Construcción de deshidratadora solar de alimentos (piña)

Construction of solar food dryer (pineapple)

Erik E. Vázquez Fernández[1], José L. Ríos Hernández[1], Manuel I. Covarrubias Radillo[1], Alejandro Regalado Escobedo[1], Antonio Concha Sánchez[1], Antonio J. Pérez Campos [1]

[1]Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, erick_vazquez@ucol.mx

Resumen

En el presente trabajo se atiende una problemática definida por el Gobierno de México como de atención prioritaria, la pobreza alimentaria, la cual se encuentra presente de manera preponderante en las zonas rurales del país. La atención a esa problemática, entre otras, se realizó a través del Proyecto PRONACES 2021-2024 No. 319456, siendo el objetivo el proporcionar alimento a las comunidades rurales de Nayarit empleando tecnología solar para deshidratar fruta que puedan consumir en periodos en donde escaseen y puedan disminuir la pobreza alimentaria en dichas comunidades. Este proyecto es interinstitucional y se muestra en el presente documento la interacción de las IES UAN, UNAM y UCOL para el desarrollo de un prototipo de deshidratador solar unifamiliar semiautónomo, el cual representaría una opción viable para la obtención de alimentos de buena calidad nutricional y con caducidad ampliada al ser deshidratados por medio de prototipos de bajo costo y robustos en su operación. Los resultados que se presentan muestran una repetitividad aceptable en el proceso de deshidratación, así como una calidad dentro de los parámetros establecidos para que no pierdan sus propiedades nutrimentales. El proyecto contempla tres niveles de intervención, siendo el desarrollado en el documento el primero de ellos, los dos restantes están enfocados a la organización de las comunidades para la generación de una cooperativa que les permitan utilizar tecnología solar para deshidratar a gran escala, con lo cual se propone, además de atender la pobreza alimentaria de estas, generar una actividad económica que les permita incrementar significativamente su nivel de ingresos.

Palabras Clave: Secado solar, Energía fotovoltaica, deshidratación de alimentos, Control ON-OFF.

Abstract

This paper addresses an issue defined by the Mexican government as a priority concern: food poverty, which is particularly prevalent in rural areas of the country. This issue, among others, was addressed through Project PRONACES 2021-2024 No. 319456, with the aim of providing food to rural communities in Nayarit by using solar technology to dehydrate fruit that they can consume during periods of scarcity and thereby reduce food poverty in these communities. This project is inter-institutional, and this document shows the interaction between the UAN, UNAM, and UCOL higher education institutions in the development of a prototype for a semi-autonomous single-family solar dehydrator, which would represent a viable option for obtaining food of good nutritional quality and with an extended shelf life by dehydrating it using low-cost, robust prototypes. The results presented show acceptable repeatability in the dehydration process, as well as quality within the established parameters so that the food does not lose its nutritional properties. The project envisages three levels of intervention, the first of which is outlined in the document. The remaining two focus on organizing communities to set up a cooperative that will enable them to use solar technology for large-scale dehydration. The aim is not only to address food poverty in these communities, but also to generate economic activity that will enable them to significantly increase their income levels.

Keywords: Solar drying, Photovoltaic energy, Food dehydration, ON-OFF control.

Recibido: 22/09/2025; Publicado 30/12/2025

Introducción

El número de personas que padecen hambre en el mundo siguió aumentando en 2020, un año a la sombra de la pandemia de la COVID-19. Tras mantenerse sin apenas variaciones de 2014 a 2019, la prevalencia de la subalimentación aumento del 8,4% a cerca del 9,9% entre 2019 y 2020, lo que complica el reto de cumplir la meta del hambre cero para 2030 [1].

A escala mundial, 149,2 millones de niños menores de cinco años (el 22,0%) padecieron retraso del crecimiento (indicador 2.2.1 de los ODS) en 2020. La prevalencia del retraso del crecimiento ha disminuido del 33,1% en 2000 al 26,2% en 2012 y al 22,0% en 2020. En 2020, casi tres cuartos de los niños con retraso del crecimiento en todo el mundo vivían en apenas dos regiones: Asia central y meridional (37%) y África subsahariana (37%) [1].

La malnutrición es una condición fisiológica anormal causada por una ingesta insuficiente, desequilibrada o excesiva de macronutrientes y/o micronutrientes. La malnutrición incluye desnutrición (el retraso en el crecimiento y la emaciación de los niños, y deficiencias de vitaminas y minerales), el sobrepeso y la obesidad [2].

Tres de los principales factores que subyacen a los cambios recientes en la seguridad alimentaria y la nutrición son los conflictos, la variabilidad y las condiciones extremas del clima y las desaceleraciones y debilitamientos de la economía, que se ven agravados por las causas que subyacen a la pobreza y por niveles de desigualdad muy altos y persistentes (por ejemplo, en cuanto a ingresos, capacidad productiva, bienes, tecnología, educación y salud) [1].

El enfoque estructural empleado para fundamentar las nuevas previsiones confirma el resultado básico anticipado el año pasado: el hambre no se erradicará para 2030 a menos que se realicen esfuerzos excepcionales. Las perspectivas ya eran desalentadoras antes de la pandemia de la COVID-19, que ha agravado la situación. Se precisan medidas audaces para acelerar los progresos, especialmente medidas destinadas a abordar la desigualdad en el acceso a los alimentos [1].

En cuestiones sociales, México es ejemplo de la paradoja que enfrentan los países de ingresos medios altos. El perfil ascendente del país en el índice de desarrollo humano (IDH, 0.774, lugar 74) ha dado lugar a logros importantes en el bienestar de su población; sin embargo, los promedios nacionales esconden disparidades [3].

Según la encuesta nacional de salud 2018, el 55.5% de los hogares en México se clasificaron en alguna de las tres categorías de inseguridad alimentaria. El 69.1% de los hogares que viven en el estrato rural fueron clasificados en algún nivel de inseguridad alimentaria [4].

