



Implementación de un prototipo de un secador solar con velocidad variable para la
deshidratación de granos de interés en la región de Santander y material didáctico para
las UTS

Planta Piloto

Nicolás Andrés Rico Tarazona
1005330873

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico
Bucaramanga (06 de julio 2026)



Implementación de un prototipo de un secador solar con velocidad variable para la
deshidratación de granos de interés en la región de Santander y material didáctico para
las UTS

Planta Piloto

Nicolás Andrés Rico Tarazona
1005330873

Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnología en operación y mantenimiento electromecánico

DIRECTOR

Luis Alonso Betancur Arboleda

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico
Bucaramanga (06 de julio 2026)

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

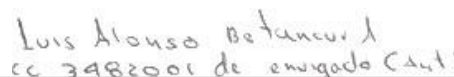
VERSIÓN: 2.0

Nota de Aceptación

Este informe final de trabajo de grado,
en modalidad de Desarrollo Tecnológico, fue APROBADO
en cumplimiento de uno de los requisitos exigidos por las
Unidades Tecnológicas de Santander para optar el
Título de Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico,
según acta No. 18 del 06 de julio del 2026,
del Comité de Trabajo de Grado



Firma del director
Arly Darío Rincón Quintero



Firma del Director
Luis Alonso Betancur Arboleda

DEDICATORIA

A mis padres, por ser mi mayor fuente de amor, fortaleza y ejemplo. Gracias por su apoyo incondicional, por sus sacrificios y por enseñarme, con su vida, el valor del esfuerzo y la perseverancia, también a mi novia por ser mi compañera incondicional durante este proceso, por acompañarme con paciencia en los momentos de cansancio y por recordarme siempre el valor de seguir adelante y ser mi motivación día a día. También a mi profesor de proyecto, por su guía, paciencia y compromiso durante todo este proceso. Su acompañamiento fue fundamental para el desarrollo y culminación de este trabajo. Y por último a todos los docentes que tuve a lo largo de la carrera, gracias por compartir conmigo sus conocimientos, por su dedicación y por contribuir a mi formación académica y personal. Todo lo que hoy sé, se los debo a ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero reconocimiento a todas las personas y a la institución (Unidades tecnológicas de Santander) que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de grado. Al profesor (Luis Alonso Betancur Arboleda), docente guía del proyecto de grado, por su valiosa asesoría técnica, su disposición permanente y su orientación a lo largo de este proceso investigativo, también a todos los docentes de la [Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías] por transmitirme sus conocimientos, por su dedicación en cada clase, y por contribuir significativamente a nuestra formación profesional

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>11</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>12</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>13</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. JUSTIFICACIÓN	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. ESTADO DEL ARTE	16
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	<u>19</u>
2.1. MARCO TEORICO	19
2.1.1. FUNCIONAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR	19
2.1.2. CONVECCIÓN FORZADA	20
2.1.3. PROCESO DE SECADO	21
2.1.4. CURVA DE SECADO	21
2.1.5. SECADORES SOLARES	22
2.1.6. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR INDIRECTO	24
2.1.7. COLECTOR SOLAR(SERPENTÍN)	24
2.1.8. HUMEDAD RELATIVA	25
2.1.9. RELACIÓN ENTRE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA	25
2.2. MARCO LEGAL	26
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u>	<u>28</u>
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	28
3.2. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.3. MÉTODO	28
3.4. FASES	29
<u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	<u>30</u>
4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	30

4.2.	DISEÑO CONCEPTUAL.....	30
4.3.	PARTES FÍSICAS DEL PROYECTO	31
4.3.1.	CÁMARA DE SECADO (MICROONDAS)	31
4.3.2.	MALLA METÁLICA (DENTRO DE LA CÁMARA DEL SECADO)	32
4.3.3.	PROTOTIPO DE COLECTOR SOLAR (SERPENTÍN)	33
4.3.4.	SECADOR DE CABELLO	34
4.3.5.	ENSAMBLES DEL PROTOTIP	35
4.3.6.	TERMÓMETRO HIGRÓMETRO DIGITAL CON Sonda HTC-2+	36
4.3.7.	EXTRACTOR DE AIRE DE REJILLA DE 4 PULGADAS	37
4.4.	MODELADO EN SOFTWARE CAD.....	38
4.5.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	39
5.	<u>RESULTADOS</u>	<u>43</u>
5.1.	PRUEBAS EXPERIMENTALES	43
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>55</u>
7.	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>56</u>
8.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>57</u>
9.	<u>APÉNDICES</u>	<u>60</u>
10.	<u>ANEXOS</u>	<u>61</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismos de transferencia de calor por convección natural y forzada	20
Figura 2. Curva típica de cinética de secado en alimentos	21
Figura 3. Tipo de secadores solares.....	23
Figura 4. Curva de comportamiento de la humedad relativa en función de la temperatura	25
Figura 5. cámara de secado	31
Figura 6. Malla Metálica	32
Figura 7. Prototipo de Colector Solar	33
Figura 8. Generador de flujo de aire.....	34
Figura 9. Ensamblajes del prototipo	35
Figura 10. Termo higrómetro digital con sonda	36
Figura 11. Extractor de aire de rejilla de 4 pulgadas.....	37
Figura 12. modelado en software CAD	38
Figura 13. Modificación estructural y acoplamiento del sistema de extracción de aire	40
Figura 14. interruptores de control	41
Figura 15. Aberturas de evacuación secundaria para la remoción de humedad	42
Figura 16. Registro de variables psicométricas mediante el termo-higrómetro HTC-2 durante ensayo 1.....	44
Figura 17. Efectos del exceso de temperatura y saturación de humedad en la cáscara de banano.....	44
Figura 18. Registro de variables psicométricas mediante el termo-higrómetro HTC-2 durante ensayo 2.....	46
Figura 19. Prototipo de distribuidor de flujo de aire caliente en configuración tipo H de cobre.....	47
Figura 20. Registro de variables psicométricas mediante el termo-higrómetro HTC-2 durante ensayo 3.....	48

Figura 21 Registro de variables psicométricas mediante el termo-higrómetro HTC-2 durante ensayo 4.....	49
Figura 22. Resultado de la cascara de banano del ensayo 4.....	50
Figura 23 Resultado Final de la cascara de banano	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura vs tiempo.....	51
Tabla 2. . Humedad Relativa vs Tiempo.....	52
Tabla 3. Temperatura y Humedad vs Tiempo	53

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto consiste en la elaboración de un prototipo de secador solar indirecto e híbrido con velocidad variable como herramienta didáctica para los estudiantes de Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico de las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS), con el fin de fortalecer las necesidades prácticas en temas relacionados con la transferencia de calor, energías renovables y procesos de secado. La metodología incluyó la revisión bibliográfica de tecnologías de secado solar, la adquisición de materiales y la construcción física del prototipo, además de la ejecución de pruebas experimentales para evaluar su capacidad de deshidratación de granos (cascara de banano), considerando variables como temperatura, humedad y tiempo de secado. Los resultados evidenciaron que el prototipo es funcional, seguro y eficiente, logrando la reducción de humedad en los productos mediante el uso exclusivo de energía solar(calor)o de un secado por convección forzada, demostrando además su utilidad como herramienta pedagógica en la enseñanza de tecnologías limpias y sostenibles. Como conclusión, se resalta que este desarrollo no solo aporta a la formación teórico-práctica de los estudiantes en el manejo de energías alternativas, sino que también representa una solución viable y replicable para procesos de deshidratación de productos agrícolas en la región de Santander, promoviendo así la conciencia ambiental y la aplicación de innovaciones tecnológicas en el sector agroindustrial.

PALABRAS CLAVE.

Formación técnica, Velocidad variable, Prototipo didáctico, Tecnología sostenible, secador solar Híbrido, convección Forzada, termo higrómetro.

INTRODUCCIÓN

La deshidratación es el sistema de conservación de alimentos más antiguo conocido. Consiste en la eliminación de la mayor parte de agua de un alimento mediante el secado a partir de un flujo de aire calentado con la radiación solar (Ingenierías sin Fronteras, 2015)

El proyecto consiste en la elaboración e implementación de un prototipo de secador solar con velocidad ajustable, concebido como recurso didáctico para los estudiantes de Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico de las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS), con el fin de potenciar sus habilidades. El método empleado en este proyecto es de tipo experimental y tecnológico, la construcción física del equipo, la realización de pruebas de funcionamiento bajo condiciones controladas y didáctico complementario para su uso en actividades formativas

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La economía rural en el departamento de Santander depende de cultivos como café y cacao, donde el proceso de secado de granos es esencial para garantizar calidad y valor comercial. Sin embargo, en algunos procesos de secado se presentan problemas en el control de variables termodinámica, siendo los más perjudicados por esta problemática los pequeños productores de granos que seguirán utilizando un modo muy tradicional de secado y también que son muy pocos eficientes, contaminantes que disminuyen la calidad de los productos y la competitividad de todas las empresas productoras. En las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS) existe un problema de los materiales didácticos que permitan a los estudiantes desarrollar competencias prácticas en el uso de tecnologías de secado solar, lo que genera una brecha significativa en el conocimiento de energías renovables aplicadas al sector. Las causas primarias de esta problemática son la falta de implementación de equipos de este tipo en los laboratorios académicos, mientras que también, se relaciona la escasa integración de herramientas innovadoras en la universidad. Esta situación deja mucho que desear en la preparación de los futuros tecnólogos para proponer soluciones sostenibles en el ámbito, por lo tanto ¿Cómo la implementación de un prototipo de secado solar con convección forzada con velocidad variable que pueda contribuir en la formación de los estudiantes de las UTS como una herramienta didáctica?

