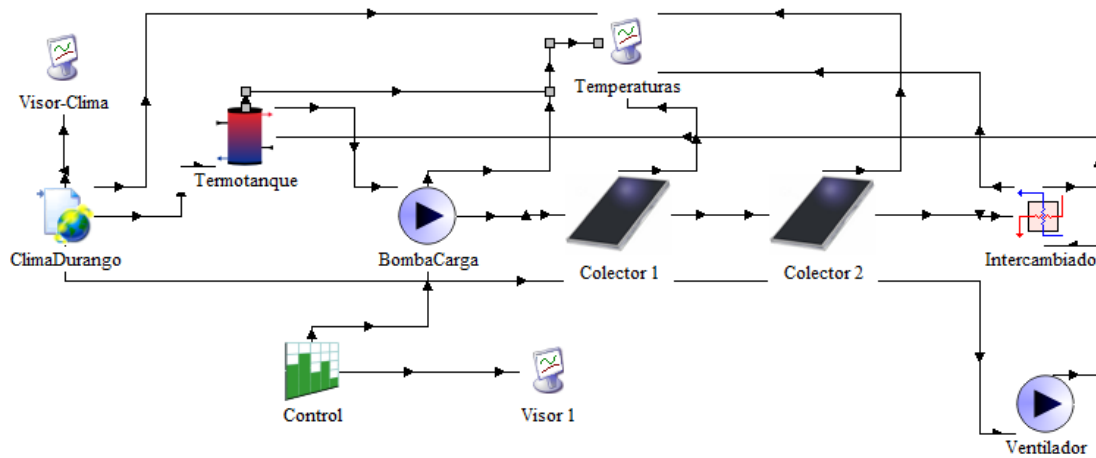


Figura 2: Esquema de la simulación en TRNSYS

## Metodología

Las mediciones reales en campo fueron realizadas durante los días 3 y 4 de junio del año 2021 durante el proceso de secado de ciruelas, en dicho proceso se colocaron 4 termopares en puntos de interés: entrada del colector 1, entrada del colector 2, entrada del intercambiador de calor y salida del intercambiador de calor, se tomaron mediciones cada minuto, aunque para motivo de análisis se consideraron mediciones cada hora, cabe mencionar que los termopares fueron previamente calibrados.

## Diferencia entre mediciones

Se tomaron las mediciones y se compararon con los resultados obtenidos en la simulación en la hora 3707 a 3712 para el día 1 y 3729 a 3738 para el día 2; para comparar la se toma como referencia a la medición real tomada con el sensor, se puede observar el cálculo por medio de la ecuación 1.

$$\text{Diferencia entre mediciones} = \text{Valor real} - \text{Valor de la simulación} \quad (1)$$

## Porcentaje de error

El cálculo del porcentaje de error se tomó con la ecuación 2

$$\% \text{ error} = \frac{|\text{Valor real} - \text{Valor de la simulación}|}{\text{Valor real}} * 100 \quad (2)$$

## Resultados

Tabla comparativa de resultados día 1 (03/Junio/2021)

Hora	T. Entrada colector 2	T. Entrada colector 2 (TRNSYS)	Diferencia entre valores	% de error
11:45	43.2	42.9	0.3	0.69444444
12:45	51.2	50.1	1.1	2.1484375
13:45	52.1	49.7	2.4	4.60652591
14:45	50.4	48.7	1.7	3.37301587
15:45	45.4	42.5	2.9	6.3876652
16:45	39	37.8	1.2	3.07692308

Hora	T. Entrada colector 1	T. Entrada colector 1 (TRNSYS)	Diferencia entre valores	% de error
11:45	41.5	40.3	1.2	2.89156627
12:45	49.3	47.2	2.1	4.25963489
13:45	50.8	48.9	1.9	3.74015748
14:45	49.9	47.3	2.6	5.21042084
15:45	43.8	42.1	1.7	3.88127854
16:45	37.2	36.7	0.5	1.34408602

Hora	T. Entrada intercambiador	T. Entrada intercambiador (TRNSYS)	Diferencia entre valores	% de error
11:45	45.4	44.6	0.8	1.76211454
12:45	53.6	52.1	1.5	2.79850746
13:45	56.1	54.6	1.5	2.67379679
14:45	54	52.8	1.2	2.22222222
15:45	48.2	46.4	1.8	3.73443983
16:45	41.2	40.5	0.7	1.69902913

Hora	T. Salida intercambiador	T. Salida intercambiador (TRNSYS)	Diferencia entre valores	% de error
11:45	43.7	42.1	1.6	3.66132723
12:45	50.5	48.3	2.2	4.35643564
13:45	52.9	49.3	3.6	6.80529301
14:45	50.7	49.5	1.2	2.36686391
15:45	46	47.3	-1.3	2.82608696
16:45	38.8	39.1	-0.3	0.77319588