El secado de plantas medicinales, granos, frutas y carnes ha sido una práctica habitual de conservación en el campo para asegurar la disponibilidad de alimentos durante todo el año. Hoy en día, el secado de vegetales no tiene solamente una función de autoabastecimiento, sino que ofrece una alternativa productiva y comercial para el mercado, al aprovechar los excedentes en las cosechas, para su transformación a través del aprovechamiento del calor del sol y ofrecer a los consumidores productos naturales y sanos, entre los cuales se encuentran las frutas secas, teniendo en esta área un gran potencial aún no explotado para satisfacer esta demanda creciente.

Desarrollo

A. Proceso de secado como alternativa a conserva

Anterior a la agricultura tecnificada, en la antigüedad, las civilizaciones se han enfrentado al problema de conserva de alimentos, tanto de las cosechas cultivadas por temporada como para las proteínas animales productos de la caza. Cada clima en particular representaba una barrera para el suministro alimenticio de las poblaciones, de aquí, nace la aplicación del secado de estos. Un método rudimentario que originalmente se llevaba a cabo a partir de la exposición de los alimentos a la intemperie y donde la radiación solar incidente los deshidrata. La ausencia de humedad permitió prolongar el estado de conservación al evitar condiciones de reproducción de hongos y microorganismos [5].

En la actualidad los procesos de liofilización son objeto de estudio, esto con propósitos industriales, dicho tratamiento agrega un valor a la cadena de suministros. Si bien la eficiencia es buena, implica un costo energético alto, los combustibles más usados son la biomasa (gas natural) y la energía eléctrica, que, a su vez, más del 80% es producida con la quema de combustibles fósiles. Dicho lo anterior, las políticas de energías limpias han impulsado al desarrollo de tecnologías que buscan como principal objetivo reducir el impacto ambiental.

Dentro de las formas de deshidratación solar se encuentra una clasificación sistemática, la clasificación depende de su operación y sus características constructivas y de los elementos que lo componen. La Figura 1, muestra las distintas variantes que existen.

La selección adecuada dependerá tanto de las propiedades físicas de la fruta, como de la calidad deseada del producto terminado, factores económicos subyacentes también son consideradas [6]. Sin importar la configuración que desee usarse, el fenómeno de deshidratación de este tipo usa como principal fuente de calor la radiación solar, donde la eficiencia de estos dependerá únicamente de su arreglo para obtener una mayor relación de secado. Derivado de los experimentos desarrollados en los diferentes tipos de deshidratado, la eficiencia es directamente proporcional a ganancia de temperatura dentro de la cámara, la Figura 2 describe la relación que existe entre las diferentes etapas de proceso.

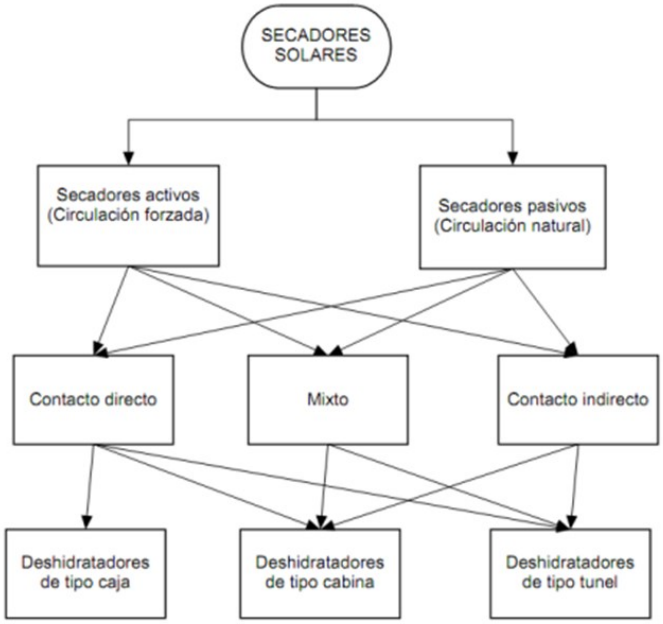


Figura 1. *Distintos tipos de deshidratadores solares, según su configuración. (Belessiotis, (2011)).*

Para determinar la relación del secado, se analiza la temperatura, la cantidad de humedad relativa y el flujo másico de aire seco en función del tiempo. En la primera etapa, es en donde existe una mayor cantidad de humedad extraída, esto derivado a que el volumen cuenta con vapor saturado y por consecuencia una tasa de secado constante.

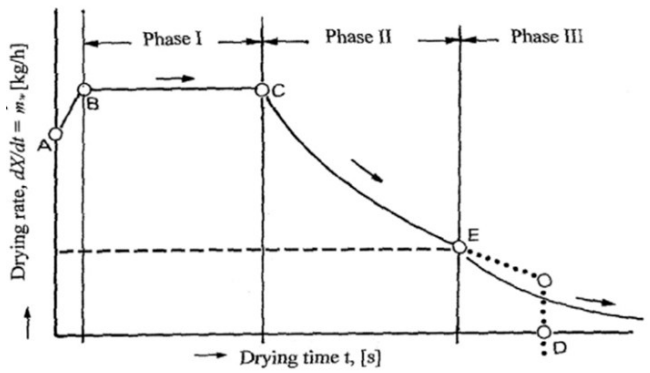


Figura 2. *Tasa de secado y sus diferentes fases. (Belessiotis, 2011).*

La segunda fase, es el periodo en el que la tasa de secado es decreciente. En este punto de operación, existe una difusión por parte de la humedad, el punto crítico y de saturación están alejados, el agua disponible decrece y el control del proceso se ve reducido a las velocidades del fluido dentro de la cámara [6].

