



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA COSTA GRANDE DE
GUERRERO**

M E M O R I A D E E S T A D Í A

**“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO TÉRMICO DE LOS SECADORES
SOLARES”**

INSTITUCIÓN:

INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES, UNAM

PRESENTADO POR:

DIANA JOSEFA GONZALEZ LUNA

PARA OBTENER EL TÍTULO:

**TÉCNICO SUPERIOR UNIVERSITARIO
EN ENERGÍAS RENOVABLES ÁREA CALIDAD Y AHORRO DE
ENERGÍA**

ASESOR EXTERNO: DR. OCTAVIO GARCÍA VALLADARES

ASESOR INTERNO: M.I. YARIMETH AMEYALLI ALARCÓN ALTAMIRANO

GENERACIÓN: 2022-2024

Temixco, Morelos Gro., a 16 de agosto del 2024

RESUMEN

En el presente trabajo, se llevó a cabo una investigación en el grupo de secado solar del Instituto de Energías Renovables de la UNAM. La investigación se centró en el análisis de secadores solares de tipo gabinete, tanto con un solo ventilador como con dos ventiladores, con el objetivo de evaluar su rendimiento térmico. Se desarrolló una hoja de cálculo en Excel para registrar todas las variables pertinentes y las mediciones obtenidas de cada uno de los sensores instalados en los secadores.

El objetivo principal fue evaluar la eficiencia de los secadores en la deshidratación de agua. El análisis de los datos recopilados permitirá determinar las fórmulas de eficiencia con precisión, incluyendo la eficiencia del colector solar y la eficiencia del tipo de gabinete utilizado. Además, se evaluará la cinética del proceso de secado para obtener una comprensión más completa del rendimiento de los secadores solares en diferentes condiciones.

ABSTRACT

In this study, research was conducted in the solar drying group at the Institute of Renewable Energies at UNAM. The focus was on analyzing solar dryers of the cabinet type, both with a single fan and with two fans, to evaluate their thermal performance. An Excel spreadsheet was created to record all relevant variables and measurements obtained from each of the sensors installed in the dryers.

The main objective was to assess the efficiency of the dryers in the dehydration of water and fruits. Analyzing the collected data will enable precise determination of efficiency formulas, including the efficiency of the solar collector and the cabinet type used. Additionally, the kinetics of the drying process will be evaluated to gain a more comprehensive understanding of the performance of the solar dryers under different conditions.

INDICE

ABSTRACT	1
AGRADECIMIENTOS.....	1
DEDICATORIA	3
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL	13
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	15
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	18
5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
5.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
5.3 JUSTIFICACIÓN	21
5.4 HIPÓTESIS.....	22
5.5 OBJETIVOS.....	22
5.7 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	22
PROPUESTA DEL PROYECTO	23
6.3 DESARROLLO.....	23
6.4 RESULTADOS	28
7.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1: Secador solar tipo túnel.....	6
Figura 2: Secado directo.....	6
Figura 3: Secador indirecto	7
Figura 4: Tipo gabinete	7
Figura 5: Secador solar de gabinete	8
Figura 6: Secador de policarbonato.....	9
Figura 8: Secador transparente.....	9
Figura 9: Secador de policarbonato oscuro	10
Figura 10: Secador selectivo	10
Figura 11: Secador de vidrio	11
Figura 12: Secador eléctrico.....	11
Figura 13: Secador eléctrico.....	12
Figura: 14 Línea del tiempo del IER	13
Figura 15: Secador solar de gabinete instrumentado.....	20
Figura 16: Secador solar de tipo gabinete.....	20
Figura 17: Adquisición de datos	24
Figura 18: Anemómetro de ventilador	25
Figura 19: Anemómetro de hilo.....	25
Figura 20: Secador solar.....	26

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 2: (Eficiencia vs Irradiancia).....	28
Gráfica 3: (Q_e Vs Q_u)	29
Grafica 3: (Q_e vs Q_e).....	29
Grafica 4: (Irradiancia vs Eficiencia).....	29

IINDICE DE TABLAS

Tabla 1: Evaporización de agua	30
Tabla 2: Evaporización de agua	30

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Octavio García valladares por su asesoría, por brindarme su apoyo durante el tiempo que se desarrolló mi memoria y explicarme cada equipo existente en el laboratorio del Instituto de Energías Renovables de la UNAM. Su experiencia, paciencia y dedicación han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Estoy profundamente agradecida por su ayuda y por haber contribuido a mi crecimiento académico y profesional.

Al Dr. Alfredo Domínguez por brindarme su apoyo durante estos meses que estuve en el Instituto de Energías Renovables.

Al proyecto CONACHyT PRONNACES 319188: Centro comunitario para el deshidratador solar de productos agropecuarios de pequeños productores indígenas de Hueyapan, Morelos por el apoyo con la infraestructura que utilizan en este proyecto.

A la M.I. Yarimeth A. Alarcón, por su invaluable apoyo y orientación a lo largo de la elaboración de esta memoria. Aprecio profundamente sus consejos, su disponibilidad y el tiempo que ha invertido en guiarme a lo largo de este proceso. Sin su apoyo y compromiso, este proyecto no habría sido posible.

A mis padres, Felipe y Roberta, por su apoyo incondicional y por confiar en mí en cada paso de este camino. Gracias a su aliento y esfuerzo, he podido llegar a la universidad y seguir adelante con mis estudios. Agradezco profundamente tenerlos a mi lado y ver cómo, con su apoyo, mis sueños se hacen realidad. Sin ellos, este proceso en mi vida no habría sido posible.

A mis hermanos, por su constante apoyo y ánimos para seguir estudiando. A pesar de la distancia, siempre me han brindado su aliento y presencia durante este proceso.

A mis abuelitos, por sus palabras de aliento y motivación para seguir adelante con determinación.

A mis tíos, Elías y Saraí, por sus valiosos consejos, su inquebrantable apoyo y la confianza que han depositado en mí.

Finalmente, agradezco a Dios por estar presente en cada momento de mi vida, por cuidarme y guiarme. Siempre estaré profundamente agradecida con e-l.

DEDICATORIA

A mis padres Felipe y Roberta por estar conmigo siempre.

