

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN
ENERGÍAS RENOVABLES INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES

TESIS

"CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SECADOR
HÍBRIDO SOLAR BIOMÁSICO"

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERA EN ENERGÍAS RENOVABLES

PRESENTA

C. Mariamne Saraí Gutiérrez Gutiérrez

DIRECTORES DE TESIS

Dr. Guillermo Rogelio Ibáñez Duharte

Mtro. Óscar Martínez Aguirre



Tuxtla Gutiérrez; Chiapas

Noviembre de 2024



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Fecha: 13 de Noviembre de 2024

C. Mariamne Saraí Gutiérrez Gutiérrez

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Energías Renovables

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Construcción y evaluación de un secador híbrido solar biomásico

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Neín Farrera Vázquez

Dr. Rogelio Guillermo Ibáñez Duharte

Mtro. Oscar Martínez Aguirre

Firmas:

[Firma]
[Firma]
Oscar Martínez A.

Ccp. Expediente

DEDICATORIAS

A mis abuelos...

Con amor honro la memoria y el legado de mis abues Davi y Olgui, yo sé que sin duda estarían orgullosos de la ingeniera que pronto seré porque me forjaron en virtudes y principios que mantendré para siempre. Los amé y seguiré amando toda mi existencia.

A mi hermano...

A mi meco mi Aaroncito, nunca te rindas tú también pronto podrás. Que las circunstancias nunca te dobleguen y puedas encontrar tus virtudes en el momento y oportunidades adecuadas

A mis padres...

Mami, papi los amo, este logro es parte de ustedes también. Mi sentir es inefable hacia ustedes. Me dieron todo en todos los sentidos y me llena de gozo que estén hoy conmigo. Quizá hay cosas que no son perfectas, pero jamás regresa el tiempo. Sólo queda ver hacia adelante y darles parte del triunfo que está por venir.

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque en él y para él son todas las cosas.

A mis papás, muchas gracias por apoyarme en todo absolutamente todo, gracias por confiar en mí y permitirme mucho crecimiento, aunque no siempre estaban de acuerdo en todo.

Agradezco también al equipo de trabajo que tuve en estos meses conformado por: el Mtro. Oscar, Dr. Joel Moreira, Dr. Neín Farrera y el Dr Guillermo por su paciencia para enseñarme varias cosas en las que aún no me forjaba.

A mis amigos y familiares que me ayudaron y confiaron en mí durante la carrera, así como en el proceso de trabajo con la tesis. Esto permitió que creciera con nuevas ideas, oportunidades y experiencias.

Al IIIER por darme maestros tan lindos que me brindaron conocimientos y formación adecuada, pero en especial a la Maestra. Rosi porque en cualquier gestión, tramites y apoyos estuvo al pendiente de mí y de mis compañeros.

RESUMEN:

El presente trabajo describe el diseño, construcción y operación de un secador híbrido solar-biomásico en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez con el uso de herramientas computacionales como SolidWorks que permitió hacer ajustes relacionados tanto con los materiales empleados en la construcción del dispositivo como con los parámetros geométricos del sistema. Los objetivos del trabajo fueron, por un lado, lograr el desarrollo de un nuevo dispositivo híbrido de secado donde se incluyeron diferentes fuentes de suministro de energía y su almacenamiento y, por otro, realizar la evaluación experimental preliminar del dispositivo.

El secador tiene dimensiones de 2.1 m de altura, 1.40 m de largo y 2.12 m de ancho. Estas dimensiones permitieron que se instalara un termo tanque en la parte superior del dispositivo utilizado para captar energía solar y calentar aire, así como una cámara de combustión en la parte inferior la cual permite disminuir la dependencia que tiene el proceso de secado con la radiación solar y garantiza que se logre una temperatura adecuada para el proceso con calor emitido por la combustión de la biomasa.

Además, el secador cuenta con una capa de piedras ubicadas encima de la cámara de combustión y debajo de la cámara de secado para el almacenamiento en forma de calor sensible de la energía. Finalmente, en los laterales del dispositivo se instalaron paneles solares con capacidad de 1000w que producen la energía eléctrica utilizada por el sistema de ventilación, logrando así un índice de aumento en la eficacia del proceso de deshidratación de alimentos. Con este trabajo se contribuye al desarrollo de nuevas y mejores tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las evaluaciones, se confirma la viabilidad del dispositivo ya que se alcanzaron temperaturas entre 60 y 80°C en la cámara de secado por lo que se cumple lo establecido en la literatura previa donde se menciona que la deshidratación de productos se realiza en rangos de 50 a 65°C.

ABSTRAC

This paper describes the design, construction and operation of a hybrid solar-biomass dryer in the city of Tuxtla Gutiérrez using computational tools such as SolidWorks, which allowed adjustments to be made to both the materials to be used in the construction of the device and the geometric parameters of the system. The objectives of the work were, on the one hand, to achieve the development of a new hybrid drying device that includes different sources of energy supply and storage, and on the other, to carry out the preliminary experimental evaluation of the device.

The dryer has dimensions of 2.1 m high, 1.40 m long and 2.12 m wide. These dimensions allowed the installation of a water heater in the upper part of the device used to capture solar energy and heat the air, as well as a combustion chamber in the lower part, which allows reducing the dependence of the drying process on solar radiation and ensuring that an adequate temperature is achieved for the process with the heat emitted by the combustion of biomass. In addition, the dryer has a layer of stones located above the combustion chamber and below the drying chamber to store energy in the form of sensible heat.

Finally, solar panels with a capacity of 1000w were installed on the sides of the device to produce the electrical energy used by the ventilation system, thus achieving an increase in the efficiency of the food dehydration process. This work contributes to the development of new and better technologies for the use of renewable energy.

Based on the results obtained in experimental evaluations, the viability of the device is confirmed since temperatures between 60 and 80°C were reached in the drying chamber. This means that the temperature levels established in previous literature for food product dehydration are guaranteed.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras 1 y 2. Imágenes del diseño del secador bioenergético multipropósito	5
Figura 3. Principales productos agrícolas chiapanecos SAGARPA.	6
Figura 4. Principales tecnologías de deshidratadores solares.	11
Figura 5. Representación de una curva de secado.	13
Figura 6. Montaje de las paredes del secador.....	25
Figura 7. Corte y relleno de fibra ceramica para el techo.....	25
Figura 8. Vista lateral del aditamento térmico para el techo.....	26
Figura 9. Estructura interna de soporte en el techo.....	26
Figura 10. Sellado general del techo.....	26
Figura 11. Puertas y aditamentos.....	27
Figuras 12 y 13. Fijación del recubrimiento y aislantes térmicos.....	27
Figuras 14 y 15. Sistema de aire interno en cámara de combustión.....	28
Figura 16. Ensamble de la cámara de combustión.	28
Figura 17. Pruebas de cámara de combustión en cámara de secado.	29
Figuras 18 y 19 Fijación preeliminar de la chimenea	30
Figura 20. Gorro de la chimenea.....	30
Figuras 21 y 22. Pruebas de la cámara de combustión	31
Figura 23. Lámina de aislamiento térmico de la chimenea	31
Figuras 24 y 25. Estructura y ensamble del soporte para el sistema de acumulación térmica.	32
Figura 26. Distribución previa de las piedras.....	33
Figuras 27 y 28. Proceso de perforación de la lámina.	34
Figura 29. Estructura de los paneles fotovoltaicos.	35
Figuras 30 y 31. Instalación de los módulos fotovoltaicos.....	35

Figura 32 Anclaje de los módulos a la estructura.....	36
Figura 33. Conexión de los paneles fotovoltaicos.	36
Figura 34. Pintado de la estructura de los componentes del sistema fotovoltaico.	37
Figura 35. Conexión de controlador.	37
Figura 36. Sellado del domo de los componentes.....	38
Figuras 37 y 38. Pruebas del peine inyector del aire y perforación del termotanque.	38
Figura 39. Instalacion del sistema.	39
Figuras 40 y 41. Instalación de los tubos al vacío.	39
Figuras 42 y 43. Recubrimiento térmico.	40
Figuras 44 y 45. Colocación del extractor.	40
Figura 1 Circulación del aire dentro del dispositivo y ubicación de los sensores de medición.....	44
Figura 47. Variación de la temperatura en cámara de secado durante prueba 1...44	
Figura 48 Variación de la humedad en cámara de secado durante prueba 1	44
Figura 49. Relación entre temperatura y humedad prueba 1.	44
Figura 50. Variación de las 4 temperaturas monitoreadas durante la prueba 1 ...	45
Figura 51. Variación de temperatura del aire que se encuentra cercano a la chimenea.....	46
Figura 52. Variación de la temperatura en cámara de secado durante prueba 2..	47
Figura 53. Radiación solar en Tuxtla el día del experimento.....	47
Figura 54. Variacion de temperatura y tiempo prueba 2.	48
Figura 55. Variacion de temperatura y tiempo prueba 3.	49
Figura 56. Variación de temperatura y humedad prueba 3.....	50
Figura 57. Comparación de temperatura monitoreadas en las 3 pruebas realizadas.	50

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN:	4
ABSTRAC	5
CAPITULO 1 GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.2.1 MÉTODOS DE SECADO A TRAVÉS DEL TIEMPO	2
1.2.2 ANTECEDENTES DEL SECADO O DESHIDRATADO DE PRODUCTOS EN CHIAPAS ..	2
1.2.3 ANTECEDENTES DEL SECADOR HÍBRIDO SOLAR BIOMÁSICO	4
1.4 JUSTIFICACIÓN	6
1.5 OBJETIVO GENERAL	7
1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO 2 MARCO TEORICO	8
2.1.1 RADIACIÓN	8
2.1.2 CONVECCIÓN	8
2.1.3 TEMPERATURA	9
2.1.4 HUMEDAD	9
2.1.5 VELOCIDAD DEL VIENTO	9
2.1.6 DESHIDRATACIÓN EN ALIMENTOS	9
2.1.9 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN SECADOR SOLAR-BIOMÁSICO	11
2.1.10 CURVAS DE SECADO	12
2.1.11 BIOMASA Y SUS PROCESOS PARA OBTENCIÓN DE ENERGÍA	13
2.1.12 SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO	14
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE CONSTRUCCION DEL SECADOR SOLAR HÍBRIDO-BIOMÁSICO	19
3.1 MATERIALES Y HERRAMIENTAS	19
3.2 CONSTRUCCIÓN DEL DESHIDRATADOR SOLAR- HÍBRIDO BIOMÁSICO	19
3.2.1 SUBSISTEMA DE CÁMARA DE SECADO O DESHIDRATACIÓN DE PRODUCTOS	20
3.2.2 SUBSISTEMA ENERGÉTICO BIOMÁSICO	20
3.2.2.1 CÁMARA DE COMBUSTIÓN	21
3.2.2.2 CHIMENEA RADIANTE	21
3.2.2.3 SISTEMA DE RESPALDO Y ACUMULACIÓN TÉRMICA	21

3.2.3 SUBSISTEMA ENERGÉTICO FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.....	22
3.2.4 SUBSISTEMA DE CIRCULACIÓN FORZADA.....	22
3.2.5 EVALUACIONES PRELIMINARES.....	23
CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSION.....	24
4.1 MATERIALES Y HERRAMEINTAS	24
4.2 SUBSISTEMA DE SECADO O DESHIDRATACIÓN DE PRODUCTOS (CÁMARA DE DESHIDRATACIÓN).	24
4.3 SUBSISTEMA ENERGÉTICO BIOMÁSICO.....	27
4.3.1 CÁMARA DE COMBUSTIÓN	28
4.3.2 CHIMENEA RADIANTE.....	29
4.2.3 SISTEMA DE RESPALDO Y ACUMULACIÓN TÉRMICA.	32
4.4 SUBSISTEMA ENERGÉTICO FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.	34
4.5 SUBSISTEMA DE INYECCIÓN, ADECUACIÓN Y EXTRACCIÓN DE AIRE.....	38
4.6 EVALUACIONES PREELIMINARES DEL SECADOR HÍBRIDO SOLAR BIOMÁSICO	41
CONCLUSIONES.....	51
TRABAJOS A FUTURO	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	55

CAPITULO 1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, un gran porcentaje de los productos cosechados nunca llegan al consumidor. En México, se pierden más de 10 mil toneladas de alimentos cada año, lo que equivale al 37% de la producción agropecuaria del país. Esta cifra fue mencionada hace diez años por Genaro Aguilar Gutiérrez, quien era secretario del Grupo Técnico de Pérdidas y Merma de Alimentos en la Cruzada Nacional Contra el Hambre [1].

Este comportamiento se presenta principalmente en lugares en vías de desarrollo debido a la descomposición y la contaminación de productos alimenticios. influyendo también el cambio climático en el desarrollo de cultivos, así como también el mal manejo de suelos y otros problemas ambientales.

Tratando de solucionar estas pérdidas de manera nacional y local se consideran a los deshidratadores solares como una herramienta valiosa para la preservación de alimentos, especialmente en comunidades chiapanecas donde la tecnología moderna no está disponible siendo que la población es de escasos recursos.

El uso de estos dispositivos puede mejorar la seguridad alimentaria y reducir la pérdida de alimentos en zonas rurales y remotas.