Parte de los parámetros a considerar en los deshidratadores del tipo de gabinete es la cantidad de niveles para las charolas donde la carga es colocada. Las condiciones del aire seco, la cantidad de flujo y la carga determinará el número de niveles [7]. El rendimiento a su vez está en función de la densidad de carga, el área total efectiva del colector y el tiempo de secado para cada producto. El dimensionado de la carga es crítico, una sobrecarga resultará con una mala calidad del producto, y por el contrario una carga parcial vería afectada la eficiencia en su rendimiento, esto como el resultado de no hacer uso de toda el área disponible.

El estado nutricional y de calidad de los frutos o vegetales dependerá de la robustez del proceso de control. Un incremento de la temperatura dará como resultado un aumento en la tasa de secado, el límite de temperatura plausible dependerá de cada producto. Una temperatura por encima de este límite resultará en cambios no deseados en el aspecto físico, tales como: quemaduras, cambio de color, modificación en sus propiedades mecánicas (texturas), aroma y sabor [8]. De tal manera que el control de estos parámetros es crucial para mantener el estándar de calidad requerido por el usuario sin sacrificar sus aportes nutricionales. Por el contrario, la ausencia de calor constante a una temperatura (T) específica para cada producto terminará afectando la uniformidad de secado del lote, la variable tiempo a su vez se verá prolongada (tiempo de secado), volviéndolo irrealizable, pudiendo extenderse incluso días para casos muy drásticos. La asimetría durante el proceso provocaría contaminación cruzada, ya que la rotación de las charolas es necesaria para procurar una deshidratación homogénea. La factibilidad de construcción y operación depende tanto de los factores económicos como de la disponibilidad de irradiación solar anual en la zona geográfica respectivamente. A partir de lo anterior se obtiene una relación de la proyección de cargas futuras, esto como un ejemplo de relación temperatura – tiempo por fruta, mostrado en la Tabla 1, considerando a su vez el suministro constante del producto a deshidratar [9]. Es importante mencionar que este deshidratador esta dirigido a dotar de alimento a usuarios que vivan en zonas rurales excluidas de actividades económicas pero que cuentan con frutos suficientes que les proporcionarán alimento en las temporadas en que esté escasee, por lo que el usuario deberá tener el conocimiento mínimo para aprovechar el deshidratador y tener la capacidad de tener alimento disponible durante todo el año.

Tabla 1. *Ejemplos de frutas como opciones para deshidratar con la relación tiempo – temperatura. [De Michelis. A. Ohaco, E. 2015.].*

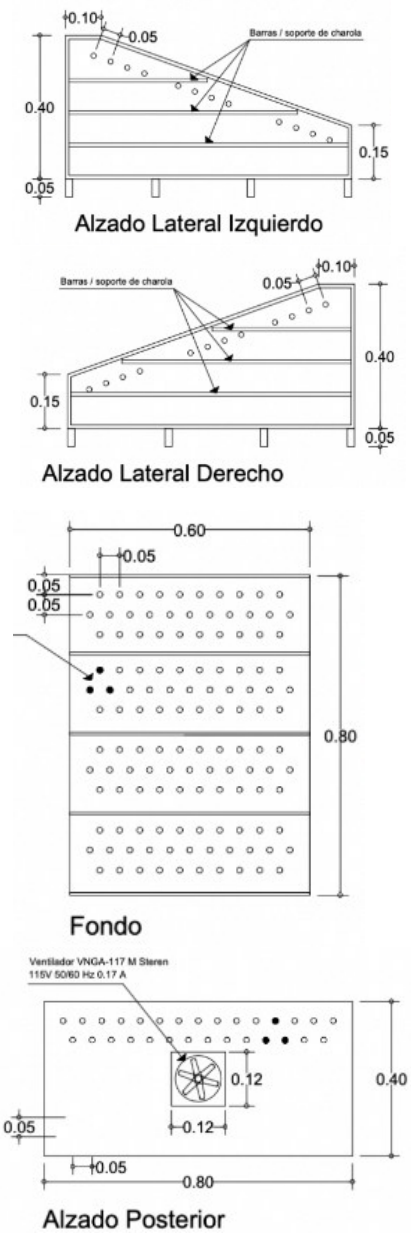
FRUTA	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (HRS)
Mango	65	8
Piña	65	9
Plátano	70	10
Fresa	60	7
Manzana	60	7
Naranja	70	6
Mora	70	10
Tomate	70	12
Pitahaya	65	9

B. Descripción de la prueba

Para el desarrollo de la metodología de prueba se instrumentó el deshidratador, las capturas de los datos registrados son necesarias para su posterior análisis. Los parámetros a sensar usualmente son las variables de temperatura, humedad e irradiación solar. La prueba deberá llevarse a cabo en un espacio libre de sombra para no ver interrumpida su operación. Estandarizar la densidad de carga para obtener un punto de operación nominal. La densidad de muestreo es dos variables por segundo, posteriormente es posible sacar los promedios para estandarizar la prueba. El progreso en el estado de extracción de humedad es apreciable a través de la observación, cambios constantes en su estructura física y apariencia son visibles durante intervalos continuos. Finalmente, para determinar el estado de deshidratación, el peso de la fruta fresca y el peso de la fruta al terminar el proceso deberá ser comparado para obtener su relación de secado. Muestras de seis partes distintas de las charolas deben ser tomadas y promediadas [10].

C. Diseño y construcción

El diseño constructivo fue propuesto por la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN) en conjunto con la UNAM. La planta seleccionada es de tipo mixto, su geometría y dimensiones se muestran en la Figura 3. La selección del material constructivo y de los elementos de instrumentación fue adecuada a los requerimientos de la propuesta, siendo estos acrílico transparente para facilitar la captación de la irradiación solar.