*A mis hermanos y hermanas que a pesar de la distancia me apoyaron en este
proceso.*

A mis amigos por su gran compañía y que aún sigue a mi lado.

INTRODUCCIÓN

El secado solar es un método ancestral de conservación que se basa en extraer la humedad de diversos productos, incluyendo alimentos. Este proceso consiste en eliminar la mayor parte del agua contenida en un producto mediante el secado a partir de un flujo de aire calentado por la radiación solar. Al reducir el contenido de humedad, el secado solar permite prolongar la vida útil de los productos y conservar la mayoría de sus propiedades.

El proceso de secado solar se fundamenta en la exposición directa al sol y la circulación de aire calentado por la radiación solar. Este método no solo evapora el agua contenida en los productos, sino que también inhibe el crecimiento de microorganismos, lo que contribuye a su preservación. Además, el secado solar es una técnica sostenible y económica que aprovecha la energía del sol para conservar productos mediante la eliminación de la humedad, destacándose por su eficiencia y bajo impacto ambiental.

La aplicación del secado solar ha ganado relevancia en los últimos años debido a sus múltiples beneficios ambientales y económicos. El proceso de secado solar se basa en la utilización de dispositivos o sistemas diseñados para maximizar la exposición de los productos al sol, tales como secadores solares de bandeja, secadores de túnel y secadores por convección solar (Kumar et al., 2019). Uno de los principales beneficios de este método es su bajo impacto ambiental. A diferencia de los secadores que funcionan con combustibles fósiles, el secado solar no emite gases de efecto invernadero y reduce la dependencia de recursos energéticos limitados (Nair et al., 2021).

Además, el secado solar ofrece una reducción significativa en los costos operativos. La energía solar es gratuita y abundante, lo que permite que los sistemas de secado solar sean económicamente viables, especialmente en regiones con alta irradiación solar. Un estudio realizado por (Choi et al. 2020) muestra que los sistemas de secado solar pueden reducir los costos de operación en comparación con métodos

tradicionales de secado, lo que los hace particularmente atractivos para pequeñas y medianas empresas en países en desarrollo.

No obstante, el secado solar también presenta algunas desventajas que deben ser consideradas. Uno de los principales inconvenientes es su dependencia de las condiciones climáticas. La eficiencia del secado solar puede verse afectada por la variabilidad en la irradiación solar y las condiciones meteorológicas adversas, lo que puede limitar la aplicación de esta tecnología en regiones con climas nublados o lluviosos (Bimlesh et al., 2022). Además, el proceso de secado solar puede ser más lento en comparación con métodos mecánicos, lo que podría no ser adecuado para procesos industriales que requieren un secado rápido y continuo (Santos et al., 2018).

Los secadores solares se pueden clasificar en función de varios criterios, como el diseño y el tipo de flujo de aire. A continuación, se presentan algunas de las principales categorías:

1. *Secador Solar Tipo Gabinete de Convección Natural*: Este tipo de secador utiliza la convección natural, un proceso en el cual el aire se calienta y, debido a las diferencias de densidad, asciende por el sistema. La estructura de estos secadores incluye un colector solar que capta la radiación solar y un gabinete de secado, a menudo equipado con una chimenea que permite que el aire caliente salga por la parte superior del sistema. Este diseño aprovecha las corrientes de aire generadas naturalmente para secar los productos (Kumar et al., 2020).
2. *Secador Solar Tipo Gabinete de Convección Forzada*: Similar al tipo anterior, este secador también emplea un gabinete de secado. Sin embargo, incorpora ventiladores para forzar la circulación del aire en la cámara de secado, lo que acelera el proceso de secado al aumentar el flujo de aire caliente (Bimlesh et al., 2021). La convección forzada mejora la eficiencia del secado al asegurar una distribución uniforme del aire caliente.

3. *Secador Solar Tipo Túnel*: Los secadores de tipo túnel están diseñados para secar alimentos como granos de café mediante la captación solar. Estos dispositivos suelen estar hechos de materiales como polietileno, que son especialmente resistentes a altas temperaturas y radiación solar. La estructura en forma de túnel permite un calentamiento eficiente del aire, lo que incrementa la eficacia del proceso de secado (Santos et al., 2019).



Figura 1: Secador solar tipo túnel

4. *Secadores Solares Directos*: En estos secadores, el producto se expone directamente a la radiación solar. Generalmente, se utilizan cajas o bandejas transparentes que permiten el paso de la luz solar hacia el producto, facilitando la evaporación del agua (Rajkumar et al., 2022). Este tipo de secador es simple y efectivo para productos que no son sensibles a la exposición directa a la luz solar.



Figura 2: Secado directo

5. *Secadores Solares Indirectos*: Estos secadores utilizan la radiación solar para calentar el aire, el cual luego circula a través del producto a secar. La exposición directa del producto a la luz solar se evita, lo cual puede ser beneficioso para aquellos productos que son sensibles a la luz solar. La separación entre el producto y la fuente de calor ayuda a prevenir la degradación (Nair et al., 2021).



Figura 3: Secador indirecto

6. *Secadores Solares Mixtos*: Los secadores solares mixtos combinan características de los secadores directos e indirectos. En estos sistemas, el producto puede estar expuesto tanto a la radiación solar directa como al aire caliente generado por colectores solares. Esta combinación permite flexibilidad en el proceso de secado y puede mejorar la eficiencia general del sistema (Choi et al., 2020).



Figura 4: Tipo gabinete

El Instituto de Energías Renovables de la UNAM cuenta con diversos equipos para el secado solar, permitiendo realizar prácticas como la deshidratación de frutas y otros productos. Estos secadores solares, mostrados en las figuras 1 a 9, son utilizados tanto para investigación como para enseñanza, optimizando procesos sostenibles y fomentando el desarrollo de tecnologías en energías renovables.

- Secadores solares tipo gabinete (Figura 5).
- Cinco Secadores solares directos (Figura 6 al 10).
- Secadores eléctricos (Figura 11 y 12).



Figura 5: Secador solar de gabinete

El secador solar de policarbonato es un dispositivo diseñado para aprovechar la radiación solar en el proceso de secado de diversos productos, como frutas, verduras, semillas y hierbas. Su estructura permite una eficiente captación de la energía solar, facilitando la deshidratación de los alimentos de manera natural y sostenible, preservando sus propiedades y reduciendo el consumo de energía convencional.



