



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LA
REGIÓN SIERRA**

INFORME FINAL DE RESIDENCIA:

**MONTAJE Y EVALUACIÓN DE TÚNEL DE SECADO MIXTO
(DIRECTO E INDIRECTO) CON CAPACIDAD DE HASTA 50 kg. DE
PRODUCTO.**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

ESTUDIANTE:

JESÚS GABRIEL OCAÑA OSORIO

ASESOR INTERNO:

MA. Y MGPEE. MARBELLA MENDOZA
SÁNCHEZ

ASESOR EXTERNO:

DR. OCTAVIO GARCÍA VALLADARES



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**



IER
Instituto de Energías
Renovables



Agradecimientos

“El mundo está lleno de energía y potencia, y con una pequeña parte de esa potencia y energía se puede llegar muy lejos.” Neal Stephenson

Muchas veces las personas que te brindan un apoyo en la etapa cómo estudiantes no se dan cuenta de que tan significativos se convierte en nuestra vida y en ocasiones el papel no puede plasmar a la perfección el agradecimiento que tienes hacia aquellos, pero hoy quisiera decirles, gracias por el apoyo brindado y siempre confiar en mí.

Quiero mostrar mi agradecimiento a mis docentes y compañeros que durante toda la carrera estuvieron cuando más los necesité, en especial a mí tutora Marbella Mendoza Sánchez. Maestra en gestión de proyectos y eficiencia energética. Usted formó parte importante de ésta historia con sus aportes profesionales. Muchas gracias por sus consejos y múltiples palabras de aliento.

De igual manera al Dr. Octavio García Valladares investigador titular “C” en el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México quien fungió como asesor externo durante mi residencia, muchas gracias.

Es para mí un honor agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por permitir desarrollarme dentro del proyecto 319188: “Centro comunitario para el deshidratado solar de productos agropecuarios de pequeños productores indígenas de Hueyapan Morelos” y poder contribuir con ellos.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, en especial a mi madre Marbella Osorio Hernández que siempre estuvo a mi lado en los días y noches más difíciles, has sido la

mejor guía de vida y siempre me impulsaste a ser mejor persona. Hoy cuando concluyo mis estudios, te dedico a ti este logro, como una meta más conquistada. Agradecido con la vida de haberte tenido como madre y que estés a mi lado compartiendo este momento tan importante.

Sé muy bien que el amor puede muchas veces distraerte en los estudios, pero en mi caso me sirvió para ganar una nueva familia que siempre me impulsó para seguir adelante y nunca rendirme, por ello le agradezco a mi pareja y sus padres porque en todo momento estuvieron ahí, brindándome su apoyo.

Este logro más que mío, es de todos aquellos que lo hicieron posible y jamás me alcanzarán las palabras para agradecerles, por tanto.

Resumen.

Para combatir la merma de los productos agrícolas en las zonas rurales, en el Instituto de Energía Renovable de la Universidad Autónoma de México campus Temixco, Morelos se realizó el montaje y la evaluación de un túnel de secado tipo mixto con capacidad hasta de 50 kg de producto cuyo propósito es conocer la eficiencia de dicho secador para poder ser aplicado con los pequeños productores agrícolas, esto con el objetivo de contar con una alternativa de secado solar que sea económico, de calidad y sobre todo que opere con recursos renovables.

El desarrollo de éste trabajo de investigación se centra en el montaje y la evaluación de un túnel de secado tipo mixto, el cual cuenta con un sistema de cuatro captadores conectados en serie dónde en aire entra para ser se calentado, es direccionado al túnel de secado mediante una ventilador el cual es alimentado por dos paneles fotovoltaicos conectados en serie, teniendo el control de las revoluciones, dicho túnel de secado funciona con 2 tipos de tecnologías, con radiación directa y con el sistema de calentamiento de aire por los colectores (indirecto). El túnel está fabricado con policarbonato de 6 mm. de grosor el cual permite el paso de la radiación. El deshidratador solar se puede utilizar para el secado de diferentes productos agropecuarios y cuenta con 40 charolas con área total de 10.8 m² donde se colocan los productos a deshidratar.

Para la evaluación del secador fue instrumentado para tener un monitoreo dentro y fuera del túnel de las siguientes variables: Radiación solar, temperatura, humedad relativa y flujo del aire. Las pruebas de evaluación en el deshidratador solar mixto tipo túnel obtuvieron temperaturas

en su interior entre 35°C y 55°C con una irradiancia promedio de 861.72 W/m² y un flujo másico promedio de aire de 0.0362125 kg/s.

Se evaluó el desempeño térmico del sistema con carga de agua siendo para propósitos de evaluación experimental.

En este deshidratador es posible llevar a cabo el proceso de secado, ya que opera dentro del intervalo de temperaturas recomendado para realizar el secado de productos agropecuarios. Cabe mencionar que el acoplamiento de los calentadores solares para el calentamiento de aire en convección forzada incrementa la energía que se tiene dentro del túnel mejorando su rendimiento y capacidad.

Tabla de contenido

Agradecimientos	2
Resumen.....	4
Tabla de contenido.....	6
Capítulo I	10
Generalidades del proyecto.....	10
1.1 Introducción.	11
1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del estudiante.	14
1.3 Problemas a resolver.....	16
1.4 Objetivos.....	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos.....	18
1.5 Justificación.	19
Capítulo II.....	20
Marco Teórico.....	20
2.1 Conceptos Generales.....	21
2.1.1 Energías renovables	21
2.1.2 Energía Solar.....	22

2.1.3 La Energía Solar Térmica En El Mundo.....	22
2.1.4 Energía Solar Térmica En México.....	22
2.2 Secado De Alimentos.....	24
2.2.1 Ventajas De Alimentos Secados.	24
2.3 Secadores Solares.....	25
2.3.1 Antecedentes De Secadores Solares.	25
2.3.2 Tipos De Secadores Solares.....	26
2.3.3 Clasificación De Secadores En Base A Su Mecanismo de Transferencia de Calor.....	27
2.4 Ventajas y desventajas de los secadores solares.	38
2.4.1 Ventajas.....	38
2.4.2 Desventajas.	38
2.5 Montaje del túnel de secado.....	39
2.6 Evaluación Del Túnel De Secado.	39
2.6.1 Instrumentos De Medición.....	41
2.6.2 Adquisición de datos.....	45
2.6.3 Software Utilizados.....	46
2.7 Curva De Temperaturas.	47
2.8 Humedad Relativa.....	48
2.9 Velocidad Del Viento.....	48

	8
2.10 Evaporación De Agua.	48
Capítulo III. Desarrollo.....	49
3.1 Procedimiento Y Descripción De Las Actividades Realizadas.	50
3.2 Diagrama Del Proceso.	52
3.3 Características Generales.	53
3.4 Ficha Técnica Del Equipo.	55
3.5 El Recurso De Energía Solar En Temixco Morelos.	56
3. 6 Montaje Del Túnel.	59
3.7 Pruebas de evaporación.....	62
3.8 Mediciones de eficiencia.....	66
Capítulo IV.....	68
Resultados	68
4.1 Determinación de eficiencia de secado.	69
4.2 Programa en hoja de cálculo de Excel.	69
4.2.1 Obtención de curvas de temperatura e irradiancia primera prueba.	71
.....	72
4.2.2 Cálculos en hoja de Excel para determinar la eficiencia de los colectores primera prueba.	72
4.2.3 Evaporación del agua primera prueba.	74
4.3 Determinación de eficiencia segunda prueba.....	76

4.3.1 Obtención de curvas de temperatura e irradiancia segunda prueba	78
4.3.2 Cálculos en hoja de Excel para determinar la eficiencia de los colectores primera prueba	79
4.3.3 Evaporación del agua primera prueba.....	81
Conclusiones.....	82
15. Competencias desarrolladas y aplicadas.....	83
16. Fuentes de información.....	84

Capítulo I

Generalidades del proyecto

1.1 Introducción.

La tecnología aplicable para los pequeños productores agrícolas del medio rural cada vez es más necesaria, con el fin de mejorar la producción, distribución y conservación de los productos alimenticios, esto quiere decir que es necesario reducir tiempo y costos de operación, hacer más eficiente el uso de energías y por supuesto mejorar las técnicas de conservación, siendo reflejadas las mejoras directamente en la parte financiera. (Cubillos y Estensoro, 2021)

El secado solar a cielo abierto es una operación que se emplea para la transformación de alimentos desde la antigüedad, en la cual su objetivo es lograr que el alimento pierda contenido de humedad con el fin de limitar el crecimiento microbiano acelerado y diversas reacciones químicas, aunque no siempre se realizaba de manera óptima es decir no se realizaba en condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de alimentos para asegurar que una vez ingeridos, no representaran un riesgo para la salud. Los productos se secan en el suelo, sobre hormigón e incluso en carreteras bajo el sol, y estos se contaminan con polvo e insectos y sufren pérdidas por roedores, aves y otros animales. (Janjai y Bala, 2012). Además, dicho secado en condiciones climáticas inadecuadas conduce a pérdidas en la cantidad y calidad del producto final.

Para lograr el control de éstas variables se utilizan procesos de inocuidad durante todo el secado, como también se implementan distintas tecnologías que cumplan con éstos parámetros.

Los productos alimenticios pueden ser secados en aire, vapor sobrecalentado en vacío, en gas inerte y por la aplicación directa de calor. Generalmente se utiliza el aire como medio secador, debido a su abundancia, su conveniencia y a que se puede controlar el sobrecalentamiento del alimento. (Ángeles, 2017)

Dependiendo de cómo se transmite la energía al producto los secadores solares pueden clasificarse en secadores de radiación solar directa, indirecta, de radiación infrarroja de conducción de calor y de convección de calor. (Ángeles, 2017)

Secadores solares directos: En los secadores solares directos la radiación es absorbida por el propio producto, resultando más efectivo el aprovechamiento de la energía para producir la evaporación del agua. Esto se debe a que la presión de vapor en la superficie del producto crece por la absorción de radiación solar. Por lo tanto, el gradiente de presiones de vapor entre el producto y aire se hace mayor y se acelera el secado. (Zegarra, 2021)

Secadores solares indirectos: El aire ambiente ingresa a los colectores impulsado por el ventilador y recorre el banco aumentando su temperatura. El aire caliente ingresa al caño maestro que recoge el aporte del banco de colectores. Luego, el aire pasa por el ventilador centrífugo hacia la cámara de secado. El ventilador se conecta mediante una manga a un difusor y éste a la cámara de secado donde el aire encuentra el producto a deshidratar. Finalmente, sale de la cámara por el extremo opuesto a través de dos ventanas colocadas en la puerta de ingreso de material fresco, desde donde se deshecha a la atmósfera. Este tipo de secadores presenta varias ventajas. En primer lugar, el control de proceso es más simple (especialmente en el caso de secadores con circulación forzada de aire). Además, es fácil integrar una fuente auxiliar de energía para construir un sistema híbrido. (Condorí, 2016)

Durante ésta investigación se estará utilizando los dos términos antes mencionados en un mismo túnel de secado, con el propósito de conocer que tan eficiente es con esas características y así confirmar si tiene ventajas para el uso en los productores agrícolas del medio rural.

La investigación está dividida en 4 capítulos contando con un apartado dónde se encuentran los anexos y las referencias

En el capítulo I se describen los fundamentos y el contexto de la investigación. También se analiza la problemática en la que se encuentran los agricultores con sus productos y se expone los objetivos y son justificados por la necesidad de contar con sistemas de secado que contribuyan a solventar esta situación. Así mismo, se describen las condiciones de tiempo, lugar y situación en que se realizó la investigación.

En el capítulo II se da a conocer el marco teórico y metodológico con que se abordó el presente trabajo, se describen los principios de las disciplinas que intervienen tanto en el secado de alimentos como en el de montaje y evaluación del túnel de secado.

En el capítulo III se ubica el desarrollo de la investigación, se describe la aplicación del método y sus diferentes etapas, desde la construcción del túnel hasta las distintas evaluaciones que se realizaron, aquí podemos encontrar figuras y tablas con las cuales se facilita el entendimiento.

En el capítulo IV se presentan los resultados y las conclusiones de los trabajos realizados cerrando con algunas recomendaciones, éstas últimas producto de la experiencia obtenida durante el proceso de realización de ésta investigación.

1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del estudiante.

La misión del Instituto de Energías Renovables de la UNAM es realizar investigación científica básica y aplicada en energía, con énfasis en energías renovables, que coadyuven al desarrollo de tecnologías energéticas sustentables; llevar a cabo estudios, asesorías y capacitación a los distintos sectores de la sociedad; formar recursos humanos especializados, y difundir los conocimientos adquiridos para el beneficio del país. Somos un referente nacional y la principal institución de México activa en la investigación, innovación, divulgación y formación de especialistas en tecnologías energéticas sustentables. (IER-UNAM, 2012)

Formamos parte del Campus Morelos de la UNAM, estamos ubicados en la ciudad de Temixco, Morelos. Surgimos como Instituto en enero del 2013 como una transformación del Centro de Investigación en Energía (CIE) y pertenecemos al Subsistema de la Investigación Científica de la UNAM. (IER-UNAM, 2012) (figura 1)

Figura 1.

Foto satelital de las instalaciones del Instituto de Energías Renovables de la UNAM



Nota: En la fotografía satelital de las instalaciones del instituto de energías renovables se puede observar la extensión de dicha institución. Fuente: Google maps, 2022.

Priv. Xochicalco S/N Temixco, Morelos 62580 México.

Latitud: 18°50.36'N Longitud: 99°14.07'W

Altitud: 1219 m sobre el nivel del mar

Temperatura promedio anual: 23.1 °C

Irradiación promedio anual: 20.28 MJ/m

1.3 Problemas a resolver.

Cuando un cultivo o alimento preparado no se consume y termina por ser considerado “basura”, perdemos más que comida. Desperdiciamos muchos recursos necesarios para el cultivo, la elaboración, el envasado, el transporte y la comercialización de alimentos. De acuerdo con la FAO, un tercio de la producción de alimentos en el mundo, termina por no ser consumida. (Atanasovski, 2018).

Esto significa que cada año, se desperdician los alimentos producidos en el 28% del total de tierras cultivables del mundo, que equivale a 7 veces la extensión territorial total de México. Por lo tanto, significa que se desperdicia una cantidad de agua similar a casi 10 veces el caudal del río Usumacinta. (THP, 2020)

La pérdida y desperdicio de alimentos tiene un fuerte impacto en términos ambientales, sociales y económicos. En México, el mayor porcentaje de desperdicio se da en el campo, es decir, en los primeros eslabones de la cadena de valor. En 2017 se realizó un estudio que cuantificó la pérdida y desperdicio de alimentos en México, financiado por el Banco Mundial y liderado por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), llamado “Pérdidas y Desperdicios Alimentarios en México” el cual reveló el impacto del desperdicio en las dimensiones económica, medioambiental y social.

El estudio arrojó que “cada año la pérdida y desperdicio de alimentos asciende a más de 20 millones de toneladas de alimentos aptos para consumo humano a lo largo de toda la cadena de valor”. (Jiménez, 2020). Esa cifra equivale a 34% de los alimentos que se producen México. Aunque recientemente hubo una actualización a finales del 2020, en el que ya se habla de cerca de 24 millones de toneladas de alimentos.

Ese, 34% de los alimentos que se producen no llegan hasta el consumo final por diferentes razones. Algunas de ellas son: Poca tecnología en el campo, falta de intención de compra justa, caminos intransitables, transportes inadecuados, mal tratamiento. (Jiménez, 2020).

En términos económicos, la pérdida y desperdicio de alimentos en México asciende a 491 mil millones de pesos, es decir, aproximadamente el 2.5% del Producto Interno Bruto, lo que representa producir alimentos que no llegarán al consumidor final. La pérdida y desperdicio de alimentos genera aproximadamente 36 millones de toneladas de CO₂, equivalente a lo que generan 15.7 millones de automóviles durante un año. (Vega, 2022)

En cuanto a la huella hídrica que deja la pérdida y desperdicio de alimentos, se habla de que en México la cantidad de agua que se destina para producir alimentos que no van a ser consumidos, equivale a abastecer al 100% de la población mexicana de agua durante 2.4 años. (Vega, 2022)

Los alimentos desaprovechados serían suficientes para eliminar el hambre en 7,000,000 de mexicanos. Por lo tanto, la pérdida y desperdicio de alimentos en México es un tema que merece mayor atención e intervenciones urgentes, agresivas, disciplinarias e intersectoriales. (Vega, 2022)

1.4 Objetivos.

Objetivo General

Montar y evaluar un túnel de secado tipo mixto (directo e indirecto) con capacidad de hasta 50 kg de producto.

Objetivos Específicos

1. Realizar el montaje del túnel de secado mixto con capacidad de hasta 50 kg.
2. Evaluar el túnel de secado mixto con capacidad de hasta 50 kg con charolas con 500 ml. de agua para conocer la eficiencia térmica del túnel.

1.5 Justificación.

En México se desaprovecha el 34 por ciento de su producción total de comida específicamente productos agrícolas en las zonas rurales siendo esto alrededor de 20.4 millones de toneladas de alimentos básicos anual (Guerrero, 2018) esto provoca generar 36 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂), cifra que es equivalente a las emisiones de 15.7 millones de automóviles al año. (FAO. 2019) Cuando desperdiciamos alimentos, también desperdiciamos toda la energía y el agua que se requieren para cultivarlos, cosecharlos, transportarlos y empacarlos (WWF, 2018) es por eso que la presente investigación se enfocará en el montaje y la evaluación, de un túnel de secado mixto de deshidratación solar de productos agrícolas para pequeños productores del medio rural, con el fin de fortalecer el desarrollo del sector agropecuario, con éste proyecto se busca aplicar ésta tecnología que es un método clásico y renovable de conservación de alimentos, que proporciona una mayor vida útil, producto de peso más ligero para el transporte y menor espacio de almacenamiento, aportando beneficios que funcionan como valor agregado para una comercialización, el valor agregado en el sector agropecuario consiste en la transformación de la materia prima a un producto con el fin de darle un mayor valor comercial, sin perder de vista la calidad de su origen (FIRCO, 2017) teniendo en cuenta que éste tipo de tecnología ha ganado mayor atención debido a su abundancia, libre accesibilidad y potencial comercial brindando la facilidades. (FIRCO, 2017)

Capítulo II.

Marco Teórico

2.1 Conceptos Generales.

2.1.1 Energías renovables

Las energías renovables comprenden todas aquellas que se extraen de fuentes que se regeneran de manera natural, lo que garantiza que no se agoten y que se consideren en principio limpias o verdes, porque contaminan muy poco, y no emiten los gases que producen el efecto de invernadero. (UN, 2022)

Si bien estas energías todavía representan una fracción reducida de la matriz energética global, están aumentando raudamente a medida que las naciones se trazan objetivos e imponen hitos para su introducción extendida en el mercado; además, sus costos decrecientes las hacen cada vez más competitivas. Por todo ello, millones de dólares se están destinando a investigación, desarrollo e introducción al mercado, a medida que compañías y dueños de residencias buscan reducir sus emisiones de carbono y ser más eficientes e independientes desde un enfoque energético (REN21, 2020)

De acuerdo con Hernández (2013), el principal beneficio que producen las energías renovables frente a las energías tradicionales, es que disminuyen la dependencia de estas, las van sustituyendo de forma progresiva y contribuyen a mantener la calidad de vida de las personas actuales, garantizando un ambiente ecológicamente más equilibrado, lo que permite preservar el ambiente sano de las generaciones futuras y contribuir a la disminución del calentamiento global.