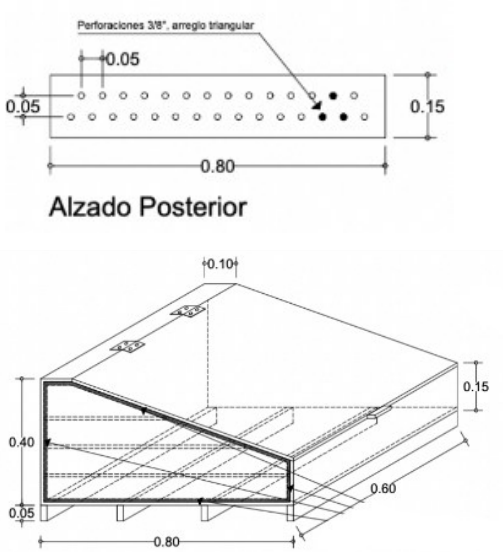


Figura 3. *Vistas del prototipo propuesto por la Universidad de Nayarit y UNAM.*

El modelo propuesto cuenta con una cámara de secado y 3 niveles para la colocación de la carga, anexándose un intercambiador de calor y un sistema de control acoplado a un motor de CD para poder mantener la calidad de secado y eficientar el proceso, Figura 4. El dimensionamiento de la carga térmica toma como referencia la piña miel, esto derivado a su disponibilidad en la región durante el periodo de pruebas, noviembre y diciembre.

Figura 4. *Prototipo instrumentado en operación.*

D. Diseño de la cámara de secado

Para el dimensionamiento, se consideró un dispositivo compacto y con esto una carga a deshidratar de 2 kg de fruta. Haciendo uso de la Ecs. (1) [1], se determinó la capacidad de secado en función del volumen, siendo este 0.0032679738 m^3.

$$V_{tp} = \frac{M_t}{\rho_{ap}} \tag{1}$$

Donde:

$V_{tp} = volumen\ total$
$M_t = masa\ total$
$\rho_{ap} = densidad\ aparente\ de\ la\ piña$

Considerando la holgura entre los espacios de cada bandeja y los espacios para el flujo se tiene un volumen de la cámara de 0.1395 m^3 con un 2% de tolerancia.

E. Diseño de charolas

El volumen de la fruta es considerado para una mejor distribución, por lo cual se consideran cortes transversales de 4 mm de espesor equidistantes entre si a 5 mm de separación. Finalmente, se tienen dos tipos de charolas debido al ángulo de inclinación de la cámara. Las dimensiones y cantidad de ellas se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2. *Dimensiones de las charolas.*

Dimensiones	Ancho (A)	Largo (B)	Alto (C)
Grande (2)	595 mm	795 mm	15 mm
Mediana (1)	595 mm	495 mm	15 mm

De tal manera que tiene un volumen de bandeja $V_{1\text{-}2}$=0.007095375 m^3 y un volumen de bandeja V_3=0.000417875 m^3.

F. Diseño del colector

Los colectores solares son dispositivos que convierten la radiación solar en energía térmica, esto a través del aumento de la temperatura del fluido de trabajo, la finalidad del proceso es transferir la cantidad de calor ganado hacia un fluido secundario [11].
Para el análisis térmico, se asume que el balance de energía del sistema es cerrado y en estado estable, por lo tanto, las pérdidas por el intercambio de temperatura se contemplan en la Ecs. (7). El calor latente de la carga se dividió en dos: la cantidad de fruta en kg y el volumen de aire a calentar en el colector. Las Ecs (2) y (3), expresan la carga térmica [12].

$$\dot{Q} = \dot{m}_h c_{ph}\left(T_{h,ent} - T_{h,sal}\right) \quad (2)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_c c_{pc}\left(T_{c,sal} - T_{c,ent}\right) \quad (3)$$

Donde:

$\dot{Q}$ = calor latente
$\dot{m}_h, \dot{m}_c$ = gastos de masa, (h, heat; c, cold),
c_{pc}, c_{ph} = calores específicos,
$T_{c,sal}, T_{h,sal}$ = temperaturas de salida,
$T_{c,ent}, T_{h,ent}$ = temperaturas de entrada,

Las dos ecuaciones representan el balance de energía entre el flujo de aire frio y la salida el calor ganado transferido hacia la fruta, como se muestra en la Ecuación 4, siendo E_t la energía total.

$$E_t = E_{in} + E_{out} \quad (4)$$

A menudo para el cálculo de intercambiadores de calor resulta conveniente calcular la razón de capacidad calorífica (C), para obtenerla se realiza el producto de gasto de masa y el calor especifico del fluido, y se define en la Ecs. (5) para las corrientes de flujo de aire como:

$$C_h = \dot{m}_h C_{ph} \qquad C_c = \dot{m}_c C_{pc} \quad (5)$$

La razón representa la velocidad del fluido necesario para aumentar la temperatura de este 1°C conforme fluye por el intercambiador.
El dimensionamiento del área del colector se hizo en función de la irradiancia solar disponible en la zona geográfica de Colima, y se define como: $Q_{IN} = (I)(A_S)$.
La cantidad de energía necesaria para el proceso es calculada a partir de un balance de energía y considerado el que el proceso es continuo. Es calculado haciendo uso de la Ecs. (6).

$$Q_{heater} = W_\delta C_{P\delta}\left(T_{\delta,in} - T_{\delta,out}\right) \quad (6)$$

W_δ = temperatura media logarítmica,
$C_{P\delta}$ = calor específico,
$T_{\delta,in}$, $T_{\delta,out}$ = diferencia de temperaturas,
Q_{heater} = calor latente o carga térmica.

A continuación de evalúa la Ecs (7).

$$W_\delta C_{P\delta}\left(T_{\delta,in} - T_{\delta,out}\right) \approx W_s(X_{in} - X_{out})\Delta H_v + W_s C_{Ps}\left(T_{\delta,out} - T_{\delta,in}\right) + Q_{loss} \quad (7)$$

Donde:

X_{in} , X_{out} = temperaturas de la mezcla,
ΔH_v = cambios o incrementos de entalpía,
Q_{loss} = relación de pérdidas.