Siendo uno de los métodos más antiguos y muy eficientes, el uso de deshidratadores solares aprovecha mayor mente la radiación solar que no solo es beneficio para la conservación de alimentos, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental al utilizar energía renovable y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Generando ahorros económicos y mejorando la calidad de los productos deshidratados.

1.2 ANTECEDENTES

Los deshidratadores solares son dispositivos que utilizan la energía solar para extraer el agua de los alimentos, permitiendo su conservación. El secado se considera de las técnicas más antiguas para la preservación de los alimentos mediante la inhibición de bacterias y microorganismos que influyen en el proceso y aceleración de la descomposición [2].

1.2.1 MÉTODOS DE SECADO A TRAVÉS DEL TIEMPO

En la era antigua se usaba el secado al sol siendo de las técnicas más remotas pues hay datos que remontan esta técnica hasta 12,000 años a los mesopotámicos primitivos, descubrieron que exponer ciertos alimentos como frutas, carnes y pescados al sol les permitía mantenerse comestibles durante más tiempo.

Pasando el desarrollo de tecnologías en el siglo XX durante 1945 en la compañía estadounidense General Foods se fundó un método para concentrar alimentos congelados, lo que permitió reducir el espacio de almacenamiento y facilitar el transporte. Se sigue usando en productos como frutas, verduras y carnes.

Durante 1960, la tecnología de irradiación comenzó a utilizarse más en nuestro país para la conservación de alimentos. El proceso implica la exposición de los alimentos a niveles bajos de radiación, lo que puede matar las bacterias dañinas y retrasar la maduración.

Y en el siglo 21 durante el 2000: Se desarrollaron técnicas de envasado al vacío y atmósfera modificada para prolongar la vida útil de los alimentos.

1.2.2 ANTECEDENTES DEL SECADO O DESHIDRATADO DE PRODUCTOS EN CHIAPAS

Chiapas, al ser una región con una considerable irradiación solar, es un lugar adecuado para el uso de deshidratadores solares. La radiación solar es un factor crucial para el funcionamiento eficiente de los secadores solares. Por ello en la actualidad investigadores y personas preocupadas por las situaciones que se viven

en el estado han desarrollado tecnologías para la mejora de calidad de vida de agricultores chiapanecos. Como los que se describen a continuación:

En el 2013 la producción del zacate Te Limón (*cymbopogon citratus*) en Cintalapa en el Ejido “Los Joaquines” tenía una gran importancia económica ya que constituía un rublo exportable, puesto que de la misma planta se extraen aceites esenciales con gran utilidad en la industria farmacéutica, de cosméticos y alimentaria. Existiendo problemas para la correcta técnica de secado y por ello el Dr. Roilan Iglesias Díaz propone un deshidratador en la misma comunidad [3].

En 2019 Evelyn Citlali Espinosa López plantea un pretratamiento por cosechas debido a una sobre producción de mango en ejido San Miguel De Tonalá, Chiapas, analizando la implementación de estos dispositivos [4].

En el instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables (IIIER), perteneciente a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) ubicado en el municipio de Tuxtla Gutiérrez durante 2019 Oscar Armando Conde Diaz, desarrolló de un secador solar- biomásico rotatorio automatizado, para el deshidratado de granos de café junto a investigadores del mismo instituto. Para permitir mejorar la calidad del producto como del proceso de secado a traspatio [5].

Los recursos bioenergéticos y termo solares disponibles en las comunidades pueden ser aprovechados mediante el uso de tecnologías eficientes y económicamente accesibles, desarrolladas con la participación consciente y activa de los habitantes de estos lugares para satisfacer sus necesidades energéticas–productivas y energéticas–sociales. Por ello el Dr. Nein Farrera en su tesis de doctorado hace mención que en comunidades rurales se ha usado la energía del sol principalmente para secar productos agrícolas. Este tipo de dispositivos se clasifica en el área de tecnologías termo solares y bioenergéticas para comunidades rurales, principalmente para evitar desperdicios postcosecha y mejorar algunas cuestiones relacionadas a los alimentos [6].

1.2.3 ANTECEDENTES DEL SECADOR HÍBRIDO SOLAR BIOMÁSICO.

Anteriormente varios maestros y doctores en áreas de energías y afines, diseñaron e integraron tecnologías para una idea a la que llamaron "**Secador bioenergético solar multipropósito**" dirigidos por el Dr. Guillermo Ibáñez Duharte y sus colaboradores.

Este dispositivo como su nombre lo indica es un secador o deshidratador que permite utilizar tanto el potencial bioenergético como el solar existentes en el estado de Chiapas para la deshidratación de productos alimenticios.

El Secador biomásico solar multipropósito está planeado y compuesto por 5 partes importantes:

- Subsistema energético solar.
- Subsistema energético biomásico.
- Subsistema de secado o deshidratación de productos.
- Subsistema de inyección, adecuación y extracción de aire.
- Subsistema de regulación y control.

Este diseño incluirá un suministro de energía térmica provenientes de un sistema termo solar de tubos al vacío y de un intercambiador térmico biomásico, estos sistemas estarán acoplados a la cámara de secado para garantizar el suministro constante de la energía independientemente de las condiciones climáticas.

Por su característica de cama de secado plana vibratoria se podrán secar tanto granos como frutas y verduras. Este diseño permitirá realizar adaptaciones sencillas tanto en tamaño como en forma que permita su aplicación tanto en zonas rurales con periurbana.



Figuras 2 y 3. Imágenes del diseño del secador bioenergético multipropósito

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Chiapas es uno de los principales productores agrícolas en México. Sin embargo, una gran parte de estos frutos y granos no llega al mercado debido a factores como la sobreproducción, problemas fitosanitarios, precios bajos y la falta de canales de comercialización, así como la problemática de técnicas correctas de almacenamiento y lo más importante el hecho de no contar con tecnología integral asequible en zonas de gran producción, lo que provoca y se resume en importantes pérdidas económicas para los productores locales.

Existen diversas alternativas de procesamiento y almacenamiento, como la congelación y el enlatado, siendo estas costosas además de requerir espacios adecuados y necesidades básicas que aun a muchos lugares no llegan como son el agua potable y energía eléctrica, también está la deshidratación. Esta última es un proceso unitario que involucra la transferencia simultánea de calor y masa, lo que prolonga la vida útil de los alimentos al reducir su contenido de agua.

Siendo de gran venta ya que se obtiene como resultado la preservación de la calidad nutricional del alimento, su versatilidad y aumento de costos de almacenamiento y distribución.

Pero en un deshidratador convencional existe una completa dependencia de radiación solar, además de que también tenemos dependencia de las estaciones dado que en cada temporada no se maneja el mismo clima.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El uso de un secador solar-biomásico se basa en múltiples beneficios que principalmente ofrece para la conservación de alimentos y sostenibilidad ambiental, dado que la energía solar es una fuente de energía limpia y gratuita.

Permite además minimizar la huella de carbono asociada con otros métodos de secado, como los que utilizan electricidad o gas.

Al usar un secador o deshidratador se reducen significativamente los desperdicios. Chiapas es de los estados que más aporta en producción agrícola nacional con productos como el café, plátanos y mango [6]. Siendo este dispositivo una gran solución para la conservación de estos productos.

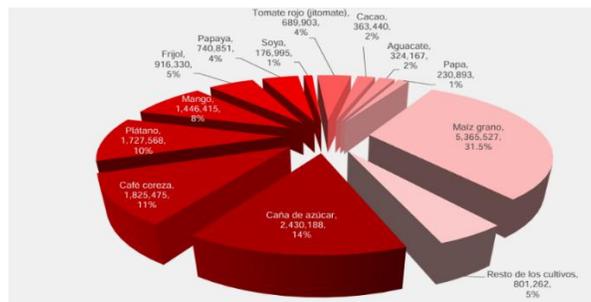


Figura 4. Principales productos agrícolas chiapanecos SAGARPA.

Para resolver estas situaciones justamente se propone un dispositivo de tecnologías integrales que permita seguir deshidratando productos por medio de acumulación térmica que garantice seguir con el proceso de deshidratado aún de noche o con climas donde no es suficiente la radiación para lograr el deshidratado adecuado del

producto. Al combinar tecnologías se acelera el tiempo de secado y podemos tener procesos ininterrumpidos sin completa dependencia del sol.

Otro punto a favor es que mejora la calidad de los productos porque se mantienen sus propiedades nutricionales y organolépticas comparado con un método tradicional de secado.

1.5 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un secador híbrido solar biomásico para el deshidratado de productos agropecuarios y su futura aplicación en comunidades rurales de Chiapas.

1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un secador basado en parámetros establecidos previamente en el diseño.

A) Diseño del dispositivo en SolidWorks con la integración de los diferentes subsistemas

B) Selección de los materiales.

B) Compra de materiales.

C) Ensamble del dispositivo.

- Evaluar el desempeño preliminar del secador teniendo en cuenta las fuentes de suministro de energías térmicas individuales y combinadas.

A) Selección de parámetros a medir y/o controlar.

B) Adquisición de instrumentos y equipos de medición.

C) Implementación de los dispositivos de medición.

D) Obtención y registro de los resultados experimentales y análisis

CAPÍTULO 2 MARCO TEORICO

Este capítulo da a conocer fundamentos básicos que intervienen en el funcionamiento de los secadores, así como otros conceptos que también se integran en los subsistemas integrados.

2.1.1 RADIACIÓN.

La radiación solar es la energía que emite el Sol y llega a la Tierra en forma de luz y calor. Esta energía es fundamental para numerosas aplicaciones y procesos naturales y humanos [7]. Algunos aspectos clave sobre la radiación solar principalmente son como fuente de Energía. utilizada en diversas aplicaciones, como la generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos o el impacto en la Fotosíntesis.

2.1.2 CONVECCIÓN.

La convección es un proceso de transferencia de calor que ocurre cuando un fluido (líquido o gas) se mueve debido a diferencias de temperatura dentro del fluido. Este movimiento se debe a la variación en la densidad del fluido causada por el calentamiento o enfriamiento [8].

Los tipos de convección pueden ser:

- De forma Natural: Ocurre sin la intervención de fuerzas externas, como bombas o ventiladores. Se produce cuando un fluido se calienta, se expande y se vuelve menos denso que el fluido circundante, lo que lo hace subir. A medida que el fluido se enfría, se contrae y se vuelve más denso, lo que lo hace descender. Este ciclo de subida y descenso crea una circulación de fluido conocida como célula de convección.
- De forma Forzada: Se produce cuando se utiliza una fuerza externa, como una bomba o un ventilador, para mover el fluido. Esto aumenta la velocidad del flujo y mejora la transferencia de calor

2.1.3 TEMPERATURA.

La temperatura es una magnitud física que mide la energía cinética promedio de las partículas en una sustancia, en términos simples, indica qué tan caliente o frío está un objeto o ambiente, se mide en grados Celsius (°C), Fahrenheit (°F) o Kelvin (K).

Se define en el contexto del equilibrio térmico, cuando dos sistemas están en equilibrio térmico, no hay intercambio neto de energía en forma de calor entre ellos [9].

2.1.4 HUMEDAD.

La humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en un medio, como el aire, un sólido o un líquido, en el secado de frutas y verduras se elimina el agua, lo que inhibe el crecimiento de microorganismos y prolonga su vida útil [10].

2.1.5 VELOCIDAD DEL VIENTO.

La velocidad del viento es un factor crítico en los procesos de secado, ya que influye directamente en la tasa de evaporación del agua de los materiales, este proceso se basa en la transferencia de calor y masa, donde el aire caliente y seco absorbe la humedad del material. La velocidad del viento afecta tanto la transferencia de calor como la transferencia de masa [11].

2.1.6 DESHIDRATACIÓN EN ALIMENTOS.

La deshidratación es un proceso fundamental en la conservación de alimentos, que consiste en eliminar la mayor parte del agua presente en los productos alimenticios, esto se realiza con el objetivo de extender su vida útil, facilitar su almacenamiento y transporte, y en algunos casos, mejorar sus propiedades organolépticas. Se subdividen en:

- Deshidratación Solar: siendo un método económico y ecológico que utiliza la energía del sol para eliminar la humedad de los alimentos.

- Deshidratación osmótica es una técnica que consiste en sumergir los alimentos en soluciones concentradas de azúcares o sales.

2.1.7 QUE ES UN SECADOR SOLAR.

Un secador solar es un dispositivo diseñado para eliminar la humedad de los alimentos utilizando la energía solar. Este método de deshidratación es eficiente y sostenible, ya que aprovecha la radiación solar para calentar el aire que circula alrededor de los alimentos, facilitando así la evaporación del agua [12].

2.1.8 TIPOS DE SECADORES SOLARES.

Se pueden subdividir en varias tecnologías siendo las principales las que se describen a continuación

- **Secadores Solares Directos:** Estos secadores exponen directamente los alimentos al sol, suelen tener una estructura simple, donde los productos se colocan en bandejas dentro de una cámara que permite la entrada de luz solar, siendo el aire caliente el que deshidrata los alimentos [13].
- **Secadores Solares Indirectos:** En este tipo, el aire caliente se genera en un colector solar y luego se dirige a una cámara de secado donde se encuentran los alimentos, esto permite un mejor control de la temperatura y la humedad, protegiendo los alimentos de la exposición directa al sol, lo que puede ser beneficioso para ciertos productos sensibles.
- **Secadores Solares Híbridos:** Combinan la energía solar con otras fuentes de energía, como biomasa o electricidad, para garantizar un funcionamiento continuo incluso en días nublados, estos sistemas son más complejos y permiten un mayor control sobre las condiciones de secado [14].

