

Secadero solar como recurso didáctico en un laboratorio docente de energías renovables

Rolando Valdés Castro*, Verónica Tricio Gómez**, Luis Rodríguez Cano*

*Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos, España

**Facultad de Ciencias, Universidad de Burgos, España

rvaldes@ubu.es, vtricio@ubu.es

Área temática: Energía, eficiencia y cambio climático.

Resumen enviado

El secado de sustancias es un proceso que la humanidad utiliza desde tiempos pretéritos. La deshidratación es una de las técnicas más antiguas empleada para la conservación de alimentos. Las formas ancestrales de deshidratación de productos agrícolas consisten, generalmente, en dejar los alimentos expuestos directamente al sol. Este proceso tiene, entre otros inconvenientes, ser poco controlado y de duración relativamente larga en dependencia del producto. Por ejemplo, en los granos, tarda de seis a siete días. Contar con alternativas más eficientes y seguras es imprescindible cuando se supera la escala de consumo familiar.

El desarrollo de diversas tecnologías para la desecación de productos agroalimentarios es una práctica ampliamente difundida. En los estudios universitarios de ingeniería agrícola y de ciencia y tecnología de alimentos de la Universidad de Burgos (UBU), se ofertan asignaturas con contenidos formativos en las diversas técnicas de disminución de la humedad de sustancias. Las actuales tecnologías industriales, si bien ofrecen importantes ventajas respecto al secado ancestral, tienen inconvenientes que atañen al consumo de energía, la contaminación ambiental, la calidad del producto obtenido y sus costes.

Con el objetivo de contribuir al estudio de tecnologías que permiten superar las dificultades señaladas, se presenta este trabajo en el que se utiliza la técnica de evaporación superficial. Para ello se ha diseñado y construido un pequeño secador alimentado con energía solar que, por su principio de funcionamiento puede ser aprovechado en zonas rurales. El prototipo se ha preparado para realizar actividades de aprendizaje durante las prácticas de laboratorio de la asignatura 'Energías Renovables' que se oferta con carácter optativo en los estudios de la UBU.

Se pretende que el modelo didáctico de secador construido sirva para orientar a los estudiantes hacia el uso, diseño y creación de tecnologías más acordes con el desarrollo sostenible, que disminuyan costes de producción y favorezcan las economías en lugares de producción reducida y con dificultades para acceder a la red eléctrica. La motivación del trabajo que se presenta tiene su origen en un proyecto de colaboración desarrollado en Marruecos, por investigadores de la Universidad de Burgos y del Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) en Rabat, durante la última fase del EMAP (Edible, Medicinal and Aromatic Plants). El EMAP fue una iniciativa de desarrollo agroindustrial con el objetivo de actualizar el sector de plantas comestibles medicinales

y aromáticas. Las actividades llevadas a cabo en Marruecos durante el mes de mayo del año 2014 para el progreso del proyecto, fueron presentadas como comunicación técnica en un anterior congreso nacional de medio ambiente (CONAMA) del año 2014.

Palabras clave: energías renovables, secador solar, colector solar, convección natural, evaporación superficial, deshidratación de alimentos, enseñanza superior.

1. INTRODUCCIÓN

El secado de sustancias es un proceso que la humanidad utiliza desde tiempos pretéritosⁱ. En productos agrícolas, el secado es uno de los aspectos de la postcosecha que precede a otras etapas de la postcosecha como pueden ser almacenaje del producto seco, envasado y tratamientos, principalmenteⁱⁱ. La deshidratación es una de las técnicas más antiguas empleada para la conservación de alimentos. En las plantas medicinales, por ejemplo, uno de los principales problemas en su producción es contar con un método adecuado para su conservación, comercialización y distribución; y el secado o deshidratación de dichos productos, es la solución más adecuada ya que en los alimentos secos los microorganismos prácticamente no se desarrollan debido a la baja actividad del agua^{iii iv}.

Las formas ancestrales de deshidratación de productos agrícolas consisten, generalmente, en dejar los alimentos expuestos directamente al sol. Este secado solar al aire libre es el método más simple y artesanal en el que se aprovechan las condiciones del medio ambiente, pero esta forma de secado tiene las desventajas de la vulnerabilidad de los productos a ser dañados por condiciones del medio ambiente como lluvia, viento, y de la baja calidad nutricional del producto debido a diferentes factores generados por esta tecnología (pérdida de vitaminas, riesgo de presencia de elementos patógenos, etc.)^{v vi}.

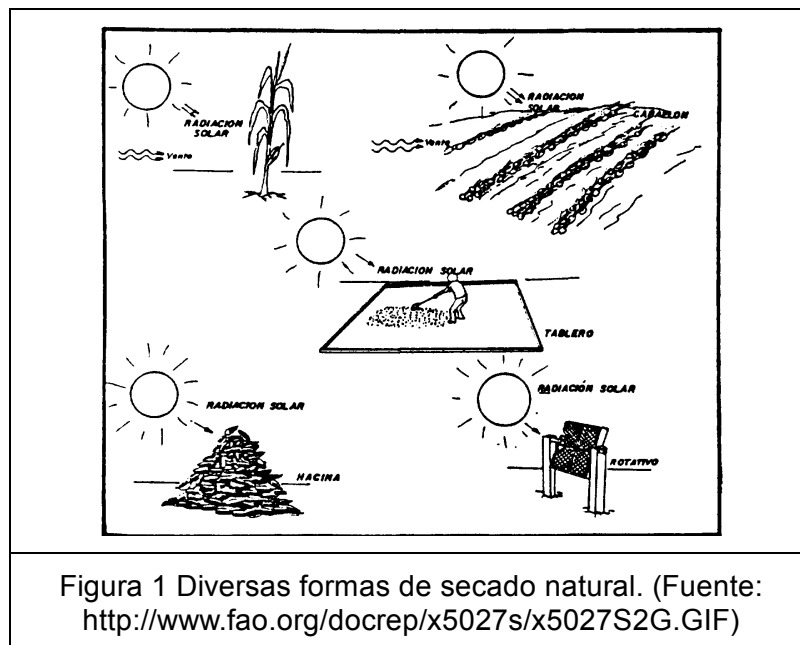


Figura 1 Diversas formas de secado natural. (Fuente: <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S2G.GIF>)

Este proceso de secado en sus diversas formas de secado natural de uso común en el medio rural (Figura 1), también tiene, entre otros inconvenientes, ser poco controlado y de duración relativamente larga en dependencia del producto. Por ejemplo, en los granos, puede tardar de seis a siete días o más tiempo.

Contar con alternativas más eficientes y seguras es imprescindible cuando se supera la

escala de consumo familiar.

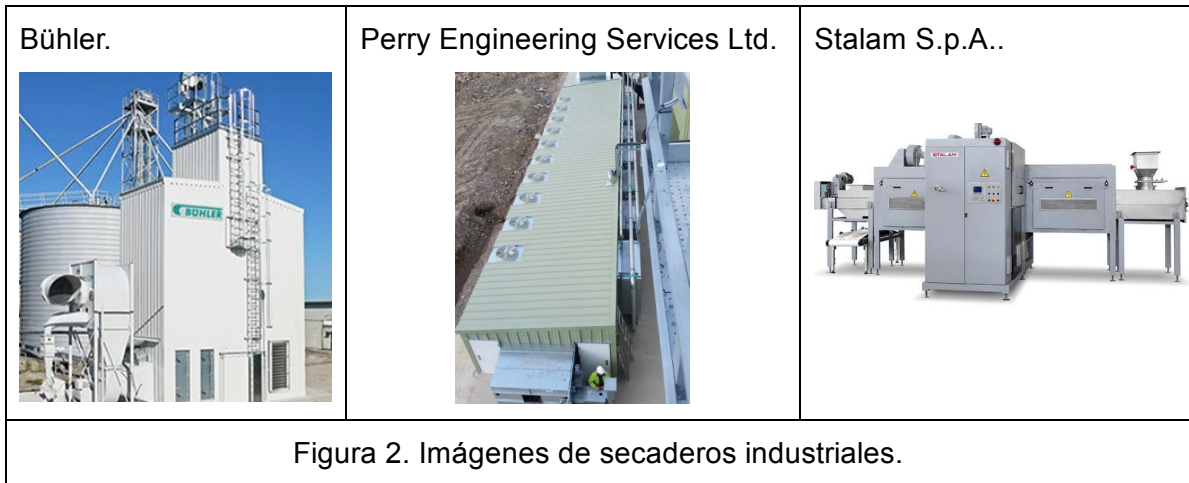
Según Gasca Moralesⁱ, el secado a gran escala no fue usado sino hasta principios de la I Guerra Mundial, al necesitar grandes cantidades de alimentos para el ejército, con la depresión de los años treinta no solo en Europa sino en América se realiza el deshidratado doméstico de alimentos. En la Tabla 1 se muestran los tipos de secadores con base en la obtención de calor, así como sus respectivas aplicaciones.

Tabla 1. Uso de los equipos deshidratadores. (Fuente: Gasca Morales)

TIPO		APLICACIONES PRINCIPALES
Secadores Directos	Horno	Para lúpulo, malta y rodajas de fruta
	Cabina	Frutas y vegetales
	Bandeja o compartimientos	
	Túnel	
	Cinta continua	Sólidos granulares
	Tolva	Sirve en la adecuación del secado
	Lecho fluidizado	Sólidos granulares
	Neumático	Usado en productos sólidos y de equipo secundario para el lecho y la atomización
	Rotatorio	Tratamiento de semillas
	Atomización	Leche, extractos de levadura, derivados de huevo
Secadores Indirectos	Tambor, rodillos y película	Para sustancias líquidas o puré
	Vacío	Jugos de fruta concentrados
Otros	Infrarrojo	Pasta de pan, almidones y especias
	Congelación	Alimentos sensibles al calor

El desarrollo de diversas tecnologías para la desecación (secado artificial) de productos agroalimentarios es actualmente una práctica ampliamente difundida y hay una amplia variedad de técnicas industriales de eliminación de agua en dichos productos entre las que destacan las de: prensado, centrifugación, ósmosis, liofilización, absorción, adsorción, evaporación superficial y congelaciónⁱⁱ. En la industria del aceite por ejemplo, que trata semillas oleaginosas, si la humedad de la semilla es mayor al 8%, es necesario un secado previo y los secaderos industriales más utilizados son de varios tipos: de cilindros rotativos, celulares verticales y los secaderos calentados por vaporⁱⁱⁱ.

Otro ejemplo son los secaderos de granos, para los que se construyen equipos orientados a esa industria agroalimentaria utilizando diferentes tipos y tecnologías^{iv}. En la Figura 2 se muestran de izquierda a derecha imágenes de ellos: uno de aire caliente centrífugo continuo, otro para frutos de cáscara de desechos y estacionario, un tercero para frutos de cáscara de túnel con transportador de cinta.



En los estudios universitarios de ingeniería agrícola y de ciencia y tecnología de alimentos de la Universidad de Burgos (UBU), se ofertan asignaturas con contenidos formativos en las diversas técnicas de disminución de la humedad de sustancias. Las actuales tecnologías industriales, si bien ofrecen importantes ventajas respecto a los secaderos tradicionales al aire o al sol, tienen inconvenientes que atañen al consumo de energía, la contaminación ambiental, la calidad del producto obtenido y sus costes financieros.

Con el objetivo de contribuir al estudio de tecnologías que permiten superar las dificultades señaladas se presenta este trabajo. La razón de ser del mismo tiene su origen en un proyecto de colaboración desarrollado en Marruecos, por una de las autoras de esta comunicación junto con otros investigadores de la Universidad de Burgos y del Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) en Rabat, durante la última fase del EMAP (Edible, Medicinal and Aromatic Plants)ⁱ.

Nuestro interés en ese proyecto EMAP era la búsqueda y la presentación de alternativas más sostenibles que las del secado industrial mecánico con un excesivo gasto energético y la presentación de alternativas de mejora de la calidad ofrecida por el secado tradicional al sol. Con ese proyecto se pretendía específicamente: a) facilitar nuevas alternativas de secado in situ para pequeñas producciones de plantas comestibles aromáticas y medicinales; b) contribuir en las soluciones de las problemáticas existentes en cuanto al consumo energético en los procesos industriales de secado; c) detectar las posibilidades de aplicación en zonas rurales. El EMAP fue una iniciativa de desarrollo agroindustrial con el objetivo de actualizar el sector de plantas comestibles medicinales y aromáticas. Las actividades llevadas a cabo en Marruecos durante el mes de mayo del año 2014 para el progreso del proyecto, fueron presentadas como comunicación técnica en el congreso nacional de medio ambiente (CONAMA) del año 2014ⁱⁱ.

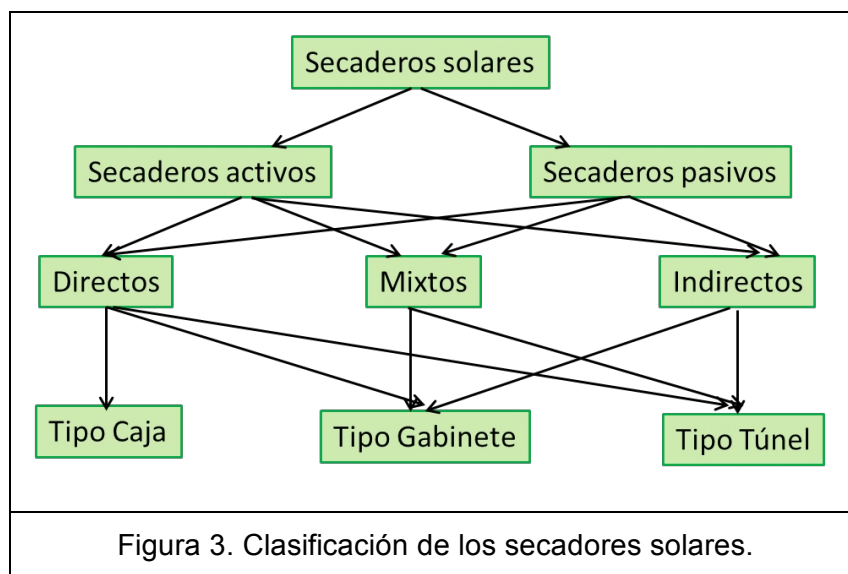
Esta nueva edición del Congreso Nacional de Medio Ambiente, cuyo lema es *Rumbo 20.30*, constituye una buena oportunidad para dar a conocer el trabajo que presentamos, dentro del eje temático de energía, eficiencia y cambio climático en la necesaria transición energética hacia la sostenibilidad. En los siguientes apartados se describen brevemente algunos secadores solares y el proceso de secado por la técnica

de evaporación superficial y sus parámetros de análisis. Se exhibe el prototipo que hemos diseñado y construido y se proponen algunas de las actividades de aprendizaje para realizar con los estudiantes de la UBU durante las prácticas de laboratorio de la asignatura “Energías Renovables”.

2. SECADEROS SOLARES

Como la tecnología a escala industrial para secar los productos está basada en un consumo tan elevado de energía, la instalación de sistemas que aprovechen las fuentes energéticas renovables resulta hoy en día una prioridad. Desde la perspectiva de los pequeños productores, el acceso a nuevas tecnologías a escala semi-industrial y basadas en energías renovables representa una condición indispensable para poder disfrutar el enorme potencial de estas prácticasⁱ.

Básicamente, hay cuatro tipos de secadores solares; secadores solares directos, secadores solares indirectos, secadores de método mixto (Figura 3ⁱⁱ), y en ocasiones se construyen secadores híbridos (solar – biomásico, por ejemplo).



Hay numerosas referencias bibliográficas y direcciones web que dan cuenta de la descripción de dispositivos apropiados para el secado solar y existen muchos modelos de deshidratadores solares descritos por diversos autores. Desde los más sencillos al aire libre hasta los más sofisticados para el secado industrial, pasando por aquellos de tamaño medio para pequeños negocios o para uso domésticoⁱⁱⁱ. En ocasiones los secaderos solares están expresamente diseñados para el producto a deshidratar^{iv v vi vii viii ix x}.

En la escala agrícola industrial^{xi} y semiindustrial se ha utilizado y se sigue utilizando energía solar pasiva mediante sencillas arquitecturas bioclimáticas en cuyo interior se realiza el secado del material. Los productores experimentados como Pau Doménech^{xii} manifiestan que la elección final de un sistema de secado u otro dependerá de diversos factores, como puedan ser la temperatura y humedad de la zona, el tamaño de la nave,

la cantidad de plantas o granos a secar, cercanía entre la nave y el cultivo, el capital disponible para su construcción, etc. Dependiendo de las condiciones climáticas y de las aberturas y ventanas de la nave o el recinto familiar donde se realiza el secado, podrían necesitar ventilación forzada. En la Figura 4 se muestran imágenes de algunos secaderos de este tipo, todos sin radiación solar directa y con ventilación natural de aire ambiente. A la izquierda, la nave de secado situada en Liria (Valencia) para la deshidratación de cáñamo. Al centro, el recinto de la vivienda que se utiliza desde hace pocos años para el secado tradicional de stevia, el cual fue fotografiado durante la visita a la Cooperativa Ghzaoua (en la localización de Ouezzane, Marruecos) el 16 de mayo 2014, en el ámbito del proyecto EMAP. A la derecha, antiguos secaderos de tabaco que pueblan la Vega de Granada; como expresa la artista de la fotografía, son arquitecturas agrícolas basadas en unos elementos muy básicos que cumplen la función de ventilar las plantas de tabaco y protegerlas del exceso de viento, la lluvia o los rayos de solⁱ.

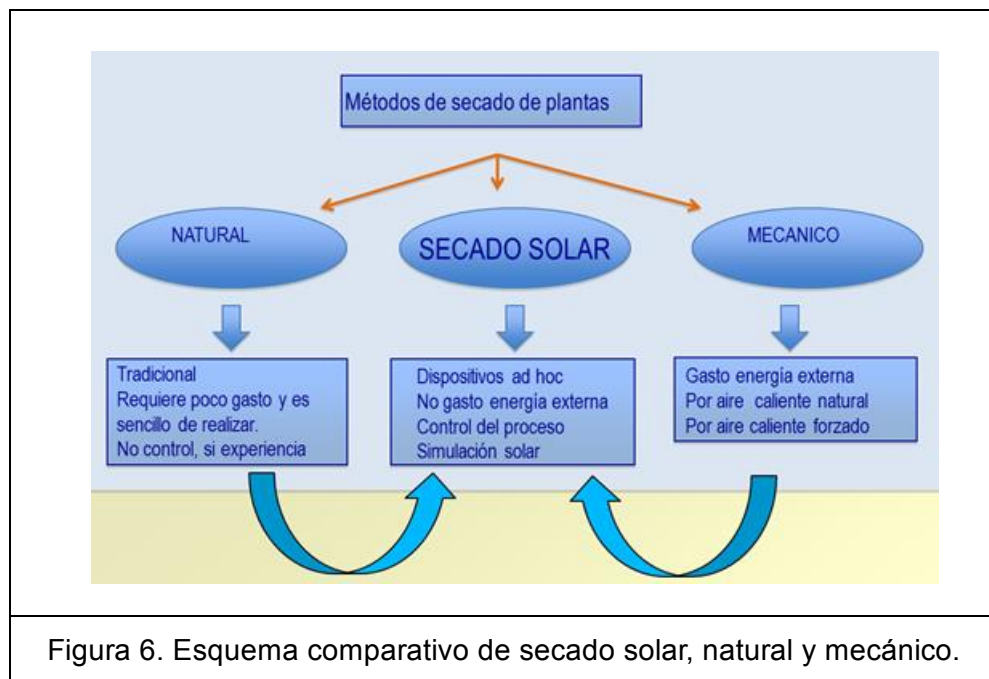


También los deshidratadores solares de radiación directa son equipos por lo general de uso doméstico, de fácil construcción utilizados para la preservación de alimentos por medio del secado mediante el calor que genera la radiación solar. Un deshidratador solar por medio del control de las variables temperatura y humedad relativa fue diseñado por Giraldo Sepúlvedaⁱ. Esta autora afirma que los deshidratadores solares, son equipos por lo general de uso doméstico, pero si se construyen en grandes dimensiones y con algunas variaciones, pueden ser utilizados a nivel industrial generando así una alternativa económica y viable para los productores de frutas regionales en su país, Colombia.

Los deshidratadores solares de radiación directa cuentan todos con unas dimensiones (áreas esenciales) para que el proceso de desecado de los productos sea eficaz. La forma y ubicación de cada una de estas áreas es distinta en función del modelo de que se trate^{ii iii}. La Figura 5^{iv v vi} muestra tres sencillas instalaciones de este tipo. A la izquierda, un sistema comercial compacto de secado solar de frutas en Copacabana, Antioquia (Colombia). Al centro, la imagen de un secadero mixto en el que la colección de la radiación solar se realiza tanto en el colector, como en la cámara de secado. A la derecha un secador solar con tambor rotatorio para el secado del orujillo en temporada.



El secado solar puede combinar las ventajas del secado mecánico (control de variables, velocidad de secado, limpieza del producto, etc.) con el cuidado del ambiente y de costos, como se refleja en el esquema comparativo de elaboración propia de la Figura 6, de algunas características del secado natural, mecánico y solar como métodos de secado de plantas.



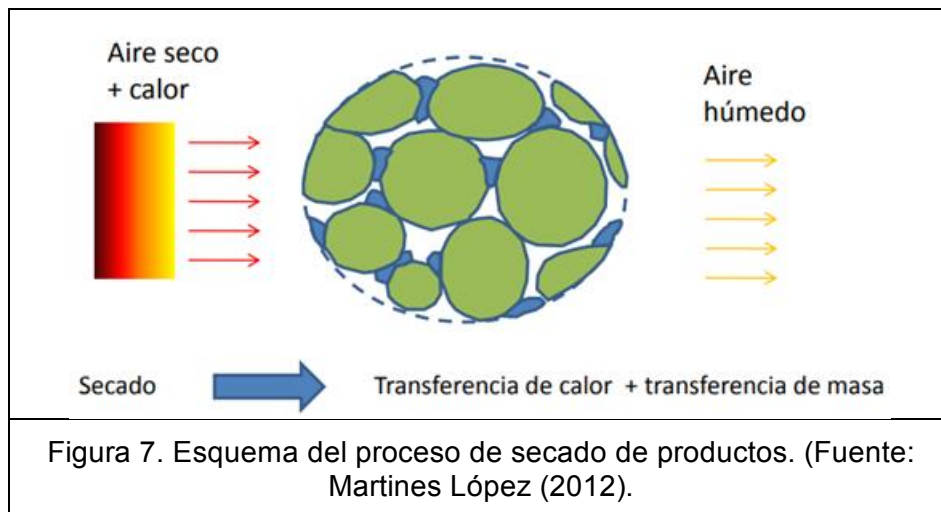
3. EL PROCESO DE SECADO

Son numerosos los artículos que estudian en profundidad el proceso de deshidratación de productos agroalimentarios y de otra naturaleza, mediante la determinación de parámetros de medida y control del mismo y la aplicación de modelos matemáticos, entre ellos destacamos^{i ii iii iv v}. El trabajo que se presenta, sin embargo, tiene un perfil introductorio y está dirigido a estudiantes de grado que se inician en las

aplicaciones de las energías renovables. Por ello, sólo se tiene previsto hacer mediciones de algunas magnitudes físicas involucradas, que a continuación se justifican.

Los productos agroalimentarios como semillas, granos, plantas medicinales son materiales higroscópicos que intercambian (absorben o evaporan) humedad con el ambiente. La cantidad de agua presente en el material afecta sus propiedades, por lo que es importante conocer (medir) y controlar la cantidad de agua presente en ellos. Hay que reconocer la importancia de la metrología en la determinación del contenido de humedad que se refiere a la cantidad de agua presente en el material respecto a su masa total o respecto a su masa seca y para medir la cantidad de agua se requiere conocer cómo se lleva a cabo la interacción agua-materialⁱ. En el proceso de secado se debe llevar a los productos a un contenido de humedad adecuado para un almacenamiento seguro. El nivel de agua deseado lo determina el tipo de producto final que se busca; por ejemplo, segúnⁱⁱ en el secado de granos y cereales se realiza hasta obtener alrededor de 12% de agua en el producto que es parecido a la humedad del aire normal; en el caso de las frutas secas, los niveles son más bajos (8-10%); en el caso de nueces y semillas los niveles son todavía más bajos (3-5%). Algunos autores como Erika Johanna Giraldo Sepúlveda manifiesta la necesidad de controlar las variables más relevantes en un deshidratador de frutas las cuales son temperatura y humedad relativa, teniendo en cuenta que la temperatura debe estar en un nivel óptimo y constante, y que el aire no debe estar saturado debido a que entre mayor humedad tenga el aire menor porcentaje de agua podrá extraer de la fruta.

Al deshidratar un producto se producen dos fenómenos: a) Transferencia de calor del aire a la superficie del producto, y de ésta al interior del mismo; b) Transferencia de la humedad interna del producto a la superficie de éste, y de ahí al aire. Un esquema simplificado del proceso de secado se puede ver en la Figura 7.



Con respecto a la humedad relativa (HR) del aire, es bien conocido que la humedad que puede contener como máximo un aire depende de la temperatura a la que se encuentre, de manera que cuanto más caliente se encuentre el aire, mayor es la cantidad de humedad que puede recibir. Sobre un diagrama psicrométrico se puede representar el proceso de secadoⁱⁱⁱ. De acuerdo con Carlos Alberto de Dios, resulta conveniente conocer la HR y la temperatura del aire exterior en la propia planta de acopio de granos

para saber cuáles son, a veces, las causas de diferentes comportamientos de la secadora, pero además son valores fundamentales para la correcta aireación de los granos en los silos de almacenamiento. Este autor también afirma que la humedad relativa del aire ambiente no es muy importante en el secado con aire caliente, pero sí lo es en el secado con aire natural o a baja temperatura. En el secado con aire caliente, la HR que tiene importancia es la del aire de secado.

Las técnicas de análisis de alimentos incluyen entre los ensayos habituales la determinación de agua, como uno de los parámetros de medida de la seguridad y el control de calidad del alimentoⁱ. Martines López clasifica los métodos de la medición de contenido de humedad en métodos directos (entre los que se encuentra la medición por secado en horno (gravimetría); la destilación; o la radiación por infrarrojo y por microondas) y en métodos indirectos (entre ellos los métodos eléctricos, espectroscópicos o los de humedad relativa por isotermas de sorción).

La unidad de medida del contenido de humedad de una muestra de grano, por ejemplo, que se mostrará en un medidor de humedad es el % de humedad en masaⁱⁱ. La humedad de referencia (M) se expresa como porcentaje de pérdida de masa de la muestra según lo determinado por el método de referencia. La ecuación que sigue a continuación representa el contenido de humedad en base húmedaⁱⁱⁱ, donde m_0 es la masa original de la muestra y m_1 es la masa final de la muestra.

De algunos productos, como granos, tubérculos, hortalizas y frutas, la Tabla 2, anterior, presenta el contenido su humedad y temperatura máxima tolerable.

El contenido de humedad también es importante para determinar el tiempo de secado. La velocidad y la eficiencia del secado dependen de la temperatura y de la humedad del aire de secado.

La operación de deshidratación conlleva además una apreciable reducción del peso y volumen de los alimentos que se deshidratan, consiguiéndose así una importante reducción de los costes del transporte y almacenamiento de estos productos. Como manifiesta Fito Maupoey (2016), debido a la exposición durante el secado a altas temperaturas, se puede provocar un cambio de color, que es uno de los efectos indeseables del secado de productos alimentarios.

Teniendo en consideración los anteriores párrafos, nosotros estamos interesados en la medición de la masa y del volumen de las muestras y en la determinación de la humedad durante el proceso de secado de las mismas, también en los valores psicrométricos del aire, y dejaremos para posteriores trabajos la medición del color de las muestras alimentarias.

Tabla 2. Contenido de humedad y temperatura máxima tolerable en alimentos. (Fuente: Gasga Morales)

PRODUCTO		FRESCO HUMEDAD (%)	SECO HUMEDAD (%)	TEMPERATURA °C
GRANOS	Arroz	24	14	50
	Maíz	35	15	60
	Poroto	70	5	n/d
	Maní	40	9	n/d
	Café	50	11	n/d
TUBÉRCULOS	Papa	75	13	55
	Mandioca	62	13	n/d
	Batata	80	13	70
HORTALIZAS	Arveja	80	5	60
	Cebolla	80	4	55
	Hortalizas en hoja	80	10	50
	Tomate	95	8	65
	Repollo	94	4	55
	Zanahoria	70	5	60
	Locote y ají	86	5	60
	Ajo	80	8 a 10	55
FRUTAS	Durazno	85	18	n/d
	Manzana	84	14	50
	Banana	80	15	70
	Guayaba	80	7	n/d
	Uva	80	15 a 20	55
	Mango	85	12 a 15	65
	Mamón	85	2 a 15	65

En la *Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*ⁱ, se propone un procedimiento para evaluar el correcto secado de los productos y la determinación de la humedad fresca del producto en %, el rendimiento y también el peso seco.

4. MODELO DE SECADERO SOLAR DIDÁCTICO

Para el estudio de la deshidratación de materiales de pequeño tamaño y peso, se ha realizado previamente una extensa y minuciosa revisión de los tipos de secaderos solares de radiación directa y sus variantes constructivas.

Posteriormente a este proceso de indagación, se ha diseñado y construido un modelo de secadero solar didáctico, cuyo conjunto está conformado por una variedad de componentes, materiales, instrumentos, también de diseño propio. Las principales características particulares de dicho modelo son:

1. Recinto o cuerpo del secadero

De forma cilíndrica, se ha diseñado para que dimensiones sean acordes al espacio libre del laboratorio de E.R. al que va destinado.

Dicho recinto está construido con metacrilato traslúcido para que sus paredes cilíndricas sean transparentes y pueda visualizarse la evolución del proceso de secado desde el

exterior.

En la figura 8 se presentan el plano de diseño y el modelado en 3D del mismo.

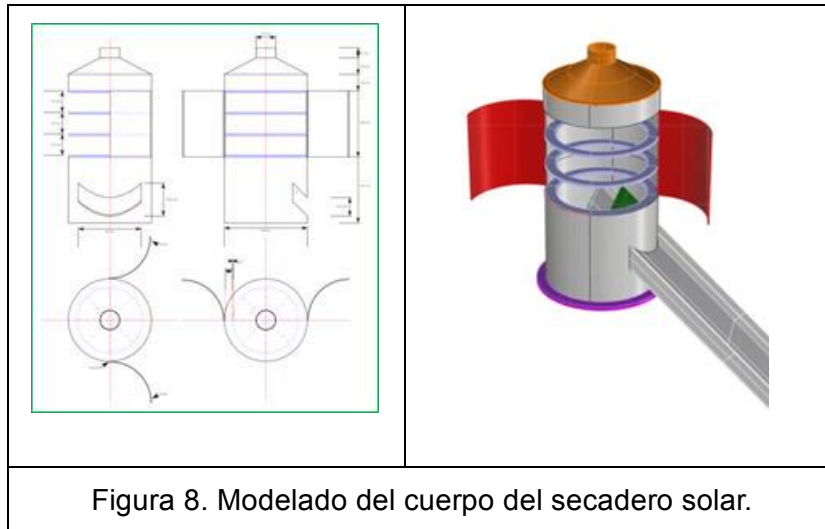


Figura 8. Modelado del cuerpo del secadero solar.

2. Simulador solar

Los valores experimentales de las magnitudes radiación solar global y temperatura toman valores muy variables a lo largo de las horas del día y de los días del mes. Como muestra de ello la Figura 9.a) de elaboración propia, ofrece valores medios mensuales de irradiancia solar global y de temperatura, monitorizados en distintas localizaciones de Burgos. Para evitar las variaciones horarias y diarias de la radiación solar incidente del lugar, en este estudio se utiliza como fuente solar sustitutiva un simulador solar de diseño propio, cuyo plano de boceto se presenta en la Figura 9.b).

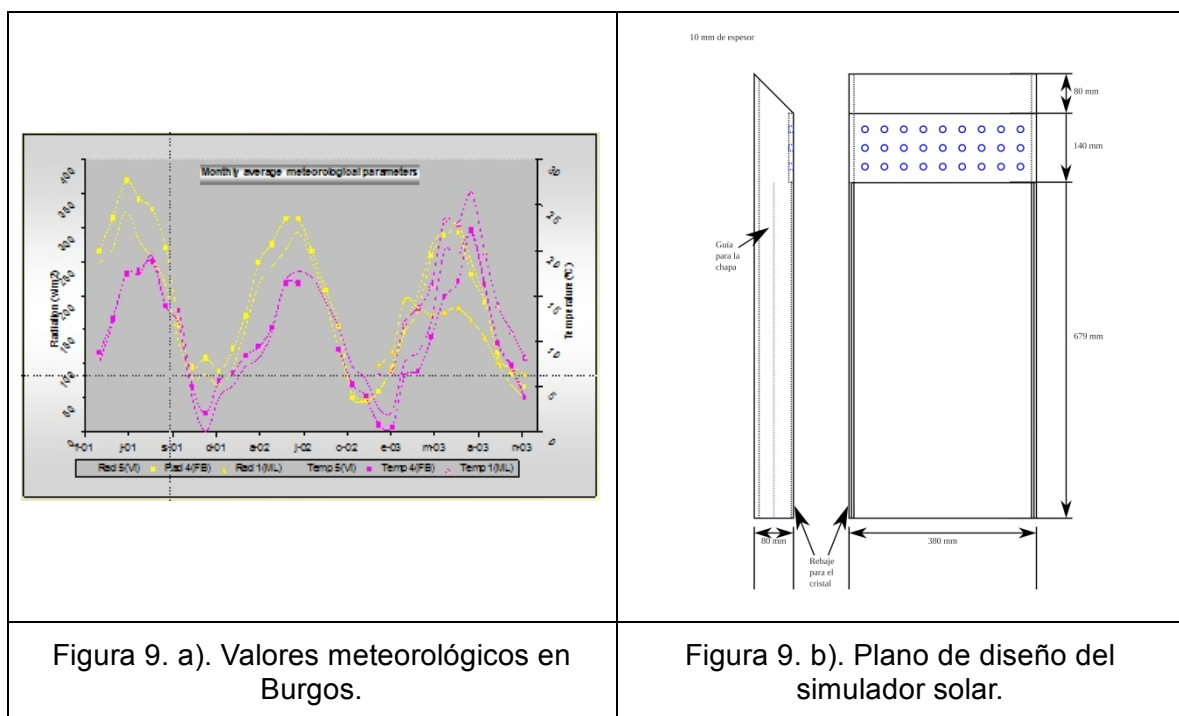


Figura 9. a). Valores meteorológicos en Burgos.

Figura 9. b). Plano de diseño del simulador solar.

3. Balanza extensométrica

Si bien, en los laboratorios docentes, el instrumento que habitualmente se utiliza para la medición de la masa es una balanza analítica (que puede tener una capacidad máxima comprendida en general entre 120-200 g. y una sensibilidad de la centésima de gramo), pero este instrumento presenta evidentes inconvenientes a la hora de medir la masa de las muestras en los distintos tiempos del proceso de secado, y no solo al inicio y final del mismo.

Por ello, hemos utilizado una instalación de diseño propio que ha sido preparada para realizar mediciones secuenciales de masas. Una de las plataformas de secado está soportada por tres celdas de carga colocadas una a continuación de la otra con una separación de 120°. Las celdas actúan como sensores que permiten la medición de masa (Figura 10.a). Cada una soporta un máximo de 113 g y con las tres juntas es posible medir hasta 339 g. Se alimentan con 5 V, a los que corresponden salidas máximas de 10 mV. De ahí que se empleen tres amplificadores operacionales para aumentar la tensión de cada salida, la cual es linealmente dependiente del valor de la carga a que es sometido el sensor. Ello permite que usando un convertidor analógico digital (CAD) de 12 bits sea posible apreciar hasta la centésima de gramo. Las tensiones amplificadas de cada sensor se conectan a un amplificador operacional preparado como sumador y de ahí pasan al convertidor CAD de un sistema de adquisición de datos acoplado a un ordenador. La instalación así construida es calibrada.

Adicionalmente fue confeccionado a pequeña escala un duplicado del aparato ubicado en el secador, como se ve en la Figura 10.b) que muestra una imagen de ella. El objeto de este duplicado es que los estudiantes conozcan el método de pesada continua y puedan aprender a utilizarla durante los experimentos de secado solar.

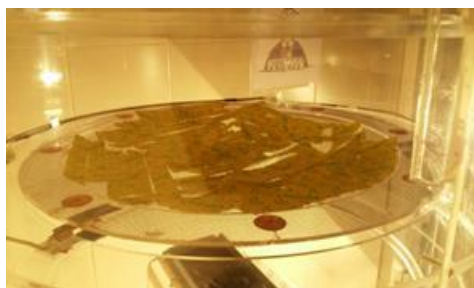


Figura 10.a). Sensores en la plataforma de secado.

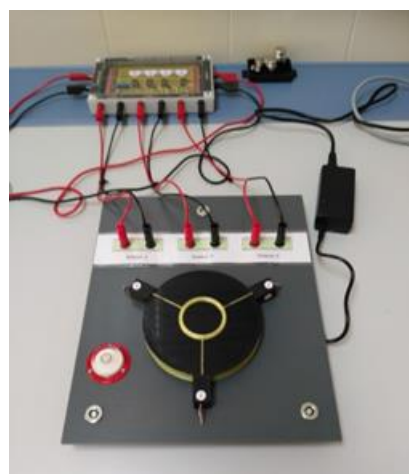


Figura 10.b). Imagen del duplicado de la balanza extensométrica.

4. Software de adquisición de datos

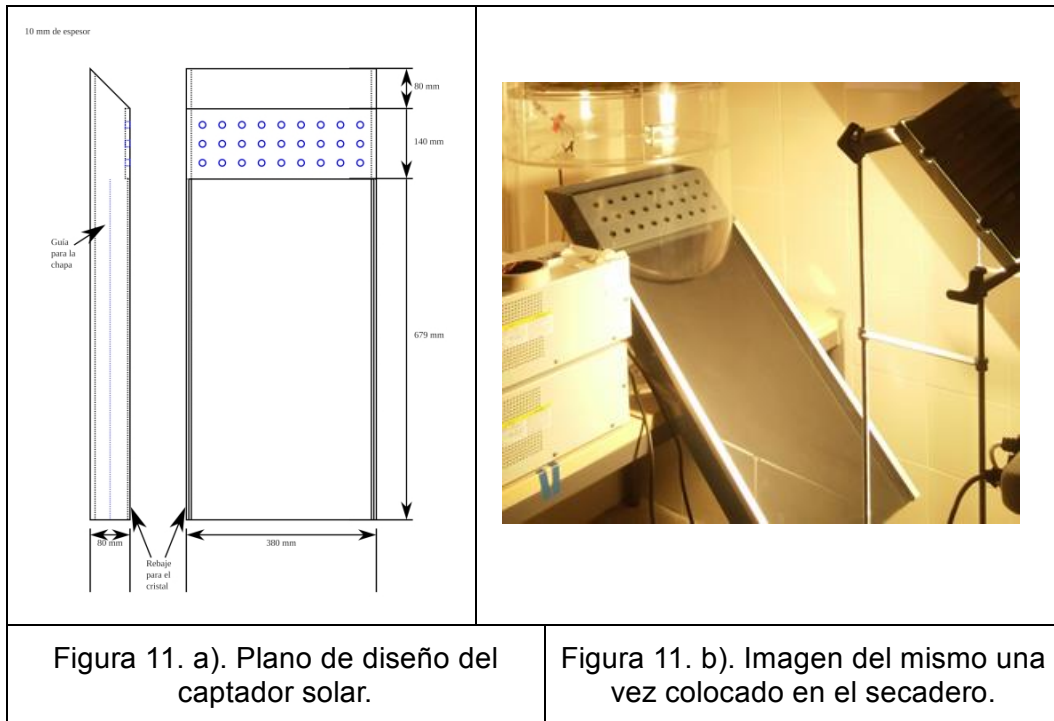
A partir de los datos de la calibración, un programa informático de elaboración propia registra en una tabla los valores de masa m y tiempo t a medida que disminuye el contenido de agua de la muestra húmeda colocada en el secador. El software realiza también la representación gráfica de la relación funcional establecida.

5. Captador solar térmico

También de construcción propia, consiste en un elemento en forma de cajón prismático de paredes planas de tamaño adecuado a la incidencia de la energía radiante que procede del simulador solar (Figura 11.a).

Dispone de sendas aberturas laterales para el aire entrante del ambiente del laboratorio y para el aire caliente y húmedo de salida. Su componente principal es la superficie captadora (una lámina de chapa centrada en el cajón), pintada con pintura selectiva negra y cuya cara expuesta al sol está bajo un vidrio templado.

Este captador térmico se coloca para recibir energía radiante que incida normal a la superficie. Se monta inclinado adecuadamente apoyado en el hueco de la entrada del cuerpo del secadero, como se puede comprobar en la Figura 11.b).



6. Secadero solar didáctico

La figura 12 ofrece una fotografía de conjunto, en la que el modelo de secadero solar didáctico está en funcionamiento. Se observa que la energía radiante procedente del simulador solar se ha posicionado con incidencia normal a la superficie captadora.

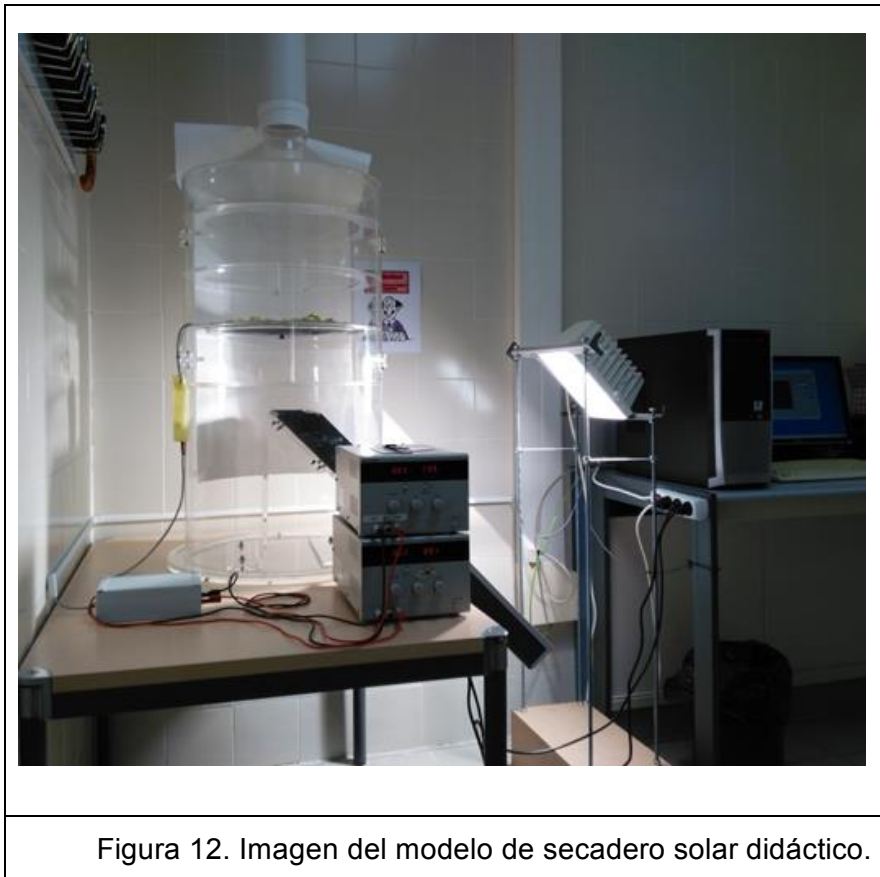


Figura 12. Imagen del modelo de secadero solar didáctico.

5. ACTIVIDADES EN EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES

En este apartado se presentan actividades propuestas para realizar los primeros ensayos de secado utilizando nuestro modelo de secadero solar didáctico por convección natural. De manera resumida se describen algunas de ellas.

1. Preparación de las muestras: Se realiza el corte de las muestras (se recomienda, según el producto y la presentación deseada, cortar en forma de cubos, trozos, rodajas o tiras. En todos los casos el espesor de los pedazos no debe pasar los 0,5 a 1 cm de grueso, para favorecer un secado adecuado). Se selecciona la cantidad de muestra que se desea deshidratar y se colocan los productos preparados sobre los tamices de secado en capas delgadas y regulares. Siguiendo un sencillo protocolo se realizan también las mediciones de masa húmeda inicial y de masa seca final.

2. Procedimiento experimental básico. Los experimentos de secado se van a realizar con materiales desechables con forma de prisma regular y de masa y volumen conocidos, para que puedan simular, por ejemplo, rodajas de fruta de 0,5 cm, 1 cm. y 2 cm. de espesor. Se sigue un procedimiento similar al descrito por Boffa (2012) para el secado en capas delgadas. Se hace pasar aire, que a la entrada del secadero se supone que tiene humedad, temperatura y velocidad de flujo constantes, a través de una capa delgada de material húmedo. Entonces, se observa durante un período de tiempo el comportamiento del secado del material bajo estas condiciones constantes.

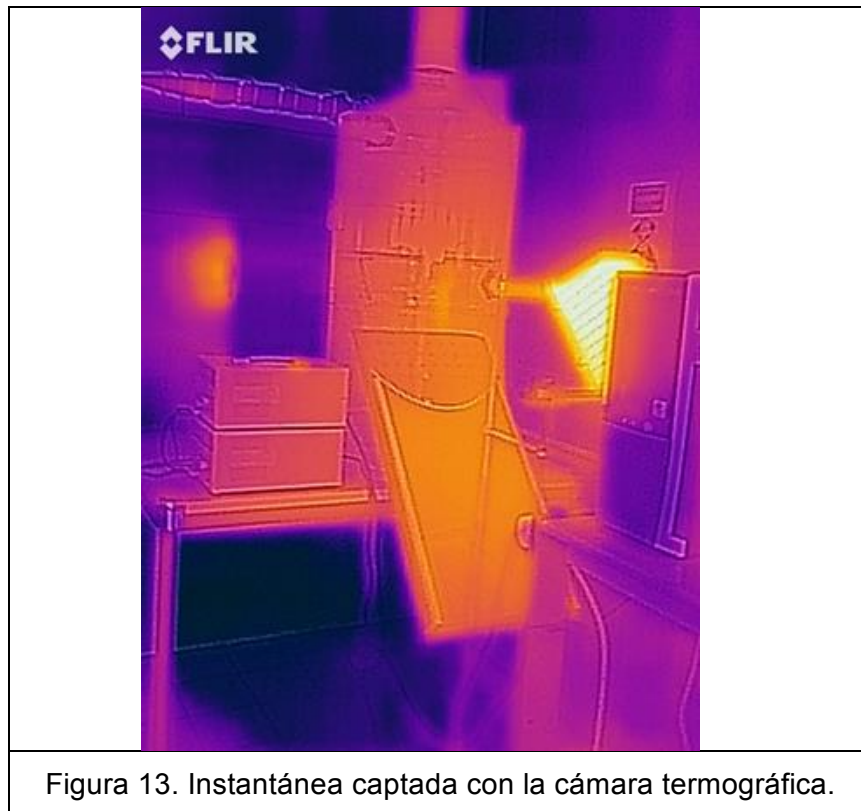


Figura 13. Instantánea captada con la cámara termográfica.

La Figura 13 presenta una instantánea captada por la cámara termográfica durante uno de los experimentos. Con ellas se podrán determinar las temperaturas alcanzadas por la muestra y el entorno.

3. Registro de datos experimentales. A partir de los datos de la calibración, el programa informático elaborado registra en una tabla los valores de masa m y tiempo t a medida que disminuye el contenido de agua de la muestra húmeda colocada en el secadero. El software realiza también la representación gráfica de la relación funcional establecida, tal como se puede observar en la Figura 14.

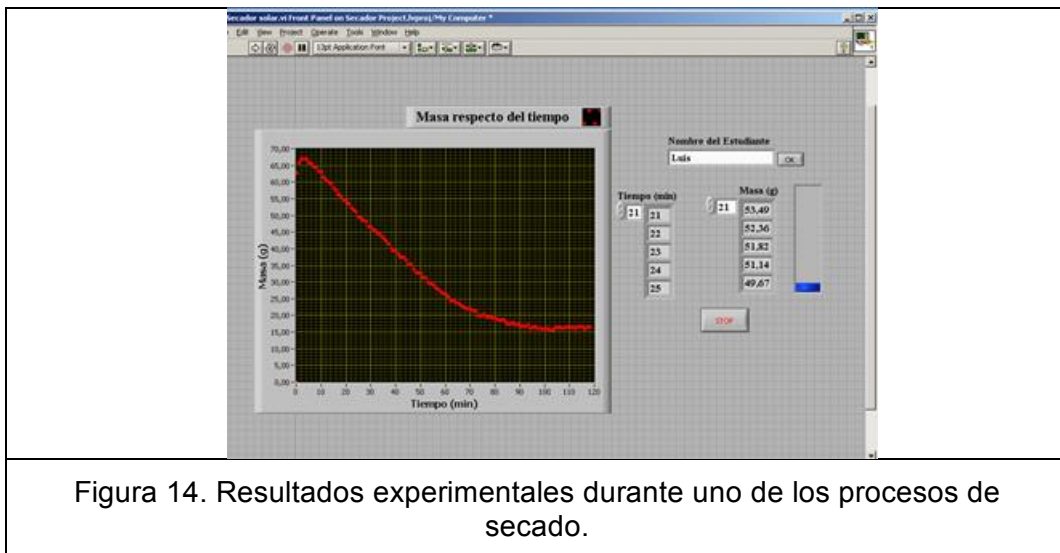


Figura 14. Resultados experimentales durante uno de los procesos de secado.

4. Realización de tareas. La instalación experimental así concebida y preparada permite que los estudiantes realicen las tareas siguientes:
 - a) Estudiar la estructura del sistema construido para la medición de la masa de las muestras y calibrarlo. Con este fin, utilizando el duplicado de la balanza los alumnos realizan las operaciones de calibrado.
 - b) Estudiar la estructura del secadero solar presentada, comparándola con otras variantes constructivas diferentes.
 - c) Emplear los datos experimentales obtenidos de masa m y tiempo t , para construir una tabla y gráfico de variación temporal de la rapidez del secado. Analizar los resultados.
 - d) Estudiar el principio de funcionamiento de una cámara termográfica y utilizarla para observar la distribución de temperaturas en el secador.
 - e) Presentar un esquema simplificado del movimiento del aire dentro del secadero solar, indicando las hipótesis admitidas.
 - f) Obtener los parámetros psicrométricos del aire húmedo. Representar sobre el diagrama psicrométrico el proceso de secado.
 - g) Determinar la humedad de las muestras en cada tiempo de medida. Representar la evolución de la misma durante el proceso de deshidratación en el secadero solar. Analizar los resultados.
 - h) Analizar la influencia del espesor de las muestras en el tiempo de secado. Para ello se utilizarán muestras prismáticas de espesores (alturas) diferentes y la misma base.
 - i) Valorar los logros y las limitaciones del estudio realizado, a la luz de los resultados y de la consulta de fuentes bibliográficas solventes.
 - j) Analizar las posibilidades de utilización de este método de deshidratación en zonas rurales en las que puedan ser aplicados los conocimientos adquiridos.

En el momento presente se han elaborado dossiers no definitivos, uno para el profesor y otro para el estudiante, con nivel de contenidos científicos diferenciados, que finalmente podrán incluir los siguientes apartados: Título, Objetivos (general y específicos), Material, Sistema de toma de datos, Fundamentos teóricos, Condiciones experimentales y Método a seguir, Sistema de tareas y secuenciación de las mismas, Tablas y gráficas de los resultados. Análisis de los resultados alcanzados, Bibliografía de consulta

utilizada.

5. RESULTADOS PRELIMINARES Y CONCLUSIONES

Esta comunicación técnica muestra un estudio de carácter introductorio que está destinado a estudiantes de Grado que se inician en las aplicaciones de las energías renovables. Frente a otros tipos de secaderos muy utilizados, se trata de recurrir a energías alternativas renovables, de bajo costo y no contaminante, para realizar experiencias de deshidratación de productos agroalimentarios.

El trabajo tiene su principal motivación en el proyecto EMAP (Edible, Medicinal and Aromatic Plants) desarrollado hace cuatro años en Marruecos por una de las autoras, en el que se valoraba las posibilidades de aplicación en zonas rurales de sistemas alternativos al secado tradicional, mediante energías renovables y se proponía realizar experiencias piloto para una puesta a punto de la tecnología de secado utilizando energía solar.

Como consecuencia de la experiencia desarrollada en Marruecos y de las necesidades planteadas para el secado industrial de productos agroalimentarios, se ha diseñado, construido y preparado un dispositivo conjunto para la realización de experimentos en el laboratorio docente de energías renovables de la Universidad de Burgos.

Se han presentado y descrito el modelo de secadero solar, así como los elementos, la instrumentación y el software de elaboración propia, que componen el dispositivo conjunto.

Se han realizado los primeros ensayos de secado con muestras de prueba para el estudio experimental del proceso de deshidratación. Los resultados preliminares obtenidos nos animan a continuar por el camino iniciado, utilizando diferentes condiciones de experimentación.

Se pretende que el modelo didáctico de secadero solar construido sirva para orientar a los estudiantes hacia el uso, diseño y creación de tecnologías más acordes con el desarrollo sostenible, que disminuyan costes de producción y favorezcan las economías en lugares de producción reducida y con dificultades para acceder a la red eléctrica.

A partir de la experiencia docente que se adquiera con la utilización del dispositivo en la realización de otras pruebas, se tiene previsto realizar en un futuro próximo experiencias de laboratorio con muestras alimentarias y con materiales constructivos, que sean del interés directo respectivamente, de los estudiantes de ciencia y tecnología de los alimentos y de ingeniería.

REFERENCIAS