La función anterior muestra el balance de energía para el prototipo, la suma de la carga de evaporación, el calor latente de sólidos a deshidratar y las pérdidas [13].

G. Diseño de control

Para el control es necesario el análisis de las curvas de temperatura del deshidratador sin carga y con carga, esto con la finalidad de determinar el tipo de función de transferencia característica del fenómeno.

La Figura 5 muestra el promedio de ganancia de temperatura contra el tiempo. En la gráfica se puede apreciar que es de primer orden, y por consiguiente se propone un esquema de control ON – OFF. La aplicación de control de dos posiciones es de gran utilidad ya que es relativamente barato y simple [14].

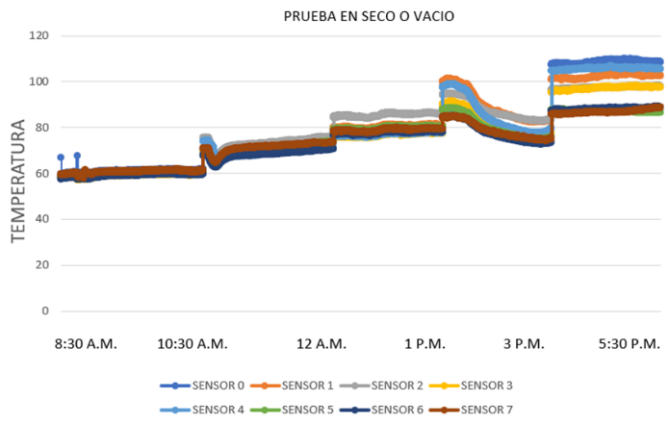


Figura 5. *Análisis de temperatura sin carga.*

En la Figura 6, se observa una prueba de distribución de sensores en la cámara de deshidratado sin carga para una parametrización robusta de la distribución de la temperatura.

Figura 6. *Prueba del módulo de adquisición de datos al vacío.*

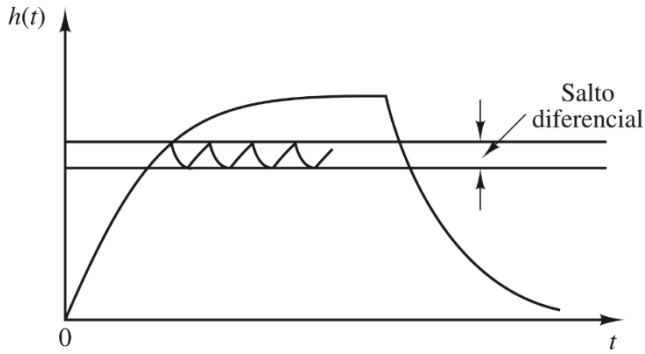


Figura 7. *Respuesta de un sistema de control de dos posiciones, el salto diferencial muestra la región de operación definida por los errores de límite superior e inferior. (Oggata,2001)*

La Figura 7, describe la respuesta de un sistema de control de dos posiciones. Para ser posible el control una salida de *u(t)*, dependerá de un error *e(t)*, dicho error mantendrá la posición de *u(t)* en un valor máximo o mínimo. Ahora bien, la región de operación está definida por esta brecha diferencial de errores, $U(t)=U_1$ *si* $e(t)\leq 0$ o U_2 *si* $e(t)\geq 0$, por lo general cuando el error es *0* o negativo *-U* el valor del estado es correspondiente al valor mínimo. Cuando el valor de error sea positivo el valor de la salida corresponderá al punto máximo.

Este tipo de sistema tienden a estabilizar su comportamiento en un valor de aproximadamente 5 t, el diagrama de bloques usado para modelar la planta se muestra en la Figura 8.

Para el modelo anterior aplicado al deshidratador, se condiciona el sistema a dos variables de entrada y dos de salida: *T(t)* y *H(t)* como entradas, que a su vez controlaran la activación de $U1=V_{VENT(ON-OFF)}$ y $U2=SERVOMOTOR_{O_C}$ como salidas.

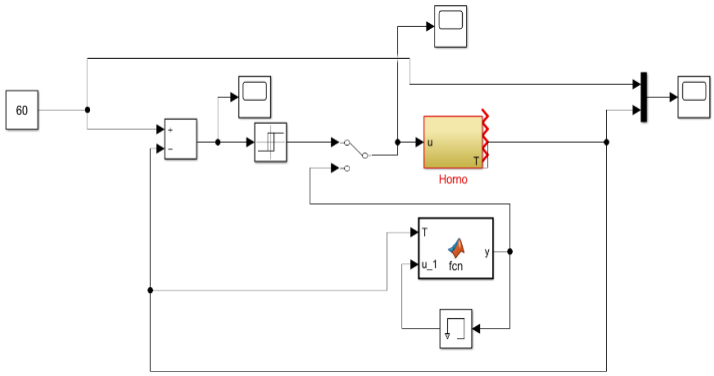


Figura 8. *Diagrama de bloques*

En donde *T(t)* son las variaciones de temperatura como función del tiempo y *H(t)* se definide como el porcentaje de humedad relativa

contenida en el volumen de control, el control opera de la siguiente manera:

Si la temperatura se encuentra por arriba del límite superior permitido, $T(t) \geq t_high$, la variable $V_{VENT(ON\ -\ OFF)}$ de salida deberá cambiar su estado a encendido para reducir la tasa de transferencia de calor, y por el contrario si $T(t) \leq Tmin$, el ventilador asignado a las variables de salida $V_{VENT(ON\ -\ OFF)}$ deberá cambiar la variable a apagado y escotilla deberá permanecer cerrados hasta mantenerse en la región de operación. De igual manera la variable $H(t)$ se encuentra condicionada bajo los mismos parámetros que la variable $T(t)$ para la activación de las variables de salida. La región de operación para el sistema se definió para el producto a deshidratar, en este caso para piña miel, siendo las temperaturas y humedad:

$$T_{MAX}=60°C,\ T_{MIN}=57°C,\ H_{MAX}=74\%\ y\ H_{MIN}=60\%$$

H. Adquisición de datos e instrumentación

La adquisición de los datos se hizo a través de un módulo Arduino nano, acoplado a un sensor de temperatura y humedad tipo DHT22 ubicado a un costado de la salida de extracción de humedad, de igual manera la irradiación fue obtenida de una estación DAVIS instalada en FIME. La frecuencia de sensado quedo limitada a dos muestras por segundo debido a la capacidad de respuesta de este. Un motor de CD de 3 W en la salida correspondiente del PWM es controlado por el Arduino para regular la velocidad angular, esto junto con la configuración de un servomotor MG90s para poder regular la apertura de la escotilla.