2.1.2 Energía Solar.

La energía solar es aquella generada por el Sol y que viaja a través de radiaciones para llegar a la Tierra. Es una energía renovable la cual el ser humano tiene intención de obtenerla de manera eficiente para su uso y aprovechamiento mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el paso del tiempo. (Miruna, 2021)

Este tipo de energía es inagotable y muy abundante y por ello además de ser una fuente renovable, es una energía limpia y supone una alternativa a otros tipos de energía no renovables como la energía fósil o la energía nuclear. (Miruna, 2021)

2.1.3 La Energía Solar Térmica En El Mundo.

En el mundo, tras siete años de descenso, la energía solar térmica volvió a crecer en 2021, un 3% en concreto, con Italia, Brasil y Estados Unidos como grandes protagonistas. En Italia creció nada menos que un 83%, en Brasil un 29% y en Estados Unidos un 19%. Son datos que acaba de publicar la Agencia Internacional de la Energía. (Werner, 2022)

2.1.4 Energía Solar Térmica En México.

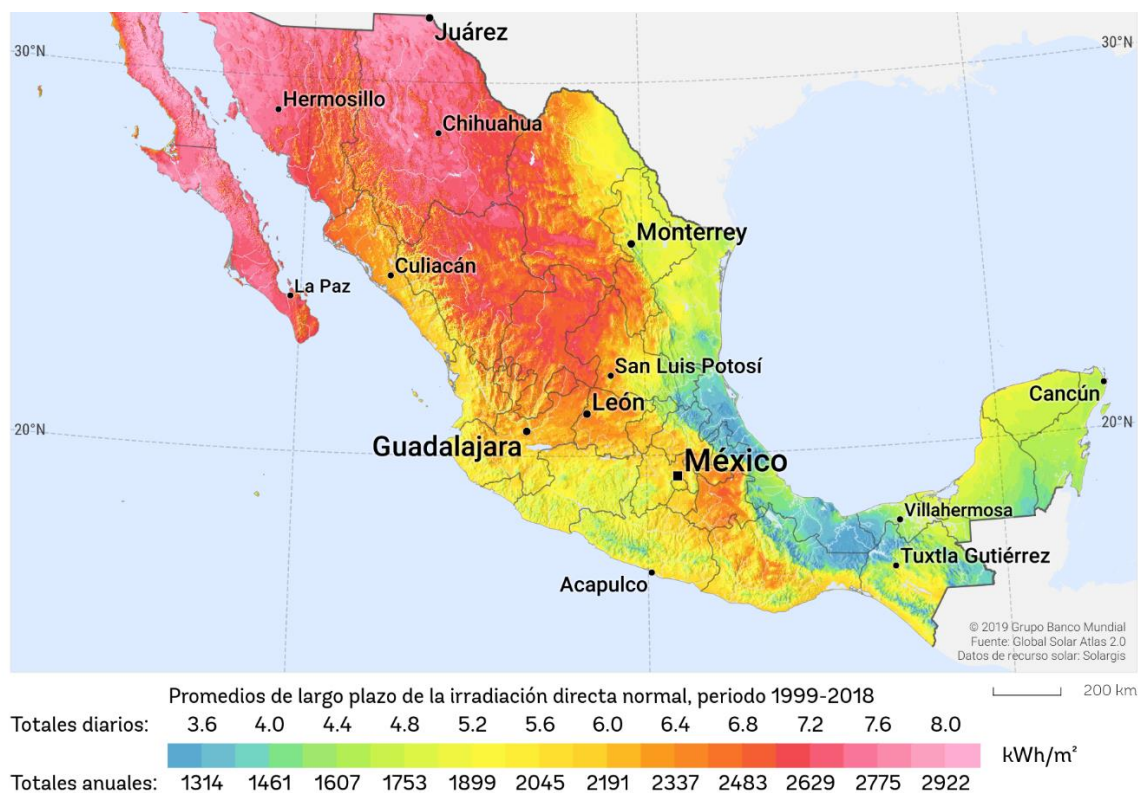
México se encuentra entre 15° y 35° de latitud, región considerada la más favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente, en promedio, 5.5 Kwh/m² (la unidad de medición de la irradiación solar). (International Renewable Energy Agency, 2015).

De acuerdo con la Agencia Internacional de las Energías Renovables (2015), y la Secretaría de Energía, México cuenta con un potencial técnico y económicamente factible de 9

Gwt. de colectores solares que podrían instalarse en la industria mexicana entre 2010 y 2030. Gran parte del potencial, 7 Gwt. se localizan en el segmento de baja temperatura, en procesos de la industria textil, alimentos y algunos procesos químicos. El resto se encuentra en procesos de temperatura media, donde se requieren sistemas de concentración, principalmente en la fabricación de productos químicos. (International Renewable Energy Agency, 2015). (figura 2)

Figura 2.

Mapa de irradiación solar total en México



Nota. Distribución de la irradiación solar incidente en la extensión territorial de México Fuente: The World Bank, Solar resource data: Solargis, 2017.

2.2 Secado De Alimentos.

El secado es una de las técnicas más antiguas utilizadas para la conservación de alimentos que consiste en eliminar el agua impidiendo el crecimiento microbiano y retardando e inhibiendo las reacciones enzimáticas (López, 2020).

Según una nueva investigación el método de secado de los alimentos o también conocido como deshidratación de los mismos ha sido catalogado como el mejor sistema de conservar los alimentos desde tiempos remotos. Esta estrategia consiste en sacar el agua únicamente, a través de aplicación de calor suave que no llegue a afectar las propiedades nutritivas. El secado ofrece facilidades de transporte, almacenaje y manipulación de los alimentos, además de la oportunidad de extender su vida útil (Khamlichi, 2022).

2.2.1 Ventajas De Alimentos Secados.

Al hacer uso de la técnica de secado los alimentos es posible preservar casi cualquier tipo de producto como son verduras, frutas, pescados, carnes, especias, setas, hierbas, entre muchas otras comidas. (Conasi, 2020). El secado permite que el producto pueda conservarse durante meses e incluso años si se encuentra almacenado correctamente, sin la necesidad de utilizar ninguna tecnología extra. (Michelis, 2022) Otro beneficio es que los productos van a mantener la mayoría de sus propiedades nutricionales después de habersele aplicado el método de conservación. (Marchant, 2019)

Los sabores y azúcares se concentran e intensifican cuando la comida se seca, por lo que las frutas deshidratadas se convierten en una excelente opción al momento de elegir tomar un tentempié. (Conasi, 2020). Por otra parte, los productos deshidratados van a reducir el espacio requerido para ser almacenados, transportados y hasta manipulados.

Utilizando esta metodología, es posible conservar los productos alimenticios excedentes de una cosecha específica para una época del año y de esta manera no dejar de consumirlos incluso en otra estación, disfrutar de sus sabores y propiedades, es decir, se pueden preservar las frutas y verduras que no se consumen antes de que se comiencen a descomponerse y se deban desechar. (Khamlichi, 2022).

2.3 Secadores Solares.

Los deshidratadores o secadores solares son dispositivos que utilizan la radiación solar para calentar aire y así retirar el agua de los tejidos de productos como frutas, verduras, semillas, carne, hierbas o madera. Ya que han sido deshidratados, los alimentos pueden conservarse secos hasta por un año sin perder sus propiedades nutritivas, bromatológicas y organolépticas. La deshidratación solar es una alternativa renovable para la micro-industria y un mecanismo de desarrollo económico para pequeños productores hortofrutícolas. (Unidad de Ecotecnologías, UNAM, Campus Morelia, s. f.)

2.3.1 Antecedentes De Secadores Solares.

Los secadores solares funcionan por un flujo de aire precalentado por medio de energía solar, que se hace pasar por el sólido a secar, este aire provee el calor necesario para remover la humedad contenida dentro y fuera del sólido (Hui et al, 2008).

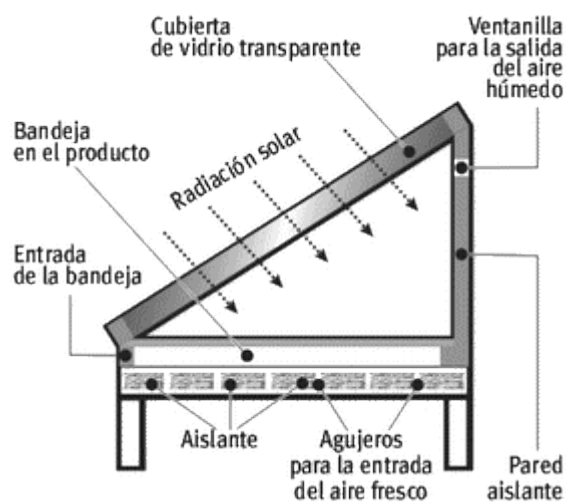
La deshidratación o secado ya era utilizada en tiempos prehistóricos por nuestros antepasados, pues les permitía obtener productos alimenticios con un tiempo de vida superior. Con el paso del tiempo, la demanda de alimentos ha ido creciendo con el aumento de la población, y cada vez es mayor esta demanda, lo que ha acarreado el que la industria de conservación por secado haya adquirido una gran importancia en el sector alimentario. (Barbosa, 2005).

2.3.2 Tipos De Secadores Solares.

Secadores solares directos: el producto está en una cámara hermética y recibe directamente la radiación solar al absorber la misma, su temperatura sube, aumentando la presión de vapor del agua del producto y el aire remueve la humedad. Al haber poca circulación de aire, las temperaturas tienden a subir y es probable que se produzca deterioro del producto. (Román. Marconi y Reyes, 2020). (figura 3)

Figura 3.

Diagrama de las partes y funcionamiento de un secador solar directo.

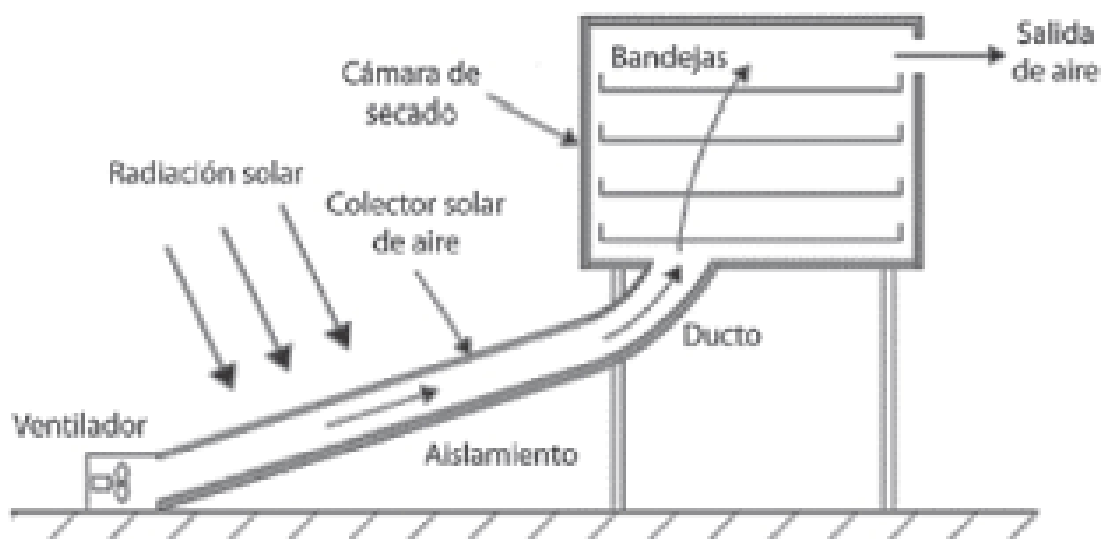


Fuente: <https://www.yo-reciclo.org/deshidratadores-solares-py1wv>

Secadores solares indirectos: en este caso el producto está en una cámara de secado opaca. El aire de secado se precalienta con colectores solares y el aire caliente se inyecta a la cámara de secado. El aire le transfiere calor al producto y este pierde humedad. El proceso que sigue el aire es similar a un enfriamiento adiabático. Al pasar el aire por las bandejas va ganando humedad y enfriándose. Tienen la ventaja de que el producto está protegido de la radiación y si se cuidan las temperaturas la calidad es muy buena. (Román. Marconi y Reyes, 2020). (figura 4)

Figura 4.

Diagrama de las partes y funcionamiento de un secador solar indirecto.



Fuente: (García, 2012)

2.3.3 Clasificación De Secadores En Base A Su Mecanismo de Transferencia de Calor.

Es decir, la manera en que le es transferido el calor al sólido son las siguientes:

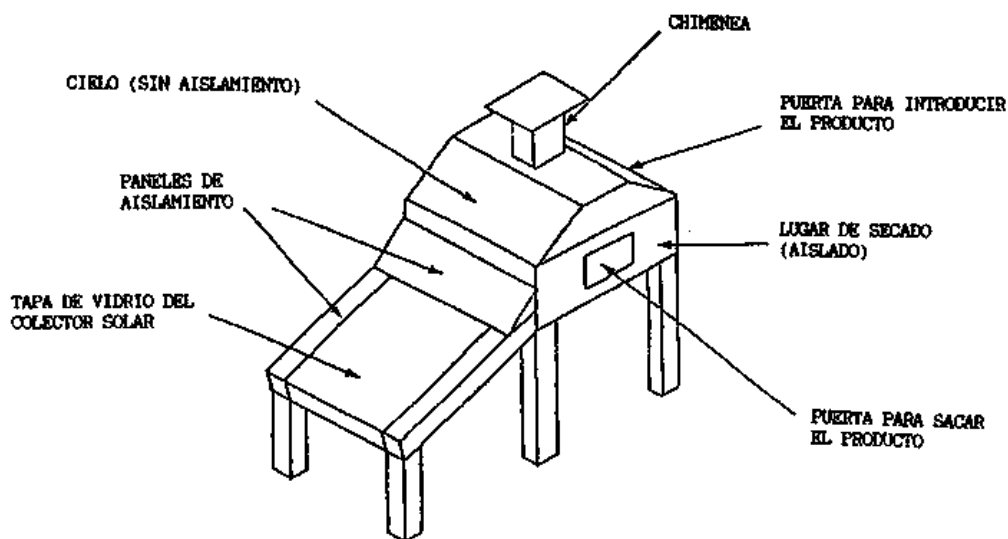
Secadores adiabáticos. Donde el sólido se encuentra en contacto directo con un flujo de gas caliente (Fito et al., 2001).

Dentro de esta clasificación algunos de los secadores que trabajan bajo este principio son los siguientes:

- a) El principio de funcionamiento de los secadores solares tipo gabinete por lo general se basa en el efecto invernadero. La energía solar se trasmite al agente secante debido a la radiación solar infrarroja, que atraviesa la cubierta de cristal, la cual es absorbida por una chapa metálica ennegrecida y a su vez, trasmite la energía por radiación y convección al producto a secar. (Andión, 2012) (figura 5)

Figura 5.

Secador solar tipo gabinete y sus componentes.

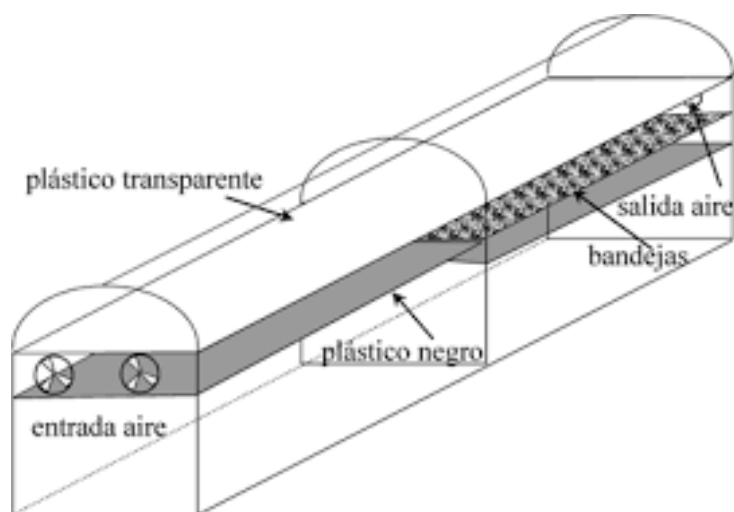


Nota: en la imagen anterior se puede observar los componentes de un secador tipo túnel que cuenta con una chimenea.

b) Secadores de túnel. Son túneles los cuales también consisten en tener charolas donde es colocado el sólido, pero el aire entra de manera paralela al producto y se cambia a contracorriente para un secado uniforme. (figura 6)

Figura 6.

Diseño de un secador tipo túnel.

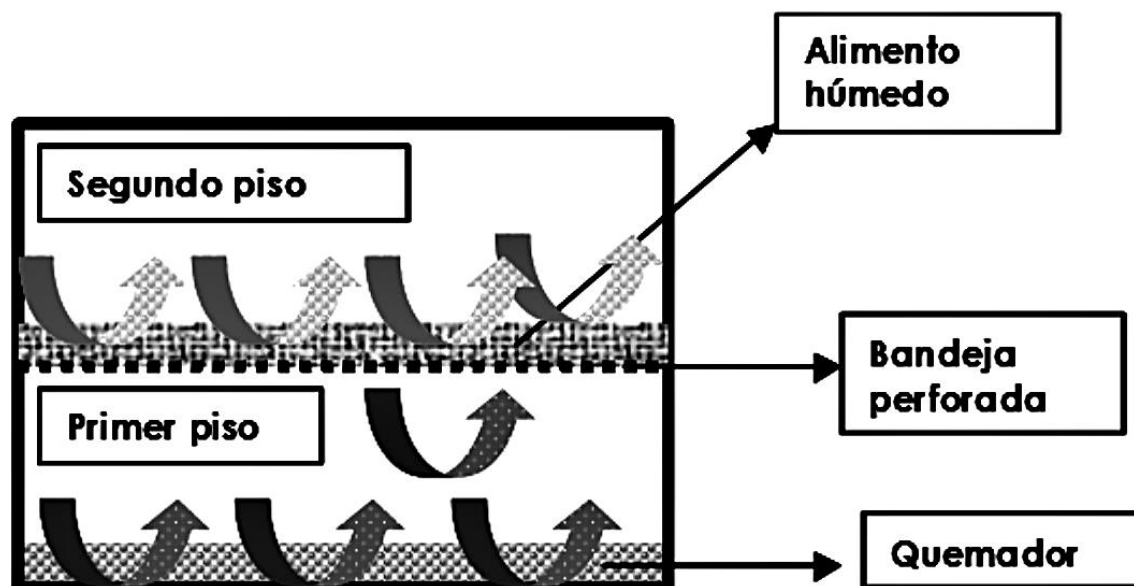


Nota: En la imagen se observa el diseño de un secador solar tipo túnel, el cual cuenta con un panel fotovoltaico Fuente: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos>

c) Hornos secadores. Construcciones de 2 pisos en la cual la parte superior se compone por tablas sobre las que son puestas el sólido. En el primer piso se produce el gas caliente conducido con ayuda de un ventilador hasta la parte superior (Desrosier, 1981). (figura 7)

Figura 7.

Esquema del funcionamiento de un horno secador.

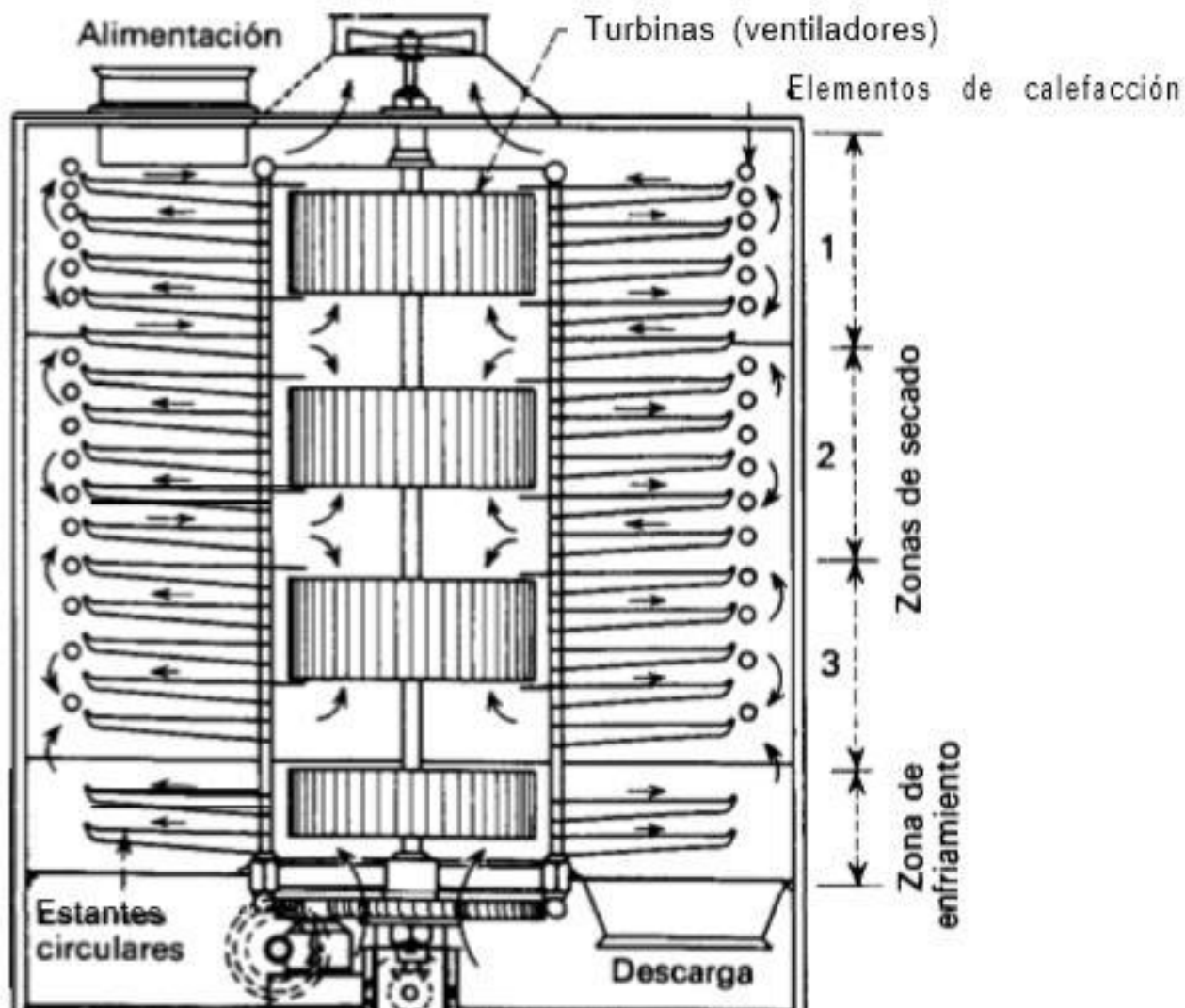


Nota: En la imagen se puede observar el funcionamiento de un horno secador y sus componentes. Fuente: <https://emjuvi.com>

d) Secador de torre o bandeja giratoria. Serie de bandejas en forma de anillo puestas unas sobre otras en un eje giratorio. Los sólidos se alimentan en una bandeja por la parte superior de la columna donde se exponen a una corriente de aire o gas caliente que circula sobre la superficie de material sólido. (Fito, 2001). (figura 8)

Figura 8.