Tabla comparativa de resultados día 2 (04/Junio/2021)

Hora	T. Salida intercambiador	T. Salida intercambiador (TRNSYS)	Diferencia entre valores	% de error
09:45	18.4	19.2	-0.8	4.34782609
10:45	31.1	31.6	-0.5	1.60771704
11:45	41.1	41.9	-0.8	1.94647202
12:45	40	39.3	0.7	1.75
13:45	42	41.8	0.2	0.47619048
14:45	44.8	44.2	0.6	1.33928571
15:45	43.8	44.1	-0.3	0.68493151
16:45	43.6	45	-1.4	3.21100917
17:45	39.6	40.1	-0.5	1.26262626
18:45	37.1	38.6	-1.5	4.04312668

Hora	T. Entrada colector 2	T. Entrada colector 2 (TRNSYS)	Diferencia entre valores	% de error
09:45	18.7	19.2	-0.5	2.67379679
10:45	30.8	31.6	-0.8	2.5974026
11:45	41.5	42.7	-1.2	2.89156627
12:45	39.7	40	-0.3	0.75566751

Hora	T. Entrada intercambiador	T. Entrada intercambiador (TRNSYS)	Diferencia entre valores	% de error
09:45	19.3	20	-0.7	3.62694301
10:45	32.1	32.6	-0.5	1.5576324
11:45	43.7	43.1	0.6	1.37299771
12:45	42.9	43.43	-0.53	1.23543124
13:45	44.6	45.01	-0.41	0.91928251
14:45	47.4	48.6	-1.2	2.53164557
15:45	45.5	45.2	0.3	0.65934066
16:45	46.2	45.7	0.5	1.08225108
17:45	41.1	43.2	-2.1	5.10948905

Hora	T. Entrada colector 1	T. Entrada colector 1 (TRNSYS)	Diferencia entre valores	% de error
09:45	17	17.5	-0.5	2.94117647
10:45	30.1	31.6	-1.5	4.9833887
11:45	41.6	42.1	-0.5	1.20192308
12:45	40.3	41.8	-1.5	3.72208437
13:45	41.8	42.3	-0.5	1.19617225
14:45	44.4	45.5	-1.1	2.47747748
15:45	43.2	43.6	-0.4	0.92592593
16:45	43.6	43.9	-0.3	0.68807339
17:45	39.3	41.1	-1.8	4.58015267
18:45	37	36.8	0.2	0.54054054

## **Conclusiones**

Las simulaciones hechas con el software TRNSYS son una herramienta confiable debido al error tan bajo que estos tienen en comparación con las mediciones reales, dando un paso importante para que las simulaciones debido a las ventajas que tienen puedan ser consideradas para el diseño de nuevos sistemas a falta de modelos que puedan predecir la naturaleza transitoria de los fenómenos meteorológicos, el reto en cuestión está dado en la caracterización de los equipos que deben tener información específica para que el software entregue resultados lo más apegados a la realidad posible.



## Bibliografia

- Aviara, N. A., Onuoha, L. N., Falola, O. E., & Igbeka, J. C. (2014). Energy and exergy analyses of native cassava starch drying in a tray dryer. *Energy*, *73*, 809–817. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.087>
- Fudholi, A., Sopian, K., Othman, M. Y., & Ruslan, M. H. (2014). Energy and exergy analyses of solar drying system of red seaweed. *Energy and Buildings*, *68*(PART A), 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.072>
- Lamrani, B., Draoui, A., & Kuznik, F. (2021). Thermal performance and environmental assessment of a hybrid solar-electrical wood dryer integrated with Photovoltaic/Thermal air collector and heat recovery system. *Solar Energy*, *221*, 60–74. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.04.035>
- Lamrani, B., Khouya, A., & Draoui, A. (2019). Energy and environmental analysis of an indirect hybrid solar dryer of wood using TRNSYS software. *Solar Energy*, *183*, 132–145. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2019.03.014>
- Lamrani, B., Kuznik, F., Ajbar, A., & Boumaza, M. (2021). Energy analysis and economic feasibility of wood dryers integrated with heat recovery unit and solar air heaters in cold and hot climates. *Energy*, *228*, 120598. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120598>
- Tagnamas, Z., Lamsyehe, H., Moussaoui, H., Bahammou, Y., Kouhila, M., Idlimam, A., & Lamharrar, A. (2021). Energy and exergy analyses of carob pulp drying system based on a solar collector. *Renewable Energy*, *163*, 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.011>