I. Circuito de alimentación fotovoltaico aislado

El deshidratador solar fue implementado y probado en Coquimatlán Colima, en donde el promedio anual tanto de la humedad relativa es del 71.5% como de las HSP es de 5.7. En la Tabla 3 se muestra el sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía, el cual tendrá la capacidad de mantener el ciclo de carga de la batería y a su vez usar la potencia disponible para alimentar el circuito de control, extractor y servomotor de apertura de la cámara de deshidratación.

Tabla 3. *Equipo fotovoltaico aislado.*

Equipo	Cantidad	Características
Módulo Fotovoltaico	1	10W@12VCD
Controlador de carga	1	30W@12VCD
Batería Pb/Lead	1	12VCD@7Ah
Base	1	Aluminio

Debido a que los niveles de voltaje de operación son distintos para el control y los elementos a controlar se diseñó una PCB para montar todos los elementos en un solo dispositivo compacto. La descripción de la PCB se muestra de manera esquemática en la Figura 9.

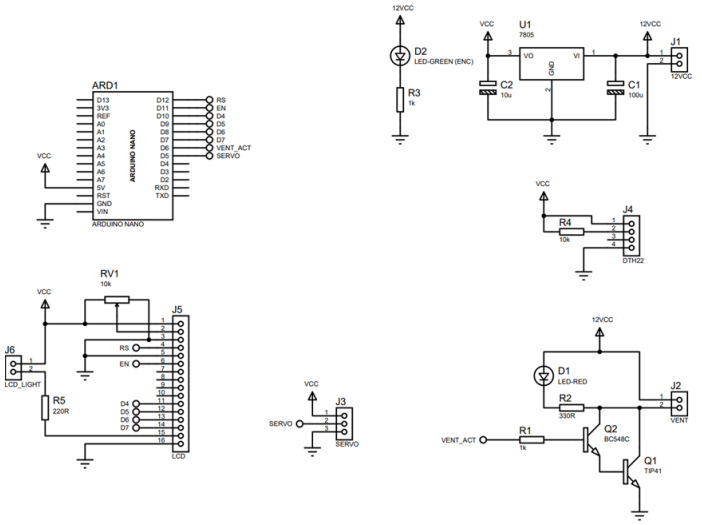


Figura 9. *Esquema de operación del prototipo*

Para la operación del ventilador que funciona como extractor se empleó un arreglo Darlington [15]. En la Figura 10 se muestra el sistema fotovoltaico aislado implementado para generar la energía necesaria para que el deshidratador en su conjunto trabaje de manera autónoma, el sistema en su conjunto es robusto en su operación y solo se requiere sustituir la batería recargable cada tres meses en caso de que se utilice de manera constante o cada seis, si su uso es intermitente.

Figura 10. *Módulo de alimentación y control compacto.*

Resultados

Una vez que se implementó el prototipo se estableció un protocolo de pruebas para comprobar la funcionalidad de este llevando a cabo diversas pruebas para comprobar que el proceso de deshidratación es óptimo, el cual se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. *Protocolo para la realización del proceso de deshidratación.*

Actividad	Cantidad	Descripción	Observaciones
Preparación de la fruta.	Dos kg a granel.	La fruta se rebanará en rodajas de 3 a 4 mm de espesor.	La fruta deberá preferentemente puesta a escurrir por media hora una vez rebanada. Antes de colocarla en las charolas registrarse el peso de la fruta.
Encendido del prototipo de deshidratación.	-	Se habilitará el interruptor para que el prototipo empiece a registrar las temperaturas al interior de la cámara treinta minutos antes de colocar las charolas cargadas en este, esto es a partir de las 8:30 horas.	El prototipo de deshidratador deberá estar colocado en una zona en donde no se produzcan sombras sobre él y orientado con el frente hacia al sur, incluyendo el SFVA de alimentación externa.
Carga de la fruta en las charolas de deshidratación.	Dos cargas iguales y una menor.	La fruta deberá ser repartida uniformemente en las tres charolas de la cámara de deshidratación, contemplando una separación de 5mm entre rebanadas de la fruta.	-
Prueba del cerrado hermético del prototipo de deshidratador.	-	Se verificará que la cámara de deshidratación y la cámara de precalentamiento de aire no presenten una fuga de calor antes de iniciar la colocación de las charolas.	Esto se comprueba con la medición de la temperatura en ambas cámaras a través de la etapa de medición.
Colocación de las charolas cargadas en la cámara de deshidratación.	Tres charolas.	Se colocarán las charolas en su lugar para iniciar el proceso de deshidratación una vez que se cierre la cámara, esto es a las 9:00 horas.	-
Proceso de deshidratación.	-	En el caso de colocar piña, el tiempo de trabajo del prototipo es de ocho horas y media. Por lo que el ciclo terminará a las 17:30 horas.	Se deberán realizar al menos dos inspecciones visuales por el usuario durante el proceso de deshidratación.
Proceso de descarga del prototipo.	Tres charolas.	Se abrirá con cuidado la cámara de deshidratación y se retirarán una por una las charolas, colocando la fruta en el recipiente designado para ese fin.	Una vez retirada la fruta de las charolas deberá pesarse para realizar la determinación de cuanta humedad fue retirada en el proceso de deshidratación.
Apagado y limpieza del prototipo.	-	Una vez terminado el proceso de deshidratación con el retiro de las charolas se deberá proceder al apagado del prototipo y a su limpieza para iniciar la siguiente prueba.	La limpieza de las charolas deberá hacerse con jabón hipoalergénico y agua, y la cámara de deshidratación solo podrá limpiarse con agua y secarse con un paño de microfibra sin ninguna clase de limpiador.