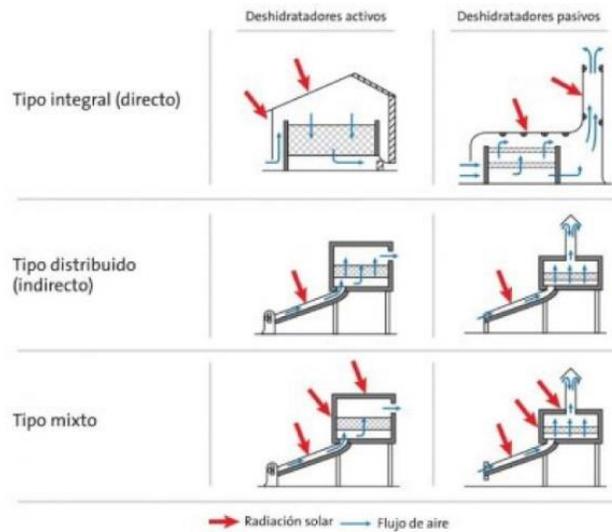


FIGURA 5. REPRESENTACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE DESHIDRATADORES SOLARES.

2.1.9 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN SECADOR SOLAR-BIOMÁSICO.

Estos dispositivos funcionan aprovechando la radiación solar para calentar el aire y retirar el agua de los tejidos de los productos a secar. A continuación, se detallan los procesos implicados:

1. Captación de Radiación Solar: Los deshidratadores solares utilizan colectores solares para captar la radiación solar, estos colectores pueden ser simples, como placas de absorción, o más complejos, como sistemas de tubos y reflectores.
2. Calentamiento del Aire: La radiación solar calienta las paredes del colector, lo que a su vez calienta el aire fresco que entra en el sistema, este aire caliente es entonces conducido hacia la cámara de secado.

3. **Circulación de Aire y Secado:** El aire caliente circula a través de la cámara de secado, donde se encuentran los productos a deshidratar, la convección natural o forzada (mediante ventiladores) ayuda a distribuir uniformemente el calor y a retirar la humedad de los productos, el agua contenida en los productos se evapora y se transporta con el aire caliente hacia la parte de la cámara de secado.

4. **Evacuación de Humedad:** El aire cargado de humedad sale por la parte superior del área de secado y se disipa en el ambiente, esto mantiene un flujo constante de aire seco que ayuda a acelerar el proceso de deshidratación [15]

2.1.10 CURVAS DE SECADO

Son una representación gráfica que muestra la relación entre el contenido de humedad de un material y el tiempo durante un proceso de secado.

Esta curva es fundamental para entender cómo se comporta un material al ser deshidratado y permite optimizar las condiciones del secado para diferentes productos [16].

Se compone de 4 fases que se describen a continuación

Fase de Humedad Libre: Al inicio del proceso, el material tiene un alto contenido de humedad, en esta fase la evaporación del agua es rápida y ocurre principalmente en la superficie del material.

Fase de Secado Constante: Durante esta fase, la tasa de evaporación se mantiene constante, ya que el aire circundante puede absorber toda la humedad que se evapora, esta fase se caracteriza por una disminución gradual del contenido de humedad del material.

Fase de Secado Descendente: A medida que el contenido de humedad disminuye, la evaporación se vuelve más lenta y se produce una caída en la tasa de secado, en esta etapa, el agua está más unida a las partículas del material, lo que dificulta su eliminación.

Punto de Equilibrio: Finalmente, se alcanza un punto donde el contenido de humedad del material se estabiliza y coincide con la humedad relativa del ambiente, conocido como punto de equilibrio

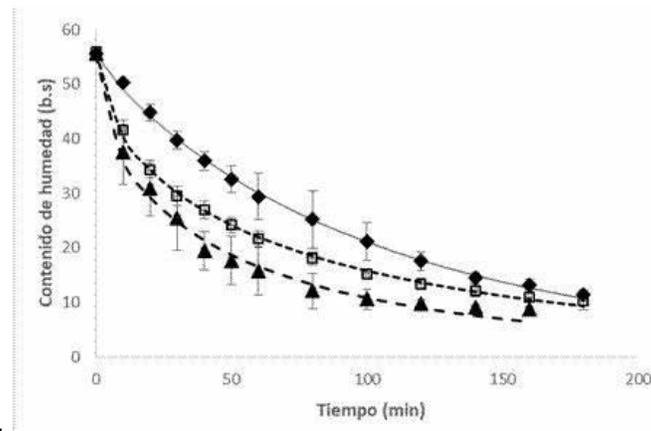


FIGURA 6. REPRESENTACIÓN DE CURVA DE SECADO.

2.1.11 BIOMASA Y SUS PROCESOS PARA OBTENCIÓN DE ENERGÍA.

La biomasa se define como cualquier materia orgánica que proviene de plantas y animales, esta incluye residuos agrícolas, forestales, desechos orgánicos y cultivos energéticos. La biomasa puede ser utilizada directamente como combustible o transformada en biocombustibles, biogás y otros productos energéticos [17]

Las fuentes de biomasa pueden clasificarse en: 3 que son residuos agrícolas, residuos forestales y cultivos energéticos

La conversión de biomasa en energía puede realizarse a través de diferentes procesos como son:

- **Combustión:** La biomasa se quema para generar calor, que puede ser utilizado para producir electricidad o calefacción.
- **Fermentación:** Los azúcares presentes en la biomasa se convierten en etanol mediante procesos fermentativos.
- **Digestión anaerobia:** La descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno produce biogás, que es una mezcla de metano y dióxido de carbono.
- **Gasificación:** La biomasa se convierte en gas combustible a altas temperaturas con un agente gasificante.

2.1.12 SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.

El sistema fotovoltaico se basa en el efecto fotoeléctrico, donde la radiación solar incide sobre un material semiconductor (generalmente silicio), generando pares de electrones y huecos. Este proceso da lugar a una corriente eléctrica cuando se conectan las celdas en un circuito. [18]

Los materiales usados pueden subdividirse en:

- **Material Semiconductor:** Principalmente silicio, que puede ser monocristalino, policristalino o amorfo.
- **Capas Doping:** Se utilizan impurezas para crear una región positiva (p) y una negativa (n), formando una unión p-n que es esencial para la generación de electricidad.

Sus principales componentes son:

- Paneles Solares: Conjuntos de celdas solares que capturan la luz solar y la convierten en electricidad.
- Inversores: Dispositivos que convierten la corriente continua (CC) generada por los paneles en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad utilizada en la mayoría de los hogares y empresas.
- Sistemas de Montaje: Estructuras que sostienen los paneles solares, optimizando su orientación y ángulo para maximizar la captación solar.
- Baterías (en sistemas autónomos): Almacenan energía para su uso cuando no hay luz solar disponible.
- Controladores de Carga: Regulan la carga y descarga de las baterías, protegiéndolas de sobrecargas o descargas excesivas.

Los tipos de sistemas que pueden encontrarse generalmente son:

- Sistemas Conectados a la Red: Invierten energía en la red eléctrica, permitiendo el uso de electricidad generada por otros medios cuando no hay sol.
- Sistemas Autónomos: Funcionan independientemente de la red eléctrica, ideales para áreas remotas.
- Sistemas Híbridos: Combinan energía solar con otras fuentes, como generadores diésel o turbinas eólicas, para asegurar un suministro constante.

2.1.13 SISTEMA DE VENTILACIÓN.

Los secadores solares utilizan la radiación solar para calentar el aire, que luego se utiliza para evaporar la humedad de los productos a secar. La ventilación en estos

sistemas es esencial para asegurar un flujo adecuado de aire, lo que mejora la transferencia de calor y humedad entre el aire y los productos [19].

Se pueden dividir en 2 tipos:

- Ventilación Natural: Utiliza diferencias en la presión del aire y temperatura para generar flujo sin necesidad de energía externa. Se basa en la convección natural, donde el aire caliente asciende y crea un vacío que atrae aire fresco.
- Ventilación Forzada: Emplea ventiladores para mover el aire a través del sistema, lo que permite un control más preciso sobre las condiciones de secado y puede aumentar significativamente la eficiencia del proceso.

2.1.14 Sistema termo solar.

La energía termo solar, también conocida como energía solar térmica, es una tecnología que aprovecha la radiación solar para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente o convertido en electricidad.

Se basa en el principio de concentración de la radiación solar, a través de diversos tipos de colectores, se captura la energía del sol y se transforma en calor, este calor puede ser utilizado para calentar un fluido caloportador, que luego puede ser empleado en procesos industriales, calefacción o generación de electricidad [20].

2.1.15 SISTEMA DE ACUMULACIÓN TÉRMICA.

Los sistemas de acumulación térmica son tecnologías diseñadas para almacenar energía en forma de calor, permitiendo su uso posterior cuando la demanda supera la oferta. Estos sistemas son especialmente relevantes en aplicaciones que utilizan energía solar térmica, donde la producción de calor no siempre coincide con el momento en que se necesita.

Existen 3 tipos de sistemas de acumulación térmica que son acumulación latente, acumulación química y la que es de gran relevancia en este proyecto la acumulación sensible que se describe a continuación:

Acumulación Sensible: Utiliza materiales como agua o roca para almacenar calor, el almacenamiento se basa en el aumento de temperatura del medio sin cambiar de fase, este tipo de acumulación es común en aplicaciones residenciales y comerciales, donde se calienta agua en momentos de alta disponibilidad energética y se utiliza posteriormente [21].

2.1.16 EVALUACIONES EN DESHIDRATADORES SOLARES.

Se evalúa un deshidratador solar por varias razones clave que se centran en la eficiencia, la sostenibilidad y la calidad del producto final. A continuación, se detallan los principales motivos para realizar estas evaluaciones:

- En cuanto a la eficiencia energética se realiza un monitoreo de variables termodinámicas: la evaluación permite el monitoreo de variables como la irradiación solar, la temperatura del aire y la humedad relativa, que son fundamentales para determinar la eficiencia del proceso de deshidratación.
- En calidad del producto, para relacionar temperatura y humedad y dando lugar a las evaluaciones no sólo identifican deficiencias, sino que también permiten desarrollar propuestas para mejorar el diseño y funcionamiento del deshidratador, asegurando su viabilidad económica y técnica en el mercado local.

2.1.16 ECUACIONES QUE DESCRIBEN EL COMPORTAMIENTO DE UN DESHIDRATADOR SOLAR.

El comportamiento de estos dispositivos se puede describir mediante diversas ecuaciones matemáticas que modelan la transferencia de calor y masa, algunas de

las ecuaciones más relevantes utilizadas en la evaluación y diseño de estos sistemas son las que se describen en este apartado:

Balance energético:

$$Q_g = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in})$$

Donde:

Q_g : es el calor ganado por el aire (W).

\dot{m} : es el flujo másico del aire (kg/s).

c_p : es la capacidad calorífica del aire (J/kg·K).

T_{out} y T_{in} : son las temperaturas del aire a la salida y entrada del deshidratador, respectivamente.

Ecuación de Convección:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_a)$$

Donde:

Q : es el calor transferido (W).

h : es el coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²·K).

A : es el área de la superficie de intercambio térmico (m²).

T_s : es la temperatura de la superficie del deshidratador (K).

T_a : es la temperatura ambiente (K).

Ecuación para el Flujo Másico de Agua Evaporada

$$R = h_D \cdot (w - w_e)$$

Donde:

R : es la tasa de secado (kg agua/kg materia seca/minuto).

h_D : es el coeficiente de transporte de masa (m^2/s).

w : es el contenido de humedad del sólido húmedo.

w_e : es la humedad específica del aire entre la entrada y salida.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE CONSTRUCCION DEL SECADOR SOLAR HÍBRIDO- BIOMÁSICO

Este capítulo describe toda la parte de ensamble y procedimientos de construcción implicados el desarrollo y procedimiento del secador solar híbrido biomásico pensando en que se garantice un buen desempeño del prototipo y, al mismo tiempo, faciliten la implementación de un proceso de construcción y evaluación de manera práctica y efectiva.

3.1 MATERIALES Y HERRAMIENTAS.

En cualquier proyecto, ya sea en el ámbito de la construcción, la artesanía, la ingeniería o la ciencia, la elección adecuada de materiales y herramientas es fundamental para el éxito y la calidad del resultado final, es por eso que como primer paso se seleccionaron los materiales y herramientas adecuados para la construcción del dispositivo.

3.2 CONSTRUCCIÓN DEL DESHIDRATADOR SOLAR- HÍBRIDO BIOMÁSICO.

Después de seleccionar los materiales y las herramientas, se procede a la construcción del dispositivo diseñado. Este apartado se centra en los pasos que

guían la planificación y ejecución para todos los subsistemas que integran al secador solar biomásico.

3.2.1 SUBSISTEMA DE CÁMARA DE SECADO O DESHIDRATACIÓN DE PRODUCTOS.

Es importante contar con una cámara de deshidratación pues es un sistema diseñado para eliminar la humedad de los alimentos u otros materiales, para poderla construir se realizaron los siguientes pasos.

Primero se hace el montaje de toda la estructura interna y de la cámara de secado donde se ponen y acomodan las paredes aislantes del sistema que es la base del dispositivo, así también se realiza el acondicionamiento del techo para que también sea aislante y permita mantener el calor.

Otra parte importante en el sistema son las puertas que darán acceso a poder colocar los productos a deshidratar para ello se acoplan en el espacio determinado, así como también los aditamentos que harán mejor su funcionamiento ya que como las puertas abren hacia arriba necesitan de un soporte y otros detalles.

Después de tener ensamblada el área de deshidratación es muy importante asegurar el recubrimiento y aislamiento térmico en las uniones de las paredes y el techo para evitar pérdidas de calor como de temperatura que afecten el rendimiento del dispositivo.

3.2.2 SUBSISTEMA ENERGÉTICO BIOMÁSICO.

Este subsistema es el que se encargara de producir el calor a través de la biomasa haciendo el ensamble de una cámara de combustión diseñada para maximizar la eficiencia del proceso de combustión, esto se logra mediante un diseño que optimiza la mezcla de aire y combustible, permitiendo que la biomasa se consuma de manera más completa, siendo parte de uno de los subsistemas que ayudaran a reducir la

dependencia de la radiación en el proceso de secado, llevando el siguiente procedimiento que dividiremos en 3 partes fundamentales.

3.2.2.1 CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

Para realizar este subsistema se piensa en el acomodo e implementación del diseño que previamente fue establecido y con esa idea ya se trabaja algo en concreto. Procedemos ir acomodando dentro de la cámara de secado la cámara de combustión para observar la distribución de espacio final entre ambas piezas.

En este sentido se irán haciendo pruebas preliminares del acomodamiento y fijación y cuando ya se adapte a lo que se busca se proceden y verifican fugas y conexiones que no permitan el correcto funcionamiento.

3.2.2.2 CHIMENEA RADIANTE.

Una chimenea se encarga de evacuar gases no deseados, hay muchos modelos, pero se optó por uno de cajón dado que debe conectar con la cámara de combustión desde debajo de la cámara de deshidratación hasta el exterior para ello hace el ensamble del cajón. Una vez hecho el cajón se hacen pruebas preliminares para acomodar todo dentro de la cámara de deshidratación atravesando toda la cámara verificando que todo esté en su lugar.

Posterior a ello se hace el montaje horizontal y vertical de la chimenea fijando todos los puntos y se lleva a cabo también la verificación de fugas y conexiones que no permitan la correcta extracción del humo. Se ajustan últimos detalles de estética y funcionamiento y nuevamente se deben hacer los aislamientos correspondientes de calor para que tampoco existan fugas.

3.2.2.3 SISTEMA DE RESPALDO Y ACUMULACIÓN TÉRMICA.

Este sistema se implementó sobre la chimenea radiante para sostener las piedras y transferirles el calor, para lograr eso se tiene que tomar medidas para un soporte como refuerzo estructural.

Reforzada la estructura se realiza un cajón de lámina que es el que llevara las piedras por dentro para que se puedan calentar. Este cajón debe tener agujeros

para que cuando el aire entre dentro de él se pueda disipar el calor absorbido, logrando que este pueda subir hacia los productos en deshidratación, para ello se perfora la tapa permitiendo que a través de los agujeros tenga una mejor circulación del aire caliente.

Se seleccionaron piedras de río porque tienen mejor acumulación térmica. Las piedras se recolectaron en un río a las orillas del municipio de Chicoasén.

3.2.3 SUBSISTEMA ENERGÉTICO FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.

Para evitar inconvenientes en el funcionamiento por acceso a energía eléctrica en el sistema de circulación forzada del deshidratador se implementa un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica.

En su instalación se colocaron estructuras y soportes para los paneles arriba del techo del dispositivo, posteriormente se realiza el montaje de los paneles fotovoltaicos para los anclajes y soportes del sistema. Se continúa haciendo la conexión y ponchado de la instalación fotovoltaica para permitir la conexión a los demás equipos.

Para mayor seguridad de los componentes del sistema se procede con la creación de estructura garantizando que también estén protegidos de factores climatológicos. Con la estructura se puede ahora realizar la conexión de los componentes del sistema que son el inversor, la batería y controlador. Después se revisan componentes y se procede a probar el sistema.

3.2.4 SUBSISTEMA DE CIRCULACIÓN FORZADA.

El secador cuenta con un termotanque adecuado para que caliente el aire por medio de energía termo solar antes de entrar a la cámara de deshidratación.

Bajo este concepto se toman medidas del termotanque para hacer modificaciones necesarias en su estructura y permitir hacer un buen sistema de circulación bajo el diseño de un peine inyector de aire.

En las adecuaciones procedemos a probar el ensamble del peine inyector de aire.

Para realizar el peine se marcan, perforan y soldan tubos de aluminio sobre la estructura. Cuando esté ya se acoplo se realizan las pruebas de funcionamiento de distribución del aire dentro del peine.

Para que la estructura pueda estar dentro del termotanque se realizaron las incorporaciones de estructuras que ayuden dando soporte, así como la subida del termotanque al techo y nuevamente el ensamble adentro arriba del sistema.

Se lleva a cabo la limpieza y verificación de los tubos al vacío que se usaran. Se procede a hacer el ensamble de los tubos al vacío para lograr que la estructura del peine inyector quede dentro de ellos. Y que el aire pueda interactuar de manera adecuada. De esta manera se ejecuta el ensamble y soldado de los tubos por donde fluirá el aire de todo nuestro sistema de circulación forzada. Así como también se realiza el aislamiento térmico de todas las tuberías por donde circulara el aire y finalmente se colocan los extractores de humedad.

3.2.5 EVALUACIONES PRELIMINARES.

Para llevar a cabo las evaluaciones preliminares lo primero que se determinan son las variables a evaluar esto se llevó a cabo una extensa revisión bibliográfica. Después se seleccionaron los dispositivos adecuados para monitorear las variables dentro de la cámara de secado y fuera de ella.

Se harán evaluaciones en vacío permitiendo monitorear el comportamiento del dispositivo utilizando primero la tecnología de bioenergética, después la tecnología termo solar y por último la combinación de ambas.

Finalmente se realizarán gráficos para hacer un análisis de las evaluaciones realizadas al dispositivo.

CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSION.

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de la construcción del secador solar híbrido, así como la descripción de evaluaciones preliminares y gráficos de la temperatura alcanzada en nuestro dispositivo.

4. 1 MATERIALES Y HERRAMEINTAS

Se muestran a detalle los materiales y herramientas usados en la construcción del dispositivo, así como una breve descripción en el apartado de anexos

4.2 SUBSISTEMA DE SECADO O DESHIDRATACIÓN DE PRODUCTOS (CÁMARA DE DESHIDRATACIÓN).

Se hizo el montaje de toda la estructura interna y de la cámara de secado para ello lo primero que se realizó es el montaje del anaquel (estructura de soporte) puesto que es una estructura sólida y resistente. Posteriormente se acoplan las paredes aislantes del multipanel a la estructura.

Al instalar el primer panel, nos aseguramos de que esté perfectamente alineado y cuadrado para ir acomodando los siguientes tramos. Para la instalación se usaron tornillos hexagonales de 4 pulgadas, asegurando que atraviesen la estructura del multipanel quedando dicho multipanel fijado a la estructura.



FIGURA 7. MONTAJE DE LAS PAREDES.

Posteriormente se realizó el acondicionamiento del techo para ello se usaron 4 láminas primero se usaron 2 láminas en la parte de abajo, encima se colocó fibra cerámica y arriba de la fibra se colocaron otras 2 láminas, haciendo así el techo térmico logrando aumentar la capacidad de aislamiento dentro de la cámara de secado. Para manejar y cortar la fibra cerámica es importante usar guantes porque es un material agresivo a la piel y que debe manipularse con precaución.



FIGURA 8. CORTE Y RELLENO DE FIBRA CERÁMICA PARA EL TECHO.



FIGURA 9. VISTA LATERAL DEL ADITAMENTO TÉRMICO PARA EL TECHO.

Posteriormente el techo térmico se fija a las paredes de la cámara de deshidratación.



FIGURA 10. ESTRUCTURA INTERNA DE SOPORTE EN EL TECHO.

Después de subir el techo se realiza un sellado general del mismo y de su unión con las paredes para evitar pérdidas de calor.



FIGURA 11. SELLADO GENERAL DEL TECHO.

Posteriormente se acomodaron las puertas junto a sus aditamentos usando 2 pares de bisagras de camión puesto que son las que soportaran todo el peso del material y deben ser resistentes para que soporten la fricción de abrir y cerrar

constantemente. De igual manera se nivelan ambas puertas, se marca dónde irán las bisagras y se perfora para atravesar los tornillos para su sujeción con la cámara de secado.

Para tener un mejor control de las puertas se colocaron 2 soportes de tubos de aluminio una a cada lado, para evitar que las puertas se levanten se les colocó un cerrojo por la parte de abajo



FIGURA 12. PUERTAS Y ADITAMENTOS.

Después de instalar la puerta se hizo el recubrimiento y aislamiento térmico de la cámara de secado, para evitar fugas de calor se cubrieron las uniones del multipanel por la parte exterior con ángulos de aluminio fijados con pijas autotaladrables y por la parte del techo se usó poliuretano también entre las paredes y el techo.



FIGURAS 13 Y 14. FIJACIÓN DEL RECUBRIMIENTO Y AISLANTES TÉRMICOS

4.3 SUBSISTEMA ENERGÉTICO BIOMÁSICO

4.3.1 CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Se construyó una cámara de combustión para biomasa que es fundamental en la generación de energía térmica como respaldo al sistema térmico solar. Dentro de la cámara de combustión se implementó un sistema que permite la entrada controlada de aire primario y aire secundario, tal como se observa en las figuras 73 y 74

El diseño consta de una lámina en forma de zigzag lo que obliga a que el aire de entrada sólo circule hacia la salida y no retorne el humo. De esta manera se logra mayor eficiencia.



FIGURA 15 Y 16. SISTEMA DE AIRE INTERNO EN CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

Se realizó el ensamble de la cámara de combustión, así como el aislamiento térmico y recubrimientos. Se usaron ladrillos y fibra cerámica para que también tenga aislamiento térmico



FIGURA 17. ENSAMBLE DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.

Se implemento el acomodamiento de la cámara de combustión dentro de la cámara de secado para que quede centrada y se proceda a acomodar los demás componentes que van junto con ella.



FIGURA 18. PRUEBAS DE CÁMARA DE COMBUSTIÓN EN CÁMARA DE SECADO.

4.3.2 CHIMENEA RADIANTE.

Se realizó un ensamble de la chimenea radiante que está constituida de láminas galvanizadas, sus dimensiones son de 1.60 m de largo por 1.80 m de alto y 0.50 m de ancho.

La chimenea se acopló con la cámara de secado. Posteriormente se realizó el montaje de la estructura y se procedió a fijar, encajonar y sellar con pijas autotaladrables como se observa en las figuras 77 y 78.



FIGURAS 19 Y 20 FIJACIÓN PRELIMINAR DE LA CHIMENEA

A continuación, se hizo un gorro o sombrero que nos sirve para evitar que en condiciones climatológicas de lluvia el agua no entre en la chimenea, para ello se midió el ancho y largo de la parte superior del tubo de la chimenea donde se colocará el gorro, asegurando que se añadieran unos centímetros adicionales a cada lado para que el gorro tenga un buen ajuste y protección.

Con la regla y el lápiz, se traza un cuadrado en la lámina galvanizada con las dimensiones anteriores, más los márgenes adicionales.

Se usaron las tijeras para cortar el metal y se cortaron cuatro tiras rectangulares de lámina galvanizada que formarán las paredes laterales del gorro para poder fijarlo y que tenga soporte.



FIGURA 21. GORRO DE LA CHIMENEA.

Además, se encendió la cámara de combustión para corroborar que el sellado fuera el adecuado y que no existiera salida del humo por las partes laterales de la chimenea.



FIGURAS 22 Y 23 PRUEBAS DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Para evitar ceder calor al ambiente por la parte trasera de la chimenea se colocó una lámina y se rellenó con fibra de cerámica, para fijarla se usaron nuevamente pijas autotaladrables.



FIGURA 24. LÁMINA DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE LA CHIMENEA

4.2.3 SISTEMA DE RESPALDO Y ACUMULACIÓN TÉRMICA.

Nuestro sistema de acumulación térmica funciona tanto con el sistema bioenergético y como con el sistema termo solar.

SISTEMA DE RESPALDO Y ACUMULACIÓN TÉRMICA CON SISTEMA BIOENERGÉTICO.

Las piedras de río son un material natural que se utiliza en sistemas de acumulación térmica, este tipo de sistema aprovecha la capacidad de las piedras para almacenar y liberar calor, lo que se conoce como disipación. Al mantener contacto con una superficie caliente como lo es la chimenea radiante estas irán acumulando calor y después de dejar de poner biomasa en la cámara de combustión las piedras ayudarán a mantener las temperaturas adecuadas dentro de la cámara de deshidratación.

Para el sistema de acumulación térmica se construyó un cajón de lámina galvanizada con soportes donde se colocaron las piedras en función del peso de cada una, este cajón se coloca encima de la chimenea para recibir el calor radiante de esta y así almacenarlo en las piedras.



FIGURAS 25 Y 26. ESTRUCTURA Y ENSAMBLE DEL SOPORTE PARA EL SISTEMA DE ACUMULACIÓN TÉRMICA.



FIGURA 27. DISTRIBUCIÓN PREVIA DE LAS PIEDRAS.

SISTEMA DE RESPALDO Y ACUMULACIÓN TÉRMICA CON SISTEMA TERMO SOLAR.

Se hace un orificio en el cajón de lámina donde ingresara el tubo de salida de aire caliente que baja del sistema termo solar, esto permite que el fluido tenga contacto con las piedras logrando que al pasar por ellas circule de tal manera que permita la acumulación de calor en las piedras y su paso hacia los productos en la cámara de deshidratado.

A la tapa del cajón de lámina donde están colocadas las piedras se le realiza perforaciones para que el aire caliente que baja del colector llegue a las piedras y así sea más fácil el intercambio de calor entre las piedras y la superficie.



FIGURAS 28 Y 29 PROCESO DE PERFORACIÓN DE LA LÁMINA.

4.4 SUBSISTEMA ENERGÉTICO FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.

Para el suministro de energía eléctrica de los dispositivos usados en el sistema de circulación forzada se implementó un sistema fotovoltaico autónomo constituido por 2 paneles fotovoltaicos de longi LR5-72HPH-540-560M cada uno, un controlador solar de carga MPPT epever 40, un inversor DeWalt 1000W una batería Litio Fosfato de hierro Cycle 12,8 Vdc 100 Ah. Conectados en paralelo pues el voltaje se mantiene constante a través de todos los paneles logrando que la conexión en paralelo sume las corrientes generadas por cada panel.

En primer lugar, se colocaron 2 rieles sobre el techo del secador que sirven como estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos

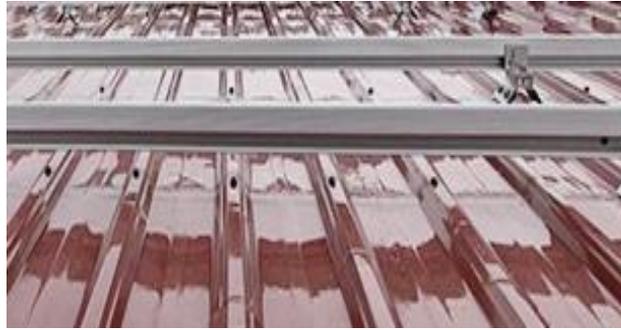


Figura 30. Estructura de los paneles fotovoltaicos.

Una vez instalados los rieles, se proceden a subir los paneles fotovoltaicos. Para este proceso se necesitó la ayuda de varias personas puesto que son pesados y también para un mejor manejo y acomodo de los mismos.



Figuras 31 y 32. Instalación de los módulos fotovoltaico.

Después de subir los paneles se procede al anclaje y aseguramiento de los mismos. También se realiza con la ayuda de otra persona para que puedan quedar bien ajustados los anclajes.



FIGURA 33 Anclaje de los módulos a la estructura.

Posteriormente de fijar los módulos se realiza el ponchado de los cables y su conexión en paralelo para mantener el voltaje y aumentar la corriente esto para que el voltaje se mantiene constante a través de todos los paneles, lo que significa que si un panel genera menos energía permitiendo sumar las corrientes generadas por cada panel dando como resultado que se mantenga el mismo voltaje. Para ello se usó cable fotovoltaico calibre 12 y conectores MC4 hembra y macho, todo esto con ayuda de pinzas y una ponchadora.



Figura 34. Conexión de los paneles fotovoltaicos.

Se realizó una estructura de madera que dará soporte a los componentes del sistema solar autónomo para mayor seguridad y se pintó para tener una mejor estética.



Figura 35. Pintado de la estructura de los componentes del sistema fotovoltaico.

Una vez instalados los componentes en la estructura de madera se procede a hacer la conexión de los módulos con el controlador y la batería y esta con el inversor.



FIGURA 36. CONEXIÓN DE CONTROLADOR.

Se realizó un techo a la estructura de madera para evitar que los componentes se mojen y estén a la intemperie.



Figura 37. Sellado del domo de los componentes.

4.5 SUBSISTEMA DE INYECCIÓN, ADECUACIÓN Y EXTRACCIÓN DE AIRE.

Para la realización del sistema de inyección, adecuación y extracción de aire se realizó una estructura de PTR unida con tubos de aluminio a la que coloquialmente le llamamos peine. Esta estructura fue colocada dentro del termotanque atravesando su largo y sobresaliendo los tubos de aluminio que posteriormente se introdujeron dentro de los tubos al vacío



Figuras 38 y 39. Pruebas del peine inyector del aire perforación del termotanque.

Se lleva a cabo la instalación de dos estructuras metálicas en los laterales de nuestra cámara de secado para posteriormente instalar el termotanque.



Figura 40. Instalación del sistema.

Una vez implementado el termotanque se colocan los tubos al vacío que previamente se limpiaron de la acumulación de polvo y se verificó que estuvieran en buen estado. Los tubos se colocaron con mucha precaución en los espacios establecidos, cabe mencionar que esto se hace con ayuda para tener mejor control y manejo, así como por seguridad, porque son tubos de cristal y se debe guardar precaución.

Al colocar los tubos es recomendable que se use algún lubricante en las puntas facilitando el acomodamiento de estos con el termotanque.



Figuras 41 y 42. Instalación de los tubos al vacío.

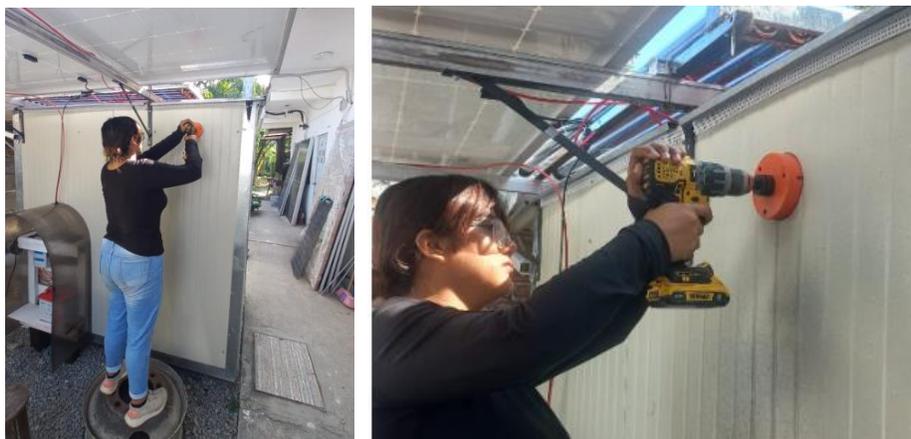
Después de colocar el termotanque y acoplar los tubos al vacío se procedió con el ensamblado de las tuberías de entrada y salida de aire con las uniones de aluminio y se soldaron para evitar que el usuario tenga un accidente.

Luego se realizó el sellado y aislamiento para el aire caliente y mantener eficiencias altas donde se usaron también fibra cerámica y silicón de alta temperatura y se recubren con más aislantes y otros materiales como poliuretano y cinta de aluminio en la parte de la salida de aire caliente.



Figuras 43 y 44. Recubrimiento térmico.

Finalmente se hizo un orificio en la pared lateral derecha para colocar un extractor de aire que ayuda a expulsar la humedad de la cámara de secado. El lugar del orificio se hizo estratégicamente en el punto de mayor acumulación de humedad dentro de la cámara de secado. Para ello se utilizó un taladro inalámbrico y una broca con saca bocado de 4 pulgadas.



Figuras 45 y 46. Colocación del extractor.

4.6 EVALUACIONES PREELIMINARES DEL SECADOR HÍBRIDO SOLAR BIOMÁSICO.

Selección de variables.

Como se mencionó en la metodología en primer lugar se identificaron las variables de medición, estas son la temperatura, la humedad, peso de la leña y tiempo.

Selección de equipos de medición.

Los equipos de medición que se usaron para las pruebas son los siguientes, tomando en cuenta su margen de error.

Equipo y/o sensor	Margen de error y rango
Registadores de temperatura y humedad del modelo USB-502-LCD	± 0.5 °C en el rango de -20 °C a 50 °C y ± 1 °C fuera de este rango y $\pm 3\%$ HR en el rango de 20% a 80% HR y $\pm 5\%$ HR fuera de este rango
Datalogger Measurement Computing USB-TEMP-AI	De 0 °C a 100 °C: ± 0.38 °C (máx), ± 0.11 °C (típico). Y de 100 °C a 300 °C: ± 0.39 °C (máx), ± 0.12 °C (típico).
Termopares tipo K	De -40 °C a 1000 °C: ± 2.5 °C o ± 0.0075 * (t). y De 1000 °C a 1200 °C: ± 2.5 °C o ± 0.0075 * (t).
Báscula	0.6kg (600 g) como desviación máxima del peso real

Tabla 1 Margen de error de sensores y equipos de medición

Evaluación en vacío.

La evaluación se llevó a cabo con la siguiente metodología.

1. Evaluación en vacío con cámara de combustión.
 - a) Se establecieron 4 puntos de monitoreo con los termopares tipo k para medir temperatura de la entrada del aire caliente, la temperatura en superficie de las piedras del sistema de almacenamiento térmico, la temperatura al centro de la cámara de secado y la temperatura emitida por la chimenea. Además, se

utilizaron 2 registradores de datos tipo USB para medir la temperatura y humedad en el centro de la cámara de secado y en el exterior del deshidratador.

- b) Con los puntos de medición establecidos se procedió a instalar el programa InstaCal para medir y monitorear la temperatura en tiempo real con los sensores tipo K. También se instaló el programa EasyLogUSb para recabar los datos de temperatura y humedad de nuestros registradores tipo USB.
- c) Una vez establecidas las variables a medir, la adquisición de los equipos de medición y la colocación de estos en los puntos requeridos, se procedió a realizar una prueba para determinar el consumo total de leña que el dispositivo requiere para mantener una temperatura estable. Para ello se pesaron inicialmente 5kg de leña y se midió el tiempo en que tardaba en consumirse que fueron 50 minutos hasta que sólo quedaron brasas. Si se esperaba hasta este tiempo en el en las mediciones se observó que abrían picos al subir y bajar la temperatura de forma brusca por lo que no se lograba mantener un valor de temperatura constante, para evitar esto y mantener una temperatura estable se determinó iniciar con 5kg de leña y después de 15 minutos ir introduciendo 1 leño de entre 800gr y 1kg para que la flama de combustión permaneciera adecuada.

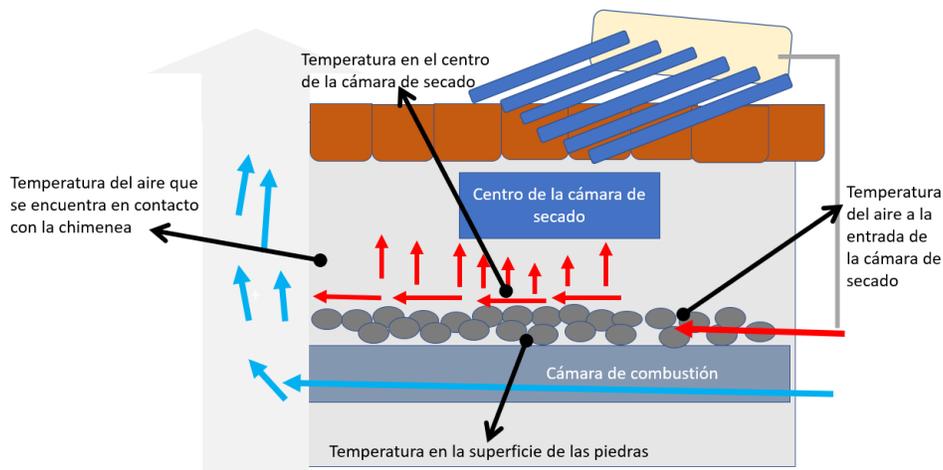


Figura 47 Circulación del aire dentro del dispositivo y ubicación de los sensores de medición

4.7 Resultados obtenidos

Evaluación del deshidratador con el sistema de biomasa.

Se inició la primera evaluación de secado usando el sistema de biomasa a las 8:30 am cuando aún no hay tanta presencia de radiación solar y con lo establecido en pruebas anteriores se ocupan 5 kg de leña para empezar a estabilizar la cámara de deshidratación entre 70 °C y 75 °C, para la prueba se cubrió el sistema termo solar simulando las no presencia de radiación solar.

El flujo forzado que entra al sistema es un estimado de 2.7 m³/min ayudando a garantizar la temperatura estable. Luego que se consume la biomasa inicialmente introducida no se introduce más biomasa para que pueda el sistema de acumulación térmica iniciar su proceso de liberación de calor sensible manteniendo la temperatura. Es importante señalar que la entrada de leña será sellada para evitar circulación de aire fresco o del ambiente cuando ya sólo queden las brasas.

Esta evaluación que fue solamente con biomasa se monitoreó durante 8.5 horas con operación continua del sistema tomando datos de temperatura cada 5 minutos y usando un total de 15 kg de leña. Para establecer la circulación del aire el soplador se activó cada 10 minutos operando en intervalos de 5 minutos a potencia intermedia y generando un flujo de aire de 0.5 a 1 m³/min. Obteniendo los siguientes datos:

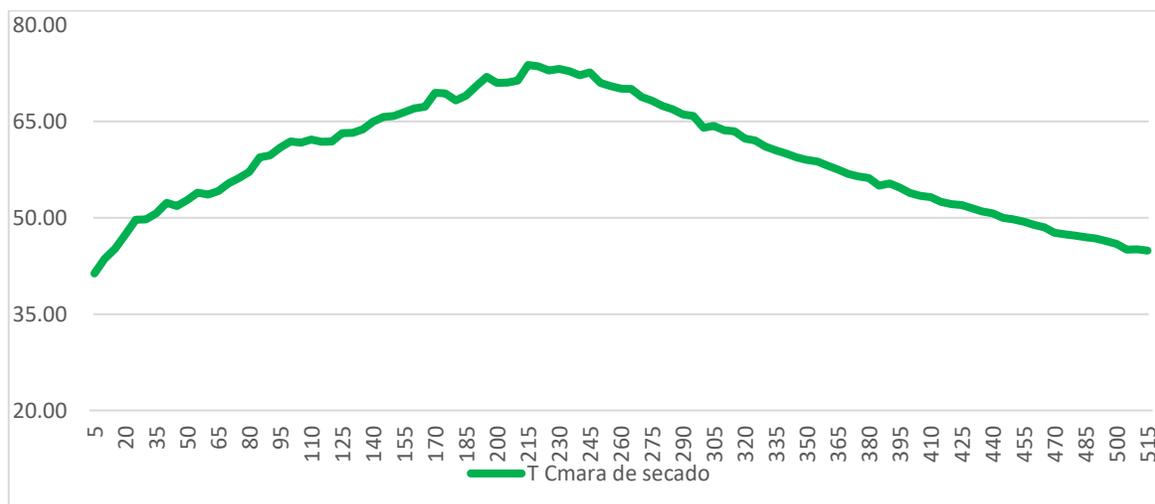


Figura 48. Relación entre tiempo y temperatura prueba 1.

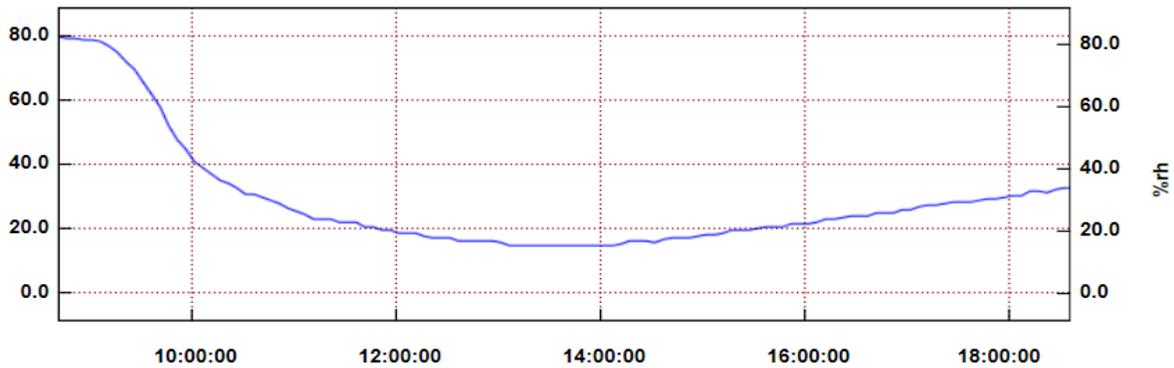


Figura 49 Comportamiento De La Humedad durante la prueba 1

Mostrando que se inicia el proceso en el secador con un precalentamiento de 30 minutos incrementando la temperatura desde 26 hasta 75, Luego se garantiza un suministro constante de leña durante 4h alcanzando un máximo de temperatura de 75 grados a partir del cual dicha temperatura comienza a disminuir debido a que se deja de suministrar la leña empezando con proceso de enfriamiento.

Evidentemente a incrementos de temperatura corresponden una disminución de la humedad relativa.

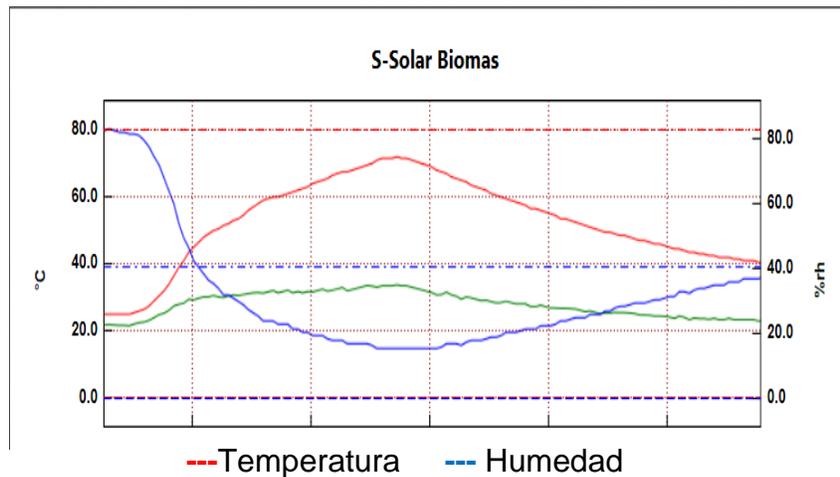


FIGURA 50. Relación entre temperatura y humedad prueba 1.

Si relacionamos los 4 puntos de medición podemos observar que el punto de calor más alto es cerca de la chimenea radiante, debido al flujo de calor por radiación. Esto indica que poner productos muy cerca de ahí podría hacer que se quemen los productos pues hubo momentos donde ese sensor marcaba los 100°C.

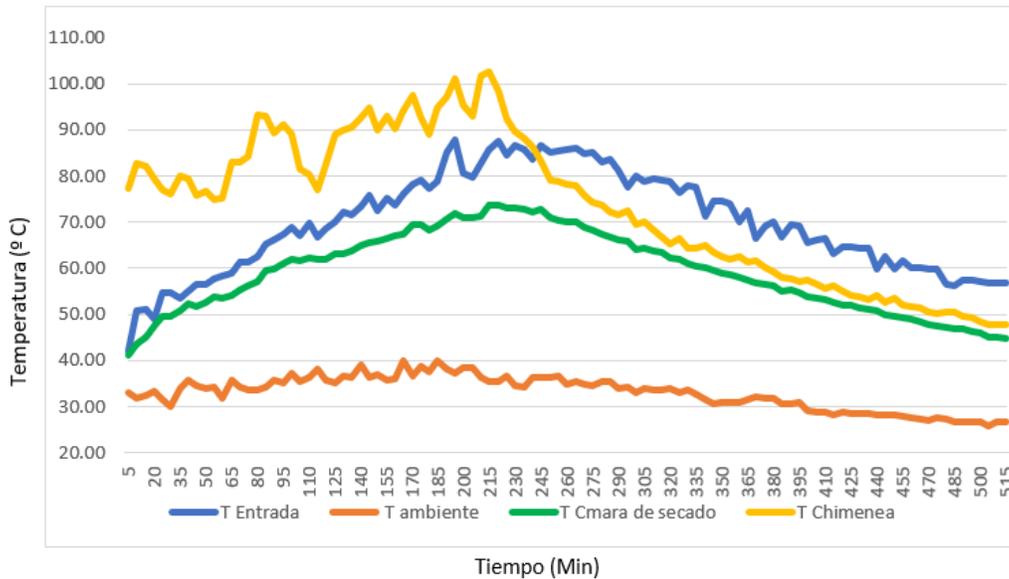


FIGURA 51. Relación entre las 4 temperaturas monitoreadas durante la prueba 1.

Tanto la temperatura de entrada como la del centro de la cámara de secado tienen un comportamiento similar y se mantienen con una diferencia de apenas 5° C como promedio durante las primeras 4h.

Es decir, el proceso de calentamiento es debido al proceso de acumulación térmica que va ocurriendo en el interior de la cámara de piedras acumuladoras. Por donde va entrando el aire antes de ingresar a la cámara de secado, sin embargo, a partir de que se termina el suministro de leña ya la diferencia de las temperaturas se comienza a duplicar superando incluso los 10°C de diferencia. Este comportamiento ocurre porque la chimenea radiante baja su intensidad en la emisión de calor.

A pesar de haber suspendido el suministro de leña la chimenea tiene energía remanente que continúa liberando en forma de calor por radiación lo cual hace que la disminución de la temperatura no sea brusca.

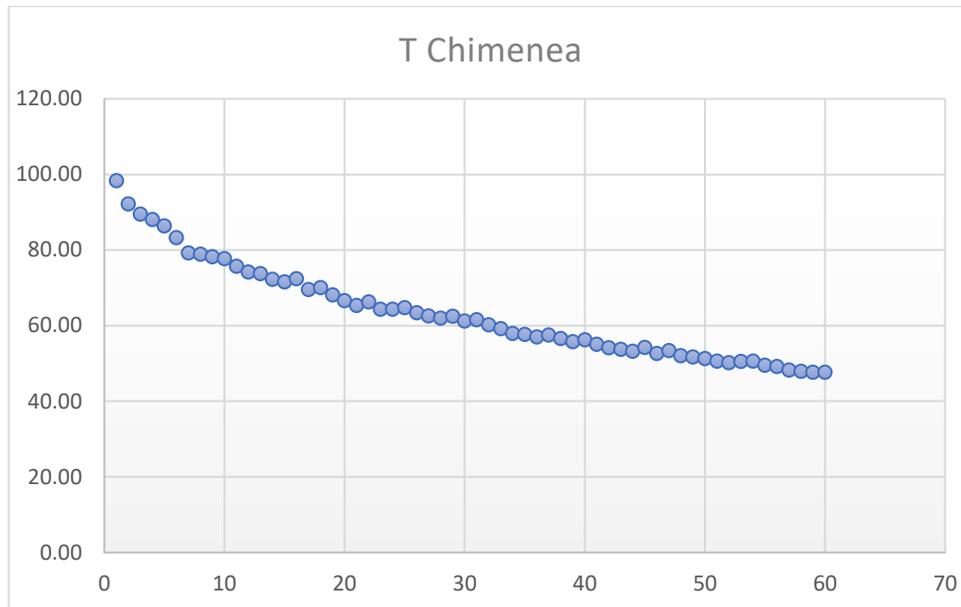


FIGURA 52. Variación de temperatura del aire que se encuentra cercano a la chimenea

En la segunda evaluación se monitoreó únicamente el sistema termo solar de 20 tubos al vacío durante 4.5h debido a las horas y aprovechamiento de la radiación del día. Mencionando que fue un día nublado debido a la época del año en que nos encontramos. El soplador estuvo operando en intervalos de 5 minutos de operación por 10 de descanso y se obtuvieron los siguientes datos:

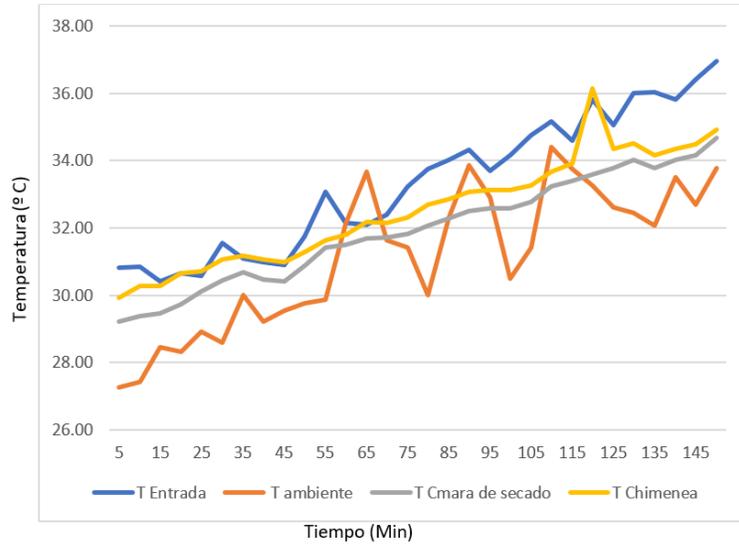


FIGURA 53. Variación de la temperatura en cámara de secado durante prueba 2.

Eso permite decir que este sistema aporta mucho menos temperatura que el sistema de biomasa debido a que no se tuvo una incidencia solar alta, y que realmente si se quisiera usar sólo este sistema para el deshidratado por el momento no se podría porque el calor que se integra a la cámara de secado es muy poco.

Debido a la radiación obtenida en estos días como se observa en la gráfica de del área metropolitana. Pues en su punto más alto fue de apenas 766 W/m².

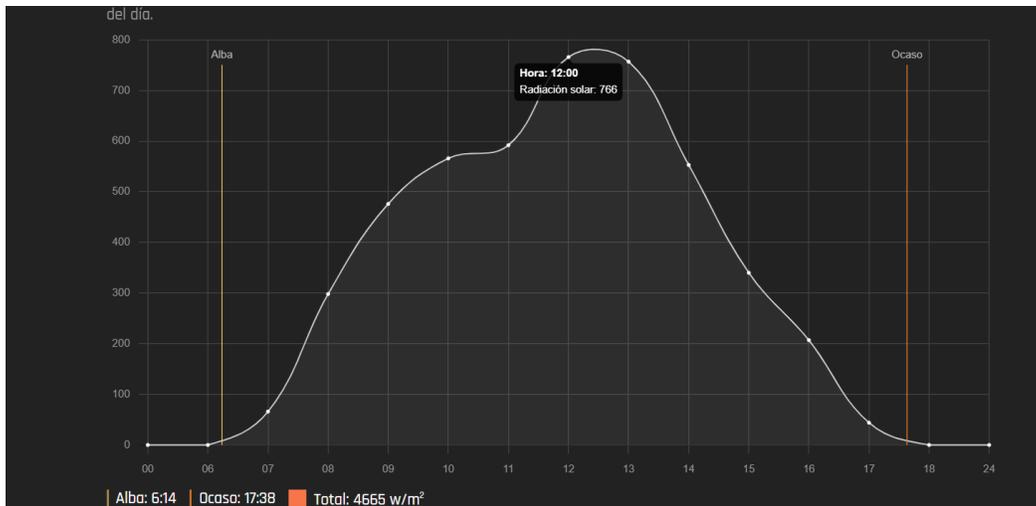


FIGURA 54. Radiación solar en Tuxtla el día del experimento.

En el análisis de la figura 104 se observa que no se pueden lograr temperaturas adecuadas para lograr un buen proceso de secado, debido a que la temperatura aumenta, pero no lo suficiente por la baja radiación solar del día.

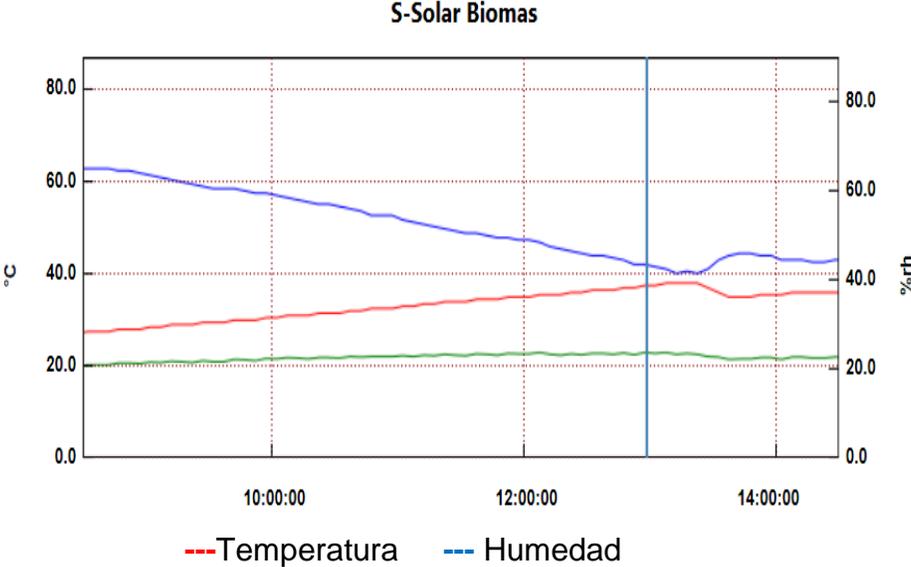


FIGURA 55. VARIACION ENTRE TEMPERATURA Y TIEMPO PRUEBA 2.

Y finalmente se hizo la tercera evaluación del secador con los sistemas combinados es decir biomasa y sistema termo solar. La evaluación se realizó durante 8h iniciando con la leña y después de cierto tiempo mientras hubo radiación solar sólo se estuvo inyectando el aire caliente del sistema termo solar como respaldo para poder mantener la temperatura.

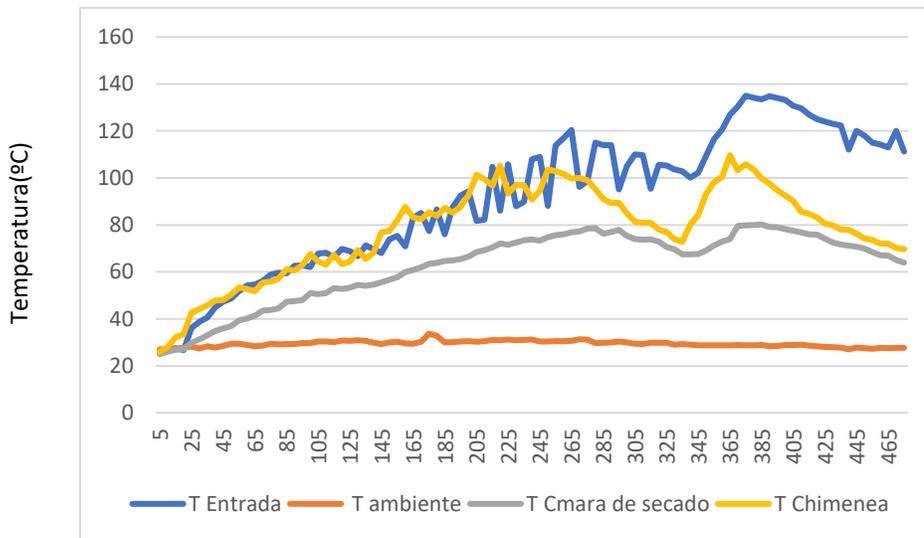


FIGURA 56. Variación de la temperatura y el tiempo prueba 3.

Si observamos en la gráfica anterior se observa que la temperatura de entrada es más alta en comparación de las mediciones pasadas esto debido que al combinar el aire del sistema termo solar que sale algo caliente hace que el calor suba a los productos y circule por la cámara de deshidratación logrando que la temperatura en el interior de la cámara sea adecuada porque se mantiene entre los 60° y 80°C, debido a que son evaluaciones en vacío se debe alcanzar una temperatura un poco más alta pues cuando el sistema tenga carga de productos estos bajarán y absorberán la temperatura en un rango de entre 10° y 15° C.

La figura además muestra que el efecto de usar la leña dispara la temperatura y que al acabar el suministro de leña y continuar sólo con procesos de aire caliente del termo tanque provoca que la temperatura aumente y se mantenga incluso hasta después de 5h. Usando leña el sistema de almacenamiento térmico cumple completamente su objetivo pues al ingresar aire tibio a través de las piedras esto hace que el aire dentro de la cámara de secado siga manteniendo la temperatura incluso logrando un aumento significativo. Mientras que la temperatura en la chimenea también cambia porque es la que tiene contacto directo con las piedras y

al disipar el calor de su interior también una parte se transfiere al metal logrando que aún se emita cierta radiación a lo largo de ella.

De igual manera si observamos la gráfica de la figura 118 se aprecia que la temperatura en aumento provoca una disminución de la humedad, haciendo que sea un ambiente idóneo en el deshidratado de productos.

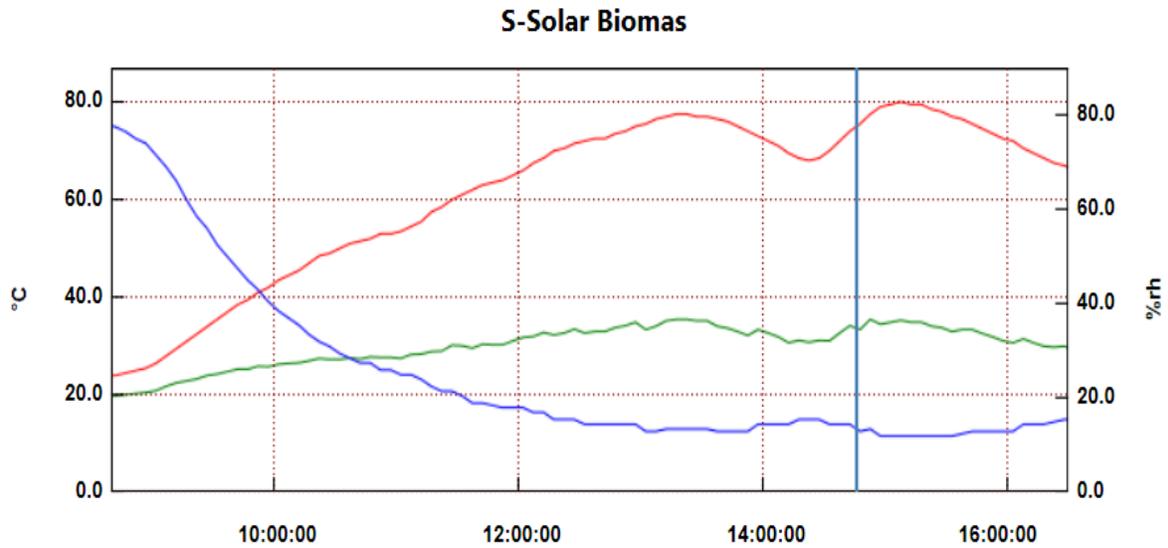


FIGURA 57. Variación de temperatura y humedad prueba 3.

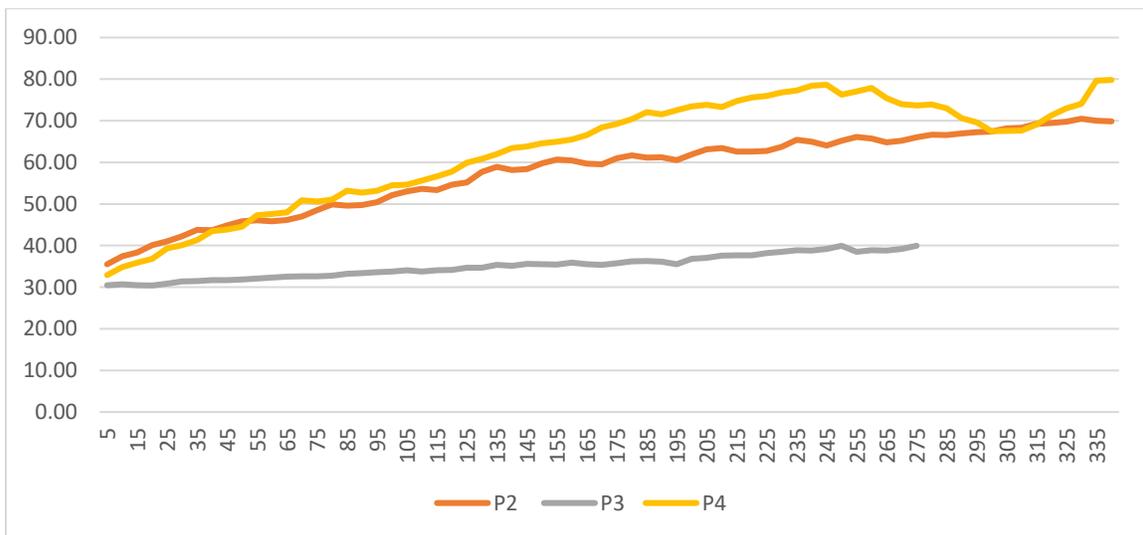


FIGURA 58. Comparación de temperatura monitoreadas en las 3 pruebas realizadas.

Y finalmente si se realiza la comparación entre cuál de las 3 maneras podría ser más eficiente al momento de operar el dispositivo con productos, podemos observar que de acuerdo a los datos lo ideal sería combinar las tecnologías puesto que si en la mañana este nublado o es una estación con menor incidencia solar se arranca el proceso de secado usando la cámara de combustión y si luego tenemos incidencia solar ya podemos sólo ir manteniendo la temperatura dentro de la cámara de secado. Reduciendo dependencia de energía térmica para el deshidratado.

CONCLUSIONES

Se obtuvo el prototipo de un secador-híbrido solar biomásico para que a futuro se pueda implementar y cubrir las necesidades que se tienen en relación al desperdicio monetario y de producción con agricultores locales.

Además, se obtuvieron pruebas preliminares del dispositivo quedando demostrado su viabilidad para el deshidratado de productos. Todas Alcanzando las metas y objetivos propuestos, pues las evaluaciones confirmaron la eficacia del dispositivo. Las pruebas indican que la biomasa que se utiliza como sistema de respaldo genera temperaturas de hasta 50° C en 30 minutos usando un kilo de leña. Esto permitiendo un ahorro significativo en consumo biomásico sin completa dependencia de la radiación solar haciendo que los procesos de deshidratado ya no estén sujetos a un sólo tipo de tecnología y se puedan aprovechar de manera más eficiente lo que la mayoría de las personas tienen como recursos accesibles para generar beneficios económicos y ambientales

TRABAJOS A FUTURO

- Evaluar el secador en condiciones reales de operación.
- Evaluar los productos después de secarlos en el dispositivo.
- Implementar el dispositivo en comunidades rurales.
- Hacer difusión de la tecnología.
- Implementar patente.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Se desperdician Más de diez mil toneladas de alimentos cada año en México | Secretaría de Bienestar | Gobierno | gov.mx ([0](#))

[2] Diseño y Simulación de un Deshidratador Mixto Indirecto de Frutas J. Mendoza, R. Insuasti, O. Barrera, and M. Navarro Facultad de Ciencias Pecuarias, ESPOCH 2Facultad de Mecánica, ESPOCH].

[3] Roilan Iglesias Díaz Dr. Joel Pantoja Enríquez Dr.: Guillermo Rogelio Ibáñez Duharte (2013) Diseño, Construcción, Evaluación Y Validación De Un Secador Solar Para el secado de té de Limón universidad de ciencias y artes de Chiapas Ciencias en desarrollos sustentable

[4] Evelyn Citlali Espinosa López Dr. Roilan Iglesias Díaz desarrollo de un secador solar, para mango ataulfo en el ejido san miguel de tonalá, chiapas (2019) universidad de ciencias y artes de Chiapas instituto de investigación e innovación en energías renovable

[5] ing. Oscar armando conde Díaz, Dr. Roilan iglesias Díaz y Dr. Joel Moreira acosta (2020) desarrollo de un secador solar - biomásico rotatorio automatizado para el deshidratado de granos de café universidad de ciencias y artes de Chiapas instituto de investigación e innovación en energías renovable

[6] Neín Farrera Vázquez Dr. Joel Pantoja Enriquez Dr. Joel Moreira Acosta (2011) Tecnologías Termosolares Y Bioenergéticas Y Su Contribución Al Desarrollo Sustentable De Comunidades Rurales Marginadas De Chiapas Universidad De Ciencias Y Artes De Chiapas, Facultad De Ingeniería

[7] Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. www.siap.gob.mx

[8] Núñez Núñez, F.P., Narváez Vega, V.H., Araguillín Araque, G.X., & Reino Vizuete, M.L. (2023). Análisis de la radiación solar en afluentes del río Toachi para alimentar estaciones de monitoreo de variables hidrológicas y meteorológicas. *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando.*].

[9] [Gutiérrez-León, F.A., Artos-García, R.B., & Portilla-Narvaez, A.R. (2023). Influencia del método de secado (horno con convección vs horno microondas), sobre la composición nutricional de diferentes forrajes. Revista Politécnica.]

[10]¿Qué es la temperatura? (s. f.). <https://solar-energia.net/termodinamica/propiedades-termodinamicas/temperatura>

[11] Gutiérrez-Paredes, E.M., Kuaquira-Huallpa, F., Julian-Laime, E.R., & Peña-Valdeiglesias, J. (2022). Optimización y Modelamiento del Proceso en la Extracción de Humedad de Plátano (*Musa paradisiaca* L.) en un Secador Solar Indirecto, en el Suroeste de la Amazonía Peruana. Producción + Limpia.

[12] García-Pérez, J. V., et al. (2010). "Deshidratación de frutas y hortalizas: Efecto de las condiciones ambientales." Revista Española de Ciencia y Tecnología Alimentaria, 12(3), 45-56

[13]Tenorio-Herrera, R.E., Urbina-Cuernavaca, M.C., Espinosa-Morales, R.A., Bolaños-Ortega, M.D., & Pedroza-Chamorro, H. (2023). Evaluación experimental de un secador solar inflable de bolsa para el secado de cacao. Nexo Revista Científica].

[14] Colmenares, R.B., Colmenares, C.L., & Figueroa, I.P. (2018). Estudio experimental de la deshidratación de tomate verde (*Pysalis ixocarpa* Brot) utilizando un secador solar de tipo directo. BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS.

[15]. Villavicencio, M., & Santos, J. (2015). Determinación comparativa de tiempo de secado de café (*Coffea arábica* L.) en dos tipos de secadores solares en el valle de Sandia-Puno.

[16] Orrala, A., & Julio, C. (2017). Secador de pescado utilizando energía solar

[17] Feltan, C.M., Nelli, S.S., Mantulak, M.J., & Bresciani, J.C. (2022). Medición de Variables de Experimentación en un Prototipo de Secador Solar para Madera. +Ingenio.

[18] Delgado-García, R., Velasco-Roldán, L., Onofa-Cuichán, E., & Armas-Figueroa, E. (2016). Desarrollo, construcción y pruebas de una cocina-calentador de bajo costo y alta eficiencia energética para biomasas de reducido poder calorífico. *Dyna*, 83, 183-190.

[19] López Mas, M., Oliva-Cruz, M., Gosgot Ángeles, W., & Espinoza Canaza, F. (2022). Rendimiento energético de un sistema fotovoltaico autónomo con seguidor solar bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*.

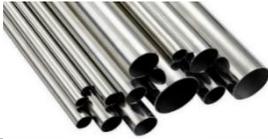
[20] Frauberth, C.L., Ederson, P.C., Torres, E.T., Hernández, J.R., & Flores, M.O. (2020). Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares del Aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*). *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*.

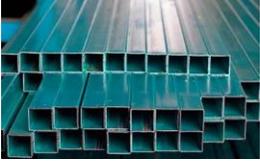
[21] Córdova, O., & Ronald, F. (2013). Diseño, implementación, y, evaluación del desempeño de un sistema termo solar para provisión de agua caliente sanitaria a la cafetería UTPL.

[22] Roelas, I.S. (2015). Método Lambda-Pi para Intercambiadores Regenerativos Aplicados a Sistemas de Acumulación de Energía Térmica sensible mediante CFD.

ANEXOS

Se describen los materiales utilizados en el proceso de construcción a detalle

Materiales	Descripción	Figuras de referencia
Multipanel	Se utilizó material multipanel para la elaboración de las paredes del dispositivo ya que tiene grandes características de aislamiento térmico y resistencia.	
Lámina Roja Ondulada	Para el techo se utilizó este material porque ofrece una alta resistencia ante impactos y condiciones climáticas extremas. Además de buen aislamiento térmico, ayudando a mantener temperaturas de la cámara de secado.	
Anaquel de metal	Para la estructura interna del dispositivo se seleccionó un anaquel que tiene un recubrimiento de pintura electrostática que le proporciona protección contra la corrosión.	
Cerrojo	Se usó para evitar que las puertas de la cámara de secado estén en su lugar y no se levanten. Permitiendo un mejor aislamiento del calor.	
Bisagras de camión	Para las puertas se utilizaron este tipo de bisagras dado que son más resistentes y soportan todo el peso de la puerta.	
Tubos de aluminio	Para el peine del sistema de circulación de aire se usaron tubos de aluminio y también se usaron para la circulación del aire a temperatura ambiente y aire caliente.	
Coples de aluminio	Se usaron coples de para unir los tubos de aluminio en el sistema de ventilación y se introdujeron dentro del sistema de calentamiento de aire.	
Silicón de uso general	Se usó para sellar varias cosas por ejemplo las láminas del techo o el espacio del policarbonato donde quedaron acomodados en los componentes del sistema autónomo.	
PTR verde galvanizado	Se utilizaron para hacer las estructuras internas en el soporte en el techo, así como para el sistema de almacenamiento térmico, y también para el peine inyector de aire.	

		
Electrodos	Se usaron para soldar varios componentes como los tubos del peine inyector de aire, los tubos de entrada de circulación al sistema y las estructuras que se hicieron de soportes.	
20 Tubos al vacío	Son los encargados de calentar el aire en el sistema termo solar.	
Estructura del termotanque	Se usó para dar soporte a los tubos al vacío, el peine inyector de aire y todo el sistema de calentamiento de el mismo.	
Termotanque de 20 tubos	Se encarga del almacenamiento de calor y lo transfiere hacia la cámara de secado.	
Empaques de Silicón para calentador solar	Ayudan a la hermeticidad de los tubos al vacío cuando estos se colocan en el termotanque.	
Piedras de río	Se usaron piedras de río en el sistema de almacenamiento térmico pues tienen una buena capacidad para almacenar calor debido a su masa y densidad.	
Roscas de aluminio	Se usaron roscas para poder unir los tubos de aluminio que iban a estar adentro de los tubos al vacío en una estructura de PTR y lograr formar la estructura del peine inyector de aire.	
Cinta de aluminio	Se usó para fijar el recubrimiento térmico que se instaló en la salida del aire caliente, esto ayuda a evitar pérdidas y prevenir	

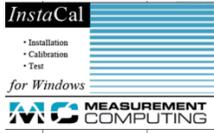
	cualquier accidente por las temperaturas alcanzadas dentro del tubo.	
Aislante de Poliuretano	Se usó para sellar fugas de calor y ayudar a mantener temperaturas adecuadas dentro de la cámara de secado en las partes de unión entre las paredes, el techo y las puertas, así como para las tuberías.	
Silicón de alta temperatura	También sirvió de aislante en la parte del termotanque combinado con la fibra de vidrio.	
Tornillo cabeza torx	Estos tornillos se usaron para ensamblar la estructura del termotanque.	
Tuercas	Usadas para fijar todos los tornillos en las diferentes partes del secador como las paredes, las puertas, las bisagras y cualquier unión.	
Tornillos hexagonales	Se usaron principalmente en el acomodo de paredes de la cámara de secado y en las puertas de la cámara de secado.	
Pijas autotaladrables	Se usaron para fijar el techo y los ángulos de metal, así como varias estructuras.	
Arandelas	Se utilizaron para las uniones que se hicieron con tornillos evitando desgastes en los plásticos y para tener un mejor agarre.	
Fibra cerámica	Se utilizó como aislante térmico de la cara de la chimenea que da al exterior de la cámara de secado, para recubrimiento térmico del techo y para las paredes de la cámara de combustión.	
Lámina Galvanizada	Se utilizó para fabricar el cajón de la chimenea, y el cajón de almacenamiento térmico	

		
Módulos fotovoltaicos	Los paneles solares se encargan de generar la energía que se requiere en el sistema de ventilación permitiendo una independencia al dispositivo.	
Riel metálico y aditamentos	Tienen la función de para asegurar el panel a la estructura y que se mantenga estable	
Cable fotovoltaico	Tiene la función de conectar todos los dispositivos empleados a su fuente de generación (el panel)	
Conectores MC4	Permiten conectar el cable fotovoltaico al panel ayudando a asegurar y que no exista algún accidente más adelante.	
Inversor	Es el encargado de transformar la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), permitiendo su uso en los dispositivos	
Controlador de carga	Es un dispositivo esencial porque es el que regula el flujo de energía entre los paneles solares y las baterías. Su principal función es asegurar que las baterías se carguen de manera eficiente y segura, evitando sobrecargas y descargas profundas que podrían dañarlas.	
Batería Lito Fosfato	Este tipo de batería tiene características que destacan una vida útil más larga, de más de 10,000 ciclos de vida. Se le suma también una carga ultraligera pues pesa 11kg y tiene una mayor rapidez de carga con (116Wh/kg)	
Policarbonato	Fue el que se usó para un mini domo de los componentes del sistema autónomo evitando que se pudieran mojar por la lluvia y protegiéndolos también del sol	

En la siguiente tabla se describen todas las herramientas usadas en la construcción del dispositivo.

Herramientas	Descripción	Figura
Taladros recargables	Se usó para agujerear las paredes del multipanel y la lámina galvanizada, así como para poder ir fijando las estructuras y demás componentes	
Taladro de banco	Su función fue perforar el PTR debido a que el tamaño de los tubos que se iban a introducir era bastante grande para poderlo hacer con un taladro normal	
Brocas	Se usaron para facilitar el trabajo de perforación en diversos materiales	
Planta de soldar	Se usó para llevar a cabo las soldaduras entre las roscas de aluminio y los tubos de aluminio, así como para las uniones de los tubos donde circularía todo el aire	
Pinzas de corte	Se usaron para cortar cables tanto como sobrantes de las estructuras	
Kit para instalación Fotovoltaica	Se usó para facilitar la tarea de conexión y ponchado de los cables y de los paneles fotovoltaicos, así como de todo el sistema autónomo	

Tijeras para metal	Se usaron para poder hacer cortes en las láminas y de esta manera hacer dobleces para parte de la chimenea y cortar cualquier cosa que fuera necesaria	
Pulidora	Se usó para cortar la mayoría de los materiales usados	
Llave Allen	Se usaron para apretar los componentes en la estructura del termotanque	
Pinzas de presión	Se usaron para sostener las tuercas y poder seguir apretando	
Escalera	Fue de gran ayuda para poder alcanzar lugares a los que no llegábamos y se usó en múltiples ocasiones	
Navajas	Se usó para poder ir cortando tiras de fibra cerámica que sirvió como aislante en varias cosas	
Guantes	Usados como protección al momento de usar fibras cerámicas pues es un material bastante abrasivo a la piel	

Flexómetro	Para poder tomar medidas de estructura y de distancias.	
Soplador Makita	Es el que se usa como encargado de suministrar el aire a temperatura ambiente de nuestro sistema de circulación forzada.	
Báscula	Se usó en las evaluaciones para poder medir la cantidad de leña que se introducía en la cámara de combustión.	
InstaCal	Es el programa que nos ayudó a medir y monitorear datos en tiempo real.	
Laptop	Se usó porque fue donde conectábamos para poder ver los datos de los sensores.	