1.2. JUSTIFICACIÓN

La utilización del sol como fuente de energía para el secado de alimentos reduce la dependencia de combustibles fósiles y contribuye a la reducción del cambio climático al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. La deshidratación de alimentos mediante secadores solares puede generar oportunidades económicas para la agroindustria como agregarles valor a sus productos y acceder a nuevos mercados con alimentos de mayor calidad y durabilidad, Según cifras del Ministerio de Agricultura (*Finagro*, 2023)

Por lo anterior, la implementación de un prototipo de secador solar en la UTS proporciona una oportunidad incalculable para mejorar la formación en tecnología sostenible y promover el desarrollo de habilidades prácticas entre los estudiantes. Además, Como lo explica Castro et al., (2018). Esto contribuiría a cerrar la brecha de conocimiento y experiencia en el campo de los secadores solares, preparando a los estudiantes para aprovechar las oportunidades educativas y profesionales en este ámbito, lo cual fomentaría la investigación y la innovación en el uso de energía solar para aplicaciones agrícolas y ambientales, al tiempo que promovería la conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad en el desarrollo tecnológico. Finalmente, este proyecto no solo contribuye a la formación integral de los estudiantes, sino que también genera un aporte real al campo del conocimiento tecnológico y a la sociedad, al proponer una solución innovadora, viable y sostenible a una problemática relevante en el contexto regional.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un prototipo de secador que funcione mediante energía solar(calor) por convección forzada con velocidad variable que sirva como material didáctico para la UTS con el propósito de enseñar a los estudiantes sobre energías renovables, procesos de secado de alimentos fomentando su comprensión teórico-práctica

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir el prototipo del secador solar utilizando materiales accesibles y asegurando su viabilidad técnica y económica.
- Probar experimentalmente el prototipo que permita la toma de datos en las prácticas de laboratorio
- Modelar en software 3D el prototipo de secador solar, incluyendo especificaciones técnicas, dimensiones y detalles de ensamblaje, que permitan su posterior construcción

1.4. ESTADO DEL ARTE

El secado es una de las técnicas más antiguamente utilizadas para la conservación de alimentos desde los principios de la humanidad ya que proporciona al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia (Fito Maupoey, 2001). Por su parte, Dennis R. Heldman (2007). Define este proceso como la remoción de humedad debido a la transferencia simultanea de calor y masa. El secado suele ser la etapa final de un proceso de fabricación. En esta sección se analizará el secado indirecto, que consiste en la eliminación de líquido mediante transferencia de calor por conducción (Fox et al., 2014).

¿Qué es un secador solar?

Según el centro de formación técnica del medio ambiente (IDMA, 2023) Un secador solar es un dispositivo que aprovecha la energía del sol para quitar la humedad de alimentos, cosechas u otros elementos, ayudando a preservarlos o prepararlos de manera efectiva. Este proceso de secado solar es una alternativa sostenible y económica a los métodos de conservación tradicionales, ya que no requiere el uso de electricidad ni combustibles fósiles, y puede ser utilizado en áreas remotas o con acceso limitado a energía eléctrica.(IDMA & Ambiente. 2023)

¿Cómo funciona un secador solar?

Según la Unidad de Ecotecnologías de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, s.f.), el funcionamiento del secador solar es aprovechar La energía llegada del sol como radiación, las paredes del colector se calientan por conducción. El aire fresco que entra se calienta, y circula hacia el área de secado por un proceso de convección. El agua contenida en los productos se evapora y sale por la parte superior del área de secado. Finalmente, el aire cargado de humedad sale por el área de evacuación y se disipa en el ambiente. El proceso constante de convección conlleva al secado de los frutos en lapsos de tiempo (ECOTEC UNAM, s.f.)

Tendencias internacionales del secador solar

Estudiantes de la Universidad Politécnica de Amozoc (Upam), en México, diseñaron un prototipo de secador solar de alta velocidad, con el objetivo de aumentar la duración de frutas y verduras frescas. Esta información fue compartida por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), Este dispositivo, a diferencia de otros secadores que emiten contaminantes, tiene como objetivo acelerar el proceso de secado de alimentos sin utilizar líquidos. Para lograrlo, utiliza sensores que monitorean la temperatura, humedad y flujo de aire, junto con un software especializado que registra y analiza estos datos.(Morante, 2018)

La Facultad de Ciencias Astronómicas de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP, 2018) desarrolló su primer prototipo de secadora solar destinado a la deshidratación de verduras. Este proyecto fue ejecutado a través de la Dirección de Vinculación Tecnológica de la UNLP, en forma conjunta con la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Catamarca

Tendencias Nacionales del secador solar

Estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) han desarrollado un prototipo de secador solar para la preservación de granos de maíz, frijol y cacao. Según reporta Martínez (2018), este prototipo reduce en un 5 % la humedad del maíz durante las tres primeras horas de estar expuesto al sol y también se podría utilizar para secar diferentes tipos de granos.

Estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Salle diseñaron un sistema de energía solar mixto para suplir las necesidades energéticas de un secador solar de café sostenible. Al respecto, Jiménez Gasca y Peña Camacho (2021) señalan que el método de mejorar los ingresos que los campesinos reciben

por la producción de café es alcanzar un grado de humedad del 10% en el grano, mediante el secado de café, en donde el método más popular es el secado solar.

Estudiante de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital “Francisco José De Caldas” diseño un secador solar de Residuos orgánicos alimentarios como paso previo del proceso de combustión. Al respecto, Cañón (2015) dice que la investigación y desarrollo tienen lugar en Bogotá D.C., donde la captación de energía solar no es óptima. A pesar de esto, el diseño y el rendimiento del secador solar pueden generar buenos resultados.

Tendencias Departamentales del secador solar

Investigadores de la Universidad Pontificia Bolivariana, en conjunto con voluntarios de la Cruz Roja Colombiana, desarrollaron un nuevo modelo de secador solar de alimentos destinado a poblaciones rurales vulnerables, el propósito de esa investigación es extender el término de vida de algunas frutas de uso constante. (Moreno y Quintero, 2019)

Estudiante de la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas de la Universidad Industrial de Santander diseño un sistema de secado solar indirecto de café para llevar a cabo el modelado y simulación de un dispositivo híbrido para masa de café en pepa y analizar la operación del sistema de secado y determinar algunos factores e indicaciones que definan su rendimiento (Muñoz, 2019)

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. *Funcionamiento de la energía solar*

La energía solar es una fuente renovable y limpia que proviene del Sol. Se genera mediante reacciones de fusión en el Sol y viaja a la Tierra en forma de radiación electromagnética. Al llegar, puede ser captada con paneles solares, que la transforman en electricidad para su uso o almacenamiento. Es una alternativa a las energías no renovables como los combustibles fósiles o la nuclear. (Hilcu, 2021).

La transferencia de calor es un fenómeno físico que describe el movimiento de energía térmica de un cuerpo o sistema a otro como resultado de una diferencia de temperatura. Este proceso puede ocurrir mediante tres mecanismos fundamentales: conducción, convección y radiación (Çengel & Ghajar, 2011).

La conducción es el modo de transferencia de calor a través de un medio sólido o entre cuerpos en contacto directo, sin movimiento macroscópico de la materia. Según incropera y DeWitt (1999), este fenómeno se explica mediante la ley de Fourier, la cual establece que la velocidad de flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura y al área a través de la cual circula el calor.

Por otro lado, la convección ocurre en líquidos y gases, donde el transporte de calor se da por el movimiento de las partículas del fluido. Este mecanismo puede ser forzado, si es inducido por medios externos como ventiladores o bombas, o natural, si es consecuencia de las diferencias de densidad generadas por gradientes de temperatura (Çengel & Ghajar, 2011).

La radiación térmica es la transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas, la cual no requiere de un medio material para su propagación.

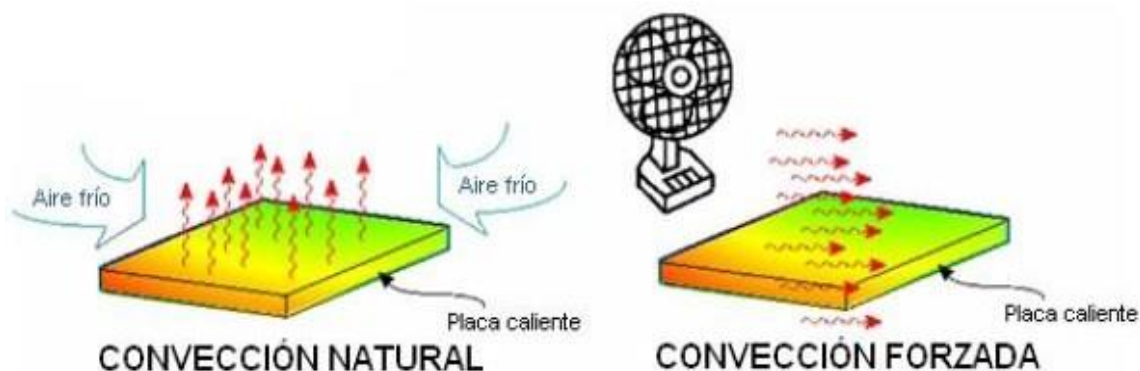
Este fenómeno es particularmente importante a altas temperaturas y puede describirse mediante la ley de Stefan-Boltzmann (Çengel & Ghajar, 2011).

El estudio de la transferencia de calor es fundamental en el diseño de procesos industriales, equipos térmicos y plantas piloto, ya que permite optimizar el uso de la energía y garantizar la eficiencia de los sistemas térmicos (Holman, 1999).

2.1.2. *Convección Forzada*

La convección forzada es una de las formas eficientes de transferencia de calor. Es un proceso en el que el movimiento del fluido es generado por una fuente externa como un dispositivo de succión, bomba, ventilador, como se muestra en la **Figura 1. Mecanismos de transferencia de calor por convección natural y forzada** Este proceso se utiliza generalmente en el sistema de temperaturas extremadamente altas, como la optimización de la superficie para una mejor transferencia de calor (Haque et al., 2021).

Figura 1. Mecanismos de transferencia de calor por convección natural y forzada



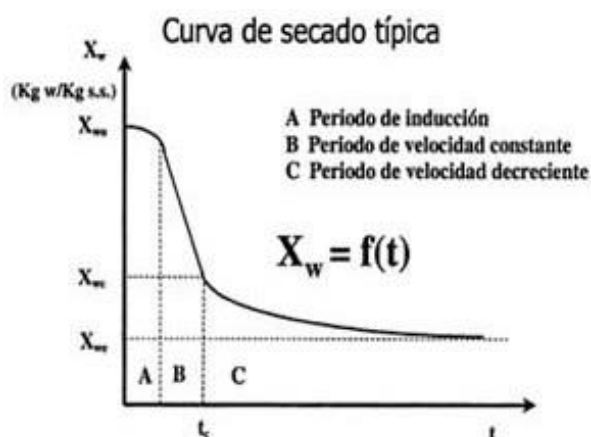
2.1.3. *Proceso de secado*

El proceso de secado se lleva a cabo mediante dos mecanismos básicos: la migración de la humedad desde el interior del producto hacia la superficie y la evaporación de la humedad desde la superficie calentada hacia el aire circundante. Estos mecanismos de transporte de humedad están estrechamente relacionados con diversos factores externos, como la temperatura, el tipo y la naturaleza de la superficie expuesta, la humedad, la presión y la velocidad del flujo (Yataganbaba & Kurtbaş, 2016).

2.1.4. *Curva de secado*

La obra Introducción al secado de alimentos, argumenta que, en un experimento de secado, manteniendo constantes todas las variables del proceso de secado y obteniendo periódicamente el valor de humedad del sólido, entonces puede graficarse la variación de humedad (X_w) en función del tiempo. De esta manera se obtiene la curva de secado, la cual representa el comportamiento de la humedad en un fenómeno de secado de alimentos de forma general. En la **Figura 2** se muestra humedad inicial del sólido; (X_{wc}), el valor de humedad crítica y (X_{we}), la humedad de equilibrio (Fito et al., 2001).

Figura 2. Curva típica de cinética de secado en alimentos



2.1.5. Secadores Solares

Los secadores solares o también conocidos técnicamente como deshidratadores solares, son dispositivos que utilizan la radiación solar para calentar aire y así retirar de manera controlada el agua de tejidos orgánicos (IDMA, 2023).

Según Bahamón (2007), los secadores solares tienen tres partes principales: un colector encargado de calentar el aire, una cámara de secado y una chimenea que hace las veces de ventilador para forzar el flujo del aire a través del secador. Estas son las partes principales, pero en algunos tipos de secadores pueden no estar presentes algunas de ellas o incluir otras como calentadores y ventiladores alimentados por otras fuentes de energía como electricidad o combustión, basándose en la forma de energía existen tres tipos de secadores como se muestra en la **Figura 3**

2.1.5.1 secadores solares directos

En este tipo de secadores, como su nombre lo indica, la radiación solar incide directamente sobre el sólido a secar; es decir, la cámara de secado hace también la función del colector.

Debido a que es necesario que la radiación llegue hasta el interior del secador, estos son fabricados en materiales transparentes que tengan alta transmitancia, es decir que dejen pasar gran parte de la radiación incidente (Bahamón, 2007).

2.1.5.2 secadores solares indirectos

Estos secadores, a diferencia de los anteriores, no permiten que la radiación solar incida de ninguna forma sobre el producto a secar, por lo tanto, la única fuente de energía para calentar el aire entra al proceso a través del colector. Uno de los factores más importantes en este tipo de secadores es el aislamiento térmico de

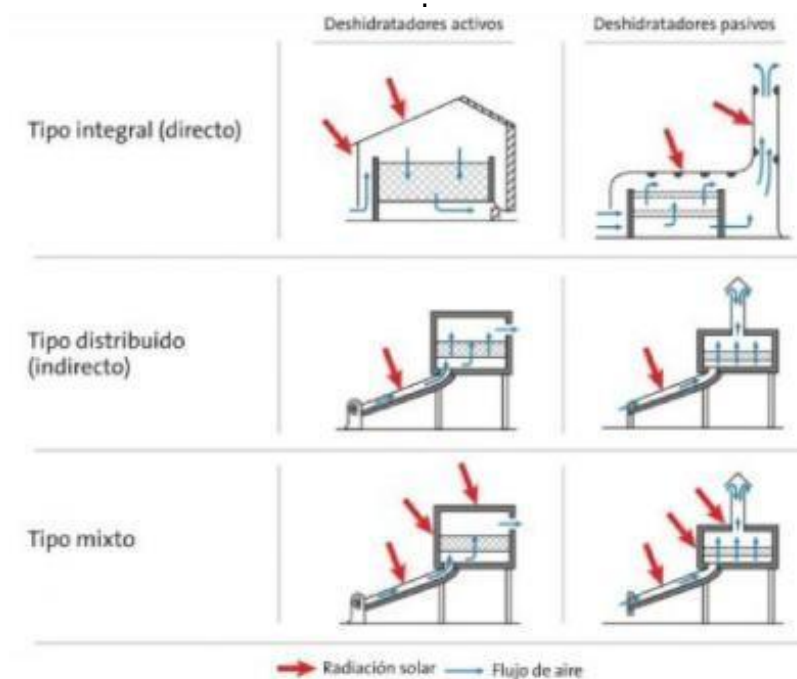
todo el secador, pues se debe tratar de evitar al máximo la pérdida de la energía transmitida por el colector al fluido (aire).

Este tipo de secadores son especialmente útiles en el secado de productos que pierdan sus propiedades al ser expuestos a la radiación solar directa (Bahamón, 2007).

2.1.5.3 secadores solares mixtos

Como su nombre lo indica, estos secadores son la mezcla de un secador solar indirecto y un secador solar directo. Es decir, tiene dos piezas encargadas de captar la energía necesaria para realizar el proceso de secado. Por un lado, al igual que los secadores indirectos, hace un calentamiento del aire en el colector, pero también, como lo haría un secador directo, calienta directamente el producto en la cámara de secado (Bahamón, 2007).

Figura 3. Tipo de secadores solares



2.1.6. Principios de funcionamiento del secador indirecto

El secador indirecto funciona transfiriendo calor sin contacto directo al material húmedo (grano o lo que quieras secar), ya sea por convección a través de aire caliente que circula en una cámara separada o por conducción a través de paredes calentadas. La humedad del material se evapora por la transferencia de calor y es eliminada del sistema mediante un flujo de aire controlado

Su principio de funcionamiento se basa en un colector solar(*serpentín*), que capta la radiación y calienta el aire; este aire caliente es conducido hacia una cámara de secado donde se encuentran los productos. Allí, el calor se transfiere por convección (cuando el aire circula alrededor del material) o por conducción (cuando el calor pasa a través de superficies o paredes calientes), provocando la evaporación del agua contenida en el producto. Finalmente, un flujo de aire controlado arrastra la humedad fuera del sistema.

2.1.7. *Colelector solar(serpentín)*

El colector solar es el término técnico utilizado para referirse a los paneles solares térmicos. Es el componente principal de un sistema solar térmico que permite convertir la radiación solar en energía térmica que se almacena para ser utilizada posteriormente (Equipo Editorial BibLus, 2024).

El principio de funcionamiento es similar al de un invernadero. La radiación solar atraviesa una cubierta transparente (como vidrio), incide sobre una superficie absorbadora de color oscuro y es convertida en calor. Este calor es transferido al fluido que circula a través de tubos o canales conectados a la superficie absorbadora. El fluido caliente puede ser almacenado o utilizado directamente para diversas aplicaciones (Equipo Editorial BibLus, 2024).

2.1.8. *Humedad Relativa*

La humedad relativa es una medida que indica la cantidad de vapor de agua presente en el aire, expresada como un porcentaje de la máxima cantidad que el aire podría contener a una temperatura específica (SECOIN S.A., 2019).

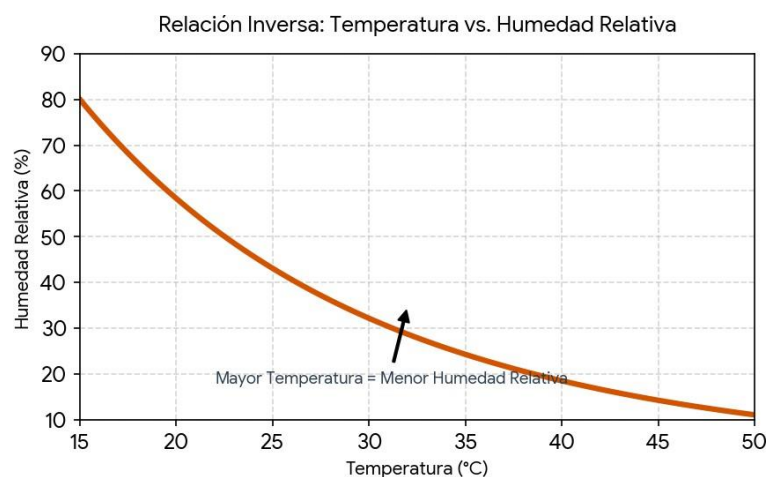
La HR está directamente ligada a la temperatura. El aire caliente tiene una mayor capacidad para retener vapor de agua que el aire frío.