Figura 6: Secador de policarbonato

Un secador solar transparente es un tipo de dispositivo diseñado para permitir el paso de la radiación solar al interior. Este diseño maximiza la captación de energía solar, lo que incrementa la temperatura dentro del secador y facilita el proceso de deshidratación de los productos, mejorando así su eficiencia.



Figura 8: Secador transparente

El policarbonato oscuro a diferencia del transparente no permite que la luz solar pase directamente, sino que convierte más luz en el calor y es más eficiente seca más rápidamente los alimentos etc.



Figura 9: Secador de policarbonato oscuro

Secador selectivo es un tipo de secador que utiliza superficies o materiales diseñados específicamente para optimizar la absorción de la radiación solar. Estas superficies están tratadas o fabricadas para absorber la máxima cantidad de energía solar posible, mientras minimiza las pérdidas de calor por radiación o convección.



Figura 10: Secador selectivo

Un secador solar con cubierta de vidrio es un tipo diseñado para eliminar la humedad de los alimentos aprovechando la radiación solar.



Figura 11: Secador de vidrio

Secador eléctrico la diferencia entre el secado eléctrico y solar. Utiliza la energía del sol para generar calor. Y el eléctrico utiliza electricidad para generar calor a través de resistencias o sistemas de calefacción controlados.

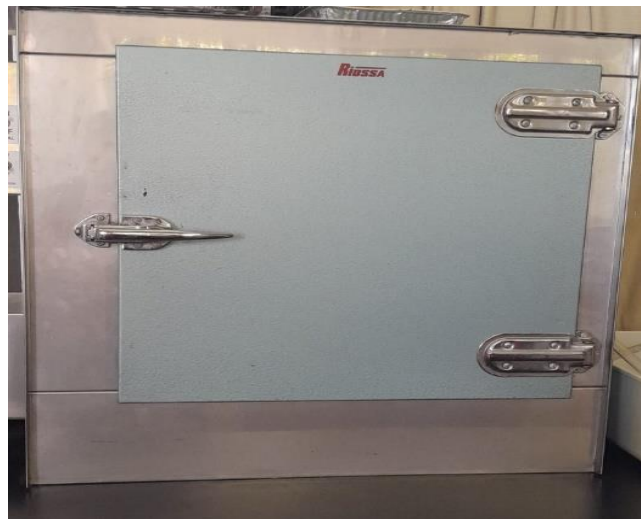


Figura 12: Secador eléctrico

A diferencia de los secadores solares, los electrico permiten mayor control sobre la temperatura y la velocidad del proceso del secado, siendo utiles cuando se requiere un ambiente mas constante e independiente de las condiciones climaticas.



Figura 13: Secador eléctrico

CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL

El Instituto de Energías Renovables (IER) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) es una institución clave en la investigación y desarrollo de tecnologías relacionadas con las energías renovables en México. Fundado en 2006, el IER tiene como objetivo principal promover el avance científico y tecnológico en el campo de las energías limpias, contribuyendo a la sostenibilidad y a la transición energética del país (IER, 2023).



Figura: 14 Línea del tiempo del IER

La UNAM, una de las universidades más importantes de América Latina, ha demostrado un compromiso firme con la investigación en ciencias y tecnologías ambientales. El IER se enmarca en esta tradición de excelencia académica y científica, ofreciendo un entorno interdisciplinario que fomenta la colaboración entre diversas áreas del conocimiento, incluyendo ingeniería, ciencias físicas, y ciencias ambientales (UNAM, 2023).

Objetivos y Áreas de Investigación

El IER se dedica a la investigación en diversas áreas de energías renovables, con un enfoque especial en la energía solar, eólica, y biomasa. Entre sus principales objetivos se encuentran el desarrollo de tecnologías innovadoras, la mejora de sistemas

existentes, y la generación de conocimiento que pueda ser aplicado tanto a nivel nacional como internacional.

El instituto realiza investigaciones avanzadas en el campo de la energía solar, incluyendo la optimización de sistemas fotovoltaicos y el desarrollo de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de la radiación solar. En el ámbito de la energía eólica, el IER trabaja en la evaluación y mejora de turbinas eólicas, así como en la integración de estas tecnologías en redes eléctricas (IER, 2023). Además, el instituto explora el potencial de la biomasa como una fuente sostenible de energía, desarrollando métodos para la conversión eficiente de biomasa en energía utilizable.

Misión

Realizar investigación científica básica y aplicada en energía, con énfasis en energías renovables, que aporte al desarrollo de tecnologías energéticas sustentables; llevamos a cabo estudios, asesorías y capacitación a los distintos sectores de la sociedad; formamos recursos humanos especializados, y difundimos los conocimientos adquiridos para el beneficio del país

Visión

Ser el instituto de investigación académica líder internacionalmente en materia de energías renovables y temas afines, que propicie el desarrollo científico y tecnológico y permita su aplicación en la solución de problemas relacionados con los ámbitos de la energía y su impacto en el medio ambiente para el desarrollo sustentable del país.

La realización de la estadía se llevó a cabo en el grupo de secado solar del Instituto de Energías Renovables de la UNAM, bajo la dirección del Dr. Octavio García Valladares.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

La **radiación solar** es la principal fuente de energía para una variedad de aplicaciones, incluidas las tecnologías de secado solar. Esta radiación es la energía que emite el Sol en forma de ondas electromagnéticas, que incluyen luz visible, rayos ultravioleta e infrarrojos. La intensidad de la radiación solar varía según la ubicación geográfica, la hora del día y las condiciones meteorológicas, y se mide en términos de irradiancia, generalmente en vatios por metro cuadrado (W/m^2) (Green et al., 2020).

La **energía solar térmica**, derivada de la radiación solar, se utiliza eficientemente en la deshidratación solar. Este proceso implica el uso de colectores solares para capturar la radiación y convertirla en calor, que se aplica directamente a los productos para eliminar su contenido de humedad. En la deshidratación solar, el calor solar calentado se transfiere a un flujo de aire que circula sobre el producto, acelerando la evaporación del agua. Este método no solo reduce el contenido de humedad, sino que también ayuda a preservar los nutrientes y mejorar la durabilidad del producto (Kumar et al., 2020).