La evaluación de los resultados experimentales se muestra en la Tabla 5, en donde se registran 10 pruebas empleando el protocolo descrito en la Tabla 4, las cuales fueron realizadas durante el invierno, con una disponibilidad de irradiación solar menor de 5KWh/m^2. Para evaluar la eficacia, esta se obtiene a partir de la relación de la diferencia de pesos, de tal manera que se determina el porcentaje de humedad extraída [16], tomando como referencia los pesos descritos en el paso 1 y 7, por lo que muestras aleatorias fueron tomadas y pesadas para cada charola, cada prueba se realizó durante la misma duración de 8:30 horas, comenzando a las 9:00 horas y concluyendo a las 17:30 horas como se menciona en el protocolo de pruebas.

Tabla 5. *Pruebas aleatorias de elaboración propia con pesos iniciales y finales con el porcentaje que se extrajo de la fruta deshidratada.*

Fecha	No. de pruebas	Peso inicial (Kg)	Peso final (Kg)	H_{ext} (%)
13/12/23	1	2	0.26	87
19/12/23	2	2	0.23	88.5
20/12/23	3	2	0.24	88
16/01/24	4	2	0.30	85
17/01/24	5	2	0.20	90
18/01/24	6	2	0.25	87.5
22/01/24	7	2	0.28	86
25/01/24	8	2	0.25	87.5
26/01/24	9	2	0.22	89
02/02/24	10	2	0.29	85.5

A continuación, se muestra el desarrollo de la prueba número 7, registrada en la Tabla 5. En la Figura 11 se muestra la fruta colocada en las charolas al interior de la cámara de deshidratación al iniciar al proceso, atendiendo el protocolo de pruebas establecido.

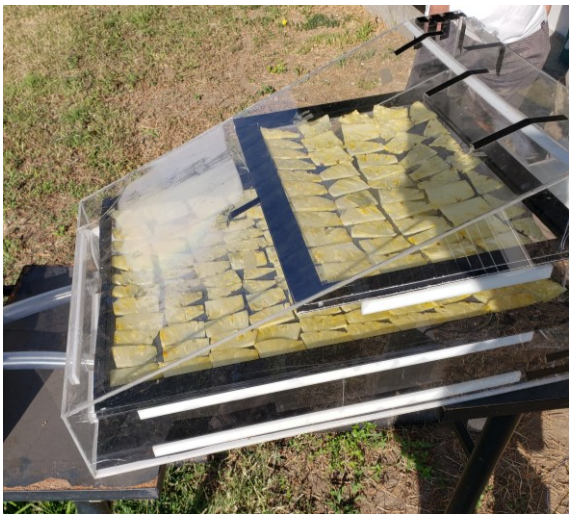


Figura 11. *Inicio de la prueba 7 de deshidratado.*

En la Figura 12, se muestra el comportamiento de la extracción de humedad en la cámara, se observa como el comportamiento de la irradiación solar no fue constante durante la prueba al existir una

variación en la gráfica de extracción humedad durante dos etapas del proceso, una lineal al inicio y la oscilación que se presenta de la etapa media en adelante de este, al final de la prueba las condiciones de operación permitieron retirar cerca del 70% de humedad referida a la cámara.

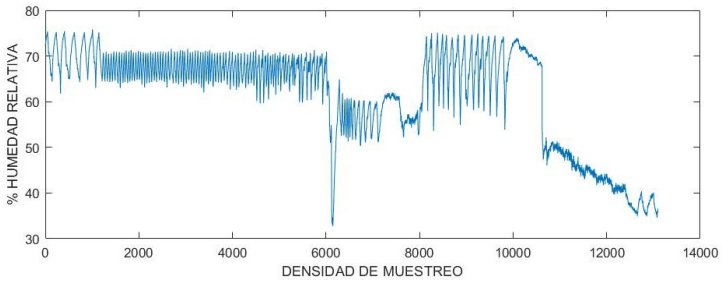


Figura 12. *Humedad relativa extraída en la cámara de deshidratación.*

En la Figura 13 se observa la temperatura en la cámara durante el proceso de deshidratación en la prueba 7, la cual inicia en 24°C y va aumentando de manera gradual, esto debido al alto porcentaje de humedad relativa presente al interior de la cámara, también se observa como la irradiación directa no permite establecer la temperatura de trabajo de 60°C sino hasta la segunda parte de la prueba, al final del proceso se observa como la temperatura regulada al interior de la cámara empieza a elevarse al alcanzar el porcentaje de extracción de humedad logrado.

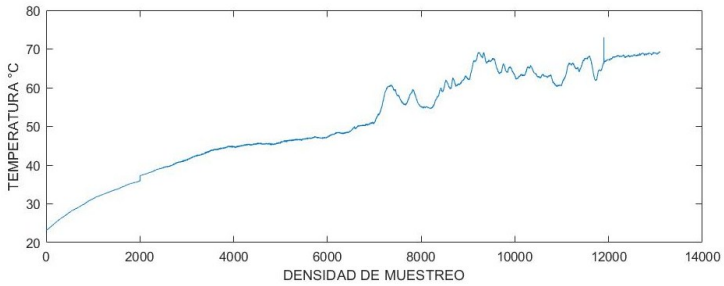


Figura 13. *La grafica muestra el incremento de temperatura en la cámara de secado. Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura 14 se observa la fruta al final del proceso de deshidratación, por lo que se le extrajo el 86% de humedad a la piña miel, disminuyendo el peso de la fruta de 2kg a 0.28kg con lo que se encuentra dentro de los requerimientos de deshidratado para esta fruta. Como se observa el protocolo permite evaluar el desempeño del prototipo de deshidratador en diversas condiciones de operación y los resultados obtenidos de la deshidratación de la fruta fueron óptimos y el desempeño del prototipo robusto y funcional.