2.1.9. *Relación entre humedad relativa y temperatura*

La humedad relativa y la temperatura mantienen una relación inversamente proporcional cuando la cantidad de vapor de agua en el aire permanece constante. Esto significa que al aumentar la temperatura del aire, la humedad relativa disminuye, aunque la cantidad real de vapor de agua no haya cambiado (Soler & Palau, 2024).

El objetivo en un secador es elevar la temperatura para bajar la HR como lo muestra la **Figura 4**.

Figura 4. Curva de comportamiento de la humedad relativa en función de la temperatura



2.2. MARCO LEGAL

Ley 1715 de 2014

La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía sistemas de almacenamiento de tales fuentes y uso eficiente de la energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas, en la prestación de servicios públicos domiciliarios, en la prestación del servicio de alumbrado público y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad de abastecimiento energético (Congreso de la República de Colombia, 2014).

Resolución 909 de 2008

Establece las normas y estándares de emisión de contaminantes a la atmósfera para fuentes fijas, incluyendo equipos de combustión. Si bien los secadores solares no generan emisiones directas como un proceso de combustión, la resolución puede servir como referencia para validar la pertinencia ambiental del proceso de secado si este llegara a necesitar una licencia ambiental o un plan de manejo ambiental, ya que establece procedimientos de medición y estandarización para las fuentes fijas que implican la emisión de contaminantes (Ministerio de Ambiente, 2008).

Ley 30 de 1992

Esta ley organiza el servicio público de la educación superior en Colombia y establece que las instituciones de educación superior tienen como función la formación académica, la investigación y la extensión. Dentro de sus disposiciones, fomenta el desarrollo de proyectos académicos que impulsen la investigación científica y tecnológica, orientados al progreso social y sostenible del país. Al promover el uso de energías renovables y aportar a la formación práctica de los estudiantes en el campo de la tecnología y el desarrollo sostenible (Congreso de la República de Colombia, 1992).

Acuerdo de Paris

Este es un acuerdo global para combatir el cambio climático. Tu proyecto se alinea con su objetivo central de limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2°C. Al utilizar energía solar en lugar de combustibles fósiles (gas, carbón) o electricidad generada con ellos y contribuye directamente a reducir la huella de carbono (ONU, 2015).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El proyecto se basó en una investigación de tipo aplicada descriptiva porque busca dar solución a una problemática real mediante el diseño e implementación de un prototipo de secador solar con velocidad variable, el cual tiene una utilidad práctica en el ámbito académico ya que se seleccionan una serie de conceptos o variables y se evalúa cada una de ellas, independientemente una de otras como son (temperatura, humedad, velocidad del aire) para observar sus efectos sobre el secado de los granos.

3.2. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es de carácter cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección, análisis y comparación de datos numéricos relacionados con las variables del proceso de secado, tales como la temperatura, la humedad, la velocidad del aire. Estos datos permiten evaluar de manera objetiva el desempeño del prototipo en diferentes condiciones de operación. Asimismo, el proyecto tiene un carácter didáctico, ya que contribuye tanto al fortalecimiento de la formación académica en energías renovables como a la generación de soluciones prácticas en el laboratorio de las UTS.

3.3. Método

El método que se utilizó es de manera inductiva y experimental. Es inductivo porque a partir de las observaciones y resultados obtenidos en pruebas realizadas con el prototipo, se dan conclusiones generales sobre su eficiencia, aplicabilidad y adecuación como herramienta didáctica en el proceso de enseñanza en las UTS. Asimismo, el proyecto agrega la manera experimental para el desempeño del

secador solar, se realiza mediante la medición y registro detallado de variables como temperatura, humedad, velocidad del aire, lo que permite interpretar los datos de manera clara.

3.4. Fases

En este apartado, se muestran las actividades realizadas con el fin de seguir los logros de los objetivos específicos propuestos:

- Revisión bibliográfica
- Diseño conceptual
- Construcción del prototipo
- Pruebas experimentales
- Evaluación y análisis de resultados
- Conclusiones y recomendaciones

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. Revisión bibliográfica

En esta sección se realizó una revisión de antecedentes que se evidencia en el trabajo y que se llevó a cabo en este proyecto. Se buscó la información de los procesos de secados y principios básicos de la transferencia de calor y también se buscó prototipos de secadores solar con el fin de identificar parámetros de diseño, materiales accesibles (materiales reciclables).

4.2. Diseño conceptual

En el proyecto se seleccionó el mecanismo de secado solar indirecto. En este método se utilizó colectores solares para calentar aire, el cual luego entra a una cámara cerrada para secar el producto sin exposición solar directa. El secado indirecto ofrece mayor protección contra la contaminación, es más higiénico y permite un mejor control de las condiciones de secado.

Adicionalmente, se seleccionó la convección forzada ya que es mejor para la transferencia de calor más rápida ya que es movido artificialmente mediante un ventilador, bomba o como en el proyecto un secador de cabello, lo que incrementa la velocidad del fluido y por lo tanto la cantidad de calor transferido.

A partir de la información recopilada se definen las dimensiones, componentes principales, y un sistema de ventilación con velocidad y temperatura variable (secador), también se planteó utilizar un colector solar casero en forma de serpentín que es fabricado con tubo de aluminio y una cámara de secado construida a partir de un horno microondas reciclado y sin sus partes.

4.3. Partes físicas del proyecto

Esta sección del proyecto está conformada por un conjunto de componentes físicos diseñados y adaptados con materiales accesibles y reciclados, con el fin de garantizar un bajo costo de construcción y, al mismo tiempo, cumplir con los requerimientos funcionales del proceso de secado. Cada una de sus partes desempeña un papel específico en la transferencia de calor y en el movimiento del aire dentro del sistema

A continuación, se muestran los componentes uno a uno:

4.3.1. *Cámara de secado (microondas)*

La cámara de secado corresponde a la parte del prototipo donde se meten o ingresan los granos para llevar a cabo el proceso de deshidratación. Para su construcción se reutilizó la carcasa de un horno microondas dañado como se muestra en la

Figura 5, adaptado como espacio cerrado que permite la circulación controlada del aire caliente alrededor del producto.

Figura 5. cámara de secado



4.3.2. *Malla metálica (dentro de la cámara del secado)*

Dentro de la cámara de secado se instaló una malla metálica que cumple una función fundamental en el proceso de secado. Esta permite el paso uniforme del aire caliente por todo el grano o producto, favoreciendo una distribución eficiente del calor y evitando diferencias de humedad entre distintas zonas.

Además, evita que el producto haga contacto directo con la base de la cámara, lo que ayuda a que no se acumule humedad y hace más fácil la limpieza y el mantenimiento del sistema. Con esta malla, el secador trabaja de forma más eficiente, se reduce la acumulación de residuos y el aire puede circular mejor por todo el producto, logrando un secado más parejo como se muestra en la **Figura 6**.

Figura 6. Malla Metálica



4.3.3. *Prototipo de colector solar (serpentín)*

El colector solar, construido de manera casera en forma de serpentín con tubo de aluminio que se muestra en la **Figura 7**, tiene la función de recibir la radiación solar y transferir calor al aire antes de entrar a la cámara de secado. El material metálico favorece la conducción térmica y mejora el rendimiento frente a otros materiales más económicos. Aunque el colector no trabaja a plena capacidad por la cámara de secado, cumple un papel importante al demostrar el principio del secado solar indirecto e híbrido y reforzar el carácter sostenible y didáctico del prototipo. Su construcción sencilla y de bajo costo lo convierte en una herramienta útil para que los estudiantes comprendan conceptos de transferencia de calor y energías renovables aplicados a la práctica.

Figura 7. Prototipo de Colector Solar



4.3.4. ***Secador de cabello***

El secador de cabello cumple la función de generar y dirigir el flujo de aire caliente hacia el sistema de secado. Este elemento fue incorporado al prototipo para calentar el aire de manera controlada, aprovechando su capacidad de regular la velocidad y la temperatura. Se utilizó como fuente principal de calor debido a que depender exclusivamente de la radiación solar resulta complejo, ya que el proceso es más lento y las condiciones climáticas varían constantemente, lo que dificulta mantener una temperatura estable durante las pruebas. De esta manera, el secador de cabello garantiza un flujo continuo y parejo de aire caliente dentro del sistema. Su integración no solo facilita el secado de los granos, sino que también convierte al prototipo en una planta piloto funcional para el apoyo de los laboratorios de la UTS. Gracias a este componente, los estudiantes pueden analizar de forma práctica la relación entre el calor, la velocidad del aire y la eficiencia del secado, reforzando

conceptos de transferencia de calor, convección forzada y energías renovables aplicadas al ámbito tecnológico.

Figura 8. Generador de flujo de aire



4.3.5. *Ensamblajes del prototipo*

El prototipo cuenta con dos ensamblajes metálicos como se ve en la **Figura 9**, que permiten unir de forma segura y eficiente las diferentes partes del sistema de secado. El ensamble del lado derecho se utiliza para unir un conducto flexible que viene desde la cámara de secado con la parte trasera del secador de cabello, lo que ayuda la recirculación del aire caliente dentro del sistema. Esta recirculación contribuye al aprovechamiento del calor residual, mejorando la eficiencia energética del proceso.

El ensamble del lado izquierdo se utilizó para acoplar la salida del secador de cabello con el serpentín o colector solar casero, permitiendo el paso del aire caliente hacia el sistema de captación térmica. Ambos componentes fueron fabricados con materiales metálicos reciclados, que garantizan la resistencia y durabilidad con un

acople firme entre las partes, además de reforzar el carácter sostenible y funcional del prototipo.

Figura 9. Ensamblajes del prototipo



4.3.6. ***Termómetro higrómetro digital con sonda Htc-2+***

El HTC-2 es un termómetro higrómetro digital con sonda que mide simultáneamente la temperatura y la humedad en dos lugares distintos: uno con la sonda externa (exterior) y otro con el sensor integrado en la unidad principal (interior) (Monitox S.A.S., n.d.).

Algunos de sus rangos son:

- I. Temperatura exterior (cuando incluye sonda): $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-58\text{ }^{\circ}\text{F}$ a $+158\text{ }^{\circ}\text{F}$).
- II. Temperatura interior (algunos modelos indican rango más limitado): por ejemplo $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- III. Humedad relativa (RH): típicamente 10 % RH a 99 % RH.

Figura 10. Termo higrómetro digital con sonda



4.3.7. *Extractor de aire de rejilla de 4 pulgadas*

Un extractor de aire es un dispositivo que se encarga de sacar el aire del interior de un espacio hacia el exterior. En el prototipo, su función principal es renovar de forma constante el aire de la cámara, removiendo el calor saturado y eliminando humedad, , olores, polvo o gases, y permitiendo que entre aire fresco (Homecenter., n.d.).

Algunas de sus características son:

- **Potencia:** 13 W
- **Voltaje:** 110 V
- **Frecuencia:** 60 Hz
- **Velocidad:** 2600 RPM (revoluciones por minuto)

- **Nivel de ruido:** 36 dB (ruido bajo)
- **Tamaño:** 4 pulgadas de diámetro (aprox. 10 cm)

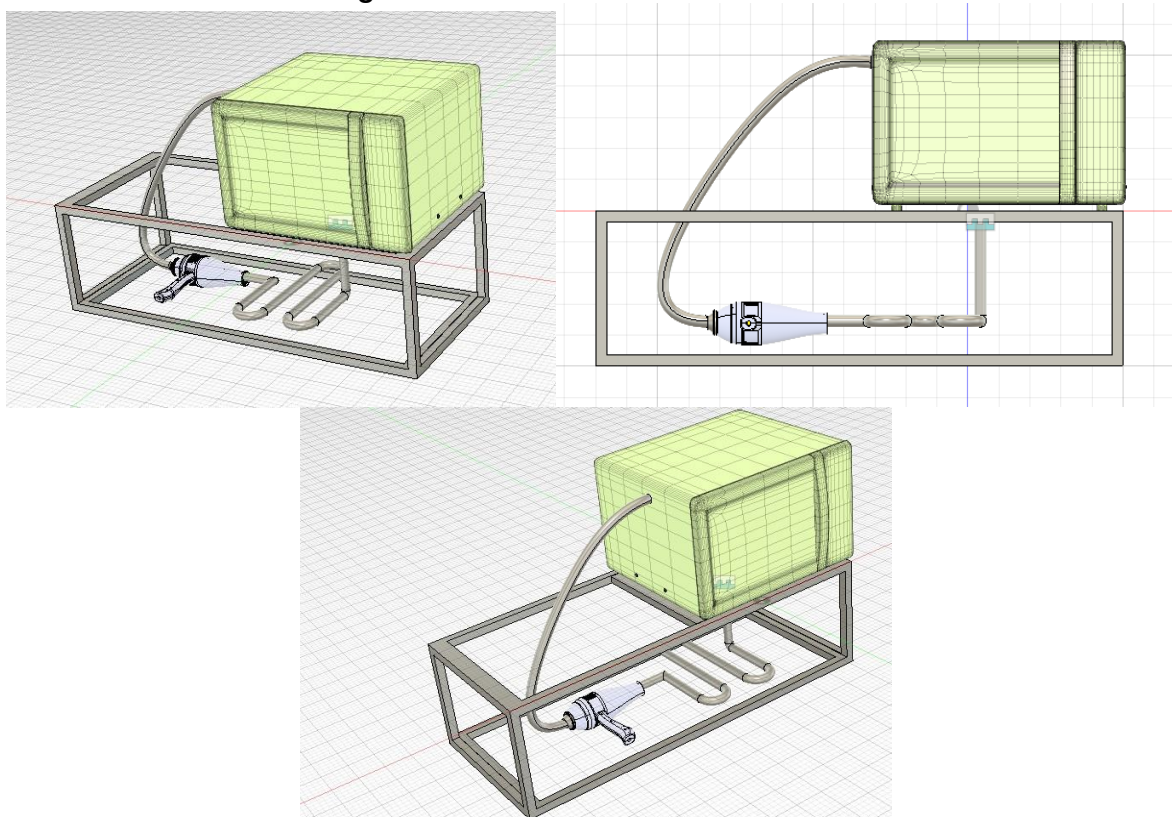
Figura 11. Extractor de aire de rejilla de 4 pulgadas



4.4. modelado en software CAD

El modelado del prototipo se realizó en software CAD (autodesk) para representar la disposición y funcionamiento de sus componentes principales: la cámara de secado (Horno microondas reciclado) que tiene una medida de (47x26x26 cm), el colector solar tipo serpentín que tiene una medida de 50 cm, el secador de cabello y la estructura base hecha de madera con una medida de (79x36.cm). En el diseño se integró un sistema de recirculación de aire mediante un conducto flexible de silicona(opcional) para alta temperatura que conecta la cámara de secado con la entrada del secador que también se puede quitar para que los estudiantes puedan hacer otras pruebas, optimizando el uso del calor. Este modelado permitió definir dimensiones, verificar el ensamble de las partes y ayudar a la visibilidad del proyecto.

Figura 12. modelado en software CAD



4.5. Construcción del prototipo

En esta sección se describe el proceso de construcción del prototipo y acoplamiento e ensamblando las piezas para seguir con las pruebas de rendimiento del secador. Lo primero que se hizo fue una base de madera para el soporte de la cámara de secado que es el principal soporte de la cámara de secado.

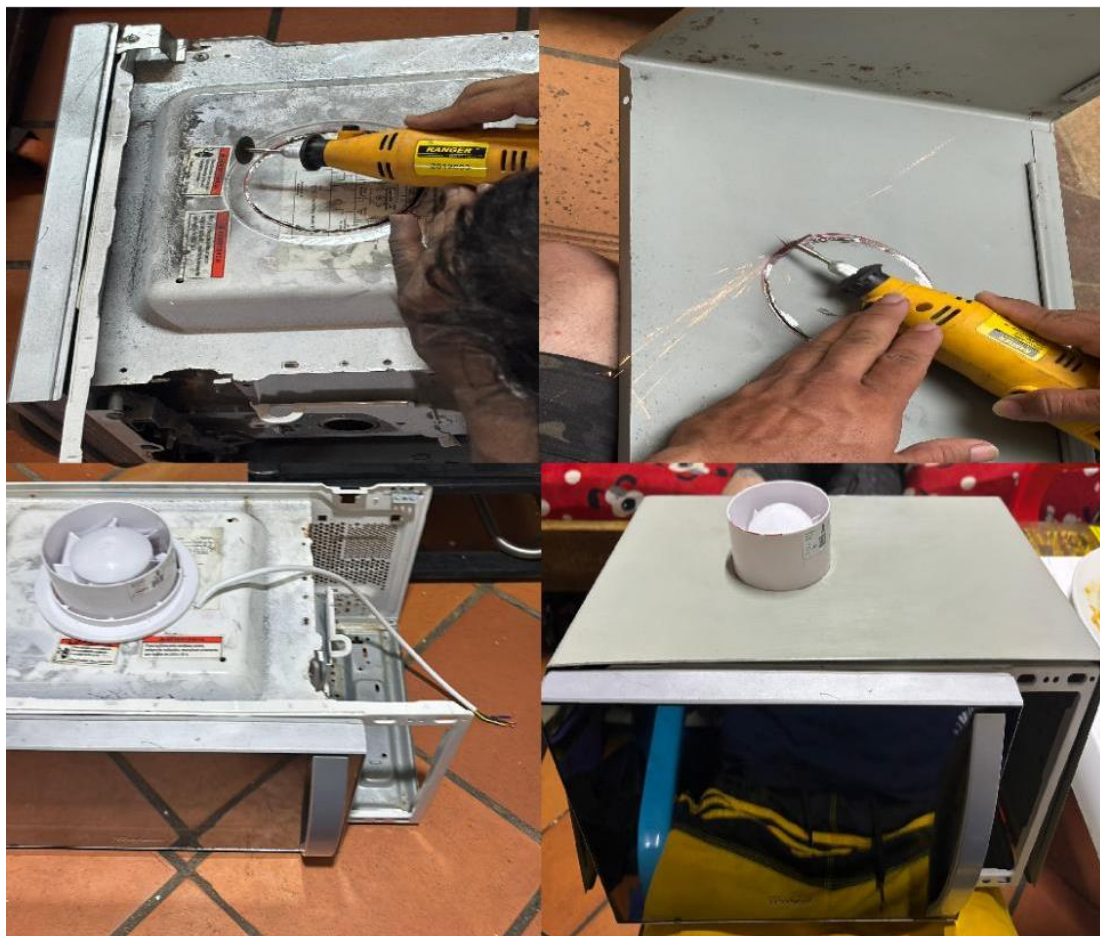
La construcción del prototipo se realizó empleando materiales accesibles y de bajo costo, priorizando el aprovechamiento de elementos reciclados. En primer lugar, se fabricó el colector solar tipo serpentín utilizando tubo de aluminio, el cual permite la circulación del aire que viene del secador, Posteriormente se adaptó la cámara de secado a partir de un microondas reciclado, incorporando bandejas con malla

metálica para colocar los productos y permitir el paso uniforme del aire caliente. Finalmente, se efectuó la integración del colector con la cámara de secado y también la unión de la pieza a la parte de la salida del aire del secador de cabello, también en la cámara de secado un ducto flexible de silicona para alta temperatura flexible que ayuda a recircular el aire caliente hacia la parte de atrás del secador de cabello que nos ayuda a reingresar el aire al secador y ver las diferencias de tomar el aire ambiente y el aire que ya viene dentro de la cámara de secado eso teniendo en cuenta que es opcional ya que son para hacer pruebas y sacar conclusiones diferentes ya que es un prototipo didáctico que lo estudiantes le puedan obtener muchos resultados con diferentes conclusiones operativas.

Después le adicionamos un extractor de aire para que pueda salir el aire con la humedad más fácil y así tener una convección forzada y permite mantener y controlar el flujo de aire dentro del secador, lo que mejora la eficiencia del secado. En un secador solar indirecto e híbrido, el aire caliente necesita moverse constantemente para poder llevarse la humedad que se evapora del producto. Si el aire no circula, la humedad queda atrapada dentro de la cámara y el producto tarda más en secarse.

Se tuvo que hacerle una modificación a la cámara de secado para agregar el extractor de aire, se le tuvo que abrir un agujero de 10 cm en la parte superior como se muestra en la **Figura 13**.

Figura 13. Modificación estructural y acoplamiento del sistema de extracción de aire



Ya después de que se le ha adaptado el extractor y se terminó de ensamblar todas las piezas del prototipo se realizó una revisión final con los ajustes pertinentes.

también en la parte derecha del microondas (cámara de secado) se adicionaron dos interruptores de control como se muestra en la **Figura 14**, uno se destino es para el extractor de aire y el segundo para el secador, esto permitirá que los estudiantes puedan hacer pruebas con o sin él extractor para que vean la variación de la temperatura y de humedad que hay dentro de la cámara de secado y también van

a tener con el secador cambio de temperatura y de velocidad que lo tiene adicionado en el secador.

Figura 14. interruptores de control



Durante las pruebas experimentales nos dimos cuenta que la potencia del extractor era muy baja para poder sacar toda la humedad que deja la cascara de banano entonces nos tocó hacer unas modificaciones estructurales en la parte alta de la cámara de secado para ayudar al extractor a sacar la humedad de dentro.

Estas aberturas secundarias como se muestran en la **Figura 15**, se diseñaron con el fin de ayudar al extractor de aire y acelerando el proceso de secado.

Figura 15. Aberturas de evacuación secundaria para la remoción de humedad



Ya para finalizar esta fase, se destaca que el diseño y la manufactura del prototipo se fundamentó en el uso de materiales renovables y de bajo costo y también como material didáctico para los estudiantes de la Unidades Tecnológicas de Santander (UTS) ya que es importante que los estudiantes se relacionen con esta parte tan practica como es la transferencia de calor y como funciona un secador solar Híbrido ya que abre muchas fronteras para los docentes y estudiantes en área de las energías renovables.

5. RESULTADOS

Durante la ejecución del proyecto se realizaron diferentes pruebas experimentales con el fin de verificar el funcionamiento del prototipo y mejorar su rendimiento. En cada ensayo se identificaron aspectos que requerían ajustes, lo que permitió optimizar el sistema de secado de manera progresiva. Entre las mejoras implementadas se destacan la adecuación de la extracción del aire húmedo, el

sellado de uniones para evitar salidas del aire caliente y la incorporación del secador de cabello como apoyo al colector solar, debido a que la radiación solar por sí sola no proporcionaba una temperatura constante.

5.1. Pruebas Experimentales

La primera prueba experimental fue utilizar el secador solar con la mayor temperatura y la mayor velocidad y los resultados demostraron un impacto muy limitado para el extractor de aire como para el secado porque la temperatura en la cámara de secado fue excesivamente elevada y la humedad relativa (RH) se mantuvo alta. Eso significa que en el sistema de secado hay un desequilibrio termodinámico, ya que está operando de una manera ineficiente y muy perjudicial para el grano o el producto que este secando (cascara de banano).

El significado de la RH alta es que el aire dentro de la cámara de secado está muy saturado de vapor y eso hace que la evaporación sea muy lenta y por eso no baja la humedad como se muestra en los datos tomados en la **Figura 16**.

También la temperatura alta hace que la cascara de banano tenga un riesgo de deterioro bastante rápido y se queme bastante y se vea húmedo todavía, también que le salga hongo por la alta humedad lo que hace que sus propiedades nutricionales (como las vitaminas) se degraden y además se altera su color y textura. A continuación, en la **Figura 17** se mostrará lo dicho anteriormente.

Figura 16. Registro de variables psicométricas mediante el termo-higrómetro HTC-2 durante ensayo 1



Figura 17. Efectos del exceso de temperatura y saturación de humedad en la cáscara de banano



Tras analizar el resultado inicial. Se evaluó el problema principal identificando que era la falta de extracción del vapor y de la humedad generado durante la deshidratación de la cascara de banano

Se integró un extractor de aire en la zona superior de la cámara de secado para ayudar a sacar todo ese vapor que quedo adentro con humedad y así pueda tener un mejor escape del aire , esta ubicación se consideró ya que el aire caliente y húmedo presenta una menor densidad y por eso tiende a ascender de manera natural, también se manipularon las temperaturas y velocidad del secador ,para sacar diferentes conclusiones y escenarios de secado , también logrando determinar que iba mejor el secado con mayor temperatura y mayor velocidad del aire.

La segunda prueba experimental se llevó a cabo con el extractor de aire funcionando y con la variable del secador que había establecido

Los resultados demostraron una mejora considerable ya que la temperatura bajo y también la humedad relativa en la cámara de secado y ya la cascara de banano tenia mejor color y la textura era un poco como gomosa. Durante el ensayo el termohigrometro registro una lectura de:

Temperatura interna = 45,3 (°C)

Humedad relativa(RH) =62%

A continuación, en la **Figura 18** se mostrará lo dicho anteriormente

Al buscar cual es la condición buena para un secado de la cascara de banano y se identificó que una condición es una temperatura mayor de 40 y menor de 60 para evitar la degradación de la cascara de banano y una condición de humedad relativa menor a 50%, Con menos humedad el secado de la cáscara de plátano es más rápido, se vuelve más crujiente y su durabilidad aumenta (Dhake et al., 2023).

Figura 18. Registro de variables psicométricas mediante el termohigrómetro HTC-2 durante ensayo 2



Después de la segunda prueba se determinó que la entrada de aire caliente hacia la cámara de secado estaba directa, lo que trae consecuencias negativas para un secado uniforme ya que el aire caliente ingresa e impacta directamente a la cascara de banano. Esto provoca zonas de secado extremadamente rápido en el centro, pero en las esquinas y en los bordes de la bandeja se recibe muy poco flujo de aire caliente lo que podría quemar la cascara y dejar otras partes de humedad y comprometiendo la calidad del secado.

Entonces se planteó la idea de diseñar un acople utilizando cobre de 1/2 en forma de H como se muestra en la **Figura 19**. esta modificación otorga una ventaja clave como la uniformidad del secado ya que actúa como un distribuidor de flujo; el aire caliente ingresa por el centro, pero se ve obligado a expandirse y salir uniformemente por los orificios de los brazos laterales.

esto asegura que se distribuya por igual en toda la cámara de secado evitando puntos calientes o fríos, lo cual garantiza un secado al mismo ritmo.

Figura 19. Prototipo de distribuidor de flujo de aire caliente en configuración tipo H de cobre



Una vez instalado el distribuidor en forma de H, se pasó a la tercera prueba experimental, esta demostró un avance significativo porque ya la cascara de banano se veía un poco oscura y ya tenía otro tono diferente y así mismo se registró una temperatura más cómoda, pero la humedad se incrementó nuevamente lo cual se vio reflejado en la cascara de banano, esto debido a la capacidad de extracción del vapor era muy poco hasta con el extractor del aire, el termohigrometro tomo una lectura de:

Temperatura interna = 38 (°C)

Humedad relativa(RH) =67 %

A continuación, en la **Figura 20** se mostrará lo dicho anteriormente.

Figura 20. Registro de variables psicométricas mediante el termo-higrómetro HTC-2 durante ensayo 3



El objetivo principal del proceso de secado consistió en disminuir la humedad relativa (RH) para optimizar la deshidratación, De lo contrario, el aire ya está en su máxima capacidad de absorción y así el secado se volverá muy lento.

La solución consistió en duplicar el área de escape y así romper el estancamiento de RH de 67% y llegar al optimo porcentaje para un secado mejor ya que el caudal del aire caliente es grande porque el secador tiene una potencia de (2300 W)

También se procedió al sellado de aperturas naturales por donde ingresaba el aire frio del ambiente y baja la temperatura del secado, se potencio la convección forzada para incrementar la velocidad del flujo y así mismo sube la humedad y llegue al extractor de aire, así que se efectuaron unas perforaciones de diferentes medidas para así la extracción sea de manera uniforme y más rápida.

La prueba experimental final resultó exitosa debido a la estabilización de la temperatura y a la reducción controlada de la humedad relativa (RH) y hubo un secado más eficiente ya que con esa temperatura caliente lo suficiente sin degradar la cascara de banano y también con esa humedad ahora la extracción de vapor es mayor a la evaporación de humedad de la cascara de banano y también se notó en las partes exteriores de la cascara de banano crujiente como se muestra en la **.Figura 22**

El ensayo se ejecutó de manera continua durante dos horas, registrando a través del termohigrometro los siguiente valores promedio estable

Temperatura interna = 46 (°C)

Humedad relativa(RH) =41 %

A continuación, en la **Figura 21** se mostrará lo dicho anteriormente.

Figura 21 Registro de variables psicométricas mediante el termo-higrómetro HTC-2 durante ensayo 4

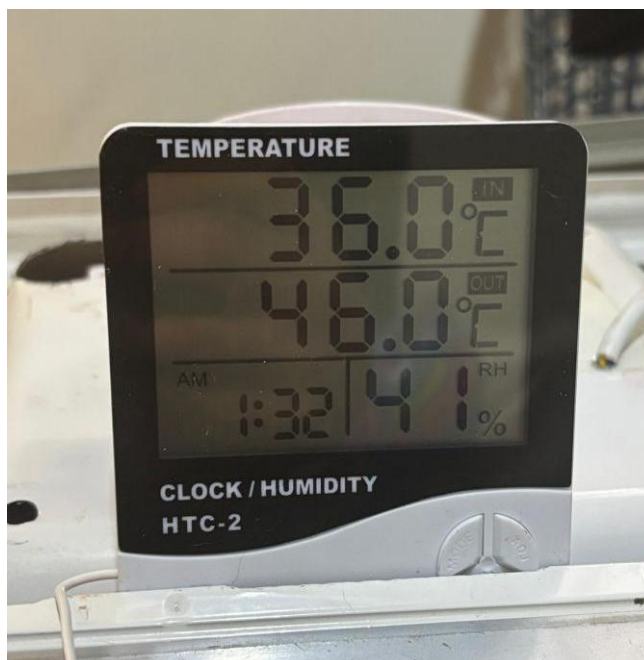


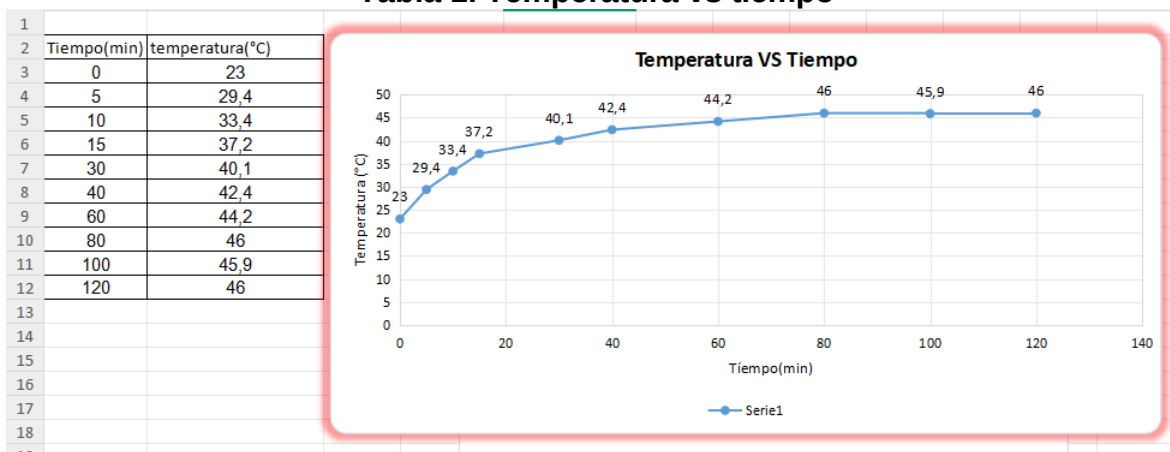
Figura 22. Resultado de la cascara de banano del ensayo 4



Durante el proceso experimental, se tomaron datos de manera continua a los cambios de temperatura y de humedad desde que se comenzó hasta que termino el ensayo fue tomadas la primera media hora cada 5 minutos, debido a la rápida disminución que hubo de la humedad relativa (RH). Posteriormente, las mediciones se realizaron cada 20 minutos una vez transcurrido la primera hora.

Los datos recopilados se tabularon en la **Tabla 1** para ver el comportamiento de la temperatura contra el tiempo.

Tabla 1. Temperatura vs tiempo

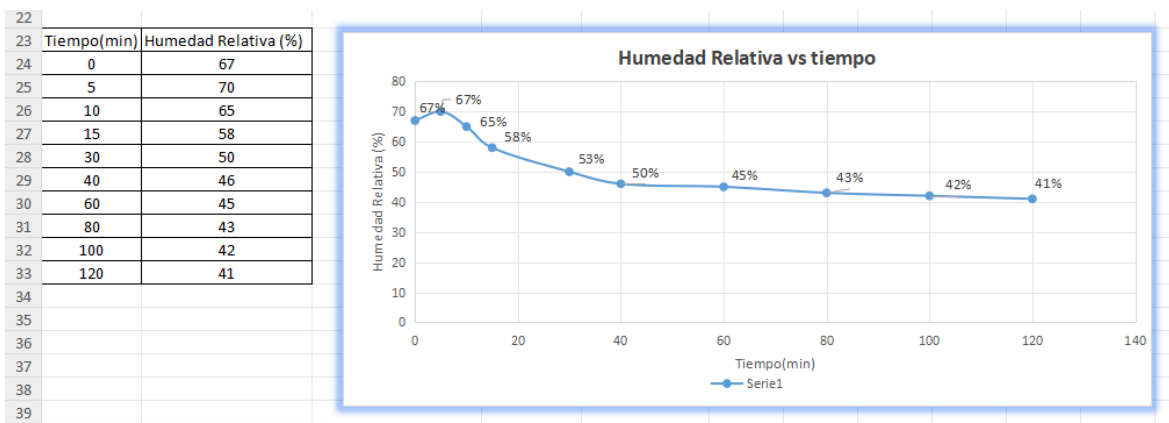


El comportamiento de la gráfica se puede dividir en tres fases operativas, la primera muestra un aumento acelerado de temperatura. Al iniciar el proceso, el microondas se encuentra en temperatura ambiente, lo que genera una diferencia de temperatura que es del secador eso representa la fase inicial del calentamiento y posiblemente del material que se está secando como se ve desde el minuto 0 al 25

La segunda fase se observa una desaceleración en la tasa de calentamiento y una tendencia de estabilización de temperatura en función del tiempo ya que la ganancia de calor (suministrada por el secador de cabello) comienza hacer igual que las pérdidas de calor externas, en esta fase de transición la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el aire de la cámara se reduce, disminuyendo la velocidad de transferencia de energía como se ve desde el minuto 40 al 60

La tercera fase es un régimen estacionario o temperatura máxima de equilibrio, donde la ganancia y la pérdida de calor se anulan y donde se ve un secado más homogéneo eso quiere decir que ni sube la temperatura ni baja la humedad; al menos de que se cambie el valor de temperatura.

Tabla 2. . Humedad Relativa vs Tiempo

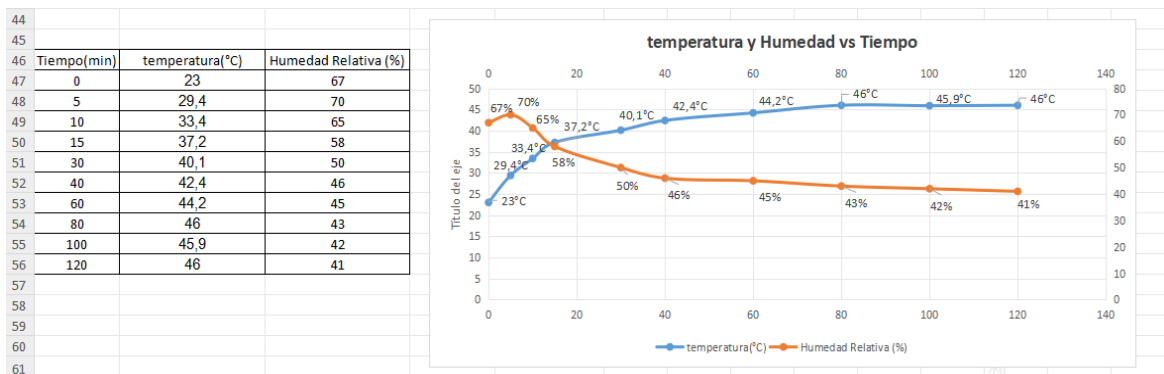


En esta gráfica la variable de humedad relativa se observa una clara tendencia decreciente a lo largo del tiempo. Durante los primeros 30 minutos se registró un descenso pronunciado muestra una clara tendencia decreciente ya que como vemos a medida que el tiempo avanza la humedad relativa va bajando eso se debe a que hay un proceso activo de secado, ya al final de la prueba se muestra esta ralentización que ocurre porque la diferencia de humedad se ha reducido y el sistema se acerca a un punto de equilibrio con el entorno.

Al evaluar la deshidratación de la cascara de banano, se debe saber que tiene alta humedad y por eso se ve al principio del secado como la humedad relativa aumenta y después con el transcurso del tiempo va decreciendo poco a poco debido a que cuando comienza el proceso la humedad que va saliendo de la cascara de banano es muy alta.

Ya con el tiempo es más difícil de salir porque la humedad que queda es dentro de la cascara de banano lo que explica la **Tabla 2**, la ralentización observada en la fase final del experimento.

Tabla 3. Temperatura y Humedad vs Tiempo



En la gráfica se evidencia la interacción dinámica entra la temperatura y la humedad relativa, confirmando que ambas variables mantienen una relación inversamente proporcional condicionada por el factor tiempo. A medida que avanza el experimento la temperatura se incrementa de forma progresiva mientras que la humedad relativa (RH) disminuye ve como las dos variables que son la temperatura y la humedad dependen de sí mismas ya que cuando la temperatura va aumentando la humedad relativa(RH) va bajando hasta llegar a un punto donde las dos se estabilizan como se muestra en **Tabla 3**, llegan a un punto de equilibrio y esto pasa porque La energía que suministra el secador de cabello es igual a la energía que se pierde por el extractor, la conducción a través de la carcasa, y la convección al ambiente. También se ve que el periodo más eficiente del secado es al principio ya que se logra una mayor reducción de humedad con el menor tiempo de funcionamiento del secador de cabello y Todo esto también depende si cambia la fuente de energía (secador) se puede aumentar la temperatura y así bajar la humedad relativa más rápido y ayudar a la eficiencia del secado.

Figura 23 Resultado Final de la cascara de banana



El resultado técnico de este prototipo es excelente, ya que describe de manera empírica la pérdida de textura de las cascaras de banano debido a la evaporación de agua. Como se ve en la **Figura 23**, Después de un periodo continuo de 4 horas de secado los ensayos evidenciaron que el prototipo cumplió eficientemente con la extracción de la humedad relativa (RH) ya que la cascara de banano se vio con un buen tono y además se ve como las puntas se están recogiendo y es un síntoma que está quedando crujiente y con una pérdida de agua y de volumen.

También se debe tener en cuenta que todo cambia dependiendo en el lugar donde se haga las pruebas de secado ya que dependiendo del lugar cambia el Contorno Ambientales (Temperatura ambiente, Humedad Relativa y la Radiación Solar).

Ya para finalizar de finalizar las pruebas salieron positivas y con rangos de mejoras del prototipo de secador solar indirecto e híbrido como material didáctico para las unidades Tecnológicas de Santander (UTS).

6. CONCLUSIONES

- Se determinó que el uso de materiales reciclados y de bajo costo es técnicamente viable para la fabricación de equipos, La adaptación de una cámara metálica preexistente demostró que es posible obtener una estructura con el aislamiento y la resistencia térmica necesarios para procesos de deshidratación sin elevar los costos de producción.
- El modelado en software 3D resultó ser una fase crítica, Esta técnica permitió definir con precisión las dimensiones y el ensamblaje de las piezas, facilitando la integración de los componentes, lo que asegura que el prototipo pueda ser replicado como material didáctico.
- La incorporación de controles de velocidad y temperatura hace ver el prototipo como una herramienta didáctica funcional. La capacidad de manejar estas variables permite que los estudiantes observen experimentalmente los principios de la termodinámica y el comportamiento de la humedad relativa, transformando conceptos teóricos en una experiencia de aprendizaje práctica y analítica.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, Con el fin de mejorar la eficiencia energética recubrir las paredes externas de la cámara de secado (microondas reciclado) con un material aislante como lana de roca o poliestireno(icipor). Esto minimizaría las pérdidas de calor por conducción hacia el ambiente.
- Dado que la planta piloto está diseñada para ser trasladada entre laboratorios y zonas exteriores para pruebas solares, se sugiere reemplazar la base de madera por una estructura metálica. Esto incrementaría la vida útil del soporte ante la humedad ambiental y facilitaría su transporte seguro
- Para mejorar la autonomía energética del prototipo, se recomienda la transición hacia un sistema de alimentación mediante un panel solar Debido a la alta demanda de potencia del soplador de aire o secador de cabello.
- Mantener la limpieza de la planta piloto Debido a que el prototipo se utiliza para la deshidratación de productos orgánicos, se recomienda establecer un protocolo de limpieza profunda después de cada ciclo de uso para evitar el moho y los malos olores

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bahamón, J. (2007). *Secador solar indirecto para la deshidratación de lombrices*.
- BibLus Editorial Team. (2024). *Colector Solar: qué es y cómo funciona* - BibLus. <https://biblus.accasoftware.com/es/colector-solar-que-es-y-como-funciona/>
- Castro, R. V., Tricio Gómez, V., & Cano, L. R. (2018). *Secadero solar como recurso didáctico en un laboratorio docente de energías renovables*. <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S2G.GIF>
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). Transferencia de calor y masa. In *McGraw-Hill* (Vol. 4). <https://doi.org/10.35305/curiham.v19i0.39>
- Concejo de Bogotá D.C.. (1981, March 21). *Ley 30 de 1992 - Gestor Normativo - Función Pública*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=253>
- Congreso de la República de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014 - Gestor Normativo - Función Pública*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>
- Crecimiento del sector agropecuario y AgroExpo 2023, un reto hacia el desarrollo del campo | Finagro*. (n.d.). Retrieved March 24, 2026, from <https://www.finagro.com.co/noticias/articulos/crecimiento-del-sector-agropecuario-agroexpo-2023-reto-desarrollo-del-campo-0>
- Dennis R. Heldman. (2007). *Handbook of Food Engineering* Dennis_R_He. 604.
- Deshidratadores Solares – Unidad de Ecotecnologías, UNAM, Campus Morelia*. (2026). <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/deshidratadores-solares-2>
- elcampesino. (2018). *Prototipo de secador solar optimiza secado de maíz, frijol y cacao*. El Campesino.Co.
- Fito Maupoey, P. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Editorial U.P.V.
- Fox, B., Bellini, G., & Pellegrini, L. (2014). Drying. *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook: Principles, Process Design, and Equipment: Third Edition*, 283–305. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-2553-3.00014-3>
- Ginette Moreno - Vanessa Quintero. (2019, July 9). *UPB genera nuevo modelo de secador solar | UPB*. <https://www.upb.edu.co/es/noticias/secador-solar-cruz-roja-upb-bucaramanga->
- Haque, M. E., Hossain, M. S., & Ali, H. M. (2021). Transferencia de calor por convección forzada laminar de nanofluidos dentro de conductos no circulares: una revisión. *Powder Technology*, 378, 808–830. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.10.042>

- Hilcu, M. (2021). *Energía Solar: Qué es y Cómo Funciona*.
<https://www.otovo.es/blog/energia/que-es-la-energia-solar/>
- Holman, J. P. (1999). Transferencia de calor por Radiación. In *Transferencia de calor*.
<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/10/transferencia-de-calor-holman.pdf>
- Homecenter. (n.d.). *Todo lo que debes saber acerca del extractor de aire* | Homecenter. Retrieved May 1, 2026, from <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/content/Como-elegir-extractores-de-aire/>
- IDMA, & Ambiente, C. F. T.-M. (2023). *¿QUÉ ES UN SECADOR SOLAR?* | IDMA.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. In *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*.
- Ingenierías sin Fronteras. (2015). *Tecnologías Apropriadas para la Transformación Agropecuaria*. 1, 12.
- Inventan en México secador solar para conservar frutas y hortalizas*. (n.d.). Retrieved March 24, 2026, from <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/inventan-en-mexico-secador-solar-para-conservar-frutas-y-hortalizas-208826>
- Manuel Alexander, & Acosta, C. (2015). *UNIVERSIDAD DISTRITAL “FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS”-FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO N° DE RADICACIÓN: _____ INFORMACIÓN EJECUTORES Ejecutor 1 Nombre (s)*.
- Ministerio de Ambiente, V. y D. T. (2008). Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. *Resolucion 909 De 2008, (909), 36*.
<http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/f0-Resolución 909 de 2008 - Normas y estandares de emisión Fuentes fijas.pdf>
- Monitox S.A.S. (n.d.). *TERMOHIGROMETRO DIGITAL HTC-2 - Monitox*. Retrieved May 1, 2026, from <https://monitox.com.co/tienda/termohigrometro-digital-htc-2/>
- Muñoz Neira, M. J. (2019). *Modelado y simulacion de un secador solar hibrido para masa de cafe en pepa*. <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/14019>
- SECOIN S.A. (2019, January 25). *Humedad relativa: qué es y por qué es importante controlarla* | Secoin. <https://www.secoin.com.uy/blog/humedad-relativa-qué-es-y-por-qué-es-importante-controlarla>
- Soler & Palau (S&P). (2024, July 22). *Humedad relativa, específica y absoluta -Carta Psicrométrica* | S&P. <https://www.solerpalau.com/blog/es-es/humedad-relativa-especifica-absoluta/>
- Universidad Nacional de la Plata. (2018, January 8). *La UNLP desarrolló una secadora solar para deshidratar verduras » UNLP*.

https://unlp.edu.ar/investigacion/la_unlp_desarrollo_una_secadora_solar_para_la_deshidratacion_de_verduras-1674-6674/

Yataganbaba, A., & Kurtbaş, I. (2016). A scientific approach with bibliometric analysis related to brick and tile drying: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 206–224. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.12.357>

Yuliana Jiménez Gasca, K., & Peña Camacho, M. (2021). *Diseño de un sistema de energía solar mixto para suplir las necesidades energéticas de un secador solar de café sostenible*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/616

9. APÉNDICES

Si aplica, se anexan: formato de encuestas entrevistas, chek list, en general las herramientas o instrumentos utilizados en la investigación. Se enumeran con letras mayúsculas de la A - Z, si la cantidad es mayor se enumeran con números arábigos. Fuente y títulos en Normas APA.

10. ANEXOS

La sección de anexos será usada para presentar información que los autores y el director consideren importante, como el caso de: manuales de usuario, hojas de datos, guías de laboratorio, demostraciones matemáticas, diseños esquemáticos, cartografía, entre otros.

Cada Anexo debe estar identificado por una letra (A –Z), la cual será usada para diferenciar las figuras, tablas y ecuaciones que se encuentren en estas secciones.

F-DC-125

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO**

VERSIÓN: 2.0

ELABORADO POR:
Docencia

REVISADO POR:
Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023