El **proceso de deshidratación** solar consiste en exponer los productos a la radiación solar directa o indirecta para facilitar la evaporación de la humedad. Este proceso se realiza mediante dispositivos diseñados para maximizar la exposición a la radiación solar y mejorar la circulación del aire caliente. La eficiencia de la deshidratación solar depende de varios factores, incluidos la intensidad de la radiación solar, la temperatura ambiente, y el diseño del sistema de secado (Bimlesh et al., 2021).

Existen diferentes tipos de secadores solares que se utilizan para la deshidratación solar, entre los cuales destacan los secadores directos y los secadores de circulación forzada:

- Secadores solares directos: En estos secadores, los productos se exponen directamente a la radiación solar. Generalmente, se utilizan estructuras como bandejas o cajas transparentes que permiten que la luz solar incida directamente sobre los productos. Aunque este tipo de secador es simple y económico, su eficiencia puede verse afectada por las condiciones climáticas y la necesidad de una vigilancia constante (Rajkumar et al., 2022).
- Secadores solares de circulación forzada: Estos secadores incluyen un sistema de ventilación o ventiladores que fuerzan la circulación del aire caliente a través del producto. A diferencia de los secadores directos, los secadores de circulación forzada no exponen directamente los productos a la luz solar, sino que utilizan el aire calentado para evaporar la humedad. Este tipo de secador puede ofrecer una mayor eficiencia y uniformidad en el proceso de secado, especialmente en condiciones meteorológicas variables (Nair et al., 2021).

Secador solar el secador solar es un dispositivo que aprovecha la energía radiante del sol y la convierte en energía térmica para generar las condiciones y sistema que capta la radiación solar y la transforma en calor, elevando la temperatura del aire que pasa sobre los productos, facilitando la eliminación de la humedad. Los secadores se pueden clasificar en dos grandes, dependiendo de la forma como se transmite el calor a los productos húmedos y que son directos e indirectos.

Secadores de gabinete (Uno o Dos Ventiladores) su funcionamiento: Utilizan uno o más ventiladores para forzar el aire caliente dentro del gabinete evacuar el aire húmedo, lo que se acelera el proceso de secado y mejora la uniformidad. Un ventilador único un ventilador impulsa el aire caliente dentro del gabinete y lo expulsa por los oficios de salida. Dos ventiladores uno introduce aire caliente desde el colector, mientras que el otro extrae el aire húmedo, asegurando una mejor distribución del aire y mayor control sobre el proceso.

Eficiencia: es mayor ya que el flujo de aire controla y constante, lo que permite secar grandes cantidades de producto en menor tiempo.

Factores que influyen en el tiempo de secado

Según Carvallo. Meza. & María. (2013). En este proceso existe una variedad de factores que influyen en el tiempo de secado.

Temperatura del aire: A medida que la temperatura del aire, se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites establecidos. Durante el proceso de secado, se genera un gradiente de temperatura en función del espesor del material (Estelí, 2021).

Humedad relativa del aire: Es el porcentaje que representa la cantidad de vapor de agua presente en el aire en comparación con la cantidad máxima que el aire puede contener a una temperatura específica. La humedad relativa en el proceso como la evaporación, el secado y el confort térmico, ya que una mayor tiende a ralentizar la evaporación del agua.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

Eficiencia energética del colector

También conocido como "**rendimiento térmico**", se refiere a la proporción de energía útil que el colector solar transfiere al fluido de trabajo en comparación con la energía de radiación solar que incide sobre el área de captación. La eficiencia térmica se puede determinar utilizando la ecuación.

(1)

Donde:

$$\eta_c = \frac{\dot{m}_{da} C_{pda} (T_{out,C} - T_{in,C})}{A_C I_T}$$

- m_{da} es el flujo másico del aire (kg/s)
- C_{pda} el calor específico del aire a presión constante a una temperatura promedio entre la entrada y la salida del colector solar (J/kg °C)
- $T_{out,C}$ y $T_{in,C}$ es la temperatura a la salida y entrada del colector, respectivamente (°C)
- I_T es la irradiancia solar incidente sobre el plano del colector (W/m²).
- A_C es el área bruta del colector solar (m²).

Eficiencia térmica de secado tipo gabinete

En donde se relaciona la energía utilizada para la evaporación de la humedad contenida en los alimentos a una temperatura determina, el total del colector.

(2)

Donde:

$$\eta_E = \frac{m_w h_{fg}}{(A_C * I_{PI}) + A_{GT} (I_{PI} * F_{EI}) + A_{GV} (I_{PV} * F_{EI}) + W_{vent}}$$

- m_w Masa de agua evaporada,
- h_{fg} Calor latente de vaporización,
- A_C Área bruta del colector solar,
- A_{GT} Área inclinada de la cámara de secado correspondiente al techo,

- I_{PI} Irradiancia solar en el plano del colector.
- A_{GV} Área vertical de la cámara correspondiente a la parte frontal multiplicada.
- I_{PV} Irradiancia solar en el plano vertical.
- W_{vent} Potencia del ventilador y F_{EI} es la fracción de energía incidente.

Eficiencia energética del secador solar

La eficiencia se relaciona en la energía solar para poder calentar el alimento evaporar el agua presente en este, la energía que se suministrara al dispositivo del secado solar.

(3)

$$\eta_D = \frac{m_p C p_p (T_{p,t+dt} - T_{p,t}) + m_w h_{fg}}{(A_C \eta_C * I_{PI}) + (I_{PI} * F_{EI})(A_{GT} \tau_G) + A_{GV} (I_{PV} * F_{EI}) \tau_G}$$

Donde:

- m_p y $C p_p$ son la masa y el calor específico del alimento, respectivamente.
- $T_{p,t+dt}$ Temperatura del producto en el siguiente paso de tiempo,
- $T_{p,t}$ Temperatura en ese momento,
- m_w Masa de agua evaporada y h_{fg} el calor latente de vaporización.
- I_{PI} Irradiancia solar en el plano del colector,
- A_C Área bruta del colector
- η_C es la eficiencia del colector,
- A_{GT} que es el área inclinada de la cámara de secado correspondiente al techo,
- τ_G es la transmitancia de la cubierta de la cámara de secado,
- I_{PV} que es la irradiancia solar en el plano vertical,
- A_{GV} Área vertical de la cámara correspondiente a la parte frontal
- F_{EI} Fracción de energía incidente.