Figura 14. *Fruta deshidratada resultado de la prueba 7.*

Conclusiones

El objetivo propuesto en este proyecto de investigación fue alcanzado al diseñar, construir y probar un prototipo de deshidratador personal autónomo. El proyecto surgió de una necesidad que se planteó en el proyecto PRONACES 2021-2024 No. 319456, siendo esta el proporcionar a las comunidades del Estado de Nayarit de la tecnología necesaria para que se deshidrate la fruta que no pueden consumir, en lugar de dejar que se desperdicie, y puedan disponer de él en periodos en que no haya disponibilidad de esta. Al ser un proyecto interinstitucional y transdisciplinar, diversas IES, tales como la UAN, UCOL y UNAM, realizaron propuestas para desarrollar un prototipo de deshidratador personal que permita ayudar a reducir la pobreza alimentaria en las comunidades. La UAN proporcionó los requerimientos de deshidratado para las diferentes frutas que se cosechan en la región que serán empleados para diseñar el prototipo. En la UCOL se retomó un diseño de deshidratador y se optimizó para obtener un prototipo de deshidratador autónomo que le permita al usuario disponer de su tiempo mientras en prototipo realiza el ciclo de deshidratación. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, retirando el porcentaje de humedad que permite que la fruta pueda ser almacenada por un tiempo prolongado sin perder sus propiedades nutriológicas. Por lo anterior se cuenta con un prototipo que permite atender la necesidad prioritaria de alimento para zonas marginadas.

Referencias

[1] FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. 2022. Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. Roma, FAO. https://doi.org/10.4060/cc0640es.
[2] FAO. 2014. Segunda Conferencia Internacional sobre Nutrición. ¿Por qué la nutrición es importante? https://www.fao.org/3/as603s/as603s.pdf
[3] Urquia, Fernadez N. 1998. La Seguridad Alimentaria en México. https://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v56s1/v56s1a14.pdf
[4] The Hunger Proyect Mexico. Enero 2022. Datos de Hambre y pobreza. https://thp.org.mx/mas-informacion/datos-de-hambre-y-pobreza/.
[5] FOCAN, CII-ASDENIC, UCA, PRODECOOP, UIMQROO. 2015. MANUAL DE DESHIDRATACIÓN. https://www.canunite.org/wp-content/uploads/2015/09/3_ModuleFoodSecurity.pdf
[6] Belessiotis, E. Delyannis, Solar drying,Solar Energy, Volume 85, Issue 8, 2011, Pages 1665-1691, ISSN 0038-092X, https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.001.
[7] Guzmán Rocha, C.E. (2011). Diseño y construcción de un deshidratador híbrido para frutas. [Tesis de Licenciatura, Universidad de las Fuerzas Armadas].
[8] Vega-Galvez, Antonio & Chacana, Marcelo & Lemus-Mondaca, Roberto. (2009). LA INDUSTRIA DE LOS ALIMENTOS DESHIDRATADOS Y LA IMPORTANCIA DEL CONTROL DEL PROCESO. Revista Indualimentos. https://www.researchgate.net/publication/320707171.
[9] Eikevik, Trygve & Alves-Filho, Odilio & Strømmen, Ingvald. (2023). DIMENSIONING OF HEAT PUMP DRYER COMPONENTS – AN ECONOMICAL OPERATION FOR QUALITY, ENERGY USE AND WATER REMOVAL.
https://hdl.handle.net/11250/3673105
[10] Cepero Olivera, R. M., Pérez Luna, D., & Montes Vargas, D. (2021). Establecimiento de una metodología de deshidratación de papa (Solanum tuberosum. l) utilizando métodos económicos y ecológicos. Revista Científica Agroecosistemas, 9(3), pp 84-91.
[11] D.R. Pangavhane, R.L. Sawhney, and P.N. Sarsavadia, "Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer," Energy, vol. 27, no. 6, pp 579-590.
[12] Heat and Mass Transfer by Yunus A. Çengel and Afshin J. Ghajar. 2011 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. ISBN: 978-0-07-339812-9.
[13] Vu, N.D.; Tran, N.T.Y.; Le, T.D.; Phan, N.T.M.; Doan, P.L.A.; Huynh, L.B.; Dao, P.T. Kinetic Model of Moisture Loss and Polyphenol Degradation during Heat Pump Drying of Soursop Fruit (Annona muricata L.). Processes 2022, 10, 2082. https://doi.org/10.3390/pr10102082
[14] OGATA, K. (1998). INGENIERIA DE CONTROL MODERNA (3a. ed.). MADRID: PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA.
[15] BOYLESTAD, R. Nashelsky, L. (2009). Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos (10a. Ed). México: Pearson Educación de México.
[16] Ramallo, Laura & Mascheroni, Rodolfo. (2012). Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. Food and Bioproducts Processing - FOOD BIOPROD PROCESS. 90. 10.1016/j.fbp.2011.06.001.

Semblanza Autores

Erik Eduardo Vázquez Fernández, Dr. en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, Profesor de Tiempo Completo y encargado del área de energías renovables en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima.

José Luis Ríos Hernández, Ing. Mecánico Electricista por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima.

Manuel Iván Covarrubias Radillo, Ing. en Mecatrónica por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima.

Alejandro regalado Escobedo, M. en Computación, Profesor por Asignatura y responsable del Laboratorio de Microelectrónica en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima.

Antonio Concha Sánchez, Dr. en Ingeniería con especialidad en Mecatrónica, Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima.

Antonio Jacob Pérez Campos, estudiante de Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima.