

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

ESCUELA DE POST GRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**“Evaluación Tecnológica del proceso de Deshidratación de
Páprika en dos modelos de secadores con energía solar, y
modelo industrial, Arequipa 2011”**

TESIS PRESENTADA POR EL MAGISTER:

FERNÁNDEZ BARRIGA, CAMILO GRIMALDO

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales.

AREQUIPA – PERÚ

2014

**A Dios, que ilumina mi vida, me da el aliento y alimento que mantiene viva mi fe
y esperanza de llegar a la tierra prometida.**

A mi querida mamá Asunta y la memoria de mi padre Grimaldo Fernández V.

**A mi gran familia Fernández, especialmente Mary, Karla, Oscar y José que son
el motor de mi vida y aliento para lograr mis objetivos.**



“Producir en nuestras fábricas calentadores solares, eso es producir petróleo”

Fidel Castro

4 de septiembre de 1987.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	6
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACIÓN EN MODELOS A y B	13
1 Análisis Previos	13
2 Construcción, adaptación y datos técnicos de cada modelo A y B	20
2.1. Primer Modelo: Módulo A	20
2.2 Segundo Modelo: Módulo B	22
2.3 Preparación de los prototipos experimentales	24
3 Resultados de la evaluación de calidad de secado en modelos A y B	30
4 Propuesta a nivel comercial e industrial	35
CAPÍTULO II: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACIÓN EN MODELO INDUSTRIAL DE 25 Kg. MÓDULO C	40
1 Diseño de modelo para experimentación	40
2 Ingeniería del proyecto módulo C	41
3 Experimentación y optimización del módulo industrial en modelo de 25 kg	49
3.1 Evaluación de proceso de secado	49
3.2 Ensayos sin producto	50
3.3 Ensayos con producto	59
4 Mejoras, optimización y automatización del módulo industrial de 25 kg	65

DISCUSIÓN Y COMENTARIOS	68
CONCLUSIONES	73
SUGERENCIA Y PROPUESTA	74
BIBLIOGRAFÍA	77

ANEXOS:

ANEXO 1: Proyecto de investigación

ANEXO 2: Cálculos adicionales para modelo industrial de 25 kg

ANEXO 2A: Cálculos con EES

ANEXO 2B: Diseño y cálculo de ventilador de cámara de secado

ANEXO 3 Automatización y control usando ARDUINO

ANEXO 4: Planos de construcción de modelo industrial 25 kg

RESUMEN

A nivel mundial, hay una gran demanda de productos deshidratados, dentro de ellos el Perú es el mayor exportador de páprika, Arequipa es el segundo mayor exportador después de Ica, con 9 000 hectáreas sembradas, produciendo entre 4 000 y 7 000 kg/Ha, el mayor volumen de exportación se realiza hacia EEUU y España, en condiciones secas y con humedad de 14%.

Para cumplir con cada vez mayores exigencias en la calidad del producto, es necesario innovar el modo de secado, esta investigación permitirá la construcción de secadores industriales de alta tecnología, a los menores costos y con el cuidado del medio ambiente.

Se construyeron y evaluaron dos modelos de secadores modelo, el modelo A, de 2 m², con cámara de secado indirecto, bandejas en tres niveles y colector solar, equipo de ventilación; el modelo B de 7.2 m² cuenta con cámara de secado de radiación directa y captación de energía solar. Ambos permiten almacenar energía solar en agua.

Luego de experimentación y mejoras en cada uno de los modelos, se concluye que la radiación directa, la temperatura, la velocidad del aire y los costos, son los principales parámetros que se deben considerar en el diseño de deshidratadores industriales, incluyendo su automatización y control. En estos modelos se logró secar páprika en 4 días, con una ligera ventaja del modelo B, pero con más altos costos de operación que el modelo A y mayor dependencia del ventilador.

Con esa experiencia, se diseño, construyó y evaluó otro deshidratador, a nivel de modelo, para 25 kg de páprika, con cámara de secado de 1 m², y 4 niveles de

bandejas, colector solar de 6 m², a un costo de 1800 soles. Se hizo la evaluación en vacío, evaluando mejoras y analizando características del secador. Luego se evaluó con carga llegando a resultados satisfactorios, sin embargo, el costo inicial es alto comparado con propuesta alternativa.

Luego de análisis económico, se puede comprobar que esta propuesta es tecnológicamente económica, de menor impacto ambiental, porque minimiza la potencia y dependencia de ventilación, maximizando los efectos fluidodinámicos, de transferencia de calor y masa; usa materiales adecuados, de acuerdo a normas sanitarias en la cámara de secado, se minimizan los costos de operación y mantenimiento, maximizando el tiempo de vida útil y con ergonomía adecuada.

En cuanto al producto deshidratado, los logros más importantes son, en parámetros físico químicos, la integridad, su color, mantenimiento de propiedades termolábiles, grados ASTA y microbiológicos, responden a estándares de calidad, mejorando la exportación y reducción de rechazos.

Es posible escalar a deshidratadores industriales, de hecho ese es el objetivo futuro, pero también se proponen cambios para mejorar esta tecnología, hacerla más simple, con menores costos y aplicada a otros procesos. Estas propuestas van como sugerencias para futuras investigaciones.

ABSTRACT

Globally, there is a great demand for dehydrated products, among them Peru is the largest exporter of paprika, Arequipa is the second largest exporter after Ica, with 9000 hectares planted, producing between 4000 and 7000 kg /ha the largest volume of exports is made to USA and Spain, in dry conditions and with humidity of 14%.

To meet with the increasing demands on product quality, it is necessary to innovate the drying mode; this research will allow the construction of high-tech industrial dryers, to lower costs and environmental care.

Were built and tested two model dryers, the A model of 2 m², indirect drying chamber, trays on three levels, solar collector and ventilation equipment; The B model of 7.2 m², drying chamber featuring direct radiation and solar energy catchment. Both can store solar energy in water.

After experimentation and improvements in each of the models, it is concluded that the direct radiation, temperature, air speed and costs; Are the main parameters to be considered in the design of industrial dehydrators, including automation and control. In these models it was possible to dry paprika in 4 days, with a slight advantage in B model, but with higher operating costs than the A model and highest ventilator dependency.

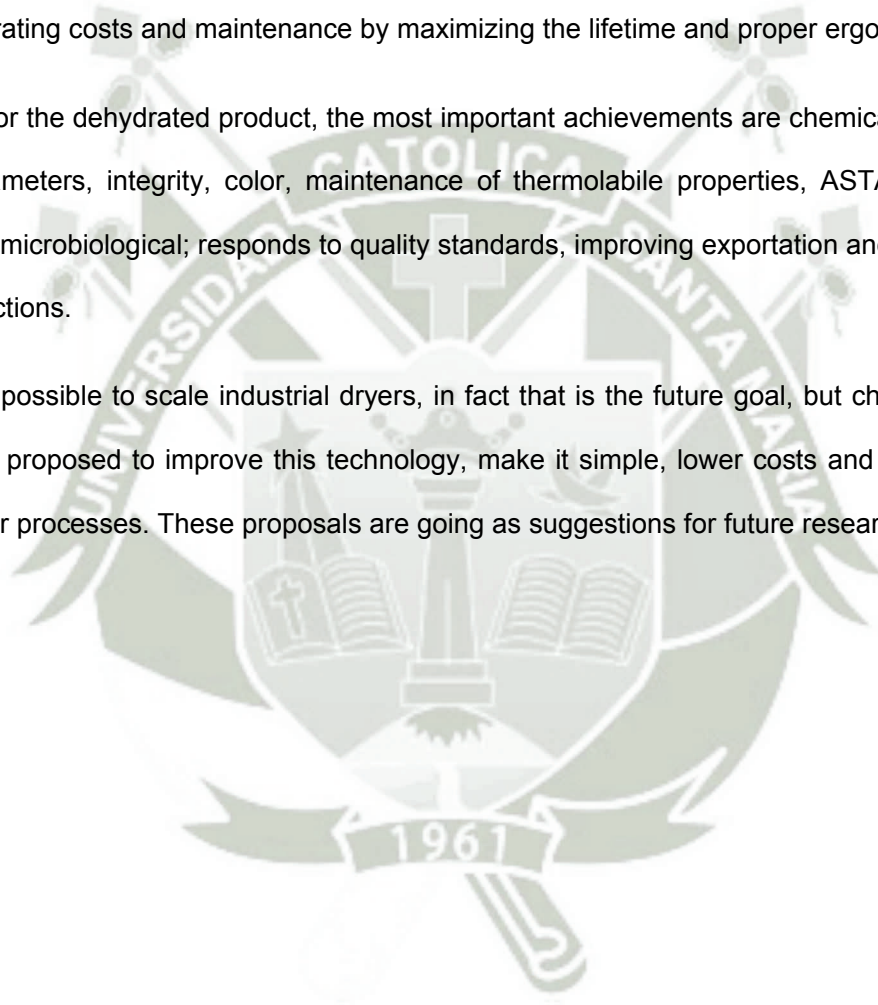
With that experience, it was designed, built and tested another dehydrator at model level, for 25 kg of paprika, with drying chamber of 1 m², 4 levels of trays and solar collector of 6 m², at a cost of 1800 soles. The evaluation was done in vacuum, evaluating the improvements and analyzing the dryer characteristics. Then was

evaluated under load reaching satisfactory results, however, the initial cost is highest compared with the alternative proposal.

After economic analysis, it can be seen that this proposal is technologically economic, with less environmental impact, because it minimizes the power and dependency of a ventilation, maximizing the fluid dynamic effects; Heat and mass transfer; Uses suitable materials, according to sanitary standards on the drying chamber, minimizing operating costs and maintenance by maximizing the lifetime and proper ergonomics.

As for the dehydrated product, the most important achievements are chemical physical parameters, integrity, color, maintenance of thermolabile properties, ASTA degrees and microbiological; responds to quality standards, improving exportation and reducing rejections.

It is possible to scale industrial dryers, in fact that is the future goal, but changes are also proposed to improve this technology, make it simple, lower costs and applied to other processes. These proposals are going as suggestions for future research.



INTRODUCCIÓN

El sol, es un recurso valioso y fuente de casi todas las formas de energía usadas por el hombre, es la parte vital de todo lo que conocemos como vida, gracias al sol contamos con petróleo, carbón, gas, energía hidráulica, eólica, biomasa entre otros. Esta investigación y gracias a los estudios doctorales me han permitido pensar en aplicaciones libres de productos de combustión, usar la energía solar directa e indirecta, en su conversión fototérmica, posible uso fotovoltaico, eólica y movimiento del aire por variación de su densidad (ventilación solar) y uso de termoacumulación.

Esta investigación denominada **“Evaluación Tecnológica del proceso de Deshidratación de Páprika en dos modelos de secadores con energía solar, y modelo industrial, Arequipa 2011”**, me ha permitido aplicar diferentes conocimientos tecnológicos, y de mejora continua, logrando la innovación en secadores industriales.

Para la ejecución de esta investigación se desarrolló el Proyecto de tesis, teniendo en cuenta la metodología y lineamientos para el planteamiento teórico y operacional.

Los objetivos de la investigación son:

General: Diseñar un modelo de secador para deshidratar el páprika a nivel industrial

- 1 Adecuar la instrumentación y mejoras de cada modelo A y B.
- 2 Determinar las características óptimas de cada modelo A y B.
- 3 Diseñar, construir y evaluar un deshidratador modelo de alta tecnología apropiado para uso industrial considerando mejoras respecto a modelos A y B

Para lograr los objetivos, se analizaron las variables, del producto y del deshidratador solar, aprovechando que participé en proyecto con FINCyT, donde se diseñó y construyó los modelos A y B, se evaluaron comparativamente estos dos modelos, lo que me permitió diseñar, construir y evaluar un modelo industrial de alta tecnología, de innovación y sobretodo de aplicación urgente en secado industrial para exportación del ají páprika.

A nivel mundial no hay un secador de estas características, con consideraciones eminentemente de aprovechamiento solar en sus formas fototérmica, ventilación solar, eólica, termoacumulación y posible uso de biomasa, que permitiría uso en todas las condiciones ambientales y menor tiempo de secado.

El informe de investigación consta de dos capítulos, mostrando resultados de experimentación. El capítulo uno muestra análisis previos, la construcción, adaptación, mejoras y experimentación de los modelos A y B, los resultados, su análisis e interpretación. El capítulo dos muestra diseno, construcción y experimentación de un deshidratador solar mixto (radiación solar directa e indirecta), de alta tecnología, con sistema de automatización y control de las principales variables del secador. Seguidamente las conclusiones, sugerencias y propuesta de futuras investigaciones que continúen la mejora de la tecnología de deshidratadores. En los anexos se encuentran el proyecto de investigación, parte de cálculos usando EES, El uso de ARDUINO para automatización y planos complementarios.

Luego de arduo trabajo, mucha inversión y aplicación de conocimientos en varias áreas de la ingeniería y el ambiente, con resultados satisfactorios en el producto páprika para exportación, queda una satisfacción con el deshidratador de alta tecnología, que me permitirá seguir investigando con varios otros productos.

Agradezco la participación directa o indirecta de la UCSM, el FINCyT, investigadores, mis profesores del doctorado que me dieron una mayor visión de las ciencias ambientales.

Mi más sincero agradecimiento y reconocimiento al Dr. Julio Paredes Núñez, que me ha guiado en este proyecto, gracias por el tiempo, la motivación, la enseñanza, la asesoría y la paciencia que me ha ofrecido.

El autor



CAPÍTULO I

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACIÓN EN MODELOS A y B

1 Análisis Previos

Primero se logró la construcción de las curvas de secado, se siguió el siguiente esquema experimental.

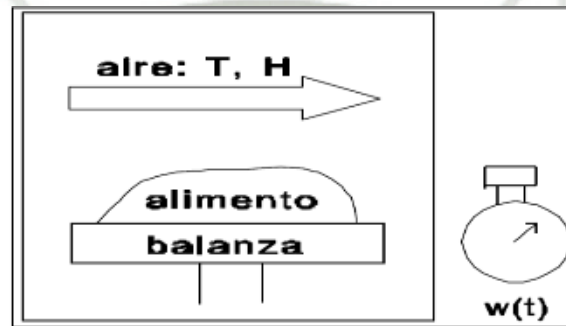


Figura 1.1 Esquema para determinar la curva de secado

El experimento consiste en registrar el cambio de la masa del alimento con el tiempo. Este cambio se debe a la pérdida de agua y está relacionado con la humedad del alimento y las propiedades del aire.

Tratamiento de los datos experimentales

- Para construir las curvas de secado los datos tabulados tiempo y la masa del alimento húmedo obtenidos experimentalmente se transforman en datos de tiempo y humedad base seca.
- Una vez obtenida la humedad libre, ésta y el tiempo al representarlos gráficamente producen la **primera curva de secado**

En la figura 1.2, **Región AB**: Período de calentamiento La masa del alimento húmedo disminuye sólo un poco debido a la débil contribución del calor sensible a la evaporación de agua.

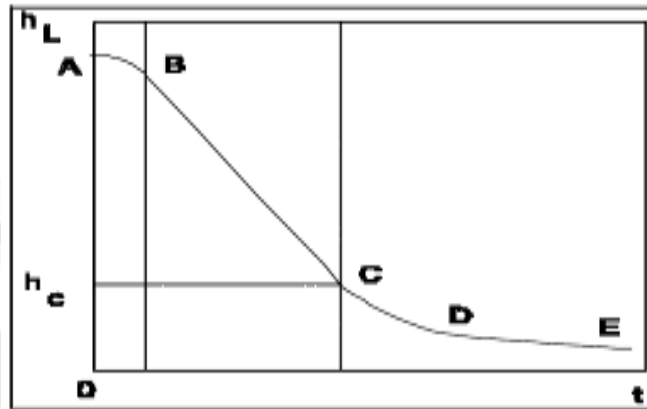


Figura 1.2 Curva de secado

Fuente: Informes Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

Región BC: Período de velocidad constante. En él ocurre buena parte del secado y la pérdida de humedad es directamente proporcional al tiempo.

Región CD: Primer período de velocidad decreciente.

Región DE: Segundo período de velocidad decreciente. En ambas regiones la humedad del alimento disminuye menos rápido que en la región BC para incrementos de tiempo iguales.

El **punto C** es el límite entre el período de velocidad constante y el de velocidad decreciente. La humedad para la cual se aprecia este límite se denomina humedad crítica, h_c . Tanto la humedad libre como la humedad crítica están expresadas en base seca.

Se colocó un litro de agua (1 kg), en horno de resistencias con ventilador y sistema de control en la UCSM, para la evaporación se reguló a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1,5\text{ m/s}$

Resultado experimental se muestra en la figura 1.3

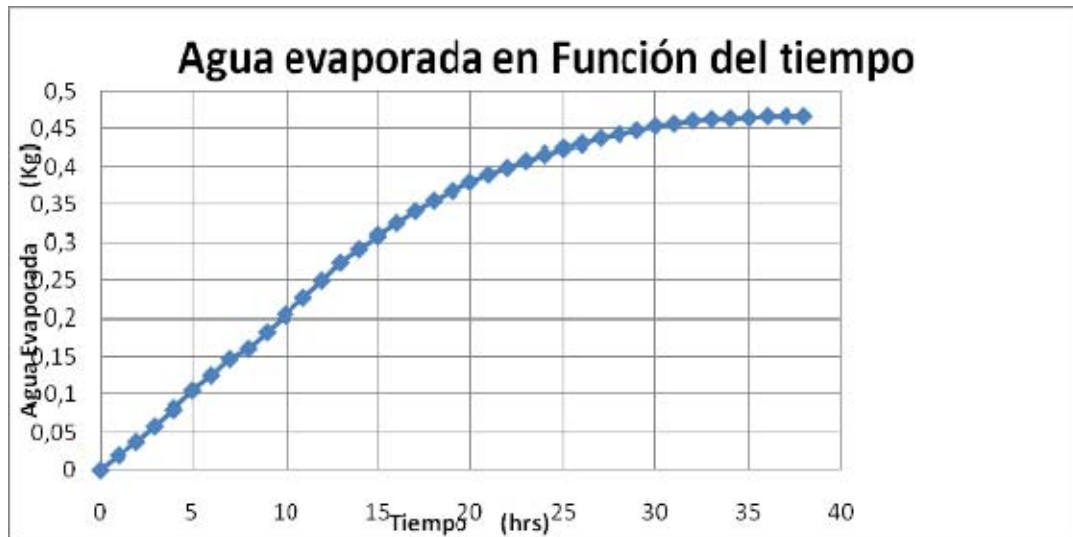


Figura 1.3 Proceso de evaporación del agua a condiciones controladas.

Fuente: Informes Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

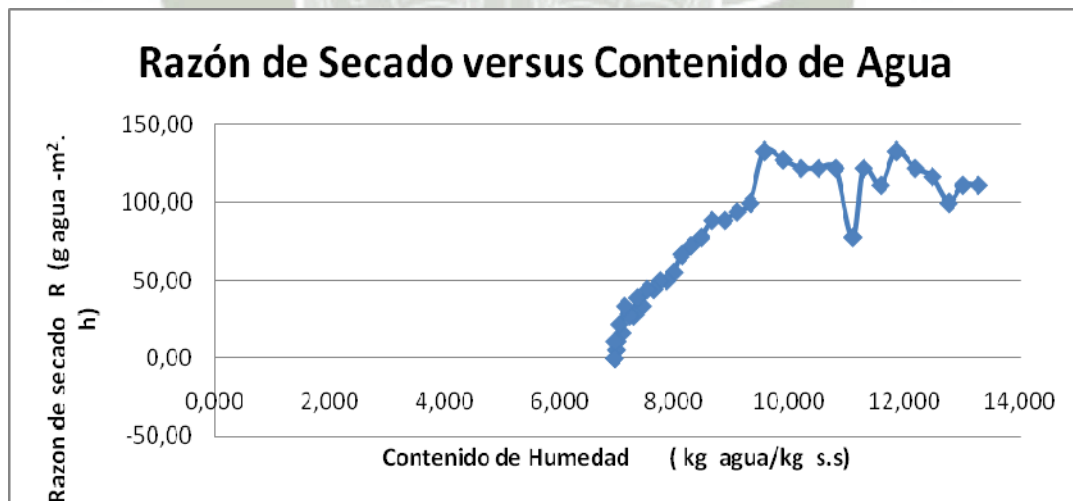


Figura 1.4 Razón de secado para el Secado a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v= 1,5\text{ m/s}$.

Fuente: Informes Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

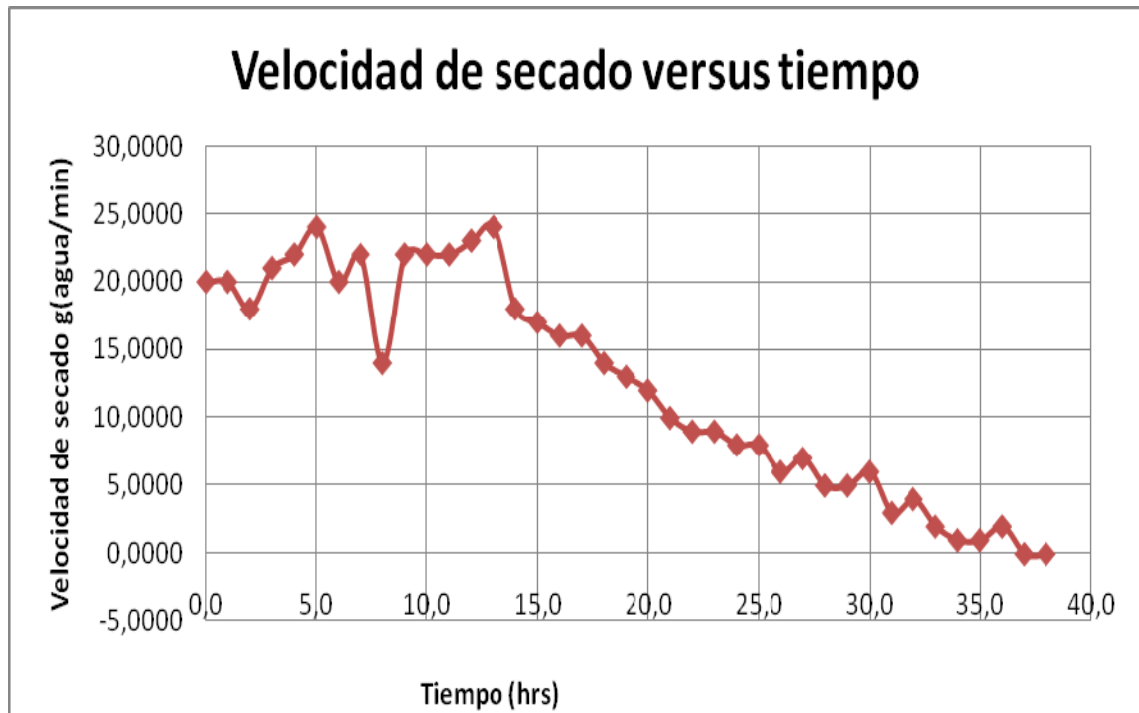


Figura 1.5 Velocidad de secado para 40 °C, v= 1,5 m/s.

Fuente: Informes Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

Tabla 1.1: Tabla comparativa de tiempos y Razón de Secado vs Contenido de humedad Base seca realizados en un secador eléctrico de la UCSM (control termostático y regulación de velocidad), con densidad de carga 5.5 Kg/m²

Temperatura De secado °C	Tiempo de Secado a Velocidad Constante (h)	Tiempo de Secado a Velocidad Decreciente (h)	Tiempo Total (h)	Razón De secado A velocidad Constante Kg agua/m ² h	Razón De secado A velocidad Decreciente Kg agua/m ² h
40	13,098	22,80	35,85	116,67	Variable
50	11,07	21,30	32,36	172,22	Variable
60	9,11	22,47	31,57	217,78	Variable

Fuente: Informes Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

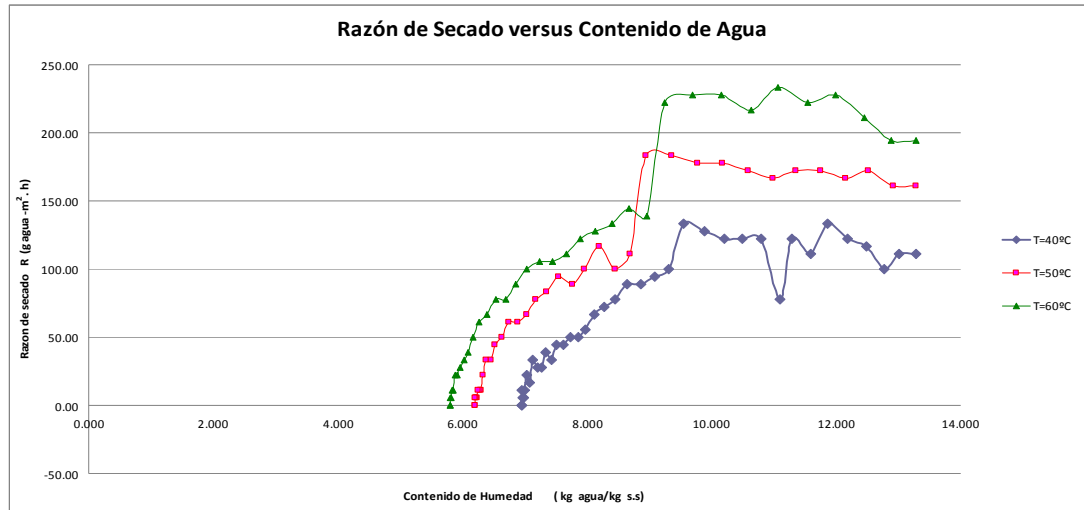


Figura 1.6 Gráfica Razón de Secado vs Contenido de humedad Base seca.

Fuente: Informes Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

De acuerdo a la tabla 1.1 y la figura 1.6 podemos apreciar que a mayor temperatura del aire de secado, el tiempo de velocidad constante es menor y esto ocurre a la temperatura de 60°C, le sigue de 50 °C y por último a la temperatura de 40°C. El tiempo de secado a velocidad constante es menor a 60°C, debido a que la velocidad de secado es mayor 217,78 Kg agua/ m² hora. Estos datos de partida nos permiten diseñar el deshidratador, tratando de lograr estos parámetros, pero con recurso solar.

De acuerdo a las pruebas realizadas con el secador experimental de tiro forzado se obtuvieron los siguientes resultados.

- La velocidad de aire empleada fue de 1,5 m/s.
- Las tres temperaturas a las cuales se evaluó el secado fueron de 40°C, 50°C y 60°C.
- La mayor velocidad de secado a velocidad constante se presentó a los 60°C con 217,78_Kg agua/m² h
- La densidad de carga fue de 5.5 Kg/m² .

- El tiempo de velocidad constante para 60°C, fue el menor con un valor de 9,11 horas.

Fue necesario un análisis de laboratorio para determinar las características de daños físicos, químicos y biológicos del pimiento a nivel experimental.

TABLA 1.2: CARACTERISTICAS FISICAS DEL PÁPRIKA ENSAYADO EN LABORATORIO DE LA UCSM

Apariencia	Frutos enteros y limpios.
Aroma	Característico.
Color (visual)	Rojizo.
Frutos enteros	90 % mín.
Materias extrañas	Ninguno.
Pequeñas fisuras	15 % máx.
Sabor	Característico.
Tamaño	12 - 18 cm (90 % mín.)
Tamaño	8 - 12 cm (5 % máx.)
Tamaño	>18 cm (5 % máx.)
PARAMETROS QUÍMICOS	
Aflatoxinas	N.D.
Humedad de producto seco	14 % máx.
PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS	
Coliformes totales	Según requerimiento del cliente.
E. Coli por gramo	No detectable.
Salmonella por 25 gramos	No detectable.

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la UCSM para Proyecto FINCyT-PITEI 2009

- A nivel internacional el método más usado para determinar la calidad del páprika son los grados ASTA, un pimentón o páprika de buena calidad deben superar los 120 ASTA.

Por lo que se debe de considerar esta temperatura dentro del secador para trabajar en el diseno del deshidratador. Estas son afectadas principalmente por condiciones del ambiente.

Características geográficas y de clima de la ciudad de Arequipa, en base a diferentes fuentes aplicadas para las zonas de producción del páprika, se resume de la siguiente manera:

Temperaturas máximas medias mensual	22.05°C
Temperatura mínima media mensual	7.92°C
Humedad relativa media mensual (meses de marzo/agosto)	40.33%
Horas de sol media mensual (meses de febrero/julio.)	10.10
Radiación solar media mensual $\frac{W-h}{m^2 día}$ (meses de abril a setiembre)	5689.16
Radiación solar al medio varía entre	(850 a 950 W/m ²)
Velocidad media del aire nor-este (día) y sur-oeste(noche)	1.5 a 2.5 m/s

La fuente principal de estos datos es:

<http://www.ucsm.edu.pe/conam/caracteristicas.html>,

El reporte ambiental #3, <http://www.arequipaperu.org/clima>.

2 Construcción adaptación y datos técnicos de cada modelo A y B

2.1. Primer Modelo: Módulo A (CHICO)

Esquema y datos técnicos de MODELO secador tipo CF1M, Propuesto por CFB.

Tabla 1.3: Características del secador tipo CF1M

Dimensiones 2 mts x 1 mts	2 m ²
Densidad de carga de producto fresco x 2 día	8 kilos
Área de colectores	1.5 m ²
Área y capacidad de cámara de secado	0.5 m ² 0.22 m ³
Calor atrapado por el colector	9.6 KW.h/día
Materiales del secador	De acuerdo a normas grado alimenticio
Colectores	En base a perfiles de aluminio de 12" de altura, planchas interiores de calamina (canal cruzado), aislamiento con cartón, Tecnopor protegido por latón galvanizado. Parte superior de vidrio medio doble y espejo inclinable; estructura de aluminio.
Cámara de secado	Con perfiles aluminio, cubierta exterior plancha acero inox, aislamiento plancha tecnopor, interior recubierto con triplay e= 1 cm, parte superior vidrio medio doble. Provisto de 3 agujeros de 4" de diámetro, la central con ventilación forzada, 12 voltios y flujo de aire de 20 CFM.
Bandejas	3 niveles de bandejas, con malla metálica galvanizada Se recomienda uso de acero inoxidable grado alimenticio, para bandejas AISI 304 y para cubierta interior de cámara el AISI 430
Botellas de agua	20 botellas PET de 1 litro c/u
Sensor de temperatura, humedad y velocidad del aire	Se usará sistema de adquisición de datos y software
Costo de Secador CF1M	900 soles, no incluye espejos, sensor de temperatura ni pequeño ventilador. (vista final, último esquema)

Fuente: Elaborado por el autor

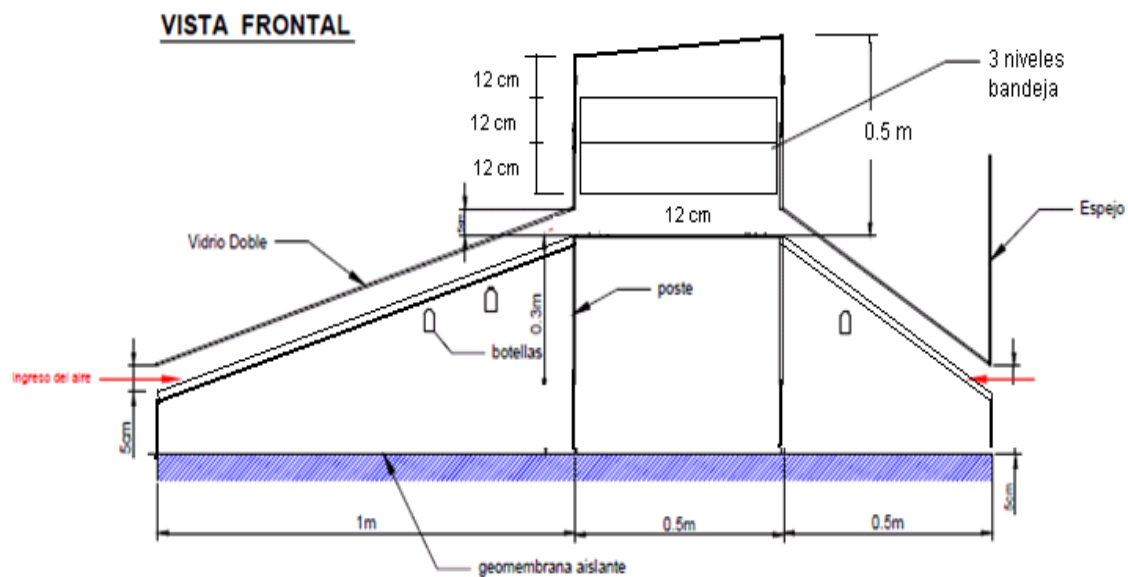


Figura 1.7: Esquema para construcción de Modelo A (pequeño)

Fuente: Elaboración propia



Figura 1.8: fotografías de construcción modelo A (CF1M)

2.2 Segundo Modelo: Módulo B (GRANDE).

Propuesto y construido por Dr. Nicolás Ognio de la UCSM

Dimensiones 3 mts x 2.40 mts	7.2 m ²
Densidad de carga de producto fresco x día	22.69 kilos
Área de secado	4.8 m ²
Área de almacenamiento de energía	2.4 m ²
Calor atrapado por el colector	16880.976 cal
Calor para el pimiento	11253.984 cal
Calor para el agua	5626.992 cal
Dimensiones del colector de agua almacenamiento en geomembranas de 0.5 cm de grosos	h = 0.067 mts L = 1.0 mts A = 2.4 mt
Requerimiento de aire	0.04414 m ³
Dimensiones del ingreso de aire	L = 1.0 mts A = 0.0221 mts
Velocidad del aire	2 m/seg

Fuente: Informes Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

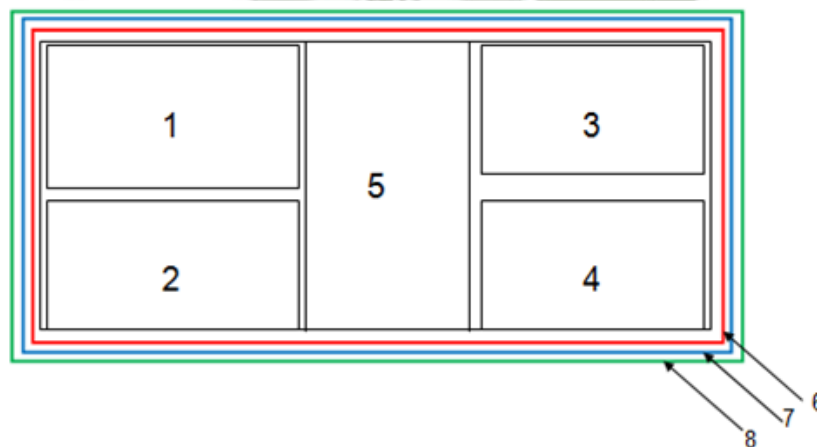


Figura 1.9 a: Esquema para construir modelo B, vista superior

Leyenda:

- 1, 2, 3, 4 Bandejas de secado, dimensiones c/u 1.2x1.00 m
- 5 Cámara de almacenamiento de energía, dimensiones 1.00x2.40 m
- 6, 7, 8 Estructuras del contorno del secador, dimensiones 3.00x2.40 m
- 6 Plástico blanco de ½ mm de espesor
- 7 Geotextil de 1 mm de grosor que actuará de aislante
- 8 Plancha de 1/36 que cubrirá el contorno del secador, así como su base
- 9 Área de vidrio en las bandejas es de $2.4+2.4= 4.8$
- 10 Área del vidrio de la cámara de almacenamiento de energía $1x2.4x2=4.8$ m, de grosor 4 mm

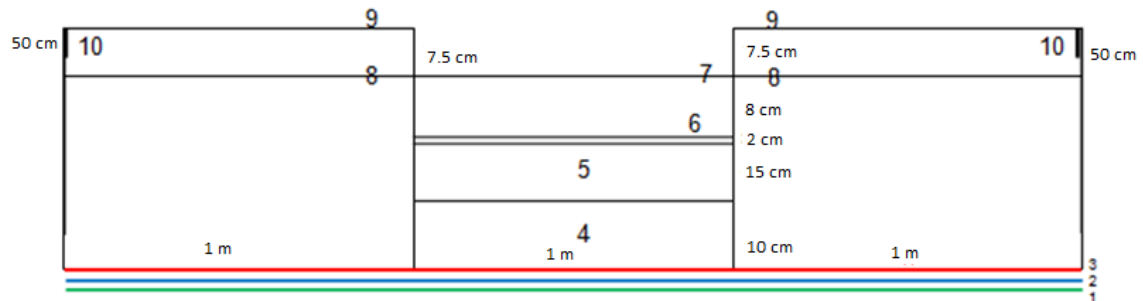


Figura 1.9 b: Esquema para construir modelo B, vista frontal

Leyenda:

- 1 Plástico de geomembrana de ½ mm, reduce captación de humedad del piso
- 2 Geotextil de 1 mm de grosor que actuará de aislante térmico
- 3 Plástico de geomembrana de ½ mm, permite captar energía que se pueda filtrar
- 4 Cámara de almacenamiento de energía en geomembranas, son 20 bolsas de 0.25x0.48x0.06 cm, almacenan un total de 160 litros de agua
- 5 Ingreso de aire. Dimensiones 1.00 m largo x 10 cm de altura regulable de acuerdo a requerimientos del flujo volumétrico, en función a velocidad del aire
- 6 Vidrio de 4 mm transparente. Entre 6 y 7 existe un espacio de 2 cm para que actúe como vacío y evitar que los rayos solares salgan del sistema de almacenamiento.

- 7 Es vidrio de 4 mm que reduce pérdida de energía solar
- 8 Bandejas con marco de madera y forradas con planchas de 1/36 y malla metálica
- 9 Vidrio de 4 mm que capta energía solar
- 10 Salida de aire húmedo de 50 cm x 5 cm con área de ancho regulable de acuerdo a velocidad volumen de aire a eliminar.



Figura 1.10: Vista de modelos A y B en primeras pruebas, lugar UCSM (Parque industrial)

2.3 Preparación de los prototipos experimentales con instrumentación automatizada y adecuación de instrumentos adicionales.

- Para el sistema de automatización del secador de pimientos se ha propuesto dos formas de control:

Forma Manual

- Bajo esta modalidad el secador será controlado por un supervisor que será el encargado además de controlar, de registrar en forma manual los datos que considere necesarios. El registro es manual, pero los datos serán ingresados al computador para su posterior registro, análisis y decisión.

Forma Automática

- Bajo esta modalidad el secador será controlado y supervisado automáticamente, usando hardware de adquisición de datos (DAQ) y software LabVIEW, para registrar, reportar y analizar los datos relevantes provenientes del equipo secador de pimientos.

La automatización del proceso a partir del computador además del control también realizará las siguientes funciones:

- Representación gráfica de todo el sistema.
- Pantallas de Aplicación.
- Pantallas de Alarma
- Almacenamiento de la información resaltante en base de datos.
- Displayado secuencial de cada una de las medidas realizadas.

Sea una u otra la forma de control, de manera prioritaria se requerirán sensores de temperatura, humedad y velocidad que permitan captar la señal y transmitirla eléctricamente al controlador elegido.

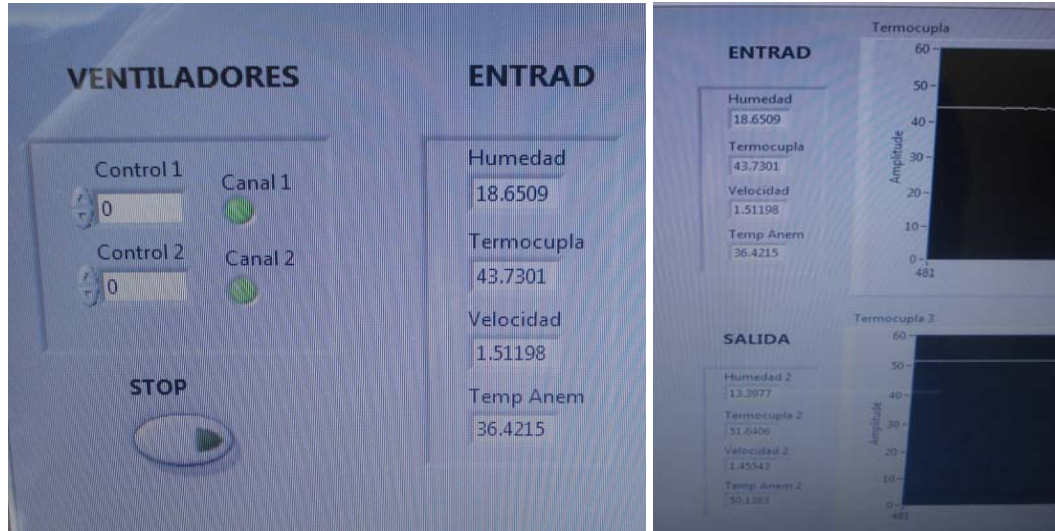


Figura 1.11: Vistas de programación gráfica para modelos A y B.

De acuerdo a la instrumentación requerida para el secador de pimientos básicamente está definido por:

- **Transductor de Temperatura**, este sensor se utiliza para medir y supervisar la temperatura del proceso en diferentes partes de manera económica y eficiente, se requieren cuatro de estos transductores, dos para medir la temperatura en la entrada del secador (uno para cada plataforma) y dos para medir la temperatura de salida (uno para cada plataforma), la señal transmitida es voltaje de 0 a 10v.



Figura 1.12: Sensor de Temperatura

De acuerdo a la instrumentación requerida para el secador de pimientos básicamente está definido por:

- **Anemómetro**, encargado de sensor y transmitir eléctricamente la velocidad del viento, se requieren dos de estos transductores, uno para medir la velocidad del viento en la entrada del secador y el otro para medir la temperatura de salida. Dado el campo de medida el tipo más adecuado es el de hilo caliente. La señal transmitida es voltaje de 0 a 10v.
- **Higrómetro** encargado de sensor y transmitir eléctricamente la humedad de cada una de las plataformas, se requieren dos de estos transductores, uno para medir la humedad con la que entra el aire caliente al secador y el otro para medir la humedad con la que sale luego del proceso de secado.



Figura 1.13: Vista del higrómetro

El controlador será implementado en un computador para lo que se usó el siguiente equipamiento

- **Tarjeta de Adquisición de Datos** son las que van a llevar los datos captados del equipo al computador por lo que deben tener una buena resolución y un buen número de muestras por segundo, el número de entradas y salidas analógicas está directamente relacionado con la cantidad de medidas a realizar (transductores) y la de los actuadores a emplear.

- **Software de Instrumentación Virtual** Este software es el encargado de presentar un entorno gráfico de programación, que permite un fácil desarrollo de las aplicaciones de control pues cuenta con un Lenguaje G (lenguaje gráfico). Permite un rápido desarrollo de interfaz de usuario para acondicionar, visualizar y procesar señales.



Figura 1.14: Vista de la tarjeta de adquisición de datos

Adecuación de Instrumentos y modificaciones en ambos modelos A y B

Modelo A (CHICO)



Figura: 1.15: Vista de modelo A con equipo de control

- Instalación de un vidrio en el colector principal, esto para que el mismo cuente con un vidrio doble, y así mejore su eficiencia en calentamiento de aire.
- En el colector pequeño se instaló un espejo para aprovechar mejor esa área de calentamiento, conjuntamente con ganchos para graduar el ángulo de inclinación del espejo.
- Instalación de tres coolers de case, cada uno de 20 wat para extracción del aire de la cámara de secado.
- Instalación de un ventilador metálico con resistencias eléctricas, estas con un sensor térmico para su prendido y apagado automático, en esta instalación se hizo una pequeña jaula para el ventilador y las resistencias, se acoplaron 4 tubos de PVC de 2'' para que sirvan de conductos de aire hacia la cámara de secado estos tubos y la jaula forrados con esponja para que sirva de aislante.
- Se hicieron agujeros en un costado de la cámara para que entren los sensores tanto a la entrada como a las salidas.



Figura: 1.16: Vista de modelo A con modificaciones y adecuación

MODIFICACIONES Módulo B (GRANDE)

- Se procedió a modificar la posición del ventilador de 1 HP para el lado B (Vidrio), en vista de su mayor eficiencia, aperturando una nueva zona de ingreso, sellando con tecnopor la entrada ubicada en el medio.



Figura: 1.17: Vista de modelo B con equipo de control y modificaciones

3 Resultados de la evaluación de la calidad del secado de pimiento en los modelos experimentales A y B.

1ra Experimentación: Día 21/4 al 24/4 2011.
H. inicio 9.45 am; H. fin 8.35 am

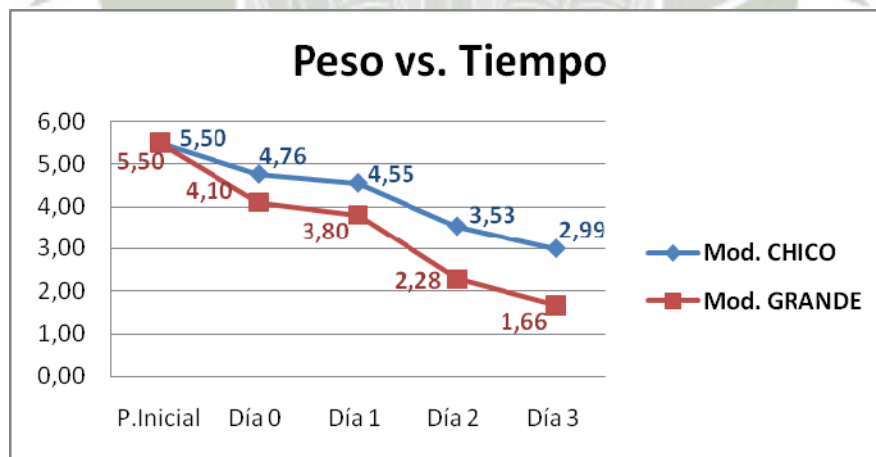


Figura 1.18: GRÁFICA Comparativa modelos A (chico) y B (grande)

Fuente: Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

La pérdida en % de peso registrada en esta experimentación por día es:

Tabla 1.5: Datos experimentales comparativos de pérdida en modelos A Y B

MOD.CHICO (A)	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3
% Pérdida	13.45%	17.27%	35.81%	45.64%
MOD.GRANDE (B)	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3
% Pérdida	25.46%	30.91%	58.55%	69.82%

Fuente: Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

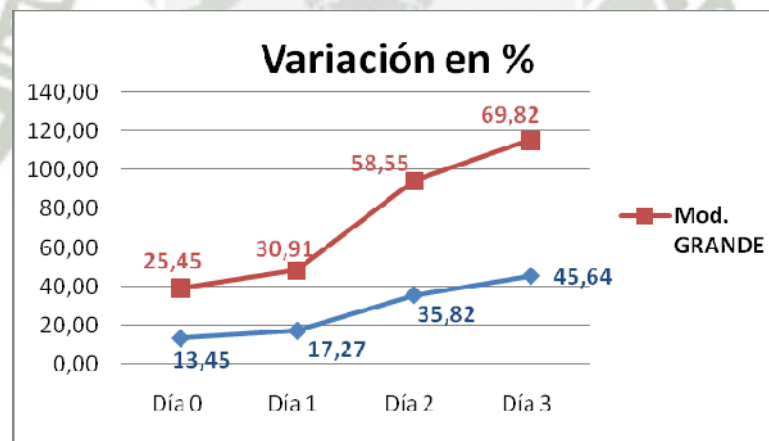


Figura 1.19: Gráfica, muestra la variación porcentual comparativa de modelos A y B.

Fuente: Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

- Se determinó con análisis de laboratorio (UCSM), que la Humedad Inicial del Páprika utilizado para las experimentaciones fue de 84.4516% y la final de 13.9747%.

- Así mismo se procedió a la determinación de los grados ASTA, el cual alcanzó 280°, lo que quiere decir que se ha logrado alcanzar un parámetro de color superior al esperado.

2° Experimentación

Experimentación del día 05/05 hasta el 09/05; H inicio 9.45 am y H final 1.35 pm

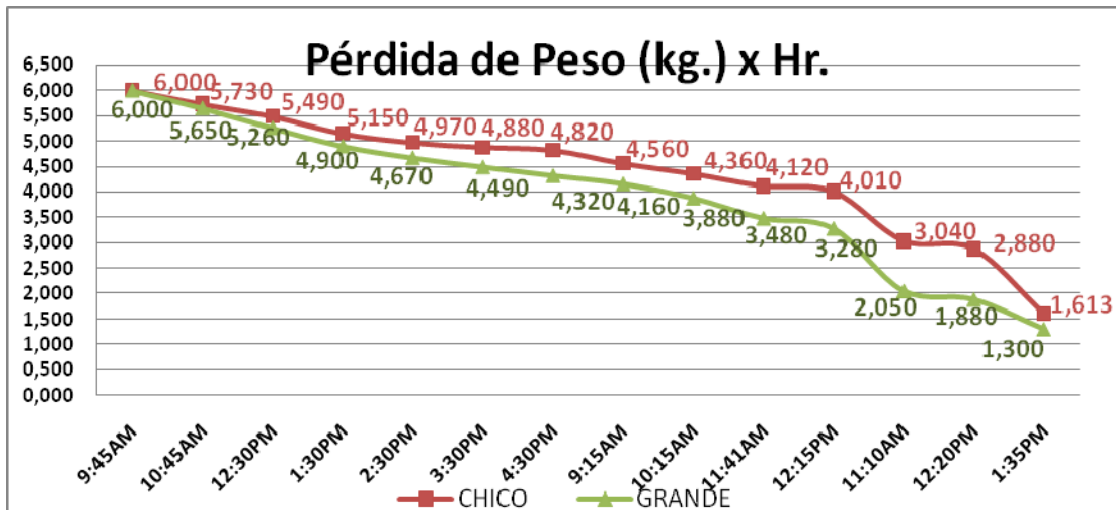


Figura 1.20 Gráfica que muestra la pérdida comparativa de peso en modelos A y B.

Fuente: Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

Tabla 1.5: Pérdida en % de peso registrada en esta experimentación por día

MOD.CHICO (A)	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
% Pérdida	19.67%	33.17%	52%	62.58%	73.12%
MOD.GRANDE (B)	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
% Pérdida	28%	45.33%	68.67%	73.50%	78.33%

Fuente: Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

En Modelo B (grande), se mantuvo a flujo continuo de 7am a 4pm, con sólo un breve descanso, el cuarto día de esta semana se observó que el proceso de secado descendió en comparación con la anterior experimentación, en tal medida se decidió reiniciar la prueba debido a que se dio un enfriamiento en el secador, el cual alcanzaba temperaturas de 30°C, lo cual no permitía un adecuado secado.

Ventilador posicionado en el área de ingreso de aire.

- Velocidad de ingreso de aire : 7.5 – 8.5 m/s.
- Velocidad del aire de salida : 1.6 – 1.8 m/s.

Se distanció el ventilador del secador 10 cm.

- Velocidad de ingreso de aire : 5.5 – 6.5 m/s.
- Velocidad del aire de salida : 0.7 – 1.0 m/s.

Control Manual del ventilador, prendiéndolo cuando la temperatura se aproximaba a los 60°C y apagándolo cuando llegaba a 50°C.

En modelo A (chico), se introdujeron mejoras como adicionar ventilador, calefactor, con el fin de uniformizar el consumo energético del modelo B, observándose mejoras al cuarto día, esto se muestra en las gráficas 1.20, 1.21 y 1.22.

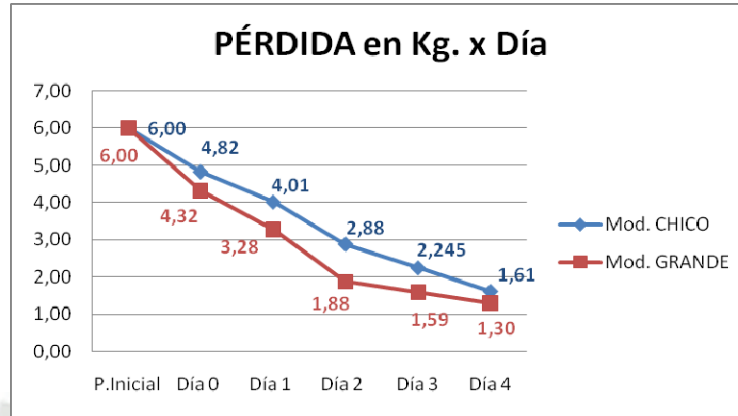


Figura 1 21: Gráfica que muestra la pérdida de peso luego de modificaciones

Fuente: Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

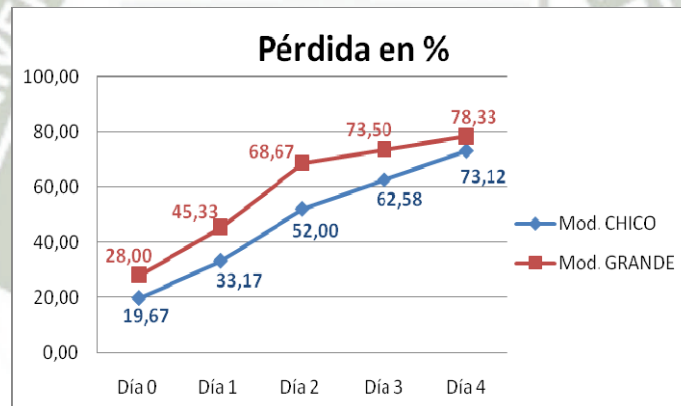


Figura 1.22: Gráfica que muestra la pérdida de peso en % luego de modificaciones

Fuente: Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

RESULTADOS COMPARATIVOS DE MODELOS A Y B LUEGO DE MEJORAS

De las gráficas podemos observar que el modelo grande, tiene menor tiempo de secado, sin embargo los costos y el impacto ambiental son mayores que del modelo A; sin embargo a nivel comercial e industrial tenemos que realizar mejoras, combinando diferentes características. Observamos que los factores económico y ambiental serán cruciales al tomar decisiones.

Las ventajas del modelo B están influenciadas por el consumo de energía eléctrica (Potencia de ventilador), así como la radiación directa, que aumenta la velocidad de secado, pero a mayor costo de equipo.

A nivel industrial, un deshidratador como el B, tendrá mayores costos de fabricación, mantenimiento y consumo eléctrico, además que es totalmente dependiente de electricidad y de ventilador.

El siguiente paso en el diseño de equipos es el diseño y construcción de un prototipo a escala real, pero mejorando las bondades de los modelos A y B.

Con la experiencia de ambos deshidratadores modelo, pasamos a la propuesta de construcción de deshidratadores a nivel comercial.

4.- Propuesta a nivel comercial e industrial

Se estudiaron dos propuestas a nivel industrial: por límites en presupuesto se construyó un secador de 250 kg y 1000 kg, el mismo no forma parte de este informe.

La segunda propuesta del autor fue un deshidratador para 100 kg, pero por comodidad y modularidad se construyó un modelo de 25 kg para investigación.

Propuesta de PROTOTIPO A CF1P100 (Por el autor CFB.)

Características:

- Es de carácter modular
- Tiene cámara de secado de 1mx4mxaltura de 50 cm.
- Capacidad de 90-100 Kg, 4 niveles de bandejas, total 16 bandejas por módulo.
- Área total de cada secador: 24 m², en tres partes: precalentamiento con mantas de polietileno aditivado para secador solar y resistente a los UV, calentamiento con un vidrio de 4 mm y sobrecalentamiento con dos vidrios de 4 mm separados 1 cm.
- Tiempo de secado: condiciones normales 2 días, con combustible adicional puede secar en 1 día (se ha previsto el uso del Biogás, en los quemadores).
- Materiales: Acero negro para soportes, planchas de acero inoxidable, vidrio doble, cartón, espuma.
- Cuenta con ventilador eólico y ventilador eléctrico (puede ser con panel fotovoltaico y/o electricidad de la red).
- Tendrá quemador para biogás.
- Costo de un secador: Aprox. 7 500 soles
- Para secador industrial de 250 - 300 kg/ día, se requieren 3 módulos, costo de 22 500 soles.
- Para secador industrial de 1 000 kg/día, requiere 10 módulos, costo de 75 000 soles.

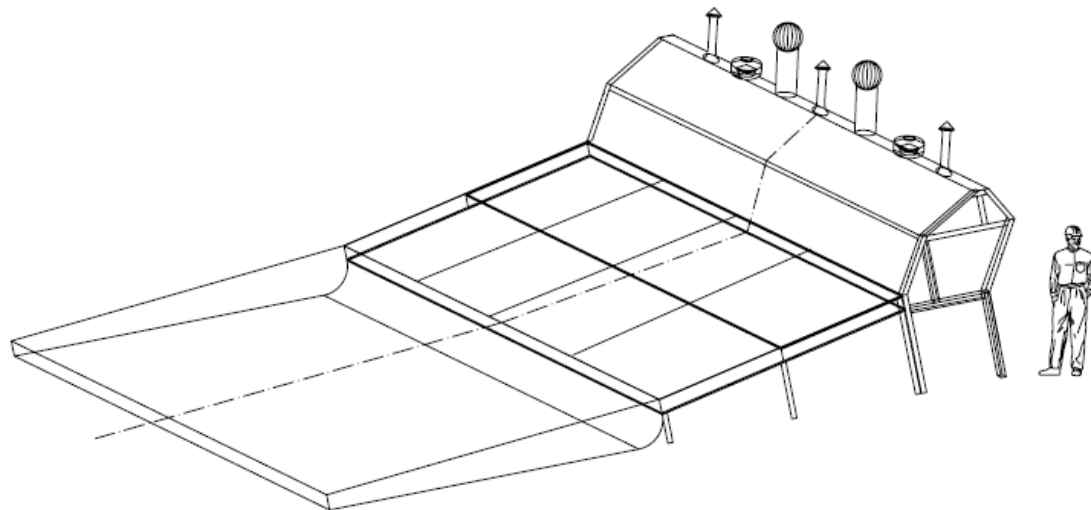
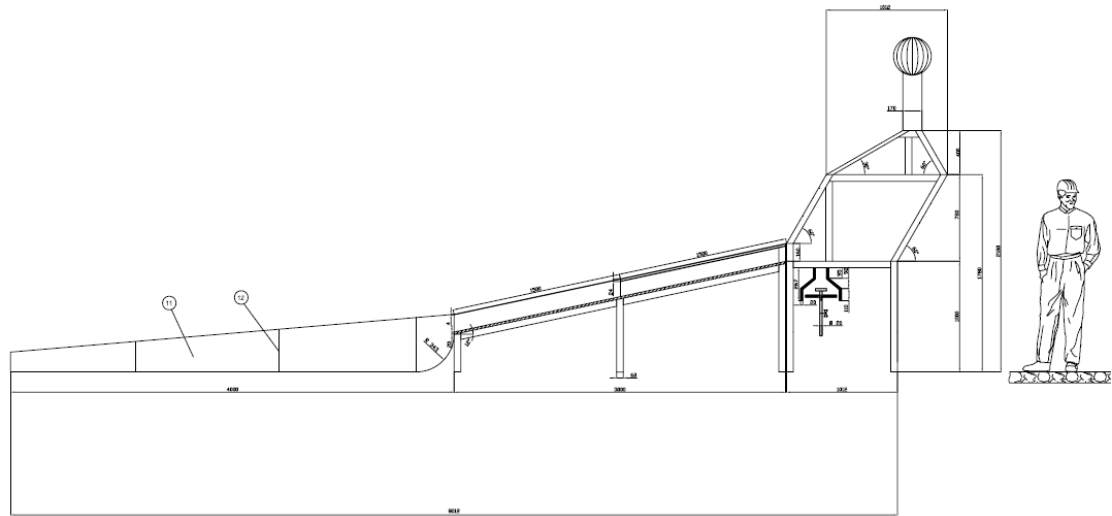


Figura 1.23: Propuesta del autor de deshidratador 100kg. Vista lateral e isométrica

Fuente: Propio del autor

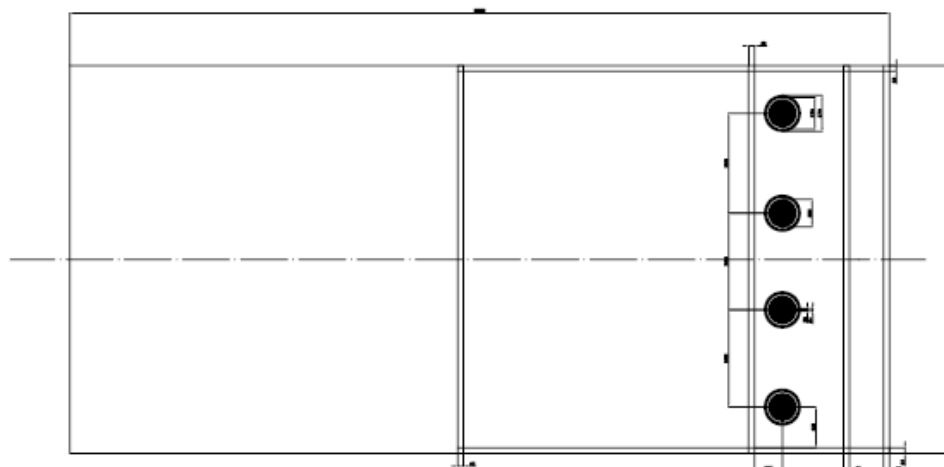


Figura 1.24: Diseño modular para 100 kg de páprika: Vista superior

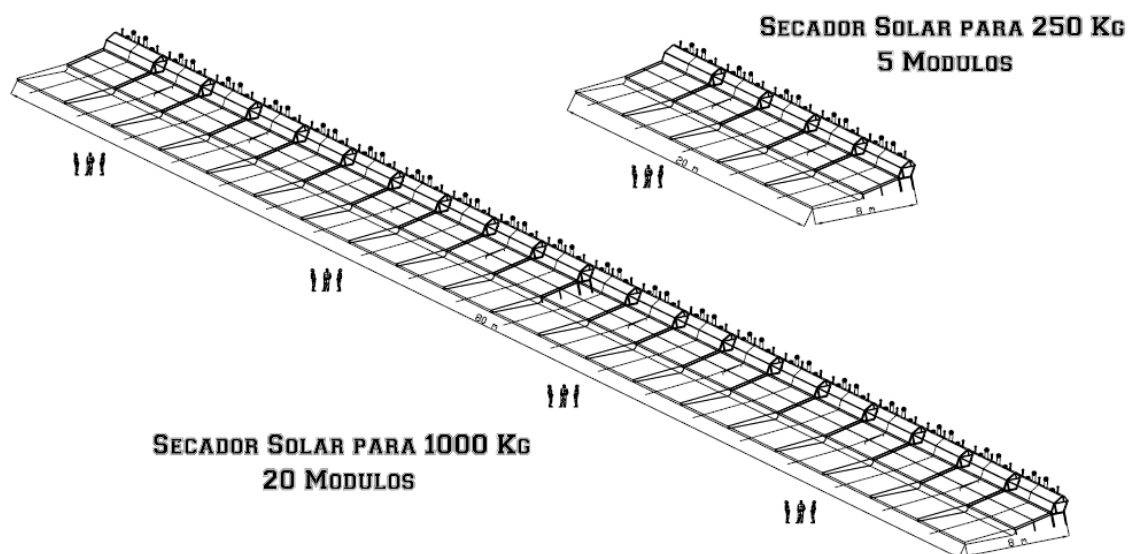


Figura 1.25: Vista isométrica de secadores: Propuesta comercial de 250 kg e industrial de 1 ton usando módulos de 50 kg

En la figura 1.26, se muestran los esquemas para la construcción de secadores para 250 kg y 1000 kg por día en base húmeda

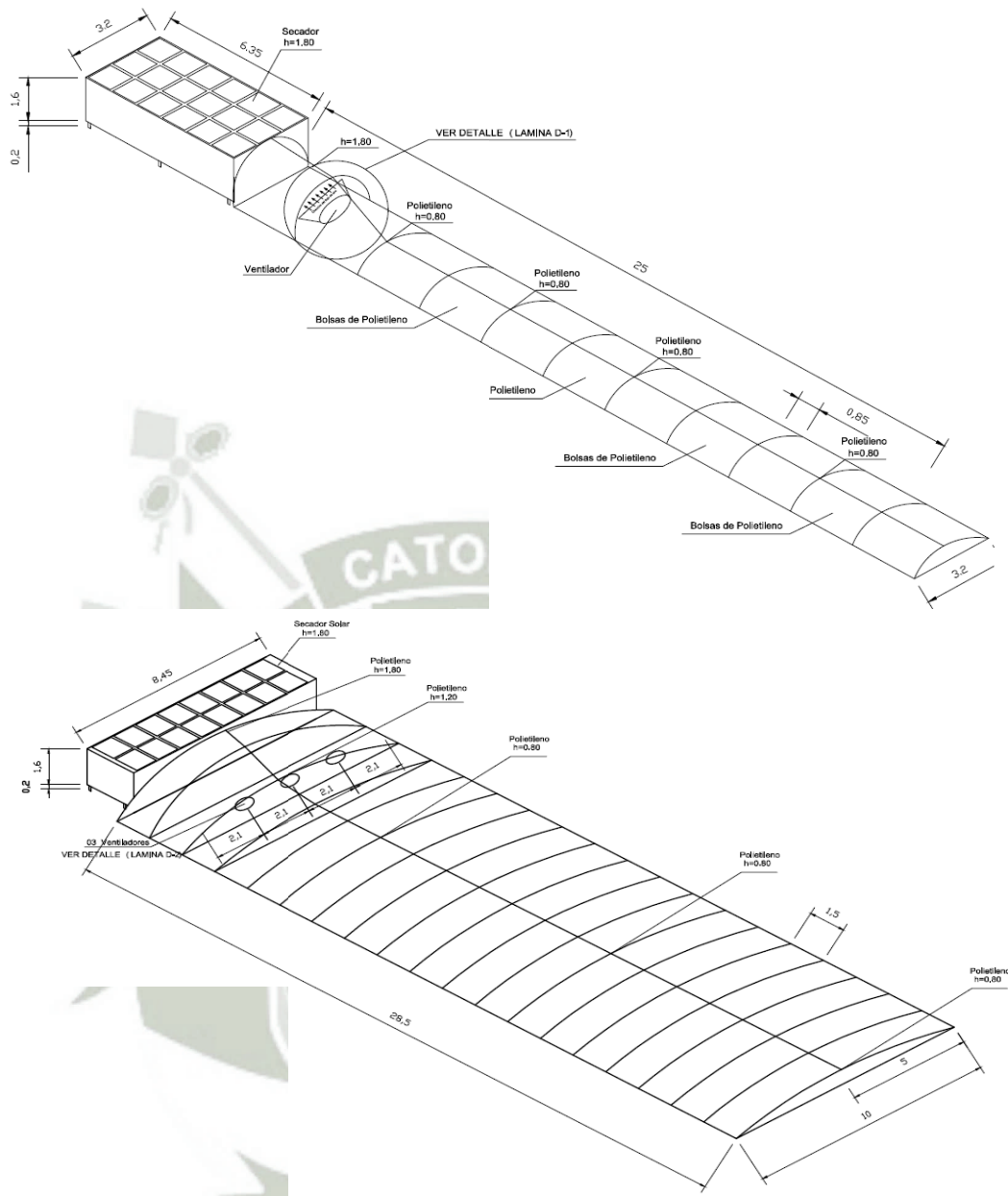


Figura 1.26: Prototipos construidos con fondos del FINCyT

Fuente: Proyecto FINCyT, CONCURSO N° 05 FINCyT-PITEI 2009

El problema de estos secadores indirectos es su alta dependencia de energía eléctrica en los ventiladores, si hay falta de este recurso el producto se quema en mínimo tiempo, además en el campo no siempre se cuenta con energía eléctrica.

CAPÍTULO II

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPERIMENTACIÓN EN MODELO INDUSTRIAL DE 25 Kg. MÓDULO C

1.- Diseño de modelo para experimentación

Con la experiencia de diseño y experimentación de secadores A y B, y experiencia en la construcción de secadores industriales (Fig. 1.26), se planteó el módulo de uso industrial (modelo C), sin embargo antes de construcción y pruebas de un prototipo, es necesario experimentar en laboratorio un modelo a escala, con la instrumentación adecuada para su análisis.

Se ha procedido a determinar el área adecuada para secar 25 kg de páprika, el concepto de diseno usa un secador mixto, es decir con precalentamiento solar y de radiación directa parcial, es de tipo batch (por lotes), de flujo mixto por convección natural pero tiene ayuda de ventilación forzada, **su forma tiende a ser una parábola** para recorrido del aire y **mejor acción fluidodinámica**, terminando en una chimenea que debe permitir aumentar la velocidad de salida, pintada de negro para efecto de bomba solar, tiene una válvula de control ON/OFF, que dependerá de un sensor de humedad. Tiene espacio para almacenar energía en agua (botellas de agua), que amortiguan la variación de temperatura por acción de ventiladores y aumenten el tiempo de secado en caliente, un ventilador de acción directa e intermitente para continuar secado por la noche, todo el sistema de control será de muy bajo consumo, permitiendo el uso futuro de un pequeno **panel fotovoltaico** que alimente a todo el control de variables, sin necesidad de energía adicional, incluido en horario nocturno y

días nublados. También tiene **posibilidad de usar biogás** nocturno para reducir el tiempo de secado a 20 horas, no es indispensable el recurso eléctrico y si falla éste la temperatura no aumenta rápidamente como en secador industrial construido para COPEMUR. Además es desarmable en partes por lo tanto fácilmente transportable, por su modularidad puede construirse secadores de diferentes tamaños.

2.- INGENIERIA DEL PROYECTO MÓDULO C

Existen 3 mecanismos de transferencia de calor y aplicaciones de la fluidodinámica cuyos cálculos básicos se realizaron con ayuda del EES y Autodesk que permitió optimizar los cálculos para diferentes condiciones ambientales, sin embargo entramos a ensayos de prueba y error con módulo experimental y las consideraciones y diseño del sistema de automatización y control con ARDUINO. Los cálculos básicos se muestran, con teoría básica en anexos 2 y 3:

- La termodinámica aporta principalmente el balance de energía
- La mecánica de fluidos, el movimiento del aire en el colector y la cámara de secado, se han chequeado con simulación CFD.
- La Transferencia de calor y masa con la conducción, Convección y Radiación, así como los fenómenos de evaporación y transporte de masa.
- La automatización y control permite un funcionamiento controlado e integrando las diferentes funciones, ver anexo 3.

Ahora se presenta algunos cálculos que permitió diseñar, seleccionar materiales y construir el modelo industrial de 25 kg, el mismo que se puede escalar a los prototipos industriales.

Por comodidad y generalidad los cálculos son por unidad de área, la fuente principal es el libro de Cengel y G, "Transferencia de calor"

CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN EN COLECTOR SOLAR

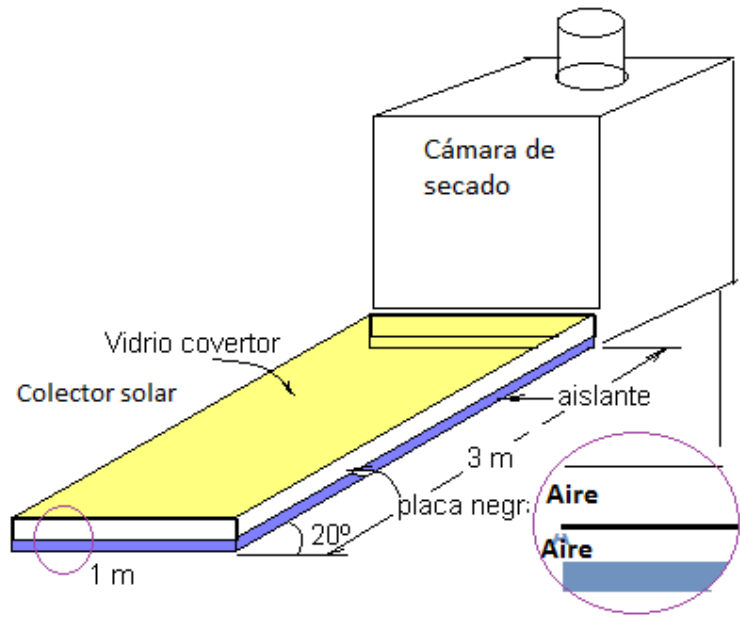


Figura 2.1 Esquema del secador, modelo de 25 kg

Fuente: Elaboración propia

AISLANTE DE COLECTOR PARTE INFERIOR

Cálculo de pérdida de calor en el fondo del colector de calor solar por unidad de área

Sin aislante: $q = KA\left(\frac{T_1 - T_2}{L}\right) \rightarrow \frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_2}{L} \cdot \frac{K}{1} \cdot \frac{A}{A} \Rightarrow q = KA\left(\frac{T_1 - T_2}{L}\right)$

$$\frac{K}{L} = \frac{1}{\frac{L}{K}} \text{ para el fondo es } \rightarrow \frac{1}{\frac{L_f}{K_f}} + \frac{1}{\frac{L_m}{K_m}} + \frac{1}{h}$$

$$\text{Reemplazando} \rightarrow \frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{h}} = \frac{60 - 20}{\frac{0.00397}{0.1038} + \frac{0.002}{0.0968} + \frac{0.0002}{0.1038} + 10}$$

$$\frac{q}{A} = 31642 \frac{W}{m^2}$$

L (calaminas) = espesor de cada calamina 0.2 mm – 0.002 m

L (madera) = espesor de madera 2mm – 0.002m

$$K(\text{fierro}) = 0.1038 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

L (fierro) = espesor 0.397mm - 0.000397m

$$K(\text{madera}) = 0.0968 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$h_{\text{asumido}} = 10 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Con Aislante:

$$\frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{h}} = \frac{60 - 20}{\frac{0.00397}{0.1038} + \frac{0.002}{0.0968} + \frac{0.0002}{0.1038} + \frac{0.05}{0.04133} + 10}$$

$$\frac{q}{A} = 29.98 \frac{W}{m^2}$$

L (aislante) = 50mm (espesor mínimo de aislante), K (aislante) = 0.04133 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

CÁLCULOS POR CONVECCIÓN EN EL COLECTOR SOLAR

Determinación del coeficiente de transferencia de calor h:

$$Nu = 7,54 + \frac{0.03(DL/L) Re Pr}{1 + 0.016[(0.1/2) Re Pr]^{1/4}}$$

$$Nu = 3,547 + \frac{0.03 \left(\frac{0.148}{1}\right) (1407.85)(0.7268)}{1 + \left[\frac{0.146}{1} 140013 - 0.7168\right]^{2/3}}$$

$$Nu = 10.68$$

$$h = \frac{k}{\delta h} Nu = \frac{0.02675}{0.148} \cdot 10.6 = 1.89 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$$

$$A = 2(1\text{m})(1.51\text{m}) = 3.02 \text{ m}^2$$

Cálculo aproximado de la temperatura de salida del colector solar:

$$T_{\text{salida}} = T_{\text{pm}} - (T_{\text{pm}} - T_{\text{salida}}) \frac{h A s}{m \dot{m} c_p}$$

$$= 45 - (40 - 20) \frac{1.89 \times 3.02}{0.119 \times 1000}$$

$$\Delta T = 25.64^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 5.64^\circ\text{C} \quad (\text{aumento de la temperatura del aire})$$

ΔT_{lm} = el logaritmo de la temperatura media para la temperatura absorbida

$$\Delta T_{\text{lm}} = \frac{T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}}}{\ln \frac{T_{\text{pbc}} - T_{\text{entrada}}}{T_{\text{pbc}} - T_{\text{salida}}}} = \frac{25.64 - 20}{\ln \frac{60 - 25.64}{60 - 20}} = 37.10^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{absorber}} = h A \Delta T_{\text{lm}} = (1.89)(3.02)(37.10) = 211.76 \text{ w}$$

$\Delta T_{\text{entrada}}$ = el logaritmo de la temperatura media perdida por el vidrio

$$\Delta T_{\text{entrada}} = \frac{T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}}}{\ln \frac{T_{\text{vidrio}} - T_{\text{entrada}}}{T_{\text{vidrio}} - T_{\text{salida}}}} = \frac{25.64 - 20}{\ln \frac{20 - 25.64}{20 - 25.64}} = 15.10^\circ\text{C}$$

$$Q_{absorber} = h\Delta T_{lm} = (1.89)(3.02)(15.10) = 86.18 \text{ w}$$

$$Q_{neta} = 311.76\text{w} - 86.18\text{w} = 125.58\text{w}$$

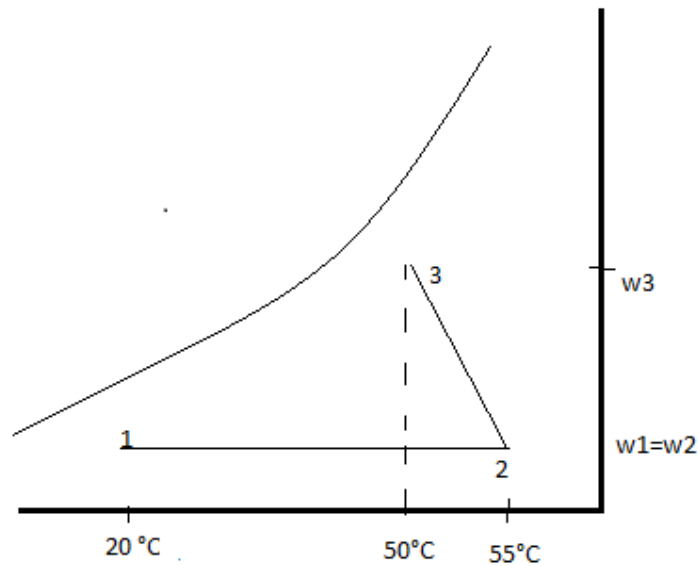


Figura 2.2: Esquema del proceso de secado en diagrama Psicrométrico:

La cantidad de agua retirada de productos a secar es: $m_w = m_a \cdot (w_3 - w_2)$.

La determinación de las propiedades en función a datos se ha calculado usando el EES, permite un análisis para diferentes condiciones de temperatura, humedad, radiación. Un ejemplo simple se puede ver en Anexo 2A.

CÁLCULOS BÁSICOS EN LA CÁMARA DE SECADO

Pérdidas de calor sin aislante:

$$\frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L_m}{k_m} + \frac{L_f}{k_f} + \frac{L_m}{k_m} + \frac{1}{h}} = \frac{70 - 20}{\frac{0.000397}{0.1036} + \frac{0.002}{0.0968} + \frac{0.002}{0.0468} + \frac{1}{10}}$$

$$\frac{q}{A} = 344.97 \frac{W}{m^2}$$

Con aislante:

$$\frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{Lm} + \frac{1}{Lf} + \frac{1}{Lm} + \frac{1}{Lals} + \frac{1}{h}} = \frac{70 - 20}{\frac{0.000397}{0.1036} + \frac{0.002}{0.0968} + \frac{0.002}{0.0468} + \frac{0.05}{0.04133} + \frac{1}{10}}$$

$$\frac{q}{A} = 36.90 \frac{W}{m^2}$$

PÉRDIDAS POR RADIACIÓN EN EL COLECTOR

$$H = 1.02m$$

$$W = 1.51m$$

$$L = 0.08m$$

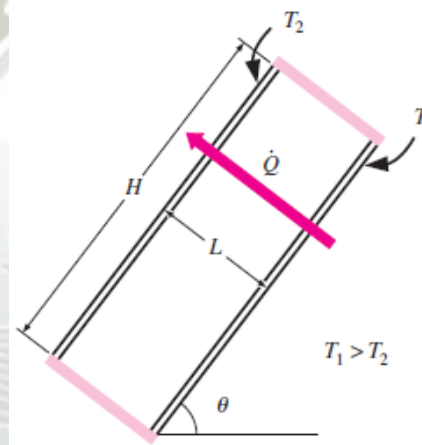
$$T_{prom} = \frac{T_1 - T_2}{2} = \frac{32 - 60}{2} = 46^\circ C$$

Tabla A- 15 (Cengel)

$$k = 0.02699 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\nu = 1.75 \times 10^{-8}$$

$$Pr = 0.7291$$



Recinto cerrado rectangular
inclinado con superficies
isotérmicas. Fuente: Cengel TCM,
p 540 Fig 9.28

$$Ra = \frac{g\beta(T_1 - T_2)L^3}{\nu^2} \times Pr$$

$$\beta = \frac{1}{T_{prom}} = \frac{1}{46 + 273} = 3.13 \times 10^{-3} K^{-1}$$

$$Ra = \frac{(9.81)(3.13 \times 10^{-3})(333 - 305)(0.08)^3}{(1.75 \times 10^{-8})^2} \times 0.7291$$

$$Ra = 1040791.62$$

$$Nu = 171.44 \left[1 + \frac{1708}{Ra \cos \theta} \right] \left[1 + \frac{1708 (\sin(1.8)(\theta))^{16}}{Ra \cos \theta} \right] + \left[\frac{(Ra \cos \theta)^{1/4}}{18} \right]$$

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 + \frac{1708}{1040791.62 \times \cos 20^\circ} \right] \left[1 + \frac{1708 (\sin(18 - 20))^{16}}{1040791.62 \times \cos 20^\circ} \right] + \left[\frac{(1040791.62 \times \cos 20^\circ)^{1/4}}{18} - 1 \right]$$

$$Nu = 6.95$$

$$Q_{conv} = h A_s (T_s - T_u)$$

$$Nu = \frac{hL}{k}$$

$$= \frac{Nu k}{L} A_s (T_s - T_u)$$

$$h = \frac{Nu k}{L}$$

$$= \frac{(6.95)(0.02699 \text{ w/m}^2\text{C})(1.34)(30 - 32)}{0.08} Ra Pr$$

$$= 101.10 \text{ w}$$

$$Q_{r.d} = \frac{A_s \sigma (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} = \frac{1.54 (5.67 \times 10^{-8}) (333^4 - 305^4)}{\frac{1}{0.8} + \frac{1}{0.9} - 1} = 233.68 \text{ w}$$

$$T_{prom} = 35^\circ\text{C}$$

$$\rho = 1.145 \text{ kg/s}$$

$$\rho = 1.145 \text{ kg/s}$$

$$V = 1.655 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_p = 1007 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$Pr = 0.7568$$

$$M = \rho V = (1.145 \text{ kg/s})(0.15 \text{ m}^3/\text{s}) = 0.1718 \text{ kg/s}$$

$$A_c = (1 \text{ m} \times 0.08 \text{ m}) = 0.08 \text{ m}^2$$

$$D_h = \frac{4A_c}{P_{ext}} = \frac{4(0.08)}{2(1 + 0.08)} = 0.148$$

$$V_{aug} = \frac{v}{A_c} = \frac{0.032}{2(0.08)} = 0.47$$

$$Re = \frac{V_{aug} A_c}{\nu} = \frac{0.4(0.08)}{1.655 \times 10^{-6}} = 1407.85$$

Cálculos básicos para diseño y selección de ventilador se ve en Anexo 2B

Paralelamente a cálculos hice simulación fluidodinámica, que permitió optimizar y corregir teóricamente los cálculos. Se muestra parte de esta simulación en fig. 2.22.

Materiales principales del módulo:

Los materiales a usar influyen mucho en el costo inicial y de operación; el soporte puede ser en fierro o madera, dependiendo del tamaño y cliente. El interior de la cámara de secado tiene que ser con acero inox grado alimenticio (si es para alimentos de exportación). Más detalles se pueden ver en planos del modelo industrial para 25kg en Anexo 4.

LA MANTA PLÁSTICA, es Polietileno de baja densidad (PEBD), con aditivo UV y aditivo FEN_(R), que permite dar resistencia y estabilidad contra la oxidación provocada por los rayos UV de la radiación solar; tiene una densidad de 0.922 g/cm³ ; un grosor de 8.0 mils (milésimas de pulgada) equivalente a 200 micrones; es incoloro

transparente, ligeramente amarillo, con opacidad de 18%; resiste una tensión máxima de 210 kg/cm, resiste al impacto por dardo de 350 gr; tiene un límite a la deformación del 500%; duración garantizada de 24 meses en condiciones de máxima radiación, su densidad es de 184 gr/m².

3.- Experimentación y optimización del módulo industrial, en modelo CF1M25 de 25 kg (Modelo C)

3.1 Evaluación del proceso de secado

- INSTRUMENTACION

Se contó con el siguiente material para realizar las pruebas:

Tabla 2.1 Instrumentación para evaluación del deshidratador

Instrumento	Cantidad
Termómetro	3
Higrómetro	2
Anemómetro	2
Amperímetro	1
Voltímetro	1
Material Adicional	
Linterna	1
cronómetro	1
Escalera	1
calculadora	1

El modelo C cuenta solo con dos secciones de colector, es decir 4 m²



Figura 2.3 Fotos con Instrumentación para pruebas

3 2 Ensayos sin producto

3.2.1 ENSAYO EN VACÍO

Ensayo en vacío - vidrio con polvo

Datos obtenidos de la experiencia, donde T1 es la temperatura a la entrada del colector, T2 temperatura a la entrada de la cámara de secado y T3 temperatura a la salida de la cámara de secado:

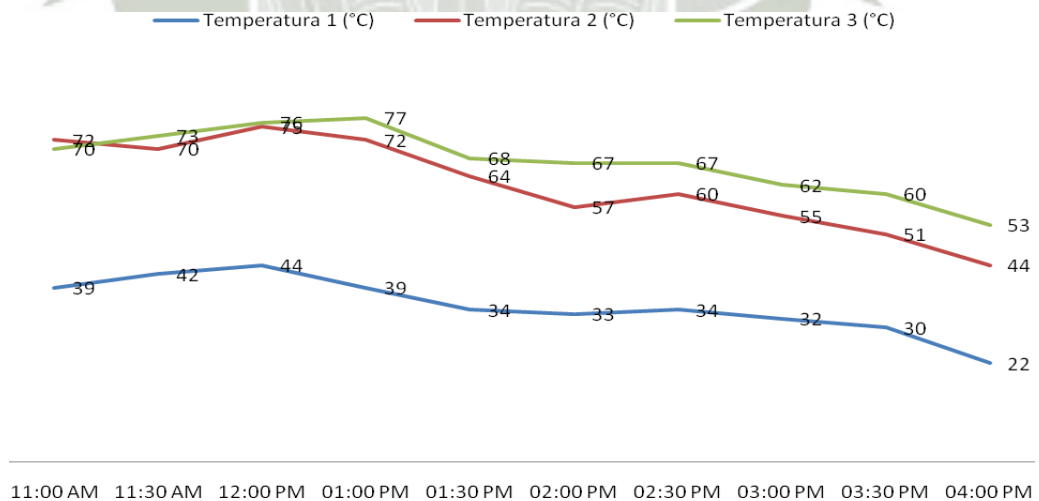


Figura 2.4: Grafica de Temperaturas vs Tiempo (Fecha: 27/07/11)
Fuente: Elaboración propia

Fotos de la experiencia, previas en vacío y con carga



Figura 2.5: Fotos de la Experimentación, vidrio con polvo, muestra el paprika y las botellas de agua en recipientes negros.

Analisis

- Se instalo el secador solar el día 21 de julio, y se realizo la prueba 6 días despues de tener todas los instrumentos de medidas, ademas de que se espera que el secador se estabilice, ya sea para el secado de la silicona, perdida de olor de pintura (se evita que el paprika absorba todos estos toxicos).
- Al obtener las curvas con los datos obtenidos tenemos variaciones propias del ambiente en que se prueba el secador el clima las nubes y los vientos, afectan de alguna manera nuestro datos
- Se mide una temperatura maxima de 77°C a la 1:00pm
- Se mide una temperatura mınima de 22°C a las 4:00pm

- Se observa una diferencia de temperatura al ingreso de la cámara y a su salida de 7°C aproximadamente.

3.2.2 Ensayo en vacío- vidrio limpio

Datos obtenidos de la experiencia:

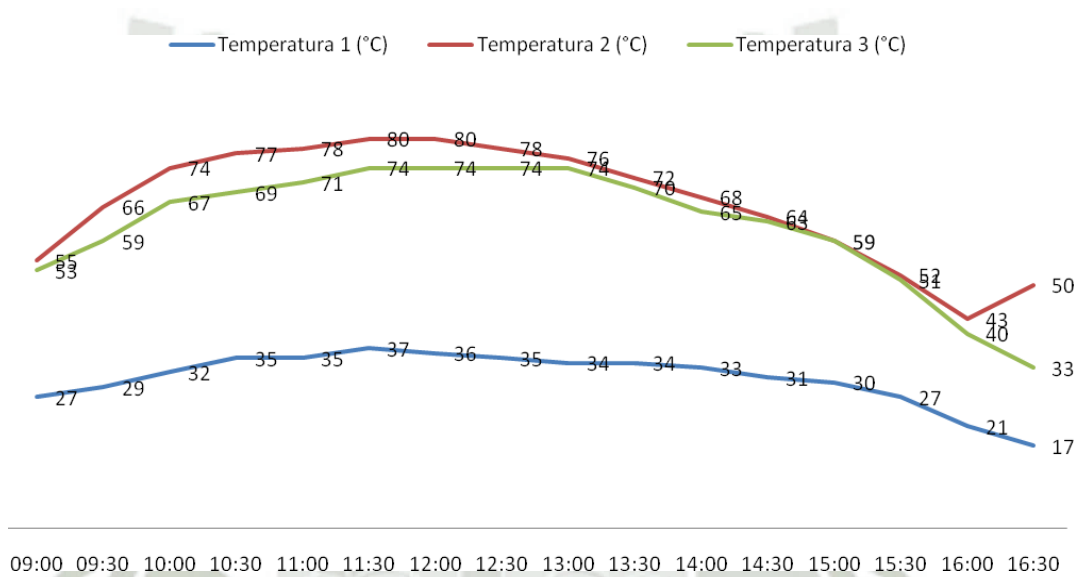


Figura 2.6: Grafica de Temperaturas vs Tiempo (Fecha: 15/08/11)
Fuente: Elaboración propia

a) Fotos de la experiencia



Figura 2.7: Foto de secador limpio y vacío

b) Análisis

- Se obtiene una gráfica más formada con menos variaciones
- Se tiene una temperatura máxima de 80°C a las 12 del día
- Se obtienen mayores temperaturas a las mismas horas en comparación con la prueba de colectores empolvados
- Se debe tener cuidado al momento de la limpieza para no despintar la pintura negra.
- El exceso de temperatura 80°C se almacenará en botellas pintadas de negro.

3.2.3 Ensayo en vacío- vidrio sucio y limpio

Datos obtenidos de la experiencia:

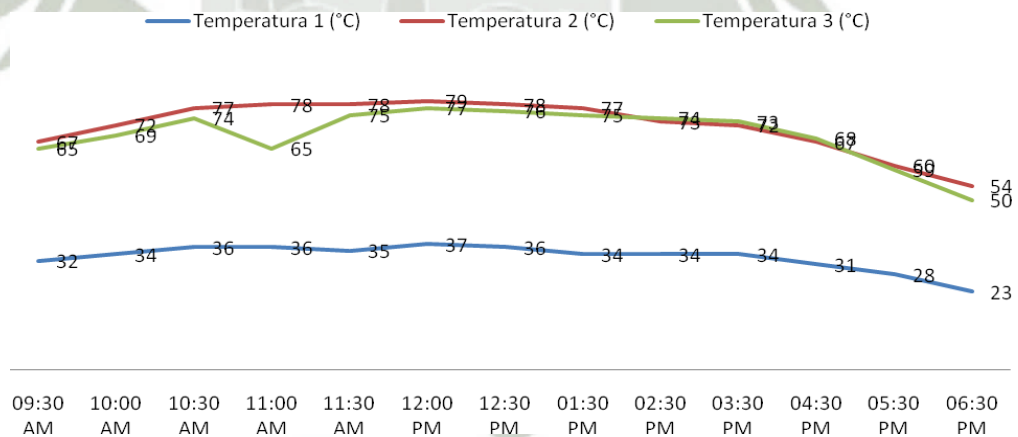


Figura 2.8: Grafica de Temperaturas vs Tiempo Fecha: 28/07/11
Fuente: Elaboración propia

3.2.4.- Ensayo con botellas de agua sin ventilador

Ensayo con botellas sin pintar (20.25L en cámara)

Datos obtenidos de la experiencia: Fecha: 29/07/11

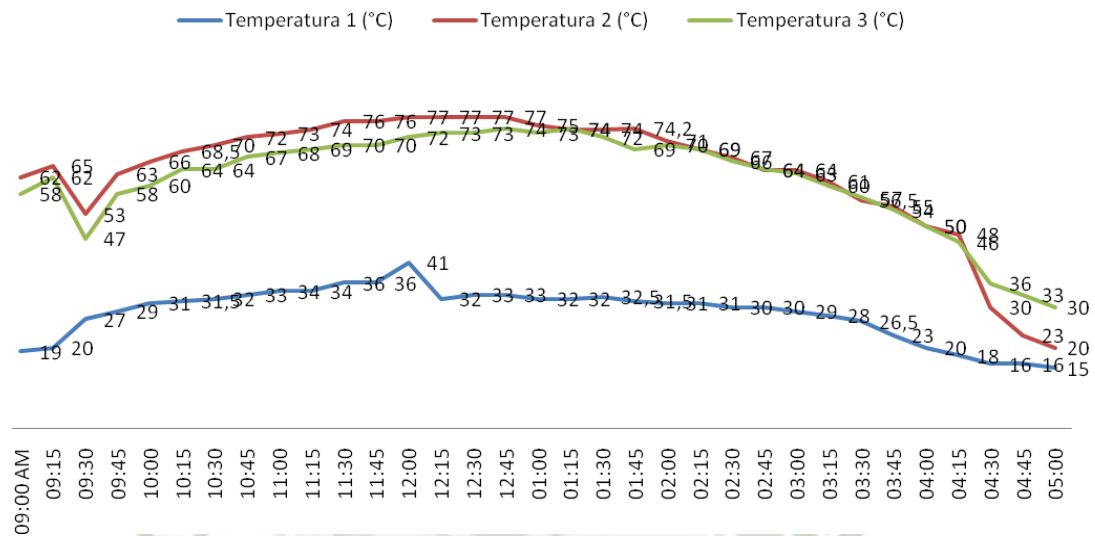


Figura 2.9: Grafica de Temperaturas vs Tiempo
Fuente: Elaboración propia

Análisis

- Se le introduce una carga disimulada y a la vez con la función de almacenar calor por el agua contenida en las botellas.
- Se obtiene buenos resultados ya que se logra extender más el rango de temperaturas por mayor tiempo.
- En horas de la tarde, se observa que la temperatura a la entrada de la cámara y a la salida se vuelven similares.
- Es menor la diferencia de temperaturas al ingreso de la cámara
- Se aprecia puntos de variaciones propios de los efectos del clima vientos y las nubes.

3.2.5.- Ensayo con Ventilador (Nro. 1)

Ensayo con ventiladores y bandejas de agua (22L)

Datos obtenidos de la experiencia: Fecha: 04/08/11

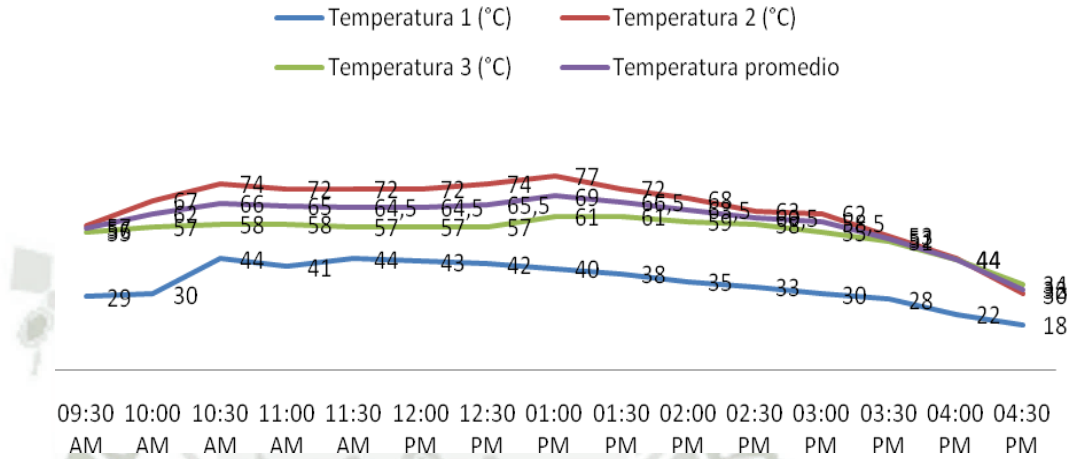


Figura 2.10: Grafica de Temperaturas vs Tiempo con ventilador 1.
Fuente: Elaboración propia

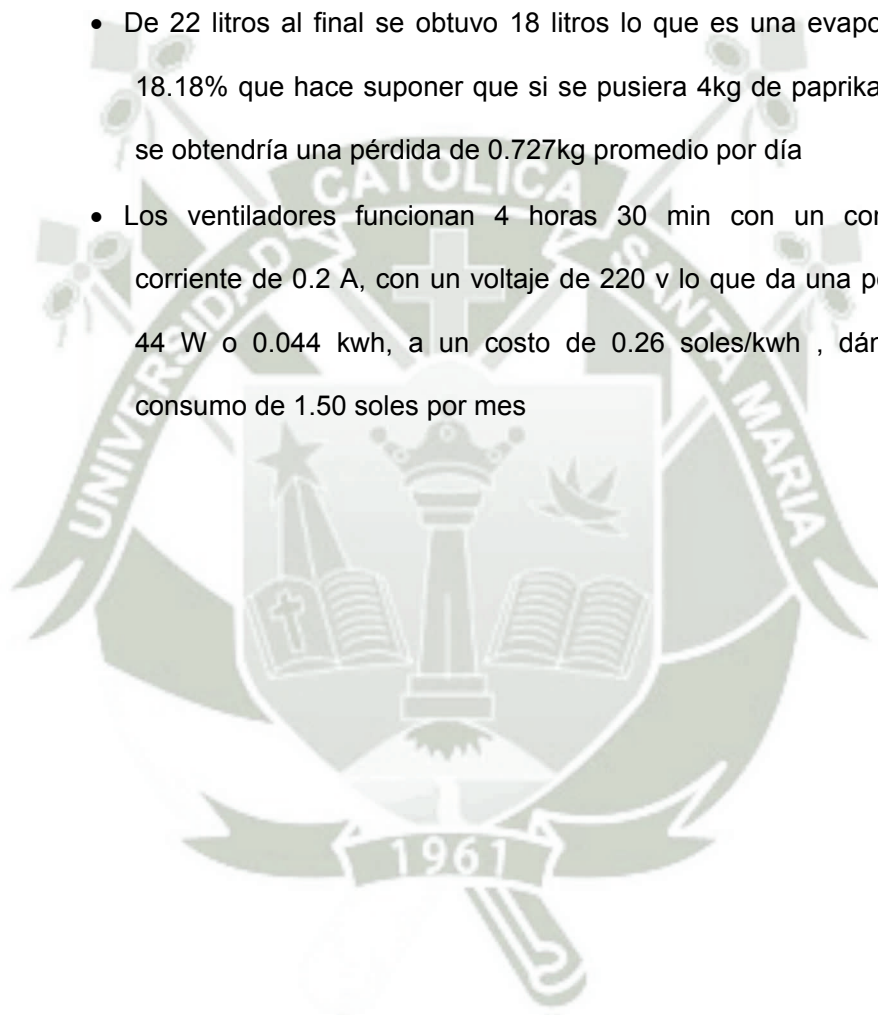


Figura 2.11: Fotos de la experiencia, muestra ventiladores y bandejas con agua

Fuente: Elaboración propia

Análisis

- Las curvas presentan puntos de coincidencias al iniciar la prueba y al finalizar la prueba por el efecto de desprendimiento de calor del agua contenida en los recipientes.
- Se logra evaporar cuatro litros de agua durante toda la prueba lo que da una idea de cómo será el secado de paprika
- De 22 litros al final se obtuvo 18 litros lo que es una evaporación del 18.18% que hace suponer que si se pusiera 4kg de paprika por rejilla se obtendría una pérdida de 0.727kg promedio por día
- Los ventiladores funcionan 4 horas 30 min con un consumo de corriente de 0.2 A, con un voltaje de 220 v lo que da una potencia de 44 W o 0.044 kwh, a un costo de 0.26 soles/kwh , dándonos un consumo de 1.50 soles por mes



3.2.6 Ensayo con Ventilador (Nro. 2)

Ensayo con ventiladores y bandejas de agua (14L) y botellas de agua pintadas (50L).

Datos obtenidos de la experiencia: Fecha: 11/08/11

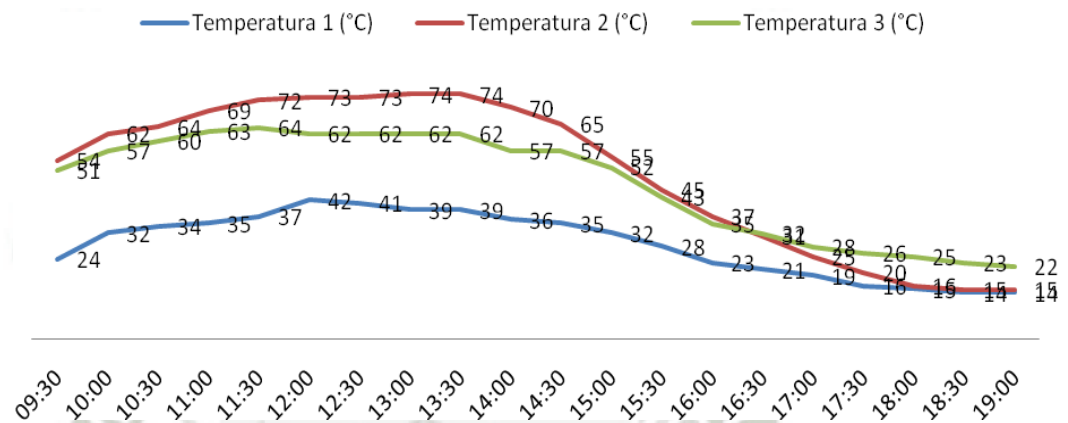


Figura 2.12: Grafica de Temperaturas vs Tiempo con ventilador 2



Figura 2.13 fotos de experimentación.

Se muestran envases de politereftalato de etilenglicol (PET) (que se caracterizan por ser de consumo masivo muy adecuados por su tapa para reducir fugas y su almacenaje, llenos con agua son termoacumuladores.



Figura 2.14 Acondicionamiento de botellas para termoacumulación

Otra forma de acumulación es el uso de acetato de sodio trihidratado ($C_2H_3NaO_2 \cdot 3H_2O$) como PCM, este compuesto comprende una sal cuya temperatura de cambio de fase se encuentra, de acuerdo a la bibliografía, a los $58^\circ C$ (Kenisarin y Mahkamov, cit op). Este valor de temperatura de cambio de fase pone de manifiesto su potencialidad para ser empleado en sistemas de acumulación solar térmica para aplicaciones de media temperatura. Otro aspecto positivo a destacar es su disponibilidad, facilidad de acceso y bajo costo, lo que lo transforma en un material muy atractivo para ser incluido en sistemas de acumulación. No se ha analizado, y se deja para futuras investigaciones

a) Analisis

- Se logra evaporar 3.4 litros de los 14 que estaban dispuestos en las bandejas lo que representa un 24.28%, lo que significa que se puede evaporar más, teniendo una mayor cantidad de agua almacenada en botellas en la cámara.
- Se llega a una temperatura máxima de $74^\circ C$ a la 1:00pm, cuando se tiene carga generalmente se tiene las máximas temperaturas a la 1:00pm y sin carga a las 12pm

- También se deduce que todos los días no se tiene la misma radiación solar, hay días nublados, todo ello influye en las temperaturas.

3.3 ENSAYO CON PRODUCTO

3.3.1 Ensayo con paprika, con ventiladores, botellas de agua pintadas en cámara y en la entrada con plástico transparente. (Día 1)

Datos obtenidos de la experiencia: Fecha: 19/08/11

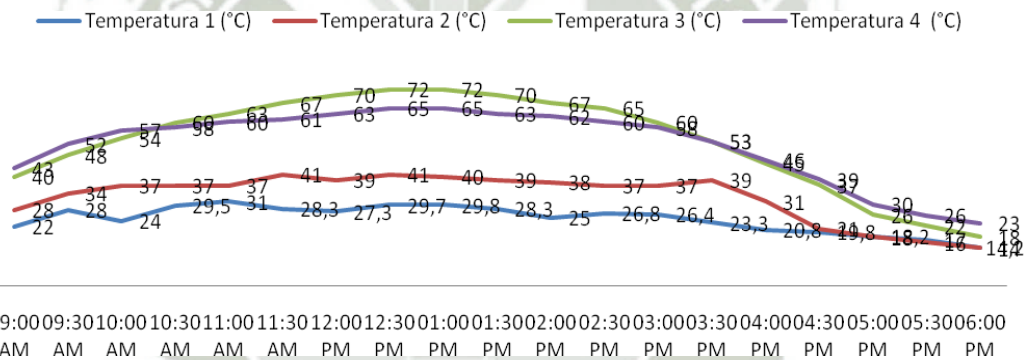


Figura 2. 15: Grafica de Temperaturas vs Tiempo
Fuente: Elaboración propia



Figura 2.16 Fotos de experimentación

Analisis

- Se pesa el ají y se ponen 4 kilos por rejilla siendo las 9am. Haciendo un total de 15.870kilos.
- En la rejilla inferior N°1 se ponen 3.870Kilos, esta pérdida en peso se debió a la merma del producto desde su compra el día anterior.
- Se trata de poner el ají lo más esparcido posible para lograr una capa uniforme, para que el flujo de aire caliente pueda coger la mayor área posible.
- Al finalizar el día a las 6pm se pesan los ajíes y se observa que en la parte delantera de la rejilla los ajíes están más secos que en su parte posterior, debido a la radiación directa y el recorrido del flujo de aire en el interior de la cámara y la necesidad por ello, de un ventilador que se encargue de homogenizar el aire interno.
- Al continuar pesando también se observa que las rejillas superiores, son las que han sufrido mayor deshidratación , por lo que se sugiere hacer menos elevado la cámara y reducir la distancia entre rejillas y tal vez reducir la salida del aire para lograr mantener más calor en el interior de la cámara.
- De 12pm a 1pm se registran las temperaturas más altas al ingreso de la cámara llegando a un promedio de 74°C, esto indica la urgencia de

colocar el ventilador principal dentro de la cámara, que mejorará la velocidad de secado, además es necesario aumentar el área de salida o chimenea.

- o Las lecturas con el anemómetro en algunos casos se realizan con dificultad por los vientos, por lo que se toman varias medidas y estas en algunos casos salen con valores fuera de lo previsto.

3.3.2 Ensayo con paprika, con ventiladores, botellas de agua pintadas en cámara y en la entrada con plástico transparente. (Día 2)

Datos obtenidos de la experiencia: Fecha: 20/08/11

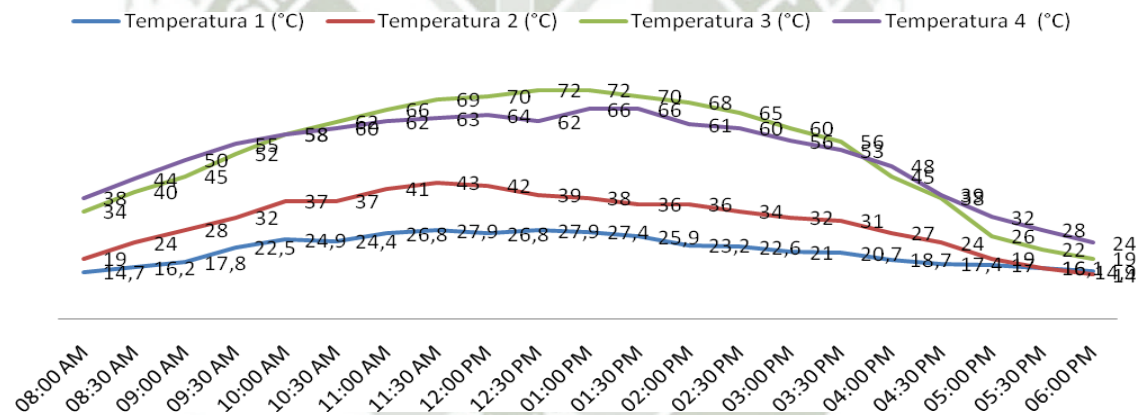


Figura 2. 17: Grafica de Temperaturas vs Tiempo

Fuente: Elaboración propia



Figura 2.18 Foto que muestra el secado de páprika

Análisis

Se dispone el ají de manera uniforme y al haber reducido su volumen se observa más espacio en las rejillas lo que corrobora condiciones de diseño hasta 6 kilos por rejilla.

- o Se esparce el ají más hacia la parte delantera para aprovechar más el calor y un mejor secado.
- Se vuelve a iniciar las pruebas siendo las 8am.
- o Se continúa tomando medidas de temperaturas y velocidad del aire en los puntos establecidos en intervalos de media hora.
- o Llegadas las 6pm. Se abre la cámara y se pesan los ajíes por rejillas para obtener las nuevas pérdidas.

3.3.3 Ensayo con paprika, con ventiladores, botellas de agua pintadas en cámara y en la entrada con plástico transparente. (Da 3)

Datos obtenidos de la experiencia: Fecha: 21/08/11

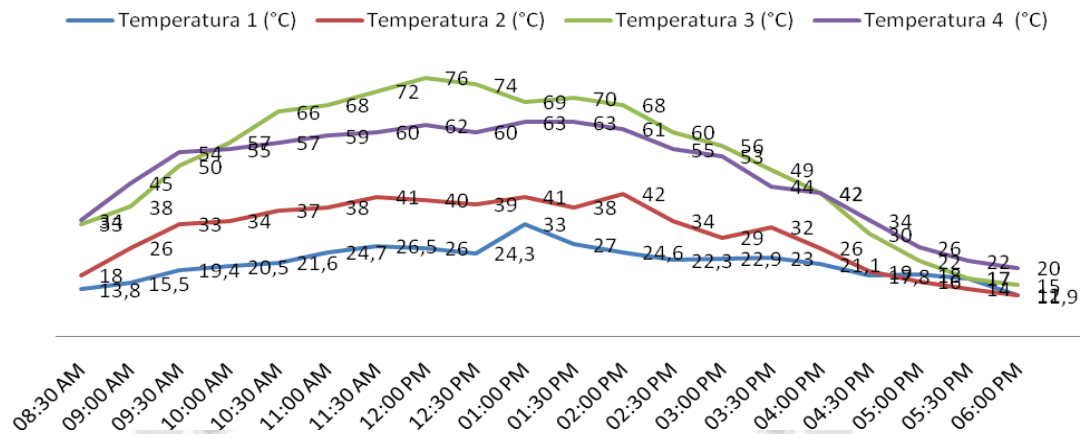


Figura 2. 19: Grafica de Temperaturas vs Tiempo
Fuente: Elaboración propia



Figura 2.20: Foto que muestra productos secos

Análisis

- Se pesan nuevamente las muestras y se observa que en la noche ha disminuido el peso del ají por cada rejilla.
- Al pesar los ajíes por rejilla se determina que se ha llegado al secado final de la bandeja #4 que es la que estaba en la posición superior
- De acuerdo al peso las rejillas inferiores todavía contienen humedad en su interior por lo que se decide continuar con el proceso de secado un día más hasta obtener el secado de toda la cámara.

TABLA 2.2: MERMADO (PRODUCTO SECO), DE LOS 3 DIAS DE PRUEBA CON CARGA, SE OBTUVO LO SIGUIENTE

	Día 1 19/08/2011		Día 2 20/08/2011		Día 3 21/08/2011	
Bandeja #4	mañana	4.000 kilos	mañana	2.695 kilos	mañana	1.490 kilos
	tarde	2.730 kilos	tarde	1.500 kilos	tarde	0.84 kilos
Bandeja #3	mañana	4.000 kilos	mañana	2.990 kilos	mañana	2.040 kilos
	tarde	3.025 kilos	tarde	2.060 kilos	tarde	1.340 kilos
Bandeja #2	mañana	4.000 kilos	mañana	3.120 kilos	mañana	2.260 kilos
	tarde	3.155 kilos	tarde	2.285 kilos	tarde	1.595 kilos
Bandeja #1	mañana	3.870 kilos	mañana	3.110 kilos	mañana	2.395 kilos
	tarde	3.155 kilos	tarde	2.425 kilos	tarde	1.770 kilos
	PESO TOTAL INICIAL	15.870 KILOS	PESO TOTAL INICIAL	11.915 KILOS	PESO TOTAL INICIAL	8.185 KILOS
	PESO TOTAL FINAL	12.025 KILOS	PESO TOTAL FINAL	8.270 KILOS	PESO TOTAL FINAL	5.545 KILOS

4 MEJORAS, OPTIMIZACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE MÓDULO INDUSTRIAL, CON MODELO CF1M25 DE 25 KG



Figura: 2.21 Foto que muestra la chimenea que contiene válvula controlada y ventiladores

La simulación fluidodinámica y de transferencia de calor ha permitido analizar teóricamente diferentes aspectos constructivos y de posible optimización.

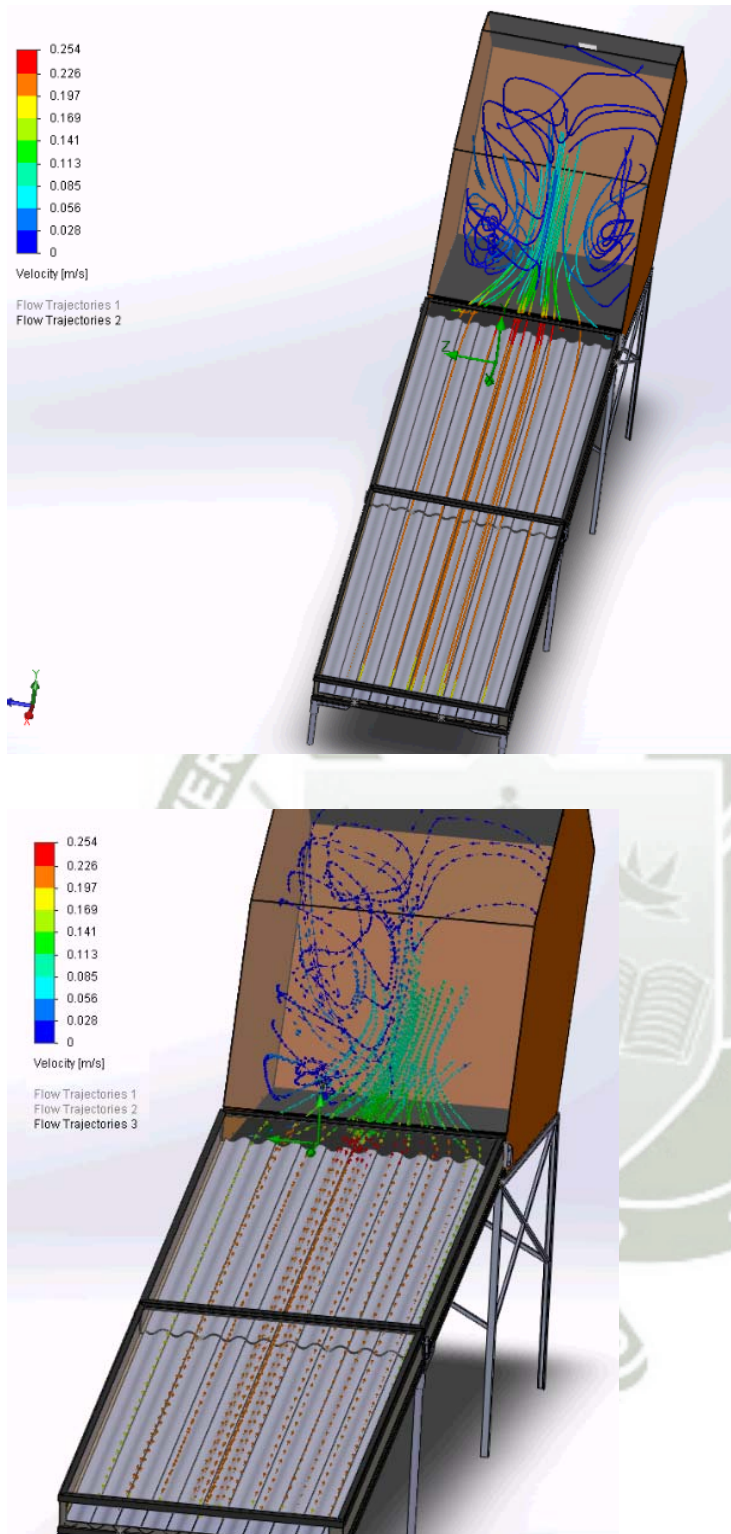


Figura 2.22 Simulación de velocidad del flujo de aire en el secador

Fuente: Elaboración propia

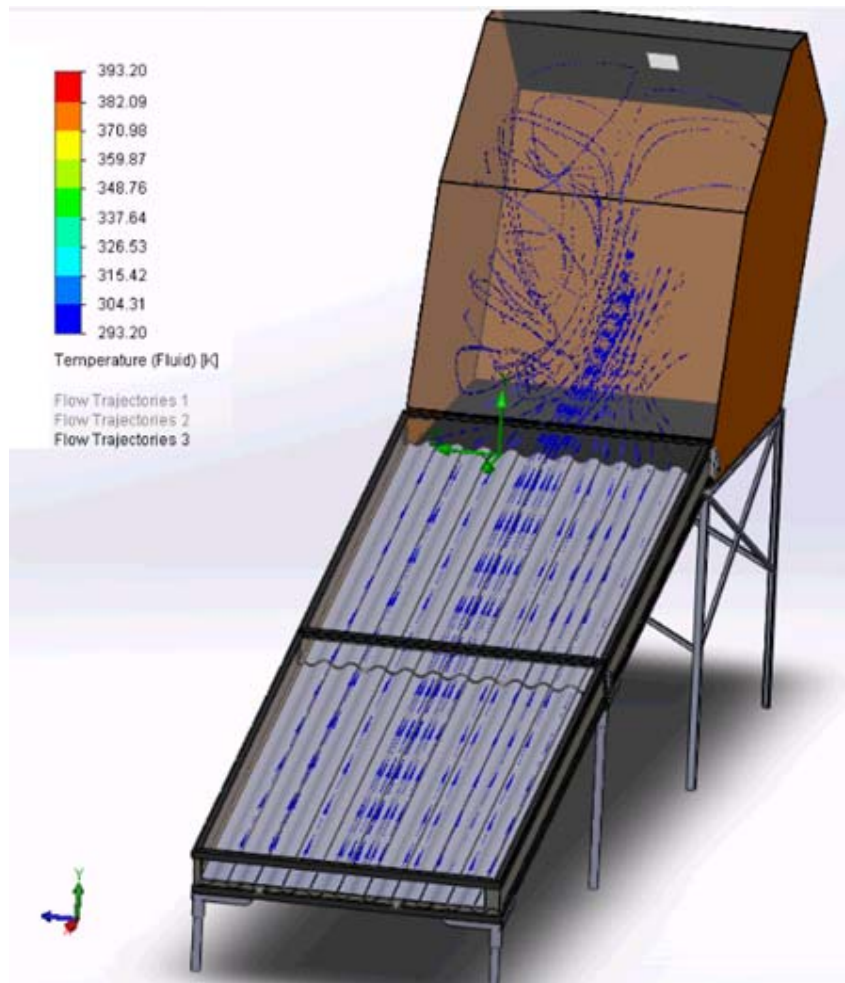


Figura 2.23 Simulación de temperaturas dentro del secador.

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN Y COMENTARIOS.

Con la investigación realizada se ha logrado reducir el tiempo de secado, en canchas con concreto, plástico o suelo, (SENASA 2005), el secado era de más de 15 días; con muchos secadores artesanales con ventilación y efecto invernadero lograron secar en 6 a 7 días, Hernández et al (2008). Con la investigación para COPEMUR con FINCyT logramos reducir a 4 días en modelos A y B usando termoacumulación, ventilación forzada y automatización; con el modelo industrial de 25 kg se ha llegado a deshidratar el *Capsicum annum L (longum)* en tres días sin uso de biogás, ello por el diseño y aprovechamiento óptimo del recurso sol, los materiales, la automatización y control con mínima inversión, y si usáramos biogás podríamos reducir el secado a menos de 20 horas, es decir carga y descarga diaria con costos de mano de obra mucho menores.

Al ser un secador indirecto y control fino de la temperatura no se sobrepasa el valor seteado de 60°C conservando las propiedades termolábiles, principalmente los beta carotenoides, sin pérdida de los grados ASTA.

Se reducen los costos de secado porque en las canchas de secado requieren obreros que estén removiendo en forma interdiaria, con los gastos en mano de obra altos y el daño por manipulación y otros agentes como roedores, contaminación con el piso.

HORAS HOMBRE DE LIMPEZA DE SECADOR

- El secador se encuentra expuesto a bastante contaminación de varios tipos, además de suciedad a consecuencia del ají, que atrae avispas, moscas, etc. De este modo se requiere una limpieza semanal (puede ser el fin de semana), a cargo tan solo de una persona (1/4 turno= 2

horas). Consecuentemente, este trabajador tiene que realizar las siguientes tareas:

- o Limpieza de vidrio
 - o Limpieza de Calamina
 - o Limpieza de Bandejas
- Es necesario colocar una malla en la entrada del colector, que evitaría la entrada masiva de insectos grandes y disminuiría la suciedad dentro del colector, además que esta no afectaría la entrada de flujo de aire, al tener una cocada prudencial.

BOTELLAS EN LA ENTRADA

- Una de las primeras interrogantes era la cantidad de agua que se almacenaría, ya sea en cámara y en la entrada del secador. En cuanto a esto, se realizó las pruebas con 38 litros en cámara, 9 botellas en el piso con lo cual se retuvo calor dentro de ellas, para conservar el calor en la cámara para horas de la tarde. Esto no ocurrió con las 9 botellas pintadas en la entrada, las cuales tuvieron un efecto negativo sobre las temperaturas de secado, haciéndolas aumentar demasiado, lo cual podría causar un quemado del paprika.

VENTILADOR ADICIONAL

- En un principio no se tenía ventilador, después de hacer la compra de los dos ventiladores, la recirculación del aire caliente del colector hacia la cámara, mejoró de manera importante, ya que era la única manera de direccionar el flujo de aire caliente hacia las bandejas de paprika. Al prender los ventiladores sin el agua de termoacumulación las temperaturas disminuían rápidamente y al apagar ésta subía por encima de los 60°C, la automatización y control permite una mejora en la ventilación.

MANTENCIÓN DE TEMPERATURA DE 60-65 °C EN CÁMARA

- Para mantener la temperatura mencionada antes, se tiene las siguientes propuestas:

Aumentar el volumen de agua almacenada en la cámara, esto conlleva a un aumento del volumen de la cámara de secado, ya que solo disponemos de la parte baja para colocar las botellas. Esto nos daría más retención de calor en el agua contenida en las botellas, y consecuentemente se podrá tener la temperatura en cámara lo más cercano a 60 y 65 °C, disminuyendo los máximos y mínimos.

Reducción de espacio entre bandejas. Se cuenta con 4 bandejas para esparcir el paprika, los cuales están igualmente espaciadas. Esto podría optimizarse, ya que como se observa en los cuadros de temperatura y mermado, las partes donde ocurrió mayor secado de ají fueron en la parte cercana al vidrio, y en la bandeja superior. Esto es una respuesta, a la diferencia de densidades que existe entre el aire caliente y el aire frío, pues el aire caliente tiende a pesar menos y estar en la parte superior. A consecuencia de esto, se sugiere reducir el espacio entre bandejas, elevándolas en un 20% de la distancia inicial que tenían con las botellas ubicadas en la parte baja, de tal manera aprovecharemos el aire caliente de la parte superior de manera más eficiente y a su vez tendremos más espacio para colocar botellas de almacenamiento y aumentar volumen de agua sobre los cálculos teóricos (por cálculos se debe tener 150 L de agua en cámara, solo existe espacio para 40L).

OPTIMIZACION DEL PROCESO DE SECADO

De acuerdo a las observaciones hechas en las pruebas en vacío, pruebas con agua, pruebas con ají amarillo, a las temperaturas obtenidas en todas estas pruebas, y al mermado final que se tuvo, se puede hacer las siguientes correcciones en el proceso de Secado, con el deshidratador construido.

AMPLIAR TAMANO DE CAMARA HACIA ATRAZ

Si logramos aumentar las dimensiones de la parte posterior, podremos tener más capacidad de botellas en la parte baja de la cámara, con lo cual tendríamos más capacidad de mantener la temperatura ideal (60-65°C), el mayor tiempo posible.

PLACA DEFLECTORA DE AIRE

Un diseño de un plancha deflectora a la entrada de la cámara, también aumentaría la eficiencia del secado, ya que dirigiríamos de mejor manera el flujo dentro de la cámara, ya que el flujo enviado por los ventiladores tiene contacto solamente con la parte más cercana al vidrio, o mejor dicho, la capa de paprika en las bandejas más cercana al flujo de aire. Esta plancha desviaría el flujo de aire caliente en la entrada, haciendo un secado más parejo en las 4 bandejas.

REDUCIR ESPACIO ENTRE BANDEJAS

Esta propuesta con el mismo tamaño de cámara, permite disponer de mayor volumen para almacenar agua debajo de las bandejas y sea más eficiente

APLICACIONES TECNOLOGICAS

La utilización de automatización y control en cuanto a ventiladores, harán de este deshidratador un equipo con mayor eficiencia, probablemente el costo de uso se incrementaría proporcionalmente a los equipos electrónicos usados en él, pero los resultados serían más eficientes y a menor costo de secado. Entre los sensores, más importantes a usar en este secador, se cuentan:

- Velocidad de flujo
- Temperaturas en puntos distintos
- Radiación diaria
- Humedad interna-externa

No se tuvo la oportunidad de encontrar un software para secado solar, pero se llegó a la conclusión de que si se necesita hacer una optimización de un proceso de secado de material, se necesitará trabajar con las siguientes variables:

- Cantidad de páprika
- Área de bandejas
- Lectura de sensores (parámetros anteriormente mencionados)

Consecuentemente, el software nos botaría la dirección de flujo de aire caliente dentro de la cámara, y nos daría un tiempo óptimo estimado de secado de paprika, que puede estar en días y/o horas.

CONCLUSIONES

Considero que la presente investigación cumplió con creces y algo más de lo previsto en el plan de investigación, a medida que avancé se abrían nuevas opciones para optimizar y madurar, logrando una mejora continua.

- Se logró acondicionar, y realizar las medidas con instrumentación adecuada usando sistema de adquisición de datos y software LabVIEW, usando sensores para medir la temperatura y humedad en los modelos A y B.
- Se ha logrado determinar las mejores características de secado, optimizando experimentalmente cada una de las variables, modificando los deshidratadores y se observó la ventaja mínima del modelo B, pero dependiente de ventilación.
- Se ha propuesto y diseñado prototipos de deshidratadores de 250kg y 1000 kg; **se ha diseñado, construido y se hizo experimentación** a diferentes condiciones en modelo de 25 kg, en el cual se ha aplicado todos los conocimientos y experiencia de modelos A y B, nos ha permitido lograr un deshidratador de alta tecnología, con los menores costos. El secado se reduce de 15 días en canchas a tres en el secador con termoacumulación a costos tan bajos como 0.1 sol/kg de páprika seco.

La propuesta es viable, fiable, rentable, usa tecnología y es atractiva para los industriales de exportación, por lo que el siguiente paso es su difusión que logrará este informe.

Se ha construido y experimentado en secador modelo de 25 kg, a diferentes condiciones con muchas limitaciones sobretodo en la calidad de la instrumentación.

SUGERENCIAS Y PROPUESTA

Por la limitación económica, la automatización y control necesarios, que permitiría hacer los ajustes más adecuados, sobre todo determinar alturas más adecuadas de pasajes para aire, retención de aire con baja humedad, etc. Se mejora y simplifica la automatización y control con ARDUINO, cuya propuesta está en anexo 3.

Se propone Investigar un nuevo deshidratador que combine la fluidodinámica, la termoeconomía, la transferencia de calor, la automatización y control con la ergonomía. Se trata de una forma usada en centrales eléctricas de chimenea como se muestra en el esquema

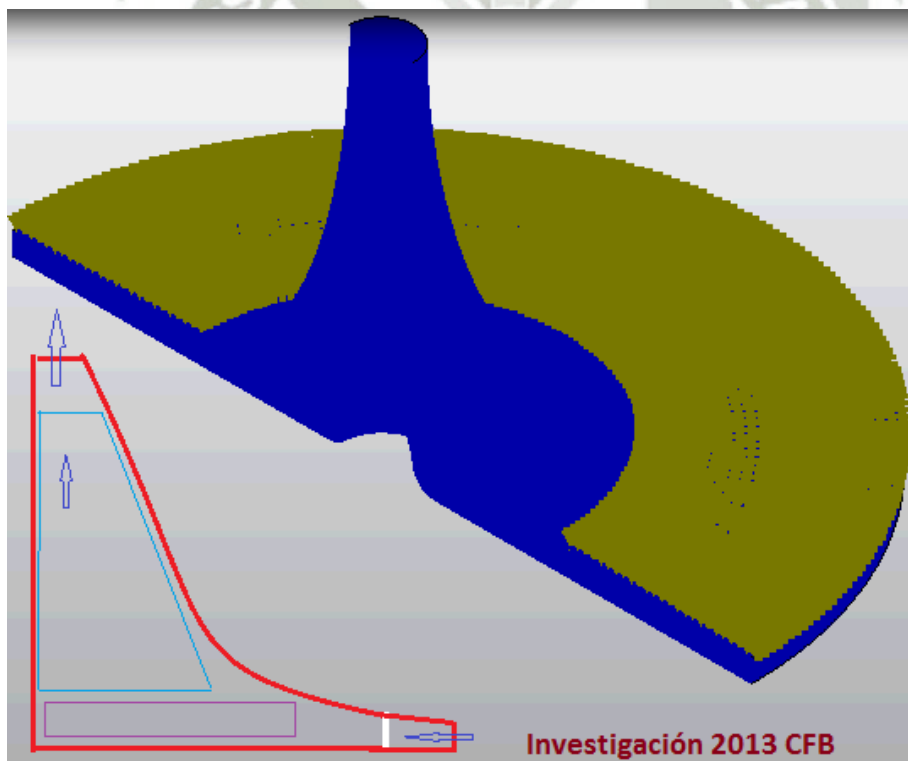


Figura 2.24 Esquema para investigación futura.

Fuente: Elaboración propia

Esta forma puede utilizar mejor la energía solar, centralizar adecuadamente en la cámara de tipo circular, la misma que debe diseñarse con la tecnología adecuada, materiales, proceso, tiempos y movimientos, los mecanismos de automatización y control, entre otros.

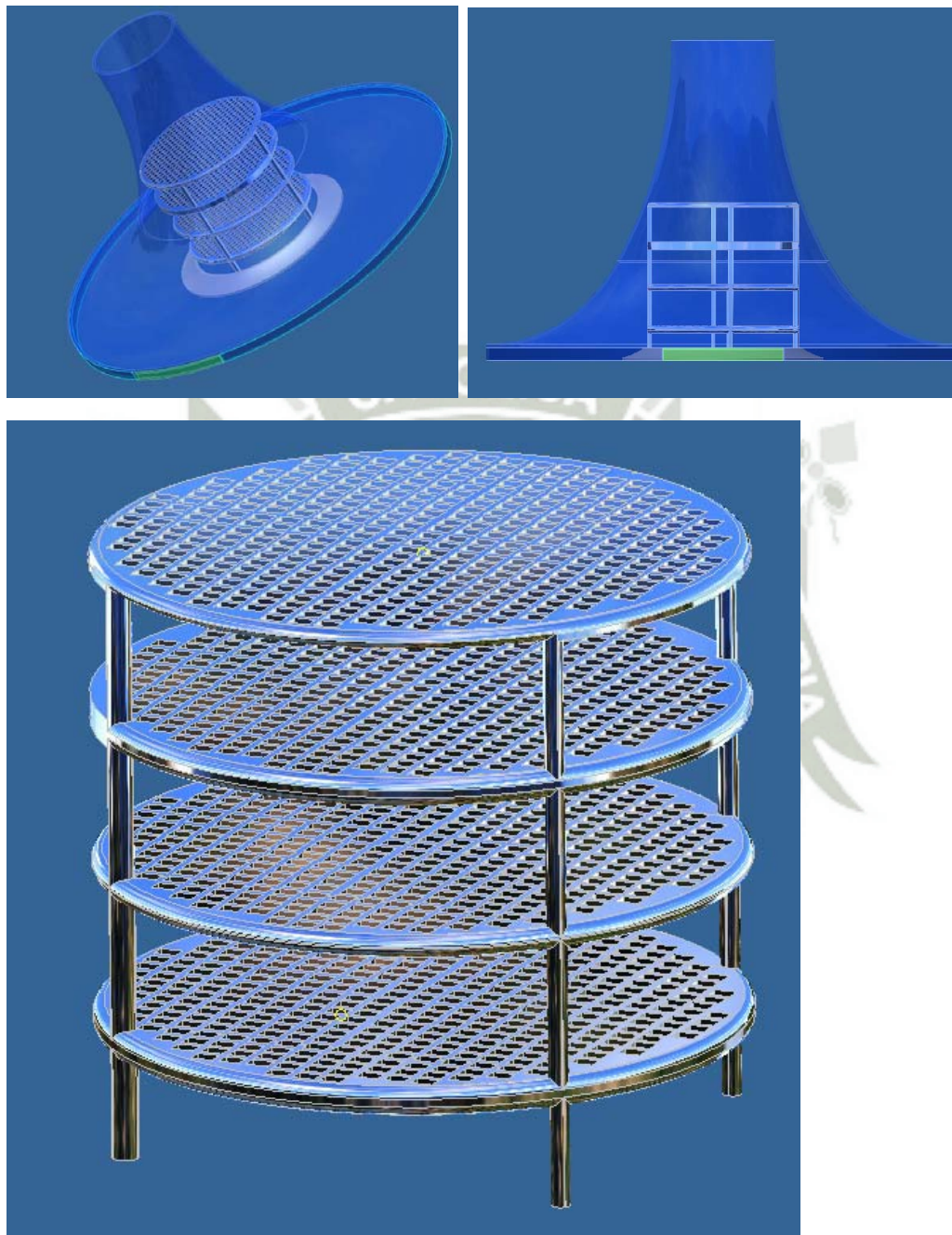


Figura 2.25 Vista ideal del deshidratador industrial propuesto.

Fuente: Elaboración propia

La investigación que sigue para llevar a innovación y desarrollo debe usar muchos conocimientos usados en esta investigación, sin embargo hay nuevas herramientas que en forma anual mejoran sus prestaciones, el uso de software y hardware para reducir costos hasta llegar a un prototipo que también es necesario su evaluación en laboratorio. Se recomienda análisis con Ansys (Fluent, CFX), Comsol (multiphysics), Autodesk (autocad, inventor, multiphysics), SolidWorks.

Al igual que el modelo C se analizó usando software, en este caso para el secador de torre se muestra un análisis básico con Autodesk.