Secado

Para llevar a cabo el proceso de secado solar mixto, se cuenta con los siguientes componentes (Figura 15 y 16)

Cámara de secado: tiene 10 charolas de dimensiones charolas (0,63 x 0,43 m) en cinco niveles; Cada charola tiene perforaciones de 0,0025 x 0,007 m La cubierta de la cámara de secado fue de policarbonato de 6 mm con protección ultravioleta, y el secador fue operado en modo directo y convección natural y forzada.

- Ventilador: ayuda a la circulación de aire
- Colector solar: elemento clave del diseño experimental en este caso, se usaron dos secadores.
- Se usaron dos secadores, uno con 1 y otro con 2 ventiladores.

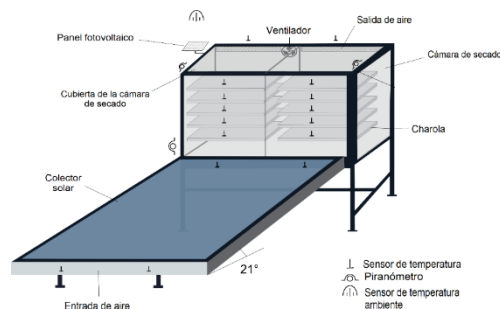


Figura 15: Secador solar de gabinete instrumentado

En la figura 15 tenemos el mismo tipo de secador solar que se utilizó previamente, pero con la diferencia de que este modelo está equipado con dos ventiladores.

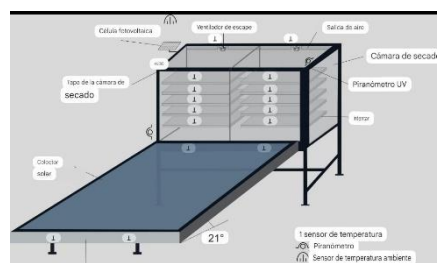


Figura 16: Secador solar de tipo gabinete

5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se llevará a cabo una evaluación experimental de la eficiencia térmica y de secado de dos secadores de tipo gabinete diseñados y construidos en el Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM. Uno de los secadores está equipado con un ventilador, mientras que el otro cuenta con dos ventiladores. El objetivo es determinar cuál de los dos secadores ofrece un mejor rendimiento en el proceso de deshidratación de alimentos.

5.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Las pruebas experimentales para evaluar la eficiencia del colector y de los secadores se llevarán a cabo en la plataforma solar del Instituto de Energías Renovables de la UNAM. Ambos secadores de tipo gabinete operarán en paralelo y de manera simultánea para garantizar que se mantengan las mismas condiciones de operación y permitir una comparación precisa de los resultados obtenidos.

Las pruebas se realizarán en tres etapas: inicialmente sin carga (con los equipos vacíos), luego con una bandeja de agua, y finalmente con frutas en proceso de secado. Esta metodología permitirá una evaluación exhaustiva de la eficiencia de los secadores en diferentes condiciones de carga.

5.3 JUSTIFICACIÓN

Es fundamental contar con secadores solares de alta eficiencia para optimizar el proceso de secado y obtener mejores resultados en la calidad del producto final. Esta evaluación permitirá determinar cómo la incorporación de uno o dos ventiladores puede mejorar el rendimiento de los secadores solares, proporcionando información valiosa para la optimización de estos dispositivos.

5.4 HIPÓTESIS

El secador solar de tipo gabinete equipado con dos ventiladores ofrecerá un rendimiento superior en comparación con el modelo que cuenta con un solo ventilador.

5.5 OBJETIVOS

Objetivo general:

- Evaluar del rendimiento térmico y de dos secadores solares tipo gabinete y uno con ventilador y otro con dos ventiladores.

Objetivo específico:

- Evaluar la eficiencia térmica del colector solar para el calentamiento de aire.
- Evaluar la eficiencia de secado del secador solar tipo gabinete.

5.7 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación descriptiva tiene como objetivo diagnosticar y evaluar dos secadores solares de tipo gabinete. Los secadores de gabinete están compuestos por dos secciones principales: un colector solar que calienta el aire y una cámara de secado donde se almacenan los alimentos. El aire caliente generado en el colector circula hacia la cámara de secado, donde los alimentos se deshidratan gracias a la radiación solar directa que reciben.

Los secadores de gabinete pueden utilizar el flujo de aire por convección natural o mediante ventiladores eléctricos fotovoltaicos para mejorar la circulación del aire. El policarbonato que recubre la cámara de secado permite el paso de una gran parte de la radiación solar, lo que incrementa la efectividad del secador al aumentar la tasa de deshidratación. Estos secadores son uno de los modelos más sencillos y se utilizan comúnmente para secar frutas, verduras y otros alimentos.

En este estudio, se evaluará experimentalmente la eficiencia térmica y de secado de dos secadores solares de tipo gabinete operando simultáneamente, con el fin de comparar y contrastar su desempeño.

PROPUESTA DEL PROYECTO

Se evaluará el rendimiento térmico y de secado de dos secadores solares de tipo gabinete: uno con un ventilador y el otro con dos ventiladores, operando simultáneamente. El objetivo es optimizar el diseño de estos secadores para identificar cuál ofrece un rendimiento superior en el proceso de deshidratación de alimentos.

6.3 DESARROLLO

Evaluación del rendimiento térmico de los secadores solares.

Objetivo que se quiere lograr con este proyecto es evaluar y optimizar el rendimiento térmico de diferentes diseños de los secadores solares para mejorar la eficiencia en el proceso de secado de los alimentos.

En los dos secadores solares tipo gabinete se fueron colocando los sensores a cada charola del secado y tener conectado todo el equipo preparado para hacer las pruebas con agua y colocar 1000 ML agua en cada charola. Se colocó en el secado solar. Se realizó en el instituto de energías renovables de la UNAM.

Además, se utilizaron sensores para monitorear las condiciones dentro del secador solar. La localización precisa de estos sensores se indica en la figura 9. del esquema, permitiendo una visualización clara de su disposición en el sistema. Estos sensores son fundamentales para medir variables clave como la temperatura y la humedad relativa, que influyen directamente en la eficiencia del proceso de secado.

Instrumentación

Dos piranómetros (Kip & Zonen, CM11; 0-1400 W/m² ± 2%, Países Bajos) para medir la irradiancia en los días de secado; uno inclinado en el plano del colector y otro vertical para la zona frontal de la cámara de secado. Se colocaron veinte sensores de temperatura (RTD PT 1000, -50-750 °C ±0.2°C, México): 2 en la entrada y dos en la salida del colector, 10 en las bandejas dentro del secador y dos en la salida de la cámara de secado. Las mediciones se registraron automáticamente utilizando un sistema de adquisición de datos (Agilent-34972A) cada 1 hora. La velocidad del aire se midió con dos anemómetros: un (Dwyer model 473B ±0,1 m/s, EE UU) para medir la velocidad del aire del ventilador y un anemómetro de hilo caliente (Dwyer modelo 471B, ±0,1 m/s, EE UU) para la velocidad del aire en las rejillas de salida; El ángulo de inclinación era de 21°.



Figura 17: Adquisición de datos

Adquisición de datos: se utiliza para medir y registrar diferentes tipos de señales aquí tiene algunas de sus características principales:

- **Tipos de señales:** Puede medir temperatura (con termopares, RTD y termistores), tensión DC/AC, resistencia (2 y 4 hilos), frecuencia, periodo y corriente DC/AC.
- **Conectividad:** Ofrece opciones de conectividad como LAN, USB, GPIB o RS-232, facilitando la conexión con un PC.

- **Software incluido:** Viene con el software BenchLink Data Logger, que permite configurar y controlar pruebas, mostrar resultados y recopilar datos para su análisis posterior.

Anemómetro: sirve para medir la velocidad del aire del ventilador.



Figura 18: Anemómetro de ventilador

Anemómetro de Hilo: se utiliza para medir la velocidad del aire de la rejilla de salida en el secador dólar.



Figura 19: Anemómetro de hilo

Procedimiento de las pruebas en el secador solar:

Colocación de Sensores y Equipos:

Inicialmente, se instalaron los sensores de temperatura y humedad en las posiciones designadas dentro del secador solar. Esto incluye sensores en diferentes puntos del secador para monitorear las condiciones internas durante el proceso de secado.

Los sensores fueron calibrados y verificados para asegurar la precisión de las mediciones.

Preparación del Secador:

Se colocaron las charolas en las rejillas del secador, preparadas para soportar las muestras durante el proceso de secado.



Figura 20: Secador solar

Prueba con Agua

Se realizó 3 pruebas con agua al finalizar la prueba, se revisaron los datos recopilados para determinar la distribución de temperatura y humedad dentro del secador. Estos datos se utilizaron para ajustar el sistema y preparar el secador para las pruebas posteriores con frutas u otros materiales.

En cada charola, se vertieron 1000 ml de agua en un vaso precalibrado. Esta cantidad de agua se utilizó como un simulador para medir el comportamiento del sistema bajo condiciones de carga.

Los vasos con agua fueron distribuidos uniformemente en las charolas para asegurarse de que las mediciones reflejaran una distribución uniforme del calor.

Monitoreo y Registro:

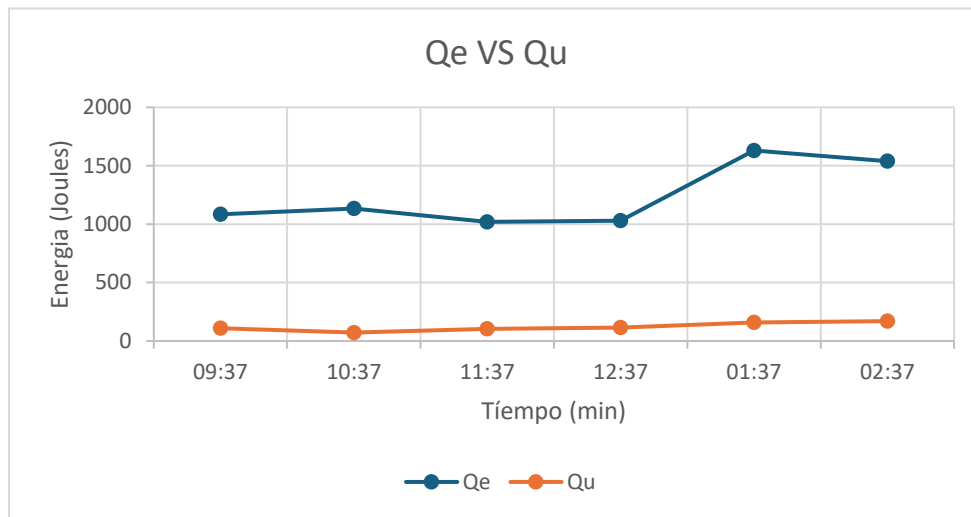
Se inició el secador solar y se monitorearon las condiciones internas mediante los sensores previamente colocados.

Los datos de temperatura y humedad fueron registrados a intervalos regulares para analizar la eficiencia del sistema y su capacidad de evaporación.

Con el anemómetro es un instrumento utilizado para medir la velocidad del viento que permite determinar la velocidad del aire que circula adentro del secador solar.

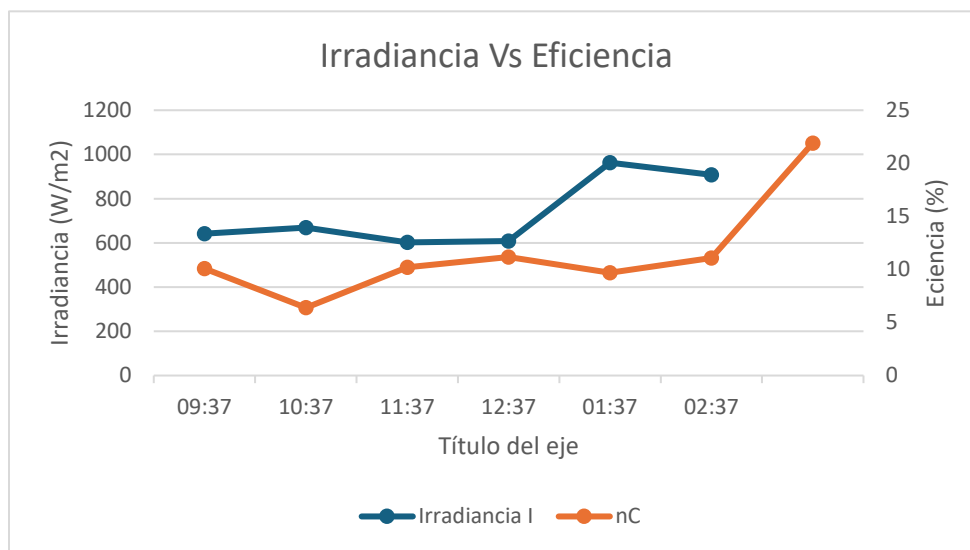
6.4 RESULTADOS

La gráfica 1 muestra la energía de entrada (Q_e) que es la energía recibida por el Sol y la energía útil (Q_u) que es la energía transferida al aire en el secador de un ventilador.



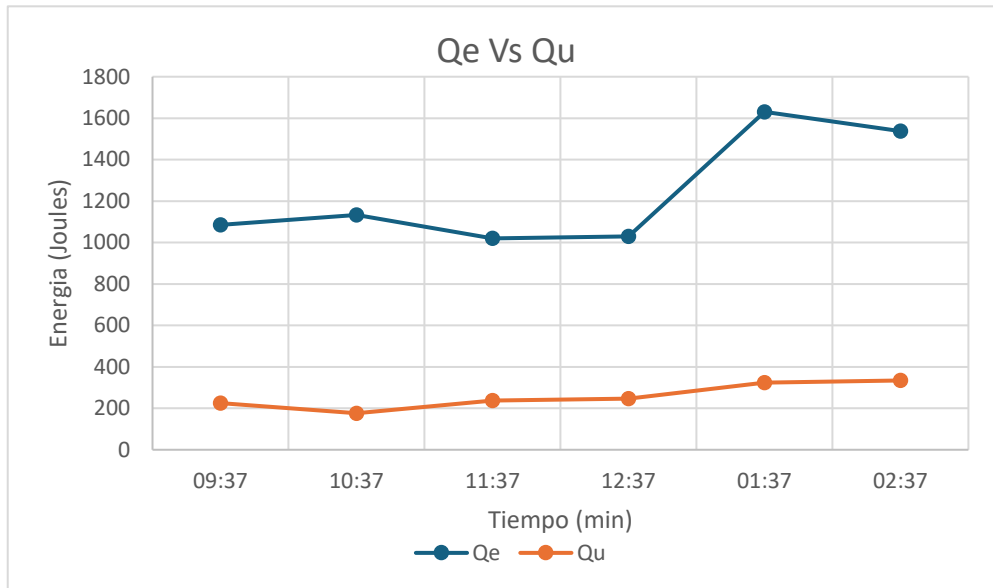
Gráfica 1: (Q_e Vs Q_u)

La gráfica 2 muestra la (Eficiencia del colector) y (Irradiancia) en el secador de un ventilador, se puede observar que las eficiencias estuvieron entre 7 y 21%.



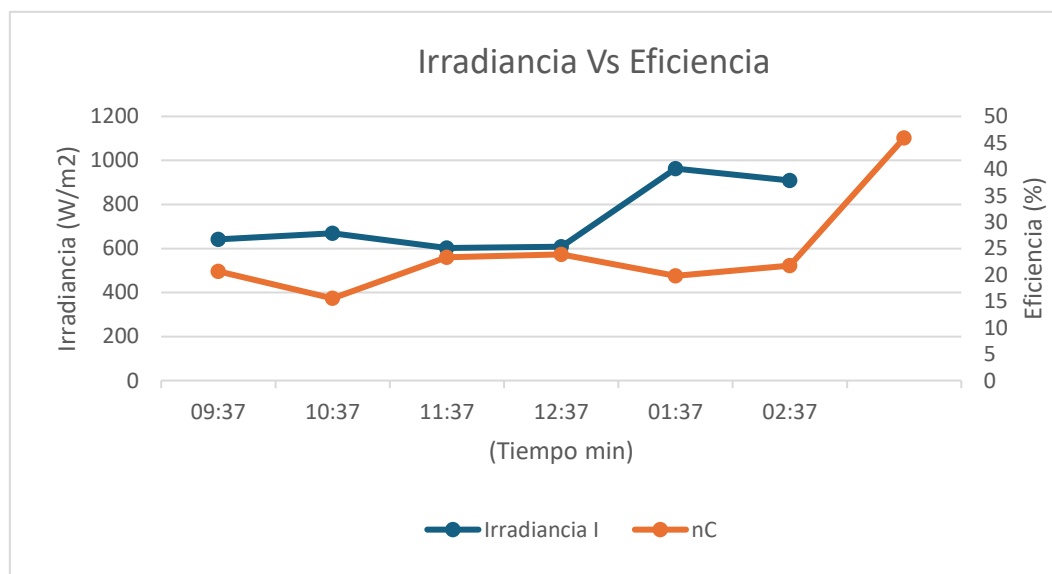
Gráfica 2: (Eficiencia vs Irradiancia)

La gráfica 3 muestra la energía de entrada (Q_e) que es la energía recibida por el Sol y la energía útil (Q_u) que es la energía transferida al aire en el secador de dos ventiladores.



Gráfica 3: (Qe vs Qu)

La gráfica 4 muestra la (Eficiencia del colector) y (Irradiancia) en el secador de dos ventilador, se puede observar que las eficiencias estuvieron entre 20 y 45%.



Gráfica 4: (Irradiancia vs Eficiencia)

En cada una de las charolas se colocaron 1000 mililitros de agua. La prueba comenzó a las 9:30 y finalizó a las 3:30. Al concluir, se midió la cantidad de agua restante en cada charola, y los resultados se registraron en una tabla de Excel para analizar cuánta agua quedó en cada uno de los dos secadores.