Esquema de un Secador de torre o bandeja giratoria.

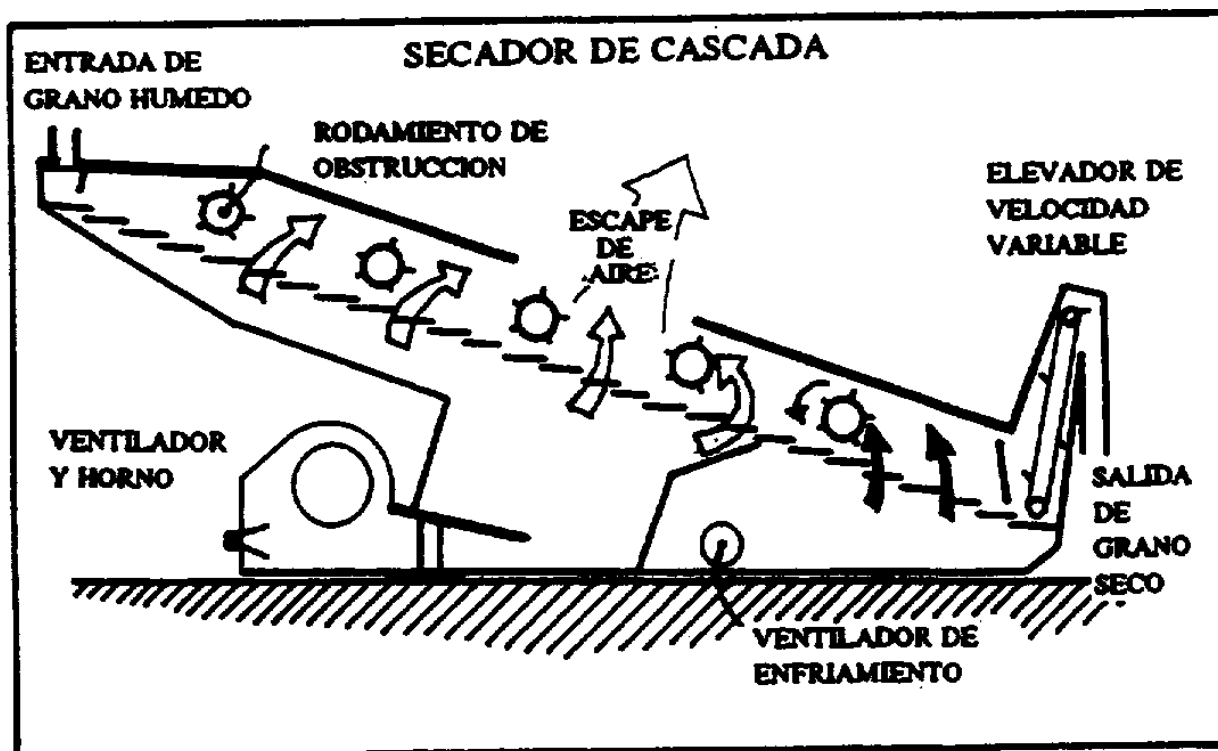


Nota: En el esquema anterior se muestran los componentes de el secador de torre:
Fuente: (McCabe, 1991)

e) Secadores de cascada. El producto se desplaza por gravedad. Descendiendo de lo alto de una torre, mientras que el aire circula transversalmente al desplazamiento del lecho del producto. (Fito, 2001) (Figura 9)

Figura 9.

Esquema de un secador tipo cascada.

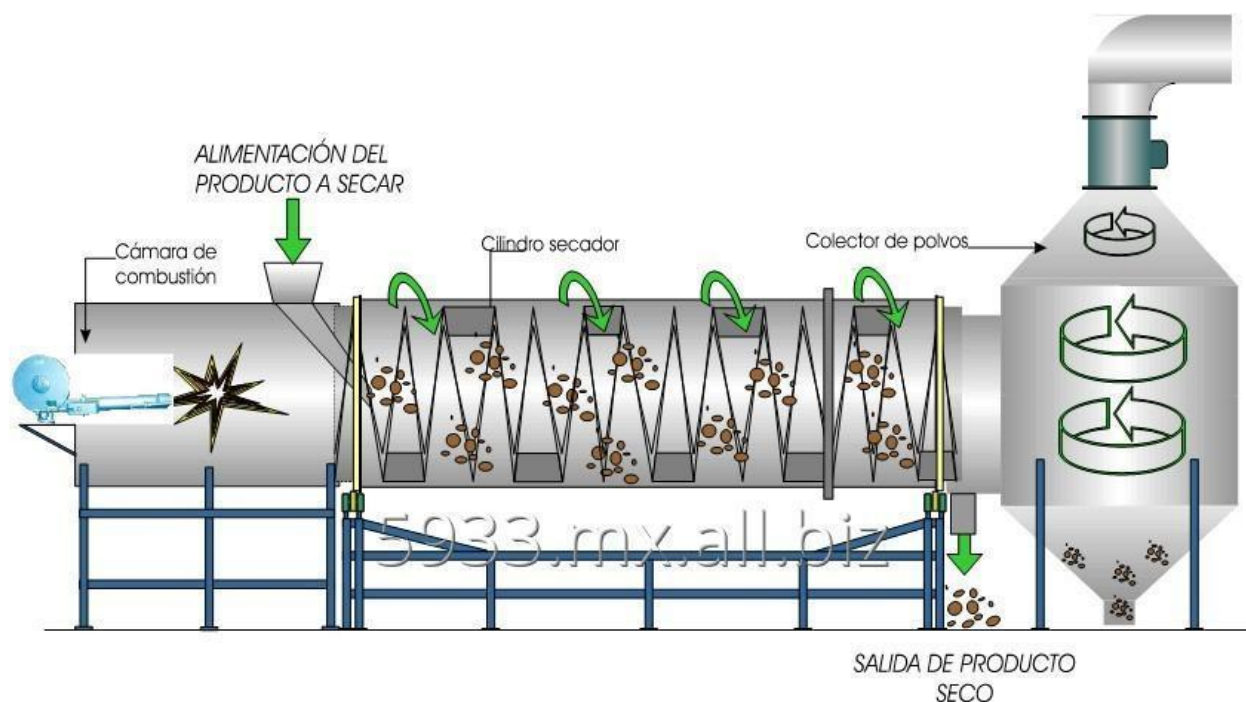


Nota: Se puede observar en la imagen las partes del secador y el funcionamiento del mismo. Fuente: (Sarmiento 1985)

Secadores rotatorios. Carcasa cilíndrica que gira sobre soportes ligeramente inclinados. El material húmedo se introduce por un extremo del cilindro y avanza por el por gravedad y en rotación y sale seco por el otro extremo. Cuando los gases calientes circulan en sentido de avance del material, le ayudan a desplazarse a lo largo del secador. (Fito, 2001). (Figura 10)

Figura 10.

Imagen demostrativa del diseño de un secador tipo rotatorio.



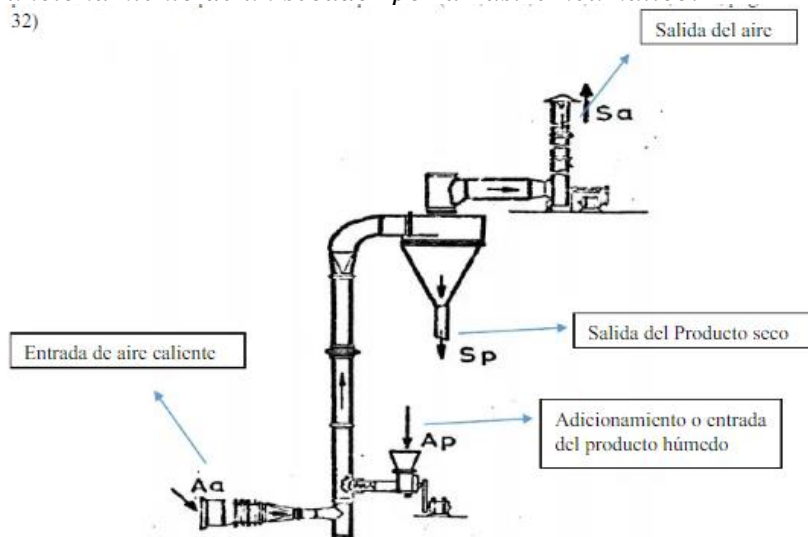
Nota: en la imagen se muestra el diseño y se ilustra el funcionamiento de dicho secador.
Fuente <https://mx.all.biz>

Secador por arrastre neumático. La eliminación de la humedad se realiza dispersando el material a secar en una corriente de gases caliente que lo transportan a velocidades elevadas. (Fito, 2001).
(Figura 11)

Figura 11.

Funcionamiento de un secador por arrastre neumático.

32)

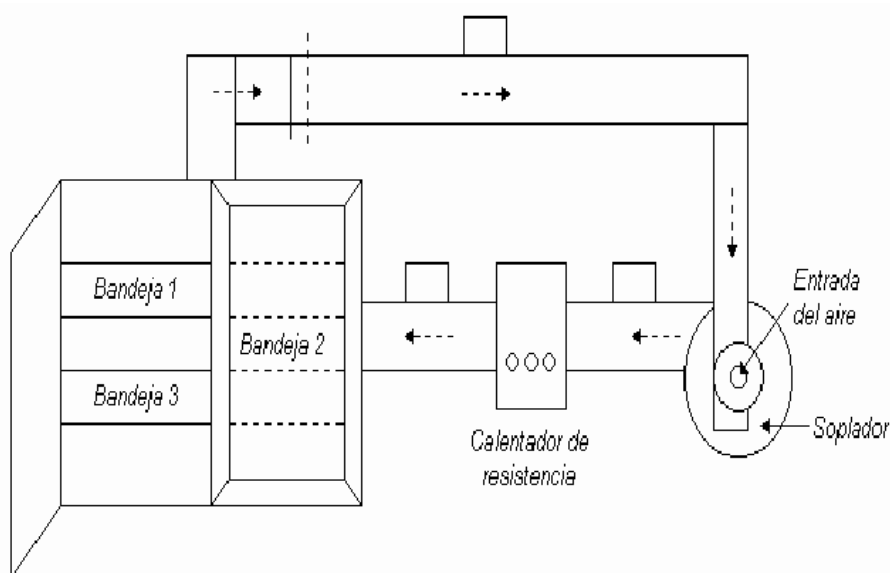


Nota: En la imagen se muestra el funcionamiento de un secador por arrastre neumático.
Fuente: (Jiménez, 2014).

a) Secadores de bandejas a vacío. Se encuentran formados por una cámara cerrada herméticamente, con placas calefactoras y bandejas donde se coloca el material a secar y está conectada a una bomba de vacío. 34. (Fito, 2001). (Figura 12)

Figura 12.

Esquema de un secador solar de bandejas al vacío.

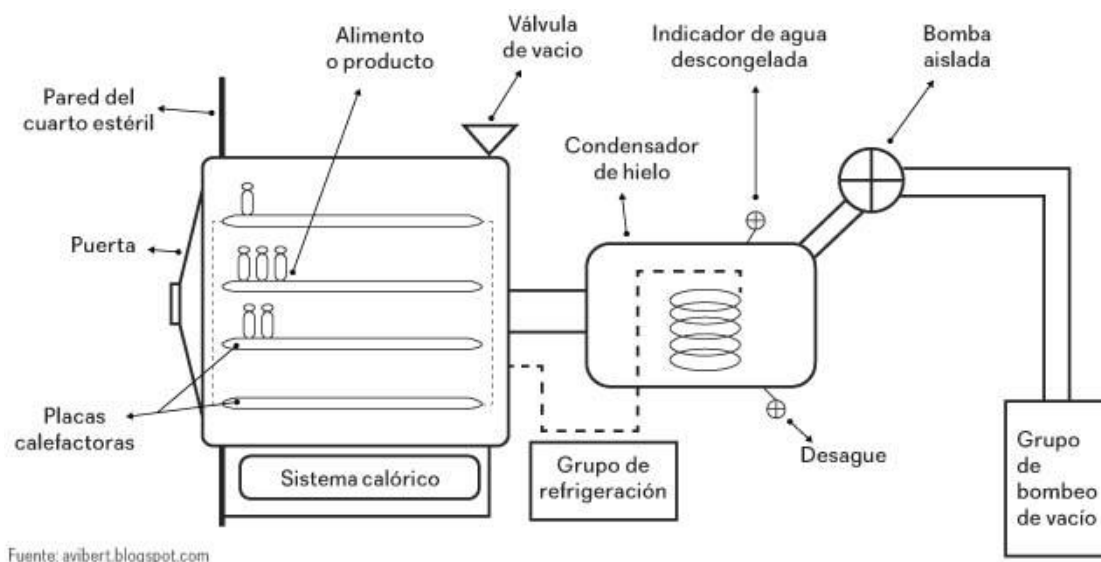


Nota: en la imagen se muestra los componentes del secador de bandejas al vacío como el recorrido que hace el aire dentro de él. Fuente: <https://www.researchgate.net>

b) Secadores por sublimación. Tiene lugar por la sublimación de vapor de agua a partir de hielo a alto vacío y temperaturas por debajo de 0°C. (Fito, 2001). (Figura 13)

Figura 13.

Esquema de un secador por sublimación.

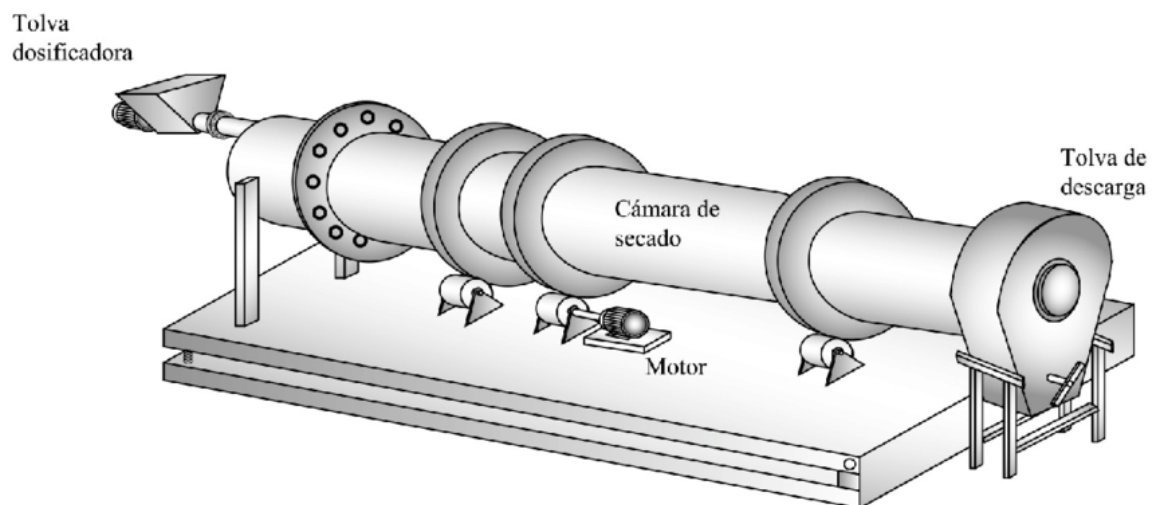


Nota: En la imagen anterior se muestra los componentes del secador por sublimación. Fuente: <https://www.andira.org.mx>

c) Secadores de tambor. Este consiste en uno o más rodillos metálicos calentados, el sólido seco es retirado de los rodillos (McCabe, 2002). (Figura 14)

Figura 14.

Imagen ilustrativa de un secador de tambor.

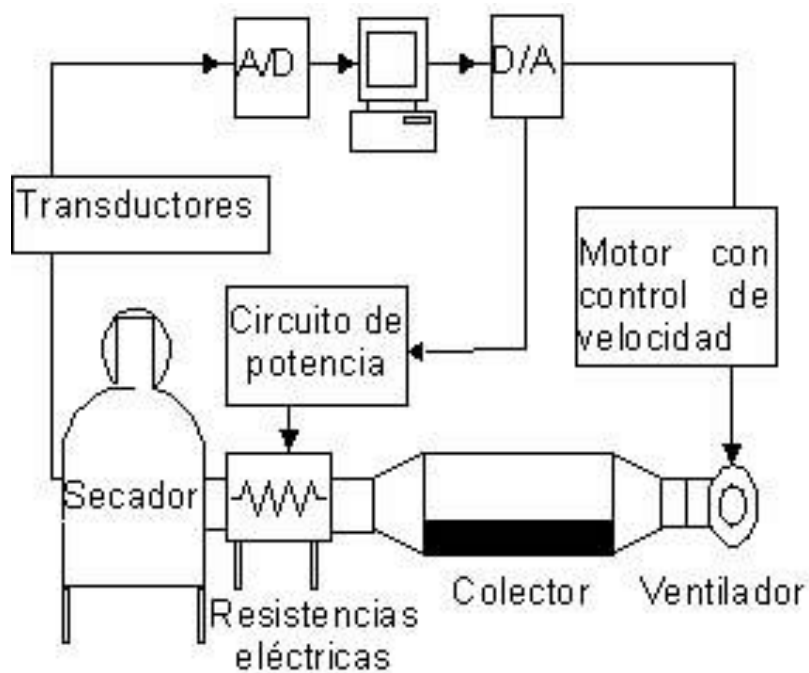


Nota: En la imagen se muestra el diseño de un secador de tambor como también sus componentes. Fuente: <https://www.researchgate.net>.

Secadores dieléctricos. Calentados principalmente por energía dieléctrica, radiante o de microondas (McCabe, 2002). (Figura 15)

Figura 15.

Esquema de un secador dieléctrico.



Nota: En la imagen se muestra el esquema de un secador dieléctrico, como también sus componentes. Fuente <https://www.scielo.cl/scielo>.

2.4 Ventajas y desventajas de los secadores solares.

2.4.1 Ventajas.

Las ventajas que ofrece la incorporación del proceso de secado al ciclo productivo, para mejorar el valor agregado y considerar posibilidades de industrialización o aumentar el volumen disponible de materia prima a un contenido de humedad adecuado para su transformación. (Quintanar, Fuentes Y Urías 2011).

La calidad del producto deshidratado es generalmente superior cuando se selecciona una buena tecnología del proceso. La velocidad de secado suele ser mucho mayor y disminuye considerablemente el tiempo de secado, lo que influye tanto en la calidad como en el costo del producto. Las condiciones sanitarias y nutritivas (en caso de alimentos) son mejores porque el producto no está expuesto a la acción directa del sol, la lluvia, el polvo y los insectos. El área utilizada en la deshidratación es varias veces menor que la empleada en el secado natural. (Tipos de secado en alimentos, 2014)

2.4.2 Desventajas.

El nivel de radiación de esta energía fluctúa de una zona a otra, y lo mismo ocurre entre una estación del año y otra, lo que puede no ser tan positivo ya que es un parámetro que no se puede controlar.

El agua que se encuentra en suspensión en la atmósfera es el parámetro más importante que produce esta variación. También los aerosoles, el ozono y mezcla de gases inciden en la variación de la radiación con la altura. Por lo expuesto el clima, la orografía, y la altura del lugar influyen en la radiación solar global. (Hoyos, 2019)

Cuando se decide utilizar la energía solar para una parte importante de la población, se necesitan grandes extensiones de terreno, lo que dificulta que se escoja este tipo de energía.

Además, otra de las desventajas, es que inicialmente requiere una fuerte inversión económica a la que muchos consumidores no están dispuestos a arriesgarse. En comparación con los combustibles fósiles, los costos de las energías renovables son mayores, aunque debe mencionarse que tal comparación es incompleta al no considerarse las externalidades asociadas con los costos ambientales del uso de fuentes fósiles. (Posso,2014)

2.5 Montaje del túnel de secado.

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas, terreno y producto a deshidratar se acondiciona el diseño del secador solar, específicamente relacionado a las áreas de colector solar y secado, así como a los materiales de construcción. (Elles, 2016)

El montaje del túnel se realiza partiendo de la unión de las piezas fabricadas, en un área de 500 x 1000 x 200 cm se colocan los colectores planos con dirección al Ecuador e inclinación dependiendo la latitud del lugar posteriormente se unen los colectores con el túnel por medio de una tobera que en el medio tiene el ventilador, éstos se conecta con los paneles fotovoltaicos de 315 W que se montan en una base especial, en éste caso el túnel está dividido en 4 y se unen con unas abrazaderas de palanca rápidas, en cada unión se colocan cinta termoflex para evitar fugas. Éste túnel está diseñado de ese modo para que el trasladado se realice de manera sencilla y segura. (Tamayo. 2022)

2.6 Evaluación Del Túnel De Secado.

Para la evaluación el túnel de secado mixto tiene que ser instrumentado para tener un monitoreo dentro y fuera de las siguientes variables: radiación solar, temperatura,

humedad relativa y flujo del aire. Se utilizarán sensores termopares Pt1000 con vaina de acero como se muestra en la figura 16 para medir temperaturas en las entradas de los colectores, salida de los colectores, salida del túnel, en las bandejas y en la salida de las cámaras de secado.

Piranómetros para medir radiación total y la radiación incidente en el plano del colector los cuales se muestran en la figura 17, sensores Omega y la humedad (figura 19) que se manejan durante todo un día, esto acompañado con bandejas llenas con 1/2 litro de agua, es decir el secador en vacío. Aparte de éstos sensores se incluyen mediciones las velocidades de fluidos, en la salida de los colectores y en la salida del túnel. (Tamayo. 2022) (figura 18).

2.6.1 Instrumentos De Medición.

Los instrumentos de medición utilizados durante las pruebas fueron 6 sensores de temperatura pt1000 ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) (figura 16).

Figura 16.

Sensor termopar pt1000.



Nota: Fotografía de un sensor termopar pt1000 del instituto de energías renovables de la UNAM.

2 piranómetros kipp & zonen ($\pm 2\% \mu\text{w}/\text{m}^2$) (figura 17).

Figura 17.

Piranómetro kipp que fue utilizado para la evaluación para medir la radiación.



Nota: Fotografía de un sensor piranómetro kipp, el cual está instalado en el secador tipo túnel, montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM para obtener datos de la radiación solar incidente.

1 medidor de flujo Sierra Quadra Therm ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y Nm^3/h), 1 medidor de velocidad de aire Extech

($\pm 5\%$) (Figura 18)

Figura 18.

Medidor de flujo Sierra Quadra Therm que fue utilizado para la evaluación.



Nota: Fotografía de medidor de flujo sierra Quadra Therm instalado en el secador tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM para medir las velocidades del flujo de aire caliente de que sale de los colectores y entra hacia el túnel de secado. 2022.

Un medidor de humedad Extech ($\pm 2\%$). (Figura 19)

Figura 19.

Medidor de humedad Extech que fue utilizado durante las evaluaciones.



Nota: Fotografía del medidor Extech utilizado durante las pruebas en el túnel de secado montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM para medir humedad en las entrada, interior y salida del túnel. 2022.

Y un adquisidor de datos Agilent 34972A. (Figura 20)

Figura 20.

Adquisidor de datos que fue utilizado durante las evaluaciones.



Nota: Fotografía del adquisidor de datos Agilent VEE pro utilizado durante las pruebas de eficiencia en el secador solar de túnel montado del Instituto de Energías Renovables de la UNAM. 2022.

2.6.2 Adquisición de datos.

La adquisición de datos es el proceso de muestreo de información física del mundo real y la conversión de esas muestras en valores digitales que las computadoras y los controladores pueden entender. (Sahagún, 2022)

La unidad de sistema de adquisición de datos de 20 canales tiene una velocidad de muestreo de 3Mps con calibración RS. Su versatilidad incluye el uso como registrador de datos, sistema frontal de adquisición de datos y sistema de conmutación. Mide y convierte temperatura con termopares y termistores, tensión dc y ac, resistencia de 2 y 4 cables, frecuencia y período, y

corriente dc y ac. Cada canal es configurable de manera independiente. El acondicionamiento de señal integrado permite a los usuarios medir 11 funciones diferentes sin coste adicional ni complicaciones de los accesorios de acondicionamiento de señal externa. (Agilent technologies, 2020)

2.6.3 Software Utilizados.

El lenguaje VEE (Visual Engineering Environment) es un lenguaje de programación gráfico diseñado especialmente para desarrollar aplicaciones de control, mediciones, análisis, pruebas y adquisición de datos. (Casas, 2012) El programa VEE Pro busca proporcionar al usuario funciones de compatibilidad con una gran variedad de dispositivos de diferentes fabricantes de la industria. Los ingenieros de diseño generalmente utilizan para sus proyectos herramientas de distintos fabricantes, lo que en algunas ocasiones se convierte en un problema por la falta de compatibilidad. El incorporar las herramientas que permitan a los diseñadores utilizar dispositivos de otras compañías, se ha convertido en una de las principales demandas hacia las compañías. Buscando satisfacer estas demandas, los productos de adquisición de datos de NI, incluyendo las tarjetas PCI, SCXI, y Plug-in, aparecen como dispositivos en el manejador de instrumentos del programa, permitiendo al usuario realizar simulaciones utilizando estos dispositivos. (Casas, 2012)

El software VEE está diseñado para ser una herramienta poderosa que pueda automatizar inherentemente tareas complejas. Una de las ventajas importantes de este software es que tiene compatibilidad con los programas Microsoft, tal es el caso de Word, Excel, Outlook y más, igualmente reconoce lenguajes de programación como Visual Basic, Visual C++, LabView y Matlab. Otras de las ventajas importantes de este programa es que utiliza LAN/GPIB, y también RS-232, como puertos de enlace que permiten estar a la vanguardia en cuanto a tecnología de redes se refiere. (Casas, 2012)

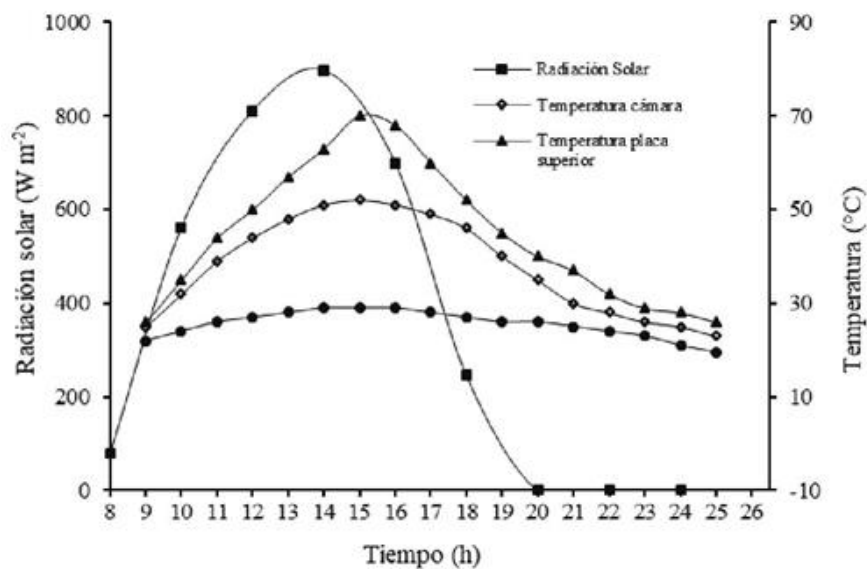
2.7 Curva De Temperaturas.

Una curva de calentamiento es la representación gráfica de cómo varía la temperatura de una muestra en función del tiempo, manteniendo la presión constante y agregando calor uniformemente, es decir, a tasa constante. (Zapata, 2019)

Para construir una gráfica de este tipo, se van tomando parejas de valores de temperatura y tiempo, que posteriormente se grafican colocando la temperatura en el eje vertical (ordenadas) y el tiempo en el eje horizontal (abscisas). Luego se ajusta la curva más apropiada a estos puntos experimentales y finalmente se obtiene una gráfica de la temperatura T como función del tiempo t : $T(t)$ (Zapata, 2019) un ejemplo lo podemos observar en la figura 21.

Figura 21.

Resultados de la evaluación en vacío de un secado solar para mango Ataulfo



Fuente <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.697>

2.8 Humedad Relativa.

Es el cociente entre la fracción molar de vapor de agua en un espacio dado y la fracción molar del vapor de agua en su condición de saturación (Quinn, 2020)

2.9 Velocidad Del Viento.

La velocidad del viento mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinados. Se mide mediante un anemómetro, y la unidad de medida es habitualmente metros por segundo (m/s). Las ausencias de viento se denominan calmas. (Navarra, 2019)

2.10 Evaporación De Agua.

La evaporación es el paso continuo de una sustancia del estado líquido al de vapor, se efectúa en la superficie del líquido y ocurre a cualquier temperatura hasta que se satura de vapor el espacio inmediato al líquido. El proceso de evaporación en un sistema abierto depende del tamaño de la superficie expuesta, del tipo de sustancia y del porcentaje de vapor en los alrededores. La velocidad de evaporación es tanto mayor cuanto más seca está la capa de aire en contacto con el líquido, o sea, cuanto más alejada esta de la saturación y si el aire está saturado, cesa la evaporación (Manzur Y Cardoso, 2015).

Capítulo III. Desarrollo

3.1 Procedimiento Y Descripción De Las Actividades Realizadas.

1. Montaje de sistema de túnel de secado mixto.

El montaje del túnel se realizó partiendo de la unión de las piezas fabricadas, en un área de 500 x 1000 x 200 cm, se colocan los colectores planos con dirección al Ecuador e inclinación dependiendo la latitud del lugar; posteriormente se unen los colectores con el túnel por medio de una tobera que en el medio tiene el ventilador, éstos se conecta con los paneles fotovoltaicos de 315 W que se montan en una base, en éste caso el túnel está dividido en 4 y se unen con unas abrazaderas de palanca rápidas, en cada unión se colocan cinta termoflex para evitar fugas.

2. Evaluación del rendimiento del túnel de secado mixto con bandejas de agua.

Se realizaron pruebas del túnel con bandejas con ½ litro de agua (una bandeja por cada charola), observando las diferentes velocidades de evaporación dependiendo la ubicación de la bandeja, como también se analizaron mediante sensores programados para que se realizara las mediciones cada 30 segundos en un adquisidor de datos agilen vee pro, las temperaturas se midieron con sensores termopares pt1000 ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$), la humedad relativa con un Extech ($\pm 2\%$), la radiación solar con dos piranómetros kipp & zonen ($\pm 2\% \mu\text{w}/\text{m}^2$) y la velocidad del aire con un medidor de flujo Sierra Quadra Therm ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y Nm^3/h)

3. Obtención de curvas de rendimiento.

Se graficaron los datos obtenidos de las diferentes pruebas para la observación de las distintas curvas en una hoja de cálculo de Excel para conocer el comportamiento de los parámetros medidos.

4. **Determinación de eficiencia de los colectores.**

Mediante las ecuaciones (1), (2), (3) se determinó que las eficiencias de los colectores fueron variando dependiendo el día, pero con un promedio de 0.49 (49%).

5. **Determinación de la eficiencia de secado.**

De igual manera con las ecuaciones (3), (4), (5), (6) se determinó la eficiencia de secado de éstos secadores durante las pruebas obteniendo un promedio de 15.74 %.

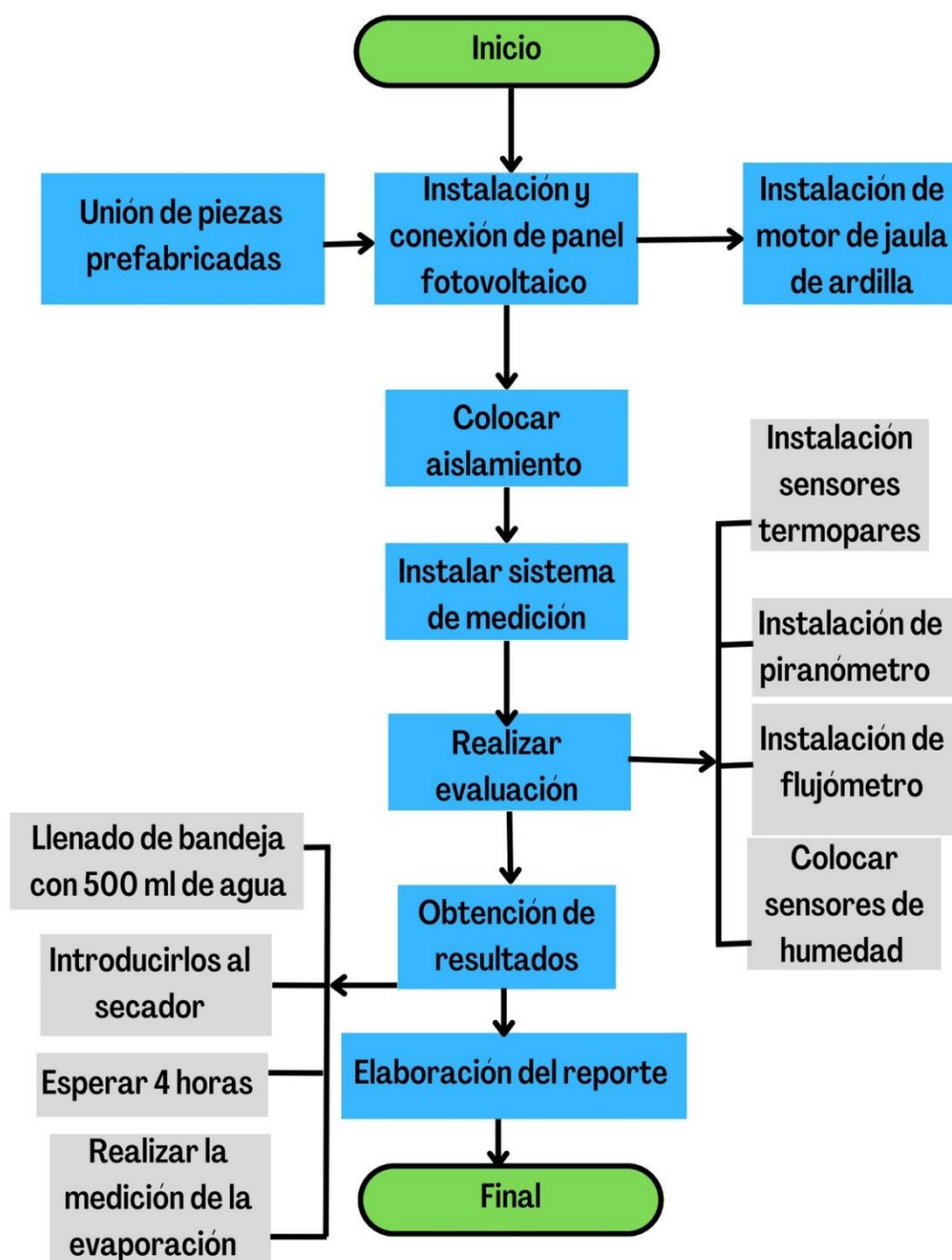
6. **Elaboración de reporte.**

Cada semana se realizó un avance del reporte, de las distintas actividades a realizar, las evaluaciones y resultados para concluir el informe en el tiempo establecido.

3.2 Diagrama Del Proceso.

Figura 22.

Diagrama del proceso montaje y evaluación del secador solar tipo túnel con capacidad hasta de 50 kg.



Nota: Diagrama de flujo explicativo del proceso de montaje y evaluación del secador solar de túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. 2022

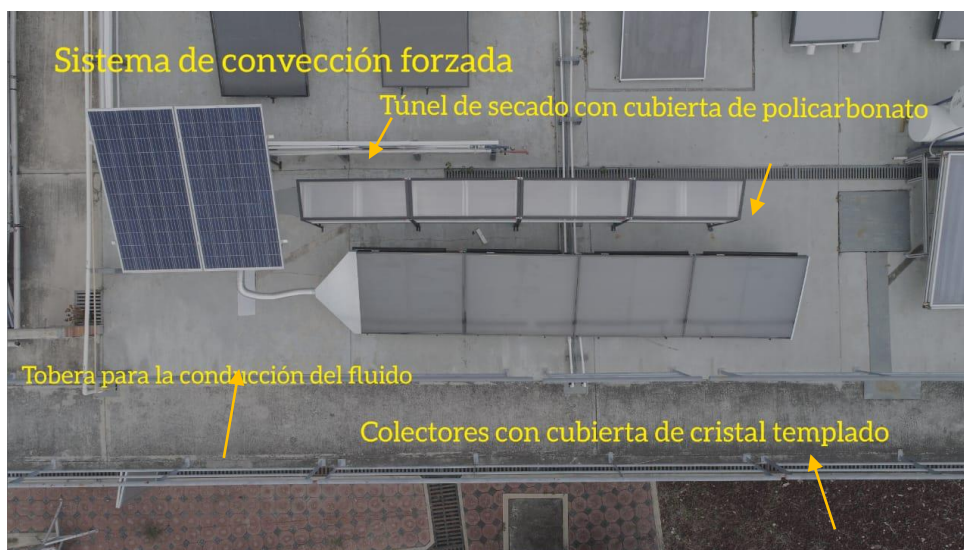
3.3 Características Generales.

El túnel de secado consta de 4 partes principales dónde el aire entra por los colectores se calienta, son enviados por convección forzada hacia las cámaras de secado

1. Cuatro colectores con cubierta de cristal templado.
2. Un sistema de convección forzada (por medio de un ventilador) alimentado por paneles fotovoltaicos con control de revoluciones.
3. Una tobera para la conducción del fluido.
4. Un túnel de secado con cubierta de policarbonato.

Figura 23.

Componentes principales del secador solar tipo túnel.



Nota: Fotografía del secador solar tipo túnel vista desde el parte superior montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. 2022.

El deshidratador solar tipo túnel consta de cuatro colectores de aire conectados en serie (cada uno con un área de 1.67 m^2), conectado a un ventilador con un motor KOLOS-AP550X-48 con 550 W que es alimentado por dos paneles fotovoltaicos de 315 W conectados en serie, éstos a su vez están conectados a un controlador de revoluciones R-KOLOSAP-CTRL-55, el cual manda el aire caliente de los colectores al interior del secador. La cámara de secado está hecha de perfiles de $1''$ de acero, y en las paredes tiene policarbonato de 6 mm . de grosor permitiendo el ingreso de radiación directa al interior de la cámara como se muestra en la Figura 24, así las ganancias de calor al interior son una combinación del calor ganado por el colector solar más el calor que ingresa directamente a través del policarbonato. La cámara de secado tipo túnel tiene una longitud de aproximadamente 5.50 m y tiene una capacidad para 40 charolas de plástico $41\text{cm} \times 50\text{cm} \times 3\text{cm}$. (Figura 23.)

Figura 24.

Imagen del túnel de secado donde se observa las paredes de policarbonato de 6 mm .



Nota: Fotografía de un costado del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. 2022.

3.4 Ficha Técnica Del Equipo.

Tabla 1.

Ficha técnica del equipo

Modelo	Drybox túnel autónomo
Capacidad nominal* (kg)	50
Peso vacío (kg)	300
Espacio para instalarlo (ancho x largo x alto)	500 x 1000 x 200 cm
Cámara de secado (dm ³ , litros)	1280
No. de charolas	40 (63 x 43 cm por charola)
Área total de secado (m ²)	10.8
Materiales de la cámara de secado	Policarbonato, acero
Gabinetes (ancho x largo x alto)	4 Gabinetes de (50 x 139 x 63 cm)
Colector (ancho x largo x alto)	4 MS 1.7 (120 x 159 x 9 cm)
Paneles fotovoltaicos	2 paneles silicio (315 W)
Motor ventilador	Corriente directa 550 W
Ventilador	Jaula de ardilla
Control del ventilador	Regulador de velocidad de aire en función de la irradiación solar

Materiales del colector	Vidrio prismático, aluminio, superficie selectiva
Temperatura alcanzada (°C)	50-70
Indicadores	Medidores de humedad y temperatura en cada gabinete
Circulación de aire	Convección forzada
Tipo de secado	Mixto (Directo e Indirecto)

Fuente: (García Valladares, 2022)

3.5 El Recurso De Energía Solar En Temixco Morelos.

Esta sección trata sobre la energía solar de onda corta incidente diario total que llega a la superficie de la tierra en un área amplia, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes y otros elementos atmosféricos. La radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta.

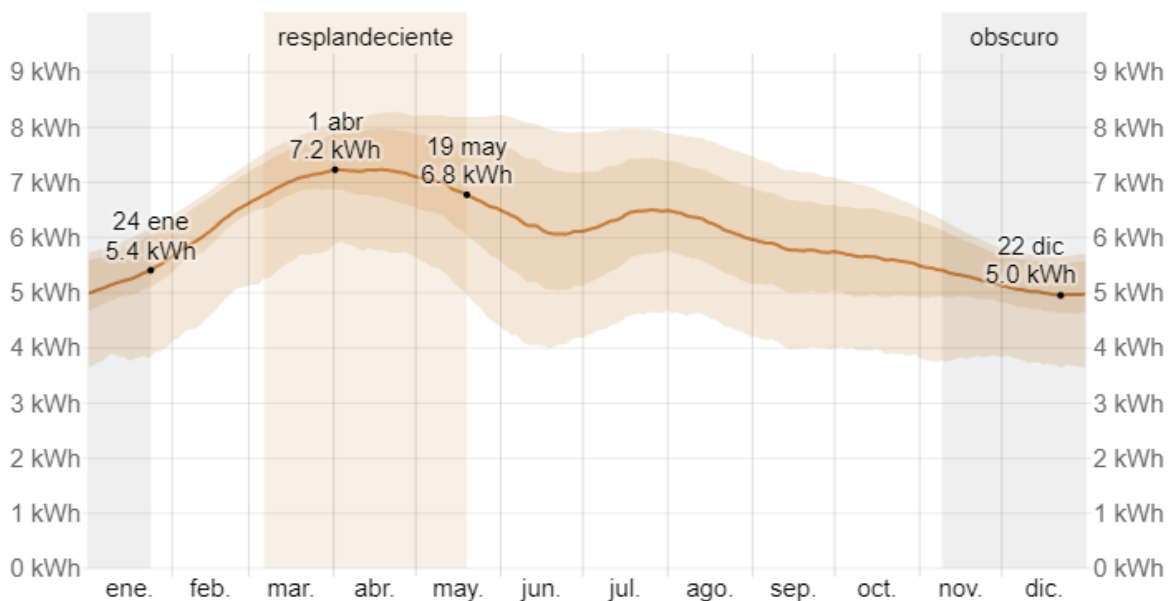
La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales leves durante el año.

El período más resplandeciente del año dura 2.4 meses, del 6 de marzo al 19 de mayo, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado superior a 6.8 Kwh. El mes más resplandeciente del año en Temixco es abril, con un promedio de 7.2 kWh.

El periodo más oscuro del año dura 2.5 meses, del 9 de noviembre al 24 de enero, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado de menos de 5.4 kWh. El mes más oscuro del año en Temixco es diciembre, con un promedio de 5.0 kWh. Esto se puede observar en la figura 25.

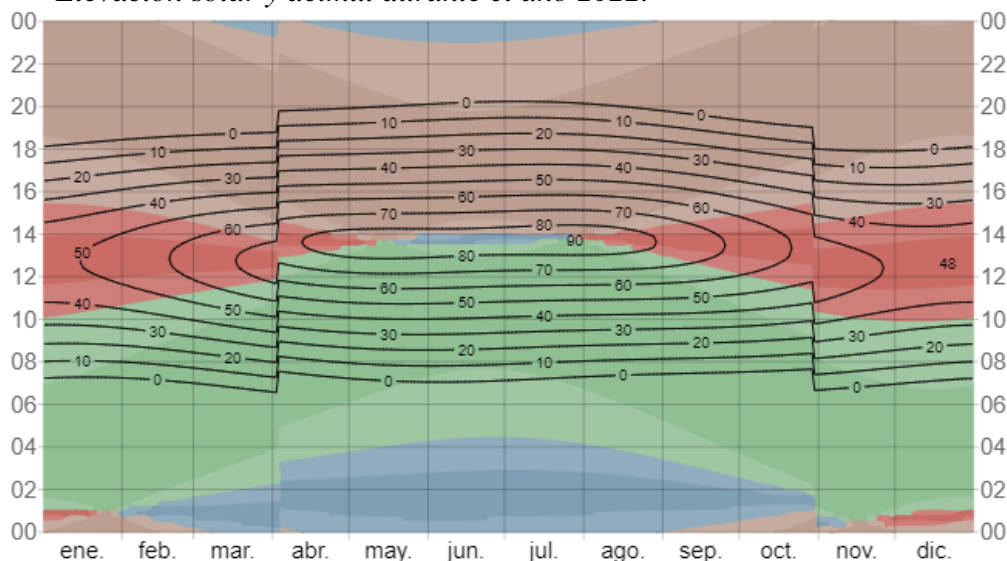
Figura 25.

La energía solar de onda corta promedio diario que llega a la tierra por metro cuadrado durante el año 2022



Nota: la imagen muestra una línea anaranjada, con las bandas de percentiles 25° a 75° y 10° a 90°. Fuente: <https://es.weatherspark.com>

La Figura 26 es una representación compacta de la elevación del sol (el ángulo del sol sobre el horizonte) y el acimut (la orientación en la brújula) para cada hora del día del periodo que se reporta. El eje horizontal es el día del año y el eje vertical es la hora del día. En un día dado y a cierta hora de ese día, el color de fondo indica el acimut del sol en ese momento. Las isolíneas negras son el contorno de elevación solar constante.

Figura 26.*Elevación solar y acimut durante el año 2022.*

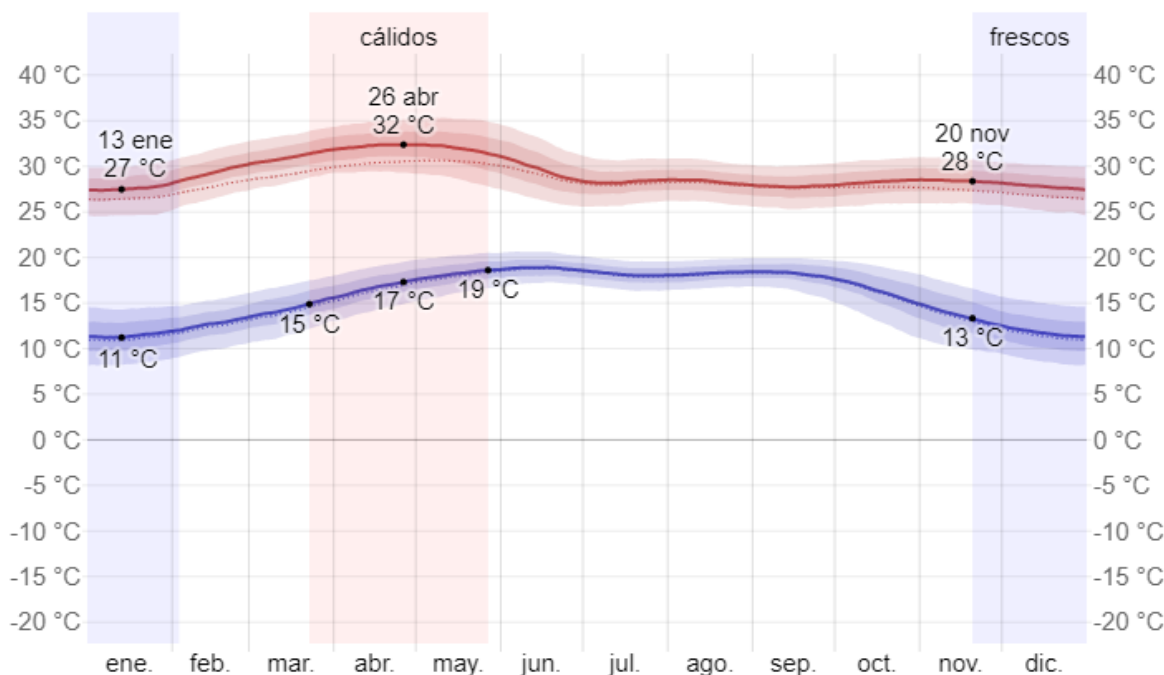
Nota: Las líneas negras son líneas de elevación solar constante. El color de fondo sólido indica el acimut (la orientación en la brújula) del sol. Las áreas de colores claros en los límites de los puntos cardinales de la brújula indican las direcciones intermedias implícitas (noreste, sureste, suroeste y noroeste). Fuente: <https://es.weatherspark.com>

La temporada calurosa dura 2.1 meses, del 23 de marzo al 27 de mayo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 31 °C. El mes más cálido del año en Temixco es mayo, con una temperatura máxima promedio de 32 °C y mínima de 18 °C. (Figura 27)

La temporada fresca dura 2.4 meses, del 20 de noviembre al 3 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 28 °C. El mes más frío del año en Temixco es enero, con una temperatura mínima promedio de 11 °C y máxima de 28 °C. (Figura 27)

Figura 27.

La temperatura máxima y mínima en Temixco Morelos durante el año 2022.



Nota: la línea roja indica la temperatura máxima y la temperatura mínima es indicada por la línea azul promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes. Fuente: <https://es.weatherspark.com>

3. 6 Montaje Del Túnel.

El montaje de éste secador para las evaluaciones se realizó en el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Temixco, Morelos, se realiza partiendo de la unión de las piezas fabricadas, en un área de 500 x 1000 x 200 cm se colocan los colectores planos con dirección al Ecuador e inclinación de 18°, Temixco se ubica en la parte noroeste del Estado, en las coordenadas 18° 51' de latitud norte y los 99°14' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, y se encuentra a una altura de 1,280 msnm.

Posteriormente se unen los colectores con el túnel por medio de ductos de aluminio los cuales están conectados a un tubo de aluminio que tiene como función regular el flujo, ese mismo tubo está conectado al medidor de flujo y se conecta al motor de jaula de ardilla (figura 28), cabe mencionar que los ductos se pintaron de blanco para aislar de pérdidas de calor (figura 29), dicho motor se conecta al sistema fotovoltaico que cuenta con dos paneles de 315 W que se montan en una base, en éste caso el túnel está dividido en 4 y se unen con unas abrazaderas de palanca rápidas, en cada unión se colocan cinta termoflex para evitar fugas. Éste túnel está diseñado de ese modo para que el trasladado se realice de manera sencilla y segura.

Figura 28.

Motor de jaula de ardilla utilizado en el túnel de secado.



Nota: Fotografía del motor de jaula de ardilla instalado en el secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. (2022.)

Figura 29.

Ductos aislados con pintura blanca.



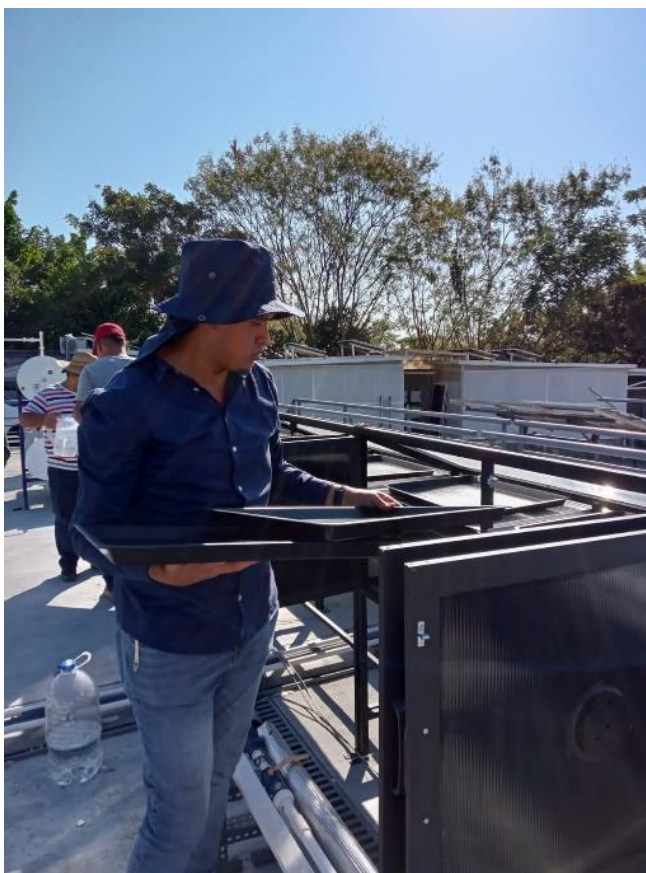
Nota: Fotografía de los ductos que fueron aislados en el secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. (2022.)

3.7 Pruebas de evaporación.

Se realizaron dos pruebas en el deshidratador solar; éstas pruebas consistían en llenar con 500 ml de agua, cada una de las bandejas de 41cm x 50cm x 3cm y colocarlas en los distintos niveles de los secadores como se puede observar en la figura 30, con el fin de determinar cuanta evaporación se obtenía en cada charola con las distintas condiciones a la cual estaba expuesto el secador.

Figura 30.

Acomodo de las charolas en cada nivel del secador



Fotografía del momento donde se acomodaron las bandejas en el secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. (2022.)

Figura 31.

Llenado de las charolas con 500 ml de agua.



Nota: Fotografías del momento donde se realizó el llenado de cada una de las charolas para la evaluación del secador montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. (2022)

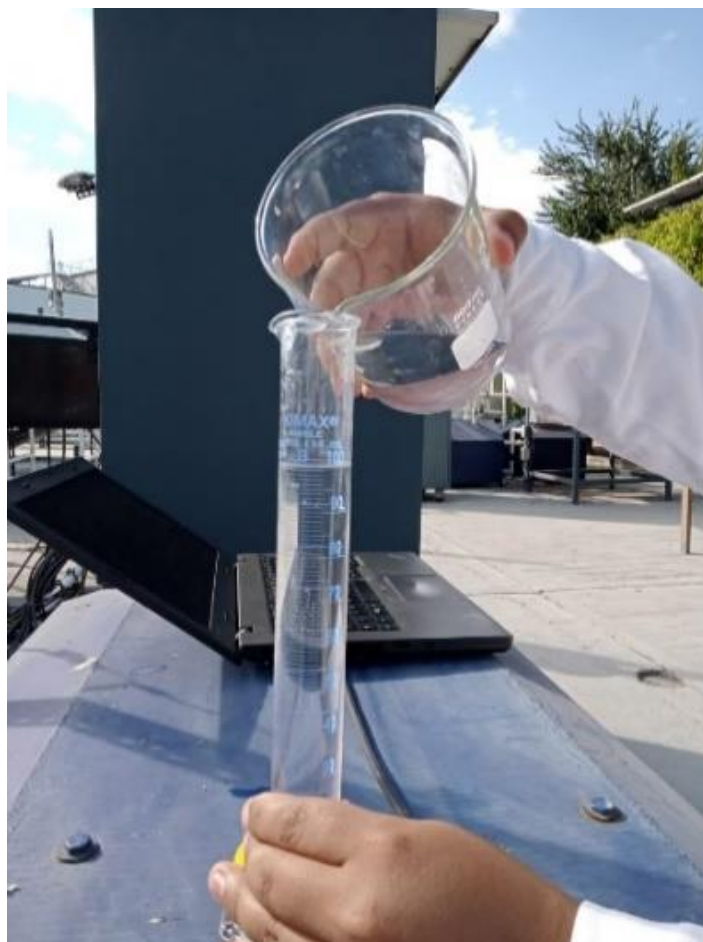
La primera prueba se realizó el día 5 de diciembre de 2022, el llenado de las bandejas se hizo 2 horas y media antes del mediodía solar, a las 10:28 am se cerraron las puertas de los secadores y se programó para que el motor girara a una velocidad de 4000 rpm y se detuvo hasta las 2:28 pm, es decir, 2 horas después del medio día solar, durante todo éste tiempo se estuvo midiendo la temperatura, la irradiancia, el flujo másico y la humedad.

La segunda prueba se realizó el día 07 de diciembre de 2022, se comenzó en el mismo horario y durante las pruebas se midieron las mismas variables, con la diferencia que en ésta segunda evaluación el motor se programó para que girara a una velocidad de 3000 rpm.

Pasadas las horas de prueba se procedió a detener el motor y abrir todas las puertas del túnel, esto con la finalidad de que se detuviera la evaporación para hacer las mediciones y se procedió a medir las charolas que se encuentran en la parte superior que tienen contacto directo con la radiación, posteriormente cada una de las demás charolas. Para las mediciones de agua se utilizaron una probeta graduada de 100 ml. (± 2 ml) y un vaso precipitado de 500 ml. (Figura 32)

Figura 32.

Medición del agua evaporada por cada charola.



Nota: Fotografía del momento donde se realizó las mediciones del agua evaporada por cada charola, durante la evaluación del secador solar tipo túnel montado en el instituto de Energías Renovables de la UNAM. (2022)

3.8 Mediciones de eficiencia.

La eficiencia de los colectores se determinó mediante las ecuaciones (1), (2), (3).

$$\eta_{col} = \frac{\dot{Q}_{aire_cole}}{\dot{Q}_{colectores}} \quad 1)$$

$$\dot{Q}_{aire_cole} = \dot{m}C_p(T_{10} - T_7) \quad 2)$$

$$\dot{Q}_{colectores} = GA \quad 3)$$

Dónde: \dot{m} es el flujo másico de aire (kg/s), C_p es el calor específico a presión constante (J/kg°C), G es la irradiancia instantánea (W/m²) y A es el área bruta del colector (m²).

La eficiencia de secador con las bandejas de agua son calculada con las ecuaciones (3), (4), (5), (6).

$$\eta_{col} = \frac{Q_{agua}}{Q_{colectores} + Q_{tunelPo1} + Q_{tunelPo2} + W_{vent}} \quad 4)$$

$$\dot{Q}_{agua} = m_T C_p (T_{eva} - T_{inicial}) + m_e L \quad 5)$$

$$\dot{W}_{vent} = IVF \quad 6)$$

Dónde: m_T es la masa total de agua (kg), T_{eva} es la temperatura de evaporización ($^{\circ}\text{C}$), $T_{inicial}$ es la temperatura del agua al inicio de la prueba ($^{\circ}\text{C}$), m_e es la masa de agua evaporada (kg), L es el calor latente de evaporación del agua (J/kg), I es la corriente eléctrica (A), V es el voltaje (V) del ventilador y F es el factor de rendimiento del motor del ventilador, t (s) es el tiempo que duró la prueba.

Capítulo IV.

Resultados

4.1 Determinación de eficiencia de secado.

Se realizaron dos pruebas en las cuales las charolas se llenaron con 500 ml. de agua y se probó con dos velocidades del viento, la cual está directamente relacionada con la convección forzada para observar el comportamiento dentro del deshidratador con éstos dos valores de velocidad.

Para obtener los resultados de los datos obtenidos se realizó un programa en una hoja de cálculo de Excel, el cual se puede observar en las siguientes figuras.

4.2 Programa en hoja de cálculo de Excel.

Figura 33.

Programa en Excel para el cálculo de eficiencia de secado del 6 de diciembre de 2022.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Fecha	Hora	Minuto	T_Entrada	ro del túnel	tro del túne	T_Salida	Irradiancia	Irradiancia-tiempo (j/m2)	Irradiancia Frente
418	06/Dec/2022	14:20:27	417	54.0996214	49.0801578	50.5471759	54.4816242	816.618218	24498.54653	679.5160315
419	06/Dec/2022	14:20:57	418	54.0349223	49.0187424	50.5308715	54.4986532	816.644158	24499.32475	679.1259528
420	06/Dec/2022	14:21:27	419	54.0417313	48.9665109	50.505095	54.5088499	816.930891	24507.92673	678.9110708
421	06/Dec/2022	14:21:57	420	54.0723851	48.9305516	50.4813372	54.4237565	817.92099	24537.6297	680.3757411
422	06/Dec/2022	14:22:27	421	54.0928123	48.8918759	50.4575793	54.3760855	819.015248	24570.45743	681.7050817
423	06/Dec/2022	14:22:57	422	54.167738	48.8572877	50.4531538	54.3658629	819.327921	24579.83762	681.0444041
424	06/Dec/2022	14:23:27	423	54.0553495	48.8335391	50.426368	54.3658629	820.005347	24600.1604	682.9627949
425	06/Dec/2022	14:23:57	424	54.0894207	48.8111615	50.3985212	54.35225	818.546337	24556.3901	682.676225
426	06/Dec/2022	14:24:27	425	54.0996214	48.8006324	50.3886868	54.3488598	817.894852	24536.84555	682.7399274
427	06/Dec/2022	14:24:57	426	54.0383138	48.7826528	50.3771443	54.3216081	816.618218	24498.54653	682.2941319
428	06/Dec/2022	14:25:27	427	53.8101453	48.7813075	50.3445614	54.209263	815.315248	24459.45743	681.0603146
429	06/Dec/2022	14:25:57	428	53.6704946	48.7422956	50.3174132	54.2296824	813.28297	24398.48911	679.7468845
430	06/Dec/2022	14:26:27	429	53.6875302	48.6971783	50.2895922	54.2262921	809.843564	24295.30693	676.8175439
431	06/Dec/2022	14:26:57	430	53.5819508	48.6625901	50.2610984	54.0833051	805.883168	24176.49505	674.6921355
432	06/Dec/2022	14:27:27	431	53.6330318	48.633745	50.2349596	54.1479792	803.694455	24110.83366	673.6334543
433	06/Dec/2022	14:27:57	432	53.8101453	48.6022095	50.2078114	54.0833051	801.557822	24046.73465	670.6404114
434	06/Dec/2022	14:28:27	433	53.6466758	48.5781245	50.1857617	54.1684244	795.304356	23859.13069	666.676225
435	06/Dec/2022	14:28:57	434	53.5138342	48.5523322	50.1677751	54.1888437	792.594654	23777.83961	665.6811857
436	06/Dec/2022	14:29:27	435	53.3878276	48.5296183	50.1501249	54.2807695	791.786931	23753.60792	665.2274652
437	06/Dec/2022	14:29:57	436	53.4082548	48.4977206	50.1260306	54.130976	788.868515	23666.05545	665.0523291
438	06/Dec/2022	14:30:27	437	53.1971219	48.4597176	50.1212687	54.1241696	787.774257	23633.22772	664.9568058
439	Promedios			54.9459783	49.421121	49.6849822	53.9512421	865.640177	25969.2053	691.9310357

Nota: Captura de pantalla de la primera parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de secado del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el primer día de prueba. (2022).

Figura 34.

Cálculos en hoja de Excel para medir la eficiencia de secado del 6 de diciembre de 2022.

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Irradiancia-tiempo (j/m2)	T_ambiente	T_salida colector	Qaire_cole	Qcolector	Eficiencia	Qtunel Poli arriba	Qtunel Poli enfrente	Qunion	Qtunel	Medidor de Flujo	flujo m (kg/s)
418	20385.48095	32.026355	61.7664982	2882.276129	164532.2385	0.017518002	57326.59889	40811.73285	-743.0379861	15.97562832	244.0840168	0.09624165
419	20373.77858	32.2583572	61.68147052	2851.47077	164537.465	0.017330222	57328.41992	40788.30473	-741.0469661	19.39355758	244.077143	0.096238939
420	20367.33212	32.3560682	61.74609466	2848.184023	164595.2359	0.01730417	57348.54856	40775.39891	-746.6289481	19.53523151	244.0702692	0.096236229
421	20411.27223	32.5012506	61.73929348	2833.375509	164794.7211	0.017193363	57418.05351	40863.36701	-742.978269	14.69460142	244.0633954	0.096233519
422	20451.15245	32.2777079	61.65085228	2846.38764	165015.1921	0.017249246	57494.87037	40943.20721	-732.4075132	11.8466876	244.0565216	0.096230809
423	20431.33212	32.4598586	61.69165936	2832.611038	165078.1895	0.017159208	57516.82004	40903.52691	-729.0807369	8.285726914	244.0496478	0.096228098
424	20488.88385	32.2420849	61.58281462	2843.086356	165214.6772	0.017208437	57564.37532	41018.74546	-729.4035876	12.98589336	244.042774	0.096225388
425	20480.28675	32.4754582	61.6236217	2824.347337	164920.7159	0.017125486	57461.95283	41001.53407	-730.0357205	10.99170961	244.0359002	0.096222678
426	20482.19782	32.4703618	61.5011746	2812.897262	164789.4547	0.017069644	57416.21858	41005.36004	-717.1624507	10.42332685	244.0290264	0.096219967
427	20468.82396	32.1589646	61.4365246	2836.725555	164532.2385	0.017241153	57326.59889	40978.58556	-716.8183942	11.84756793	244.0221526	0.096217257
428	20431.80944	32.1450724	61.3582981	2830.412422	164269.7161	0.017230275	57235.13037	40904.48249	-731.3257969	16.69138852	244.0152788	0.096214547
429	20392.40654	32.0568816	61.19840572	2823.385863	163860.2529	0.01723045	57092.46452	40825.59788	-729.3440703	23.38562873	244.008405	0.096211836
430	20304.52632	32.1528593	61.12356688	2806.757179	163167.2814	0.017201716	56851.01822	40649.66169	-720.4224888	22.53140309	244.0015312	0.096209126
431	20240.76407	31.9116992	60.97730272	2815.871619	162369.3407	0.017342385	56572.99841	40522.00966	-716.4606617	20.96699153	243.9946574	0.096206416
432	20209.00363	32.218	60.99770626	2788.095384	161928.3589	0.01721808	56419.35077	40458.42527	-713.4685362	21.53546672	243.9877836	0.096203705
433	20119.21234	32.5809561	61.0623304	2759.116105	161497.8699	0.017084536	56269.35909	40278.66311	-702.5510973	11.4237372	243.9809098	0.096200995
434	20000.28675	32.7363054	60.86843212	2725.206169	160237.9217	0.017007249	55830.36582	40040.57407	-699.5836133	21.81989648	243.974036	0.096198285
435	19970.43557	33.0622933	60.70173856	2677.403859	159691.9708	0.016766052	55640.14468	39980.81201	-696.2846985	28.22937655	243.9671622	0.096195574
436	19956.82396	33.1176034	60.63372676	2665.382701	159529.2308	0.016707801	55583.44254	39953.56156	-701.8828202	37.34346383	243.9602883	0.096192864
437	19951.56987	32.9808804	60.77318974	2692.059933	158941.2284	0.016937455	55378.56975	39943.04289	-713.3932635	30.22471539	243.9534145	0.096190154
438	19948.70417	33.2831196	60.71195326	2656.77755	158720.7574	0.01673869	55301.75287	39937.30576	-727.8922477	38.76979511	243.9465407	0.096187443
439	20757.93107	32.347663	64.07161931	3091.594878	174409.1828	0.017734748	60767.94041	41557.37801	-889.3318395	-41.60057461	245.4510006	0.096780648

Nota: Captura de pantalla de la segunda parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de secado del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el primer día de prueba. (2022).

Figura 35.

Datos en Excel para medir la eficiencia de secado.

	W	X	Y	Z	AA	AB
1	Qsensible (kJ)	Qlatente (kJ)	Qagua (kJ)	Eficiencia Secado	flujo túnel m (kg/s)	Cp(J/kgk)
2	1345967.781	21645685.06	22991652.84	0.171513542	0.04153	1007

Nota: Captura de pantalla de la tercera parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de secado del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el primer día de prueba. (2022).

Figura 36.

Datos en Excel para medir la eficiencia de secado.

AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI
Cp(J/kgk)	Area colector m ²	Area arriba m ²	Area enfrente m ²	Masa inicial	Masa final	Lv (kJ/kg)	Qventilador
1007	6.716	2.34	2.002	19.685	9.57773675	2260	550

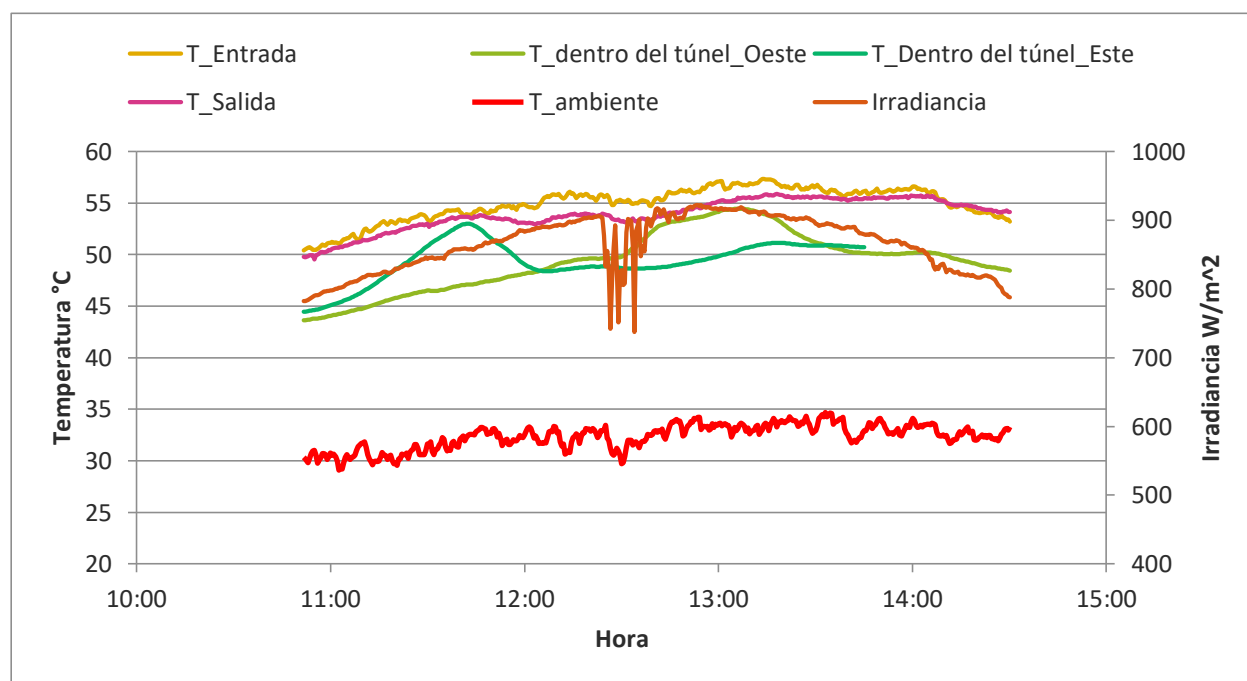
Nota: Captura de pantalla de la cuarta parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de secado del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM. (2022).

4.2.1 Obtención de curvas de temperatura e irradiancia primera prueba.

Se obtuvieron los siguientes resultados en las pruebas del 6 de diciembre de 2022, con temperaturas entre 39 °C y 57 °C como se puede mostrar en la Figura 33, con una humedad relativa ambiente de 32.8% y un flujo másico de 0.04153 kg/s, usando el ventilador a 4000 rpm, dando una eficiencia de secado de 17.15%.

Figura 37.

Curvas de temperatura e irradiancia (prueba con agua).



Nota: Gráfica donde se observa el comportamiento de las temperaturas en los distintos puntos del secador como también la irradiancia el primer día de prueba en el secador solar de túnel.(2022).

4.2.2 Cálculos en hoja de Excel para determinar la eficiencia de los colectores

primera prueba.

Figura 38.

Cálculos en hoja de Excel para determinar la eficiencia de los colectores el 6 de diciembre de 2022.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Fecha	Hora	Minuto	T7_Entrada	T8	T9	T10_Salida	Irradiancia	Irradiancia Frente	T_ambiente	T_salida coled
420	06/Dec/2022	14:29:27	438	53.38782759	48.52961829	50.15012492	54.28076948	791.7869307	665.2274652	33.11760335	60.63372676
421	06/Dec/2022	14:29:57	439	53.4082548	48.49772058	50.12603064	54.13097604	788.8685149	665.0523291	32.9808804	60.77318974
422	06/Dec/2022	14:30:27	440	53.19712185	48.45971755	50.12126872	54.1241696	787.7742574	664.9568058	33.28311961	60.71195326
423	06/Dec/2022	14:30:57	442	52.97915394	48.42073146	50.10398088	54.08330508	787.8784158	664.6225045	33.54228527	60.5554744
424	06/Dec/2022	14:31:27	443	53.02342584	48.38578109	50.10431732	54.06627604	785.1425743	664.0095584	33.75496254	60.54187204
425	06/Dec/2022	14:31:57	444	53.08473336	48.34609651	50.06529028	54.0696922	785.1166337	662.8552934	33.89303073	60.59289382
426	06/Dec/2022	14:32:27	445	52.8565389	48.33455849	50.01166692	52.55811904	783.5271287	660.8493648	33.49716799	60.74937268
427	06/Dec/2022	14:32:57	446	51.96763164	47.67647743	47.5829842	45.78169984	783.3447525	660.0851785	33.53855999	58.70490694
428	06/Dec/2022	14:33:27	447	50.62694388	47.08014806	44.22753868	45.22007796	782.120198	657.8961283	33.6260782	56.54476942
429	06/Dec/2022	14:33:57	448	49.23136932	46.43122498	41.97597868	39.71692888	780.3483168	657.3548094	33.61692022	55.26909562
430	06/Dec/2022	14:34:27	449	47.70168456	45.68055519	40.13606596	41.0230666	781.3645545	657.7209921	33.79195664	53.87097472
431	06/Dec/2022	14:34:57	450	46.20731376	44.64050358	38.95104664	42.89928896	777.9251485	655.7787054	33.57790826	51.67000426
432	06/Dec/2022	14:35:27	451	45.62849103	43.85454711	38.73386168	42.76424712	777.5083168	656.2403509	34.35980314	51.63599836
433	06/Dec/2022	14:35:57	452	45.22587564	43.31655459	38.58083324	41.55210556	775.4237624	653.5896552	34.89541562	51.76866016
434	06/Dec/2022	14:36:27	453	44.92883967	43.09267561	38.6748294	39.96770608	775.3976238	654.0513007	35.16373926	51.60538012
435	06/Dec/2022	14:36:57	454	44.33272242	42.6737627	38.61442548	41.40006056	775.3976238	654.4254688	35.71495135	51.00625564
436	06/Dec/2022	14:37:27	455	43.46297376	42.09166183	37.88719748	42.8215972	773.5477228	653.7886267	35.3394483	49.84521922
437	06/Dec/2022	14:37:57	456	42.82204092	41.40067413	37.452517	37.29536316	770.9681188	653.1279492	34.96767053	50.60444296
438	06/Dec/2022	14:38:27	457	42.42486243	40.93832549	37.63067492	36.98076588	767.6069307	652.4353902	35.005984	50.58274642
439	06/Dec/2022	14:38:57	458	42.56065548	40.55976978	37.20513008	37.60279168	768.5710891	652.9687235	35.72410933	50.54780956
440	06/Dec/2022	14:39:27	459	41.83653807	40.05230386	36.34521532	37.90548416	766.1479208	650.8751966	35.61861147	50.2426357
441	06/Dec/2022	14:39:57	460	41.21701626	39.82231956	36.39951156	36.27698516	763.6465347	649.6811857	35.71156238	49.58142136
442	06/Dec/2022	14:40:27	461	41.25129462	39.58793736	36.42904064	38.04598668	760.9627723	649.2433757	36.09555079	49.7082388
443		Promedios		54.56303845	49.1726812	49.34302977	53.47885092	863.0827548	691.8273456	32.50339071	63.59657281

Nota: Captura de pantalla de la primera parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de los colectores del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el primer día de prueba. (2022).

Figura 39.

Cálculos en hoja de Excel para determinar la eficiencia de los colectores el 6 de diciembre de 2022.

	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Qaire_cole	Qcolector	Eficiencia	Qtunel Poli arriba	Qtunel Poli enfrente	Qunion	Qtunel	Medidor de Flujo
425	2597.406833	5272.843312	0.4926008	1837.172923	1327.036297	-730.41	41.19	245.0065846
426	2658.046761	5262.168196	0.505123869	1833.453481	1323.020428	-769.83	-12.48	245.6449196
427	2470.114171	5260.943358	0.469519248	1833.026721	1321.490527	-661.27	-258.70	247.1972639
428	2255.444666	5252.71925	0.429386106	1830.161263	1317.108049	-582.38	-226.12	247.8501438
429	2119.82973	5240.819296	0.404484416	1826.015061	1316.024328	-591.12	-397.90	246.5734172
430	1948.577919	5247.644348	0.371324311	1828.393058	1316.757426	-598.70	-279.30	244.4117711
431	1782.957136	5224.545297	0.341265514	1820.344847	1312.868968	-538.34	-138.34	248.1983162
432	1695.982652	5221.745856	0.324792263	1819.369461	1313.793183	-589.75	-119.78	247.2407854
433	1656.133905	5207.745988	0.318013572	1814.491604	1308.48649	-642.18	-153.64	247.1972639
434	1594.274627	5207.570441	0.306145571	1814.43044	1309.410704	-647.40	-207.48	244.2107564
435	1507.747548	5207.570441	0.289529938	1814.43044	1310.159789	-658.02	-122.65	248.3309856
436	1407.337635	5195.146506	0.270894696	1810.101671	1308.884831	-619.20	-26.82	244.3454739
437	1516.976492	5177.821886	0.292975797	1804.065398	1307.562154	-755.00	-231.13	244.3309856
438	1522.999118	5155.248147	0.295426927	1796.200218	1306.175651	-797.63	-227.68	246.2460472
439	1452.870361	5161.723434	0.281470013	1798.456348	1307.243384	-782.82	-207.34	246.8408607
440	1435.153557	5145.449436	0.278917046	1792.786135	1303.052144	-824.95	-164.40	247.1600565
441	1366.495299	5128.650127	0.266443463	1786.932891	1300.661734	-824.08	-206.60	248.1320756
442	1339.432874	5110.625979	0.26208783	1780.652887	1299.785238	-832.13	-134.05	247.8128798
443	3036.623057	5796.463781	0.523141848	0.523141848	0.523141848	0.52314185	0.52314185	0.523141848

Nota: Captura de pantalla de la segunda parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de los colectores del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el primer día de prueba. (2022).

Figura 40.

Datos en hoja de Excel para medir la eficiencia de secado.

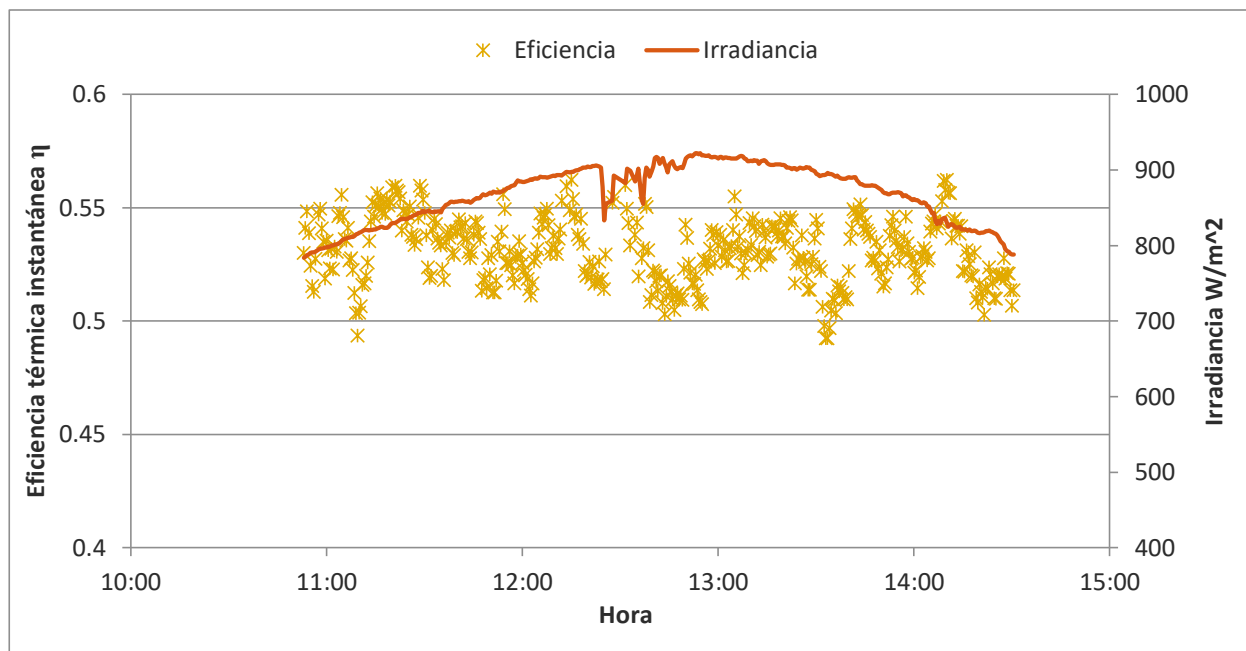
	U	V	W	X	Y	Z	AA
1	Tpromedio	(Tprom-Tamb)/G	flujo túnel m (kg/s)	Cp(J/kgk)	Area colector m^2	Area arriba m^2	Area enfrente m^2
2	44.42961492	0.017996767	0.04153	1007	6.716	2.34	2.002

Nota: Captura de pantalla de la tercera parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de los colectores del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el primer día de prueba. (2022).

La eficiencia promedio obtenida de los colectores fue de 0.52 (52%), en la Figura 41 se puede mostrar la eficiencia instantánea en el transcurso de esta prueba.

Figura 41.

Curva de irradiancia y eficiencia del colector (prueba con agua)



Nota: Gráfica donde se observa la curva de irradiancia y la eficiencia del colector el primer día de prueba en el secador solar de túnel.(2022).

4.2.3 Evaporación del agua primera prueba.

Los valores obtenidos en mililitros se pueden observar en la Tabla 2, en la cual se observa el comportamiento del secador mediante un mapa de colores, donde el color rojo representa en donde se evaporó más agua, (siendo estas como era de esperarse la primera posición de las charolas que reciben radiación directa) y el color verde con tono más profundo donde menos agua se evaporó. Al final los mililitros totales de agua evaporada fueron 10195.75 ml. (10.195 litros).

Tabla 2.

Agua evaporada en mililitros con Insolación: 12.45 MJ, Humedad relativa promedio 32.8%, Tamb promedio de 32.4°C

		Puertas del secador enumeradas del 1 al 8							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Entrada de aire caliente de los colectores	1	470	458	446	459.25	472.5	428	405	375
	2	308	286	205	183	198	178	155	188
	3	457	363	218	181	187	140	144	100
	4	350	272	202	162	167	160	105	77
	5	406	298	210	189	181	180	127	105

Nota: En la tabla anterior los números del 1 al 8 representan las puertas del túnel de secado, y la fila con los números del 1 al 5 representan la posición vertical de las charolas como se puede apreciar en la Figura 42, se observa cual fue la evaporación en mililitros por cada bandeja, durante el primer día de prueba del secador solar de túnel. (2022).

Figura 42.

Posición de las charolas de agua dentro del secador.



Nota: Fotografía de la parte posterior del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM donde se aprecia cada nivel de las bandejas y como fueron enumeradas durante la evaluación. (2022).

4.3 Determinación de eficiencia segunda prueba.

Figura 43.

Programa en Excel para el cálculo de eficiencia de secado del 7 de diciembre de 2022.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Fecha	Hora	Minuto	T_Entrada	Pro del túnel	Pro del túnel	T_Salida	Irradiancia	Irradiancia-tiempo (j/m2)	Irradiancia Frente	Irradiancia-tiempo (j/m2)
476	07/Dec/2022	14:19:34	475	54.4947028	50.2019327	51.0334352	56.0408424	852.028515	25560.85545	713.5539625	42813.23775
477	07/Dec/2022	14:20:04	476	54.5015118	50.1456137	51.0046049	55.8944651	852.653861	25579.61584	714.2226255	42853.35753
478	07/Dec/2022	14:20:34	477	54.4980944	50.0974438	50.9842373	55.9727521	851.429109	25542.87327	715.4803388	42928.82033
479	07/Dec/2022	14:21:04	478	54.3141977	50.053025	50.9638698	55.860407	851.846139	25555.38416	715.5758621	42934.55172
480	07/Dec/2022	14:21:34	479	54.3788968	50.0367269	50.9258779	55.9216909	849.891881	25496.75644	713.1797943	42790.78766
481	07/Dec/2022	14:22:04	480	54.6785994	50.0302853	50.8953395	55.9250812	847.051881	25411.55644	712.2325469	42733.95281
482	07/Dec/2022	14:22:34	481	54.8182501	49.9892296	50.87668	55.9046618	846.478614	25394.35842	711.3489413	42680.93648
483	07/Dec/2022	14:23:04	482	55.0055642	49.9797353	50.8593663	56.1804132	845.696832	25370.90495	709.645493	42578.72958
484	07/Dec/2022	14:23:34	483	55.1996875	49.9878843	50.8454429	56.146381	843.89901	25316.9703	707.4802783	42448.8167
485	07/Dec/2022	14:24:04	484	55.0157649	49.9766826	50.8484967	56.1736068	845.201782	25356.05347	707.3609195	42441.65517
486	07/Dec/2022	14:24:34	485	54.9987293	50.008244	50.8464781	56.0238134	844.941188	25348.23564	707.7828191	42466.96915
487	07/Dec/2022	14:25:04	486	54.9817195	50.0133145	50.8430619	56.0204231	843.299802	25298.99406	708.1251059	42487.50635
488	07/Dec/2022	14:25:34	487	54.7841789	49.9922822	50.8383259	55.9795586	840.56396	25216.91881	707.0345433	42422.0726
489	07/Dec/2022	14:26:04	488	54.8148326	49.9780537	50.8362814	56.0612617	838.870297	25166.10891	704.3758016	42262.54809
490	07/Dec/2022	14:26:34	489	54.9987293	49.9671883	50.826447	56.1055165	838.453465	25153.60396	700.6902601	42041.41561
491	07/Dec/2022	14:27:04	490	55.1383799	50.0021387	50.824066	56.0646779	837.619604	25128.58812	699.5280702	41971.68421
492	07/Dec/2022	14:27:34	491	55.2337328	50.0204547	50.8182948	56.1702165	837.332871	25119.98614	655.6513007	39939.07804
493	07/Dec/2022	14:28:04	492	55.318885	50.0156946	50.8244024	56.1055165	836.473069	25094.19208	700.0295221	42001.77132
494	07/Dec/2022	14:28:34	493	55.3086585	50.005864	50.8261105	56.177023	836.994257	25109.82772	701.9797943	42118.78766

Nota: Captura de pantalla de la primera parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de secado del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el segundo día de prueba. (2022).

Figura 44.

Programa en Excel para el cálculo de eficiencia de secado del 7 de diciembre de 2022.

2022.

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	T_ambiente	T_salida colec	Qaire_colec	Qcolector	Eficiencia	Qtunel Poli arriba	Qtunel Poli enfrente	Qunion	Qtunel	Medidor de Flujo	flujo m (kg/s)
476	34.2970425	66.23986444	2524.076206	171666.7052	0.014703353	59812.40174	85712.10197	-928.0859158	48.10236007	199.0105017	0.078469288
477	34.5494044	66.2534668	2505.027388	171792.7	0.014581687	59856.30107	85792.42178	-928.5551065	43.33653894	198.9960133	0.078463575
478	34.1667871	66.15819856	2527.731648	171545.9369	0.014735013	59770.32345	85943.49829	-921.2977189	45.87846867	198.9960133	0.078463575
479	34.2851682	66.06295618	2519.27324	171629.96	0.014678517	59799.59893	85954.97255	-931.4157707	48.10452914	199.6633816	0.078726717
480	34.2939899	66.08335972	2489.541097	171236.2162	0.014538636	59662.41006	85667.15689	-916.6190337	47.99827577	197.2350945	0.07776925
481	34.2525979	66.32489212	2513.914843	170664.013	0.014730199	59463.04206	85553.37353	-912.8685282	38.77962342	197.4091808	0.077837892
482	34.3550431	66.33849448	2509.161863	170548.5111	0.014712306	59422.79869	85447.23483	-903.7848197	33.79964385	197.583267	0.077906533
483	34.7851577	66.42354802	2484.278088	170390.9976	0.014579867	59367.91758	85242.61662	-896.5515189	36.55103857	197.7573532	0.077975175
484	34.8435204	66.5324962	2490.440521	170028.7725	0.014647171	59241.7105	84982.53103	-890.6468382	29.45283484	197.9314394	0.078043817
485	34.4659736	66.26365564	2504.295649	170291.2551	0.014705956	59333.16511	84968.19366	-885.8521139	36.02192618	198.3521667	0.078209708
486	34.483617	66.26706916	2496.034171	170238.7506	0.014661962	59314.87141	85018.87223	-884.9309766	31.89166246	197.7863298	0.0779866
487	34.4347485	66.27728386	2512.230221	169908.0441	0.014785823	59199.6461	85059.98772	-891.1682983	32.31538078	198.7003391	0.078346992
488	34.6739167	66.1888168	2462.236418	169356.8267	0.014538749	59007.59002	84928.98934	-891.0361381	37.18977493	196.7707892	0.077586176
489	35.1379469	66.3079021	2424.15412	169015.5874	0.014342784	58888.69485	84609.62128	-893.8406086	38.77798634	195.8713248	0.077231519
490	35.065692	66.40314448	2481.407209	168931.6042	0.014688828	58859.43327	84166.91405	-903.0407968	34.43355112	199.4257172	0.078633006
491	35.2410647	66.36572506	2470.65371	168763.5978	0.014639731	58800.8962	84027.31179	-891.2187809	28.81830068	199.9189992	0.078827506
492	35.4364608	66.37252624	2444.278078	168705.8269	0.014488403	58780.76756	84220.45574	-880.0831071	29.13519287	198.9905017	0.078461402
493	35.3462262	66.46776862	2458.753695	168532.594	0.014589188	58720.40947	84087.54619	-880.8162017	24.47310105	198.9760133	0.078455689
494	35.5229442	66.341908	2434.848511	168637.603	0.014438349	58756.99687	84321.81289	-871.680546	27.01591776	198.9760133	0.078455689
495	35.2397195	66.32150446	2463.848827	168406.5992	0.014630358	58676.51014	84648.8256	-865.1572765	25.4261511	199.6433816	0.078718831
496	34.6830747	66.3079021	2476.404045	167671.656	0.014769366	58420.44	84423.17005	-865.0357231	27.54548034	197.2150945	0.077761364
497	34.0321078	66.28408504	2525.513441	167361.8955	0.015090134	58312.51271	84416.47734	-858.9052002	22.03753452	197.2150945	0.077761364
498	33.9361043	66.3861286	2543.264676	166306.619	0.015292624	57944.83152	84220.45574	-861.255076	23.20161819	197.3891808	0.077830006
499	33.9340864	66.11739148	2524.585184	165603.1546	0.015244789	57699.72927	84038.78605	-857.2299072	28.81768686	197.563267	0.077898647
500	32.4602591	68.75680048	2860.126998	180879.1413	0.015798192	63022.21422	86721.99222	-1024.094937	-11.93664222	198.461107	0.078252663

Nota: Captura de pantalla de la segunda parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de secado del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el segundo día de prueba. Fuente: (2022).

Figura 44.

Datos en hoja de Excel para el cálculo de eficiencia de secado.

AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI
Area colector m ²	Area arriba m ²	Area enfrente m ²	Masa inicial	Masa final	Lv (kJ/kg)	Qventilador
6.716	2.34	2.002	19.685	9.57773675	2260	550

W	X	Y	Z	AA	AB
Qsensible (kJ)	Qlatente (kJ)	Qagua (kJ)	Eficiencia Secado	flujo túnel m (kg/s)	Cp(J/kgk)
1345967.781	21645685.06	22991652.84	0.162847282	0.030895	1007
			16.28%		

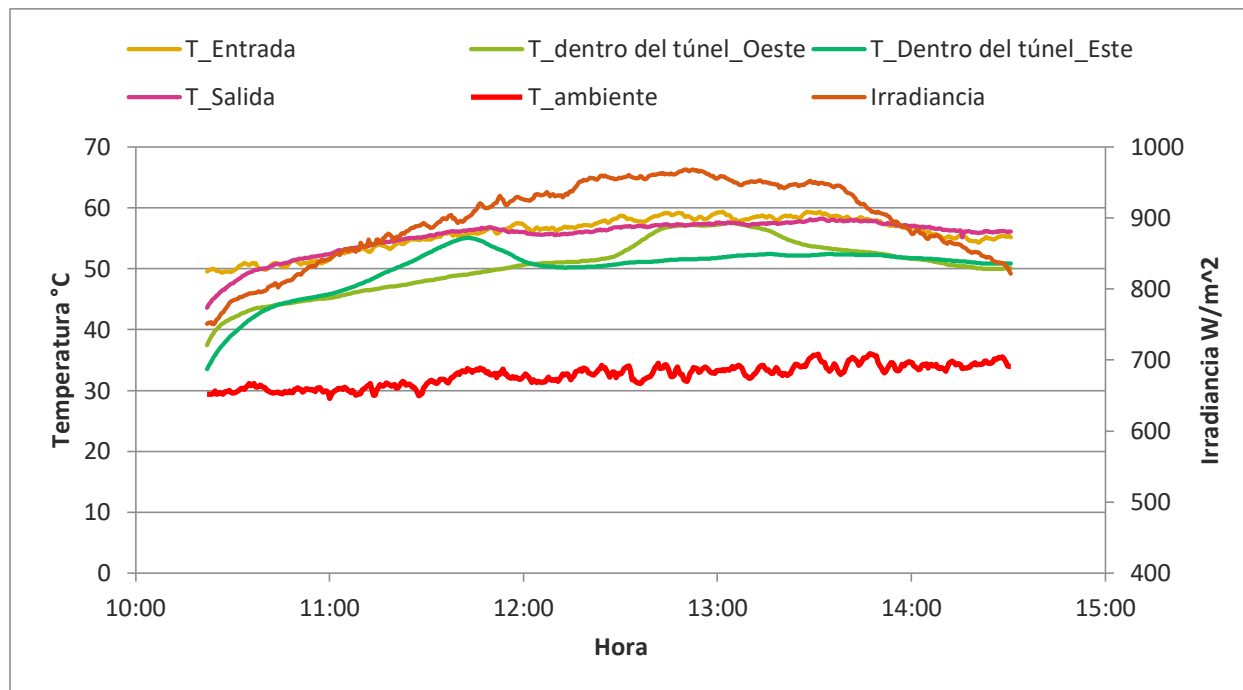
Nota: Captura de pantalla de la tercera y cuarta parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de secado del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el segundo día de prueba. Fuente: (2022).

Los resultados en las pruebas del 7 de diciembre del 2022 se obtuvieron temperaturas entre 35 °C y 57°C como se puede mostrar en la Figura 46, con una humedad ambiente de 31.52 % y un flujo másico de 0.030 kg/s, usando el ventilador a 3000 rpm, obteniendo una eficiencia de secado de 16.28%.

4.3.1 Obtención de curvas de temperatura e irradiancia segunda prueba

Figura 46.

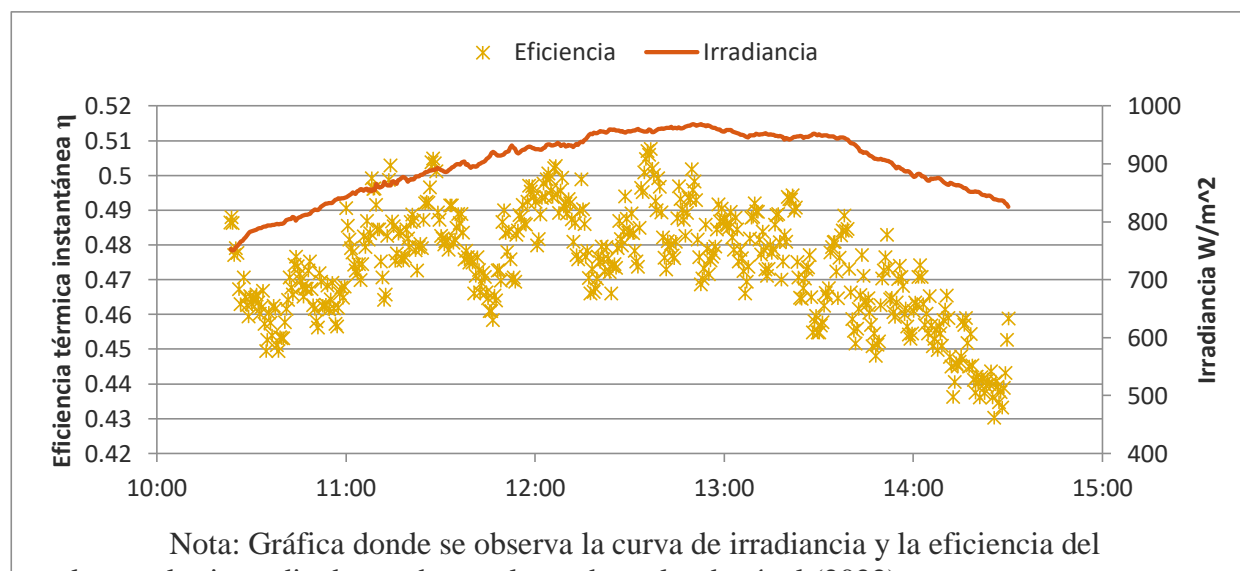
Curvas de temperatura e irradiancia (prueba con agua).



Nota: Gráfica donde se observa el comportamiento de las temperaturas en los distintos puntos del secador como también la irradiancia el segundo día de prueba en el secador solar de túnel.(2022).

Figura 47.

Curva de irradiancia y eficiencia del colector (prueba con agua).



Nota: Gráfica donde se observa la curva de irradiancia y la eficiencia del colector el primer día de prueba en el secador solar de túnel.(2022).

4.3.2 Cálculos en hoja de Excel para determinar la eficiencia de los colectores

primera prueba

Figura 48.

Cálculos en hoja de Excel para determinar la eficiencia de los colectores.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Fecha	Hora	Minuto	T7_Entrada	T8	T9	T10_Salida	Irradiancia	Irradiancia Frente	T_ambiente	T_salida colec
476	07/Dec/2022	14:19:34	479	54.49470276	50.2019327	51.0334352	56.0408424	852.0285149	713.5539625	34.29704252	66.23986444
477	07/Dec/2022	14:20:04	480	54.50151183	50.14561371	51.00460488	55.89446512	852.6538614	714.2226255	34.54940437	66.2534668
478	07/Dec/2022	14:20:34	481	54.49809435	50.09744377	50.98423732	55.97275212	851.4291089	715.4803388	34.16678707	66.15819856
479	07/Dec/2022	14:21:04	482	54.31419768	50.05302498	50.96386976	55.86040704	851.8461386	715.5758621	34.28516819	66.06295618
480	07/Dec/2022	14:21:34	483	54.37889679	50.03672688	50.92587792	55.92169088	849.8918812	713.1797943	34.29398986	66.08335972
481	07/Dec/2022	14:22:04	484	54.67859943	50.03028525	50.89533952	55.92508116	847.0518812	712.2325469	34.25259786	66.32489212
482	07/Dec/2022	14:22:34	485	54.81825009	49.98922956	50.87668004	55.90466184	846.4786139	711.3489413	34.35504306	66.33849448
483	07/Dec/2022	14:23:04	486	55.00556424	49.97973527	50.85936632	56.18041324	845.6968317	709.645493	34.78515768	66.42354802
484	07/Dec/2022	14:23:34	487	55.19968746	49.98788432	50.84544288	56.14638104	843.8990099	707.4802783	34.8435204	66.5324962
485	07/Dec/2022	14:24:04	488	55.0157649	49.97668261	50.84849672	56.1736068	845.2017822	707.3609195	34.46597362	66.26365564
486	07/Dec/2022	14:24:34	489	54.99872928	50.00824401	50.84647808	56.02381336	844.9411881	707.7828191	34.48361696	66.26706916
487	07/Dec/2022	14:25:04	490	54.98171955	50.01331453	50.84306192	56.02042308	843.299802	708.1251059	34.43474853	66.27728386
488	07/Dec/2022	14:25:34	491	54.78417885	49.99228222	50.83832588	55.97955856	840.5639604	707.0345433	34.67391668	66.1888168
489	07/Dec/2022	14:26:04	492	54.81483261	49.97805372	50.83628136	56.06126172	838.870297	704.3758016	35.13794687	66.3079021
490	07/Dec/2022	14:26:34	493	54.99872928	49.96718832	50.82644696	56.10551652	838.4534653	700.6902601	35.06569196	66.40314448
491	07/Dec/2022	14:27:04	494	55.13837994	50.00213869	50.824066	56.06467788	837.619604	699.5280702	35.24106469	66.36572506
492	07/Dec/2022	14:27:34	495	55.23373281	50.02045465	50.81829476	56.17021652	837.3328713	655.6513007	35.4364608	66.37252624
493	07/Dec/2022	14:28:04	496	55.31888502	50.01569457	50.82440244	56.10551652	836.4730693	700.0295221	35.34622624	66.46776862
494	07/Dec/2022	14:28:34	497	55.30865847	50.00586397	50.82611052	56.17702296	836.9942574	701.9797943	35.52294421	66.341908
495	07/Dec/2022	14:29:04	498	55.40742882	50.03877061	50.83560848	56.22469392	835.8477228	704.7021779	35.23971945	66.32150446
496	07/Dec/2022	14:29:34	499	55.26099498	50.02417993	50.8420526	56.14638104	832.2	702.8235935	34.68307466	66.3079021
497	07/Dec/2022	14:30:04	500	55.31546754	50.02011834	50.84816028	56.02381336	830.6625743	702.7678766	34.03210785	66.28408504
498	07/Dec/2022	14:30:34	501	55.39720227	50.00348393	50.8502048	56.14296488	825.4249505	701.1359952	33.93610428	66.3861286
499	07/Dec/2022	14:31:04	502	55.18946091	50.03062156	50.84409712	56.11573912	821.9334653	699.6235935	33.93408642	66.11739148
500	PROMEDIO			55.76050307	50.46434733	49.99394167	55.37682718	897.7523393	721.9613072	32.46025907	68.75680048

Nota: Captura de pantalla de la primera parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de los colectores del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el segundo día de prueba. (2022).

Figura 49.

Cálculos en hoja de Excel para determinar la eficiencia de los colectores.

	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Qaire_cole	Qcolector	Eficiencia	Qtunel Poli arriba	Qtunel Poli enfrente	Qunion	Qtunel	Medidor de Flujo
476	2524.076206	5722.223506	0.441100597	1993.746725	1428.535033	-928.09	48.10	199.0105017
477	2505.027388	5726.423333	0.437450611	1995.210036	1429.873696	-928.56	43.34	198.9960133
478	2527.731648	5718.197895	0.442050397	1992.344115	1432.391638	-921.30	45.88	198.9960133
479	2519.27324	5720.998667	0.440355502	1993.319964	1432.582876	-931.42	48.10	199.6633816
480	2489.541097	5707.873874	0.436159094	1988.747002	1427.785948	-916.62	48.00	197.2350945
481	2513.914843	5688.800434	0.441905965	1982.101402	1425.889559	-912.87	38.78	197.4091808
482	2509.161863	5684.950371	0.441369176	1980.759956	1424.120581	-903.78	33.80	197.583267
483	2484.278088	5679.699922	0.437396011	1978.930586	1420.710277	-896.55	36.55	197.7573532
484	2490.440521	5667.62575	0.439415133	1974.723683	1416.375517	-890.65	29.45	197.9314394
485	2504.295649	5676.375169	0.44117867	1977.77217	1416.136561	-885.85	36.02	198.3521667
486	2496.034171	5674.625019	0.439858874	1977.16238	1416.981204	-884.93	31.89	197.7863298
487	2512.230221	5663.60147	0.443574682	1973.321537	1417.666462	-891.17	32.32	198.7003391
488	2462.236418	5645.227558	0.436162474	1966.919667	1415.483156	-891.04	37.19	196.7707892
489	2424.15412	5633.852915	0.43028353	1962.956495	1410.160355	-893.84	38.78	195.8713248
490	2481.407209	5631.053473	0.440664828	1961.981109	1402.781901	-903.04	34.43	199.4257172
491	2470.65371	5625.45326	0.439191936	1960.029873	1400.455196	-891.22	28.82	199.9189992
492	2444.278078	5623.527564	0.434652102	1959.358919	1312.613904	-880.08	29.14	198.9905017
493	2458.753695	5617.753133	0.43767564	1957.346982	1401.459103	-880.82	24.47	198.9760133
494	2434.848511	5621.253433	0.43315046	1958.566562	1405.363548	-871.68	27.02	198.9760133
495	2463.848827	5613.553306	0.438910739	1955.883671	1410.81376	-865.16	25.43	199.6433816
496	2476.404045	5589.0552	0.443080978	1947.348	1407.052834	-865.04	27.55	197.2150945
497	2525.513441	5578.729849	0.452704022	1943.750424	1406.941289	-858.91	22.04	197.2150945
498	2543.264676	5543.553968	0.458778735	1931.494384	1403.674262	-861.26	23.20	197.3891808
499	2524.585184	5520.105153	0.457343676	1923.324309	1400.646434	-857.23	28.82	197.563267
500	2860.126998	6029.30471	0.47394575	2100.740474	1445.366537	-1024.0949	-11.936642	198.461107

Nota: Captura de pantalla de la segunda parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de los colectores del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el segundo día de prueba. (2022).

Figura 50.

Datos para el cálculo de eficiencia de los colectores.

U	V	W	X	Y	Z	AA
Tpromedio	(Tprom-Tamb)/G	flujo túnel m (kg/s)	Cp(J/kgk)	Area colector m^2	Area arriba m^2	Area enfrente m^2
45.06776247	0.020829103	0.030895	1007	6.716	2.34	2.002

Nota: Captura de pantalla de la tercera parte del programa que se realizó para calcular la eficiencia de los colectores del secador solar tipo túnel montado en el Instituto de Energías Renovables de la UNAM en el segundo día de prueba. (2022).

La eficiencia promedio obtenida de los colectores fue de 0.47 (47%), en la Figura 47 se puede mostrar la eficiencia instantánea en el transcurso de esta prueba.

4.3.3 Evaporación del agua primera prueba

El mapa de colores se puede observar en la Tabla 3. Al final los mililitros totales de agua evaporada fueron 9872 ml. (9.87 l).

Tabla 3.

Agua evaporada en mililitros con Insolación 12.06 MJ, Humedad relativa promedio 31.5%, Tamb promedio 33.2°C

		Puertas del secador enumeradas del 1 al 8							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Entrada de aire caliente de los colectores	1	491	478	467	474	482	435	416	386
	2	361	268	200	166	172	155	139	165
	3	454	359	169	160	149	129	131	118
	4	300	248	181	139	184	148	99	100
	5	431	303	178	152	145	126	101	113

Nota: En la tabla anterior los números del 1 al 8 representan las puertas del túnel de secado, y la fila con los números del 1 al 5 representan la posición vertical de las charolas como se puede apreciar en la Figura 42 se observa cual fue la evaporación en mililitros por cada bandeja, durante el segundo día de prueba del secador solar de túnel. (2022).

Conclusiones.

Para los pequeños productores agrícolas del medio rural cada vez es más necesaria la implementación de tecnologías con el fin de mejorar la producción, distribución y conservación de los productos alimenticios, es por eso que el ser humano está en busca constantemente de nuevas tecnologías sustentables.

Con el fin de evaluar un túnel de secado mixto de radiación directa e indirecta con capacidad hasta de 50 kg de producto se procedió a realizar el montaje en la plataforma solar de las instalaciones del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se evaluó el túnel con charolas llenas con 500 ml. de agua para conocer la eficiencia de secado con la evaporación; así como también para conocer la eficiencia de los cuatro colectores conectados en serie, con diferentes variables.

Con la prueba se mide cuánta agua se evapora en cada nivel, es decir se observa como es el comportamiento del calor dentro del secador.

Con base en los resultados obtenidos se observa que se alcanzan y se mantienen temperaturas ideales para llevar a cabo el proceso de secado de diferentes productos. En las pruebas con agua, la cantidad de agua removida en la primera prueba fue de 10.19 litros y en la segunda de 9.82 litros obteniendo eficiencias de secado de 17.15% con 4000 rpm. y un flujo de aire de 0.04153 kg/s y de 16.28% con 3000 rpm y con un flujo de aire de 0.030895 kg/s contemplando las condiciones climáticas de los días cuando se realizó la prueba.

15. Competencias desarrolladas y aplicadas.

Para entregar los secadores a los productores, se llevaron a cabo varias pruebas y evaluaciones. Una de ellas consistió en las evaluaciones realizadas durante el trabajo. Brumer y Olson (1988) mencionan que toda actividad similar proporciona conocimiento sobre el mundo y sobre la actividad misma para adquirir dicho conocimiento. En la evaluación, se requirió la instalación de sensores en diferentes puntos de los secadores para medir temperaturas, radiación y humedad. Se utilizaron sensores de temperatura pt1000, que se calibraron en un estabilizador de temperatura. Los datos obtenidos se utilizaron para crear ecuaciones en una hoja de cálculo de Excel. Estas ecuaciones se utilizaron en un programa desarrollado en el software Agilent VEE Pro (Agilent Technologies, 2020) para monitorear los datos cada 30 segundos. Durante cuatro días, se trabajó en la instalación de los sensores en la entrada, salida y diferentes niveles de cada secador. En el caso del secador tipo túnel, se colocaron seis sensores, y también se instalaron dos sensores piranómetros para medir la radiación y obtener los resultados correspondientes.

Gracias a la instrumentación de los secadores, se logró el desarrollo de nuevas habilidades en el uso y manejo de herramientas, instrumentos de medición y programas especializados para obtener los datos necesarios en la evaluación. Además, se pudo identificar que las pruebas realizadas tienen como objetivo conocer la eficiencia de cada uno de los secadores y demostrar que cumplen con los requisitos necesarios para el centro comunitario de deshidratado.

16. Fuentes de información.

Agilent technologies (2020) Agilent 34970A Familia de unidades de adquisición de datos/

Conmutación

http://www.ayscom.com/data_sheets/agilent/adquisicion_de_datos/34970_72a.pdf

Ángeles, M. D. (2017), Diseño y construcción de un secador solar Recuperado el 30 de septiembre del 2022 de <https://tesis.ipn.mx/bitstream>.

Banco Mundial. (2020). Reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos puede generar grandes beneficios para la seguridad alimentaria de los países y el medio ambiente. World Bank. Recuperado 30 de septiembre de 2022, de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/09/28/cutting-food-loss-and-waste-can-deliver-big-wins-for-countries-food-security-and-environment>

Barbosa-Cánovas, G. V.; Ibartz, A. 2005. Operaciones unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Ediciones Mundi-Prensa, España. 865 p

Cabrera MCM y López-Nevot M. Efectos de la radiación ultravioleta (UV) en la inducción de mutaciones de p53 en tumores de piel. *Oncología*. 2006; 29(7): 291-298.

Cano, O.C.C (2014) Tipos de secado en alimentos recuperado de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream>

Casas. C. G. (2012) Diseño e Implementación de un Sistema de Instrumentación para la Adquisición de Datos de los Analizadores HP 4194A y HP 4395^a Recuperado 20 de septiembre de 2022 de <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/id/65131/Memoria>

PVEducation. (s. f.). Coeficiente de absorción Recuperado 5 de octubre de 2022, de <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/dispositivos-semiconductores/coeficiente-de-absorcion>.

Conasi, V. M.-. (2020, 1 febrero). Deshidratación de alimentos, la conservación más saludable. Blog Conasi. <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/deshidratacion-la-forma-mas-antigua-y-sana-de-conservar-los-alimentos/>

Condorí M. (2016) secador solar indirecto con flujo de aire forzado para huacalera, quebrada de Humahuaca, Recuperado el 05 de diciembre de 2022 de <https://core.ac.uk>

Córdova, D. E. G. N. F. (2019.). El Sol, la estrella más cercana a la Tierra. Ciencia UNAM. Recuperado 20 de septiembre de 2022, de <https://ciencia.unam.mx/leer/1129/el-sol-la-estrella-mas-cercana-a-la-tierra>

Cubillos A. y Estenssoro F. (2021) Energía y medio ambiente una ecuación difícil para Latinoamérica <http://biblioteca.clacso.org.ar/clacso/engov/20130827052932/engMAalCubillosEstenssoro.pdf>"

De Costa Rica, U. (2019, abril). Absorción y reflexión. SESLAB. Recuperado 5 de octubre de 2022, de http://seslab.org/fotovoltaico/31_absorcion_y_reflexion.html

UNAM, Campus Morelia. (s. f.). Deshidratadores Solares – Unidad de Ecotecnologías, Recuperado 5 de octubre de 2022, de <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/deshidratadores-solares-2>

Desrosier, N. W. (1981) Conservación de alimentos, publicado por Compañía Editorial Continental, México D. F., recuperado de <https://www.iberlibro.com/buscar-libro/titulo/conservacion-alimentos/autor/norman-desrosier/>

Elles L. M. (2016) Construcción de un secador solar tipo túnel a partir del modelo alemán acondicionado a las condiciones locales. https://biblioteca.bucaramanga.upb.edu.co/docs/digital_32711.pdf

Sebaili E. I. Y Shalaby S. (2012) Secado solar de productos agrícolas: una revisión. *Renovar. Sostenere. Energy Rev.*, 16 (1), págs. 37 – 43.

Eslava Sarmiento, H. 1985. Secamiento estacionario en túneles armados con sacos. *Revista Acogranos*, Año 1. N°1: 32-36. Bogotá, Colombia.

Estrada G. C. (2010) La Energía Solar y sus implicaciones. *Revista Digital Universitaria*, 2010, 1-27.

World Wildlife Fund (s. f.). Evita el desperdicio. Luchemos contra el cambio climático. Recuperado 30 de septiembre de 2022, de <https://www.worldwildlife.org/historias/lucha-contra-el-cambio-climatico-evitando-el-desperdicio-de-alimentos>.

FAO. 2019. El sistema alimentario en México - Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible. Ciudad de México. 68 pp. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Posso F., Acevedo J., Hernández J., (2014). El impacto económico de las energías renovables. revista de investigación, administración e ingeniería, Volumen 2, Número 2. Recuperado

el 05 de diciembre de 2022, de <file:///C:/Users/HP/Downloads/1753-Texto%20del%20artículo-11429-2-10-20220728.pdf>

FIRCO (2017). Valor agregado en el sector agropecuario. gob.mx.

<https://www.gob.mx/firco/articulos/valor-agregado-en-el-sector-agropecuario>

Fito M. P. (2001) Introducción al secado de alimentos por aire caliente Recuperado 5 de octubre de 2022, de https://www.lalibreria.upv.es/portalEd/UpvGESTore/products/p_4092-2-1
https://www.lalibreria.upv.es/portalEd/UpvGESTore/products/p_4092-2-1

García, L., Mejía, M., Mejía, D. & Valencia, A. (2012). Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales. Revista AVANCES Investigación en Ingeniería. ISSN 2619-6581.

Gavroglu, Kostas (2004). «Strutt, John William, third Baron Rayleigh (1842–1919) ». Oxford Dictionary of National Biography. Oxford University Pres

Hernández M. V. (2013) “Regulación comparada de energías renovables” Bogotá, Universidad Externado de Colombia.

Hilcu, M. (2022, 13 septiembre). Energía Solar: Qué es y Cómo Funciona. Otovo Blog. Recuperado 21 de septiembre de 2022, de <https://www.otovo.es/blog/energia/que-es-la-energia-solar/>

Hoyos, D. (2019, 17 septiembre). Variación de la radiación con la altura: resultados preliminares. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/81352>

IER-UNAM (s. f.). Recuperado 20 de septiembre de 2022, de <https://www.ier.unam.mx/nosotros/index.html>

López, J. V. (2020, 9 septiembre). Secado en la industria de alimentos. No. 143 | 2020 | TecnoAgro.

<https://tecnoagro.com.mx/no.-143/secado-en-la-industria-de-alimentos>

Machorro, J. C. (2018, 2 abril). Desperdicio de alimentos provoca millones de hambrientos y caos

ambiental en México. Mi Ambiente. Recuperado 30 de septiembre de 2022,

<https://www.miambiente.com.mx/sustentabilidad1/desperdicio-de-alimentos-provoca-millones-de-hambrientos-y-caos-ambiental-en-mexico/>

Manzur, A., & Cardoso, J. (2015). Velocidad de evaporación del agua. Revista mexicana de física

E, 61(1), 31-34. Recuperado en 12 de diciembre de 2022, de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35422015000100007&lng=es&tlng=.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35422015000100007&lng=es&tlng=)

Marchant S.M.I. (2019) Manual conservación de alimentos [https://www.inacap.cl/web/material-](https://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/profesor/Gastronomia/Manuales/Manual_Conseervacion_de_Alimentos.pdf)

[apoyo-cedem/profesor/Gastronomia/Manuales/Manual_Conseervacion_de_Alimentos.pdf](https://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/profesor/Gastronomia/Manuales/Manual_Conseervacion_de_Alimentos.pdf)

México, T. (2020, 29 septiembre). ¿Por qué tiene que importarnos el desperdicio de alimentos?

The Hunger Project México. Recuperado 20 de septiembre de 2022, de

<https://thp.org.mx/2020/09/29/por-que-tiene-que-importarnos-el-desperdicio-de-alimentos/>

Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. (s. f.). Recuperado 20 de

septiembre de 2022, de <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/>

Jen, P.S. Y Wu C. U. (2008) La selectividad de la duración del eco del murciélago varía con la

diferencia de amplitud de pulso-eco Neuroreport, 19 (3) págs. 373 – 377

Portillo, A. L. (s. f.). Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento. Recuperado 30 de septiembre de 2022, de <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>

Quinn, F., (2020) The most common problem of moisture/humidity measurement and control. Proceedings of 2 ND International Symposium of Humidity and Moisture; Washington, ISA, 1985.

Quintanar O. J. Fuentes L. & Urías T. (2011). Evaluación económica de un secador solar para madera. Revista mexicana de ciencias forestales, 2(7), 97-104. Recuperado en 05 de diciembre de 2022, de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php>

Román R., Marconi A. Y Reyes J (2020). Manual de construcción y uso: Secador solar <https://ayllusolar.cl/wp-content/uploads/2021/01/03-Manual-Secador-Solar-1.pdf>

Rovalo, M, (2021) Manual de derecho ambiental Recuperado el 30 de septiembre del 2022 de Universidad Nacional Autónoma de México instituto de investigaciones jurídicas México, 2021

Sahagún, S. (2022, 20 octubre). ¿Qué es la Adquisición de Datos? Blog Logicbus. <https://www.logicbus.com.mx/blog/que-es-la-adquisicion-de-datos/>

Semarnat (s. f.). Recuperado 30 de septiembre de 2022, de <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/impulsa-semarnat-estrategia-nacional-para-evitar-desperdicio-de-alimentos?idiom=es-MX>

Tamayo D. H. (2022) Evaluación térmica de un deshidratador solar tipo túnel mixto bajo diferentes condiciones de operación. PDF

United Nations. (2022.). ¿Qué son las energías renovables? | Naciones Unidas.
<https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>

Vega, G. (2022, 14 julio). Es preciso detener la pérdida y desperdicio de alimentos en México. The Food Tech. Recuperado 20 de septiembre de 2022, de <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/es-preciso-detener-la-perdida-y-desperdicio-de-alimentos-en-mexico/>

Werner. W. M. Solar Heat Worldwide (2022), Global Market Development and Trends 2021 Detailed Market Figures 2020. <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2022.pdf>

Zegarra A. S. (2021) Aplicación de la energía solar en la deshidratación de la paprika recuperado el 30 de noviembre de 2022 de <http://revistas.ucsm.edu.pe>