Prueba 1 de agosto

1 Ventilador		2 Ventiladores	
Evaporización de agua (%)		Evaporización de agua(%)	
415	419	359	400
817	840	800	800
850	870	820	825
850	850	750	809
850	763	700	737
Total= 7524		Total=7000	

Tabla 1: Evaporización de agua

Para la prueba 2 se hizo lo mismo como se puede ver en la tabla 2.

1 Ventilador		2 Ventiladores	
Evaporización de agua (%)		Evaporización de agua(%)	
270	261	197	279
783	800	783	720
840	836	730	781
850	829	640	777
667	671	600	628
Total= 6807		Total=6135	

Tabla 2: Evaporización de agua

Como se puede observar se evaporó más en el secador con dos ventiladores que con uno, al quedar menos cantidad de agua en el de dos ventiladores, lo cual corrobora tanto por las eficiencias del colector más altas obtenidas como por la mayor cantidad de agua evaporada, que el secador de dos ventiladores es más eficiente que el de uno y por tanto una mejor opción.

Eficiencia de secado

Se ha demostrado nuevamente que el sistema con dos ventiladores es más eficiente, alcanzando una eficiencia de secado del 12.24%. Esta mayor eficiencia se debe a la mayor circulación de aire que proporciona el segundo ventilador. En comparación, el sistema con un solo ventilador tiene una eficiencia del 10.17%, lo que lo hace menos eficiente.

7.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La experimentación realizada confirmó la hipótesis planteada: el secador solar de tipo gabinete equipado con dos ventiladores ofrece un rendimiento superior en comparación con el modelo que cuenta con un solo ventilador. Los resultados obtenidos demostraron que el modelo con dos ventiladores permite una mejor circulación del aire caliente dentro del gabinete, lo que facilita una distribución más uniforme del calor y acelera el proceso de secado. Esto se traduce en tiempos de secado más cortos y una mayor eficiencia energética.

Además, el uso de dos ventiladores contribuyó a mantener temperaturas más estables y a evitar puntos fríos dentro del secador, lo que mejora la calidad del secado y reduce el riesgo de deterioro o descomposición del producto. En contraste, el modelo con un solo ventilador mostró una circulación de aire menos eficiente, lo que prolongó los tiempos de secado y, en algunos casos, afectó la uniformidad del proceso.

Es muy importante que cuando se realice el proceso de secado las condiciones ambientales sean similares para que la comparación sea aún más confiable. De igual manera se debe supervisar que el equipo funcione correctamente para evitar errores en el proceso.

Se recomienda optimizar el diseño de los secadores solares para maximizar la captación de la energía solar y mejorar la distribución del calor. Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real que permita ajustar parámetros operativos según las condiciones climáticas y la carga del secador. Sensores estratégicamente ubicados puede mejorar el control del proceso y aumentar la eficiencia. Realizar un mantenimiento regular del sistema, especialmente en los componentes clave como los colectores solares, para asegurar un rendimiento óptimo a largo plazo.

De acuerdo a los resultados experimentales se corrobora la hipótesis de el secador de 2 ventiladores es mas eficiente que el de 1 ventilador. Y por lo tanto es mas recomendable para utilizarse.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]. Choi, Y., Kwon, S., & Park, J. (2020). Economic analysis of solar drying systems for industrial applications. *Journal of Cleaner Production*, 275, 123287.

[2]. Kumar, P., Patel, R., & Mishra, A. (2019). Advances in solar drying technology. *Energy Conversion and Management*, 183, 177-198.

[3]. Nair, S., Kumar, R., & Singh, R. (2021). Environmental impact of solar drying: A review. *Renewable Energy*, 165, 458-474.

[4]. Rajkumar, S., Venkatesh, K., & Rajendran, S. (2021). Space and design considerations for large-scale solar drying systems. *Renewable Energy*, 174, 1046-1056.

[5]. Santos, R., Oliveira, A., & Silva, M. (2018). Comparative study of solar and conventional drying methods. *International Journal of Energy Research*, 42(4), 1520-1531.

[6]. Instituto de Energías Renovables (IER). (2023). *Misión y visión*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://ier.unam.mx>

[7]. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2023). *Historia y misión*. Recuperado de <http://www.unam.mx>

[8]. Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Lorenz, M. (2020). Solar cell efficiency tables (version 58). *Nature Energy*, 5(7), 501-510.

[9]. Espinoza, S. R. V., Alaníz, K. C. A., & Aguilera, E. A. R. Ingeniero en Energías Renovables.

[10]. Valverde, J. A. (2021). *Evaluación de la eficiencia del deshidratador solar de la UNA y propuesta de planes para su buen desempeño* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria). Pag,15 y 16.

[11]. Bejarano Martínez, C. A. (2018). Evaluación del efecto del uso de un deshidratador solar pasivo indirecto de flujo turbulento y de un deshidratador solar pasivo en propiedades fisicoquímicas y organolépticas de mango, *naranja* y mandarina-estudio de caso de Tocaima Cundinamarca (Doctoral dissertation). Pag 27, 102.

[12]. Ávila Gómez, A. E., Mendoza Fandiño, J. M., & Beltrán Sarmiento, J. F. (2010). Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta. *Ingeniería y Desarrollo*, (27), pág., 96.

[13] Mealla-Sánchez, L. E., & Morales-Olaciregui, J. D. (2018). Evaluación del comportamiento térmico de secadores solares en régimen pasivo. *Tecnológicas*, 21(41), 29-44. página,31, 33.

[14] Santos Ramón Valdivia Espinoza Keybing Caleb Alaníz Medalla Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM-Estelí Evaluación de un deshidratador solar térmico de frutas y legumbres en la ciudad de Estelí en el año 2020.pag, 1, 65. Pag, 21.

[15]. Condorí, M. A. (2016). Secadores solares. *Energía Solar (First ed., pp. 77-87)*. Salta, Argentina.

[16]. Podaba, R., Trník, A., & Podobník, L. (2012). Upgrading of TGA/DTA analyzer derivatograph. *Építőanyag*, 64(1-2), 28-29.

[17]. Legg, T. (2014). Comparacion de La duración diaria de la insolación registrada por Campbell-Stokes y los sensores Kipp y Zonen, *Tiempo* (00431656).69(10)

[18]. Bimlesh, R., Sandeep, K., & Dinesh, T. (2022). Solar drying systems: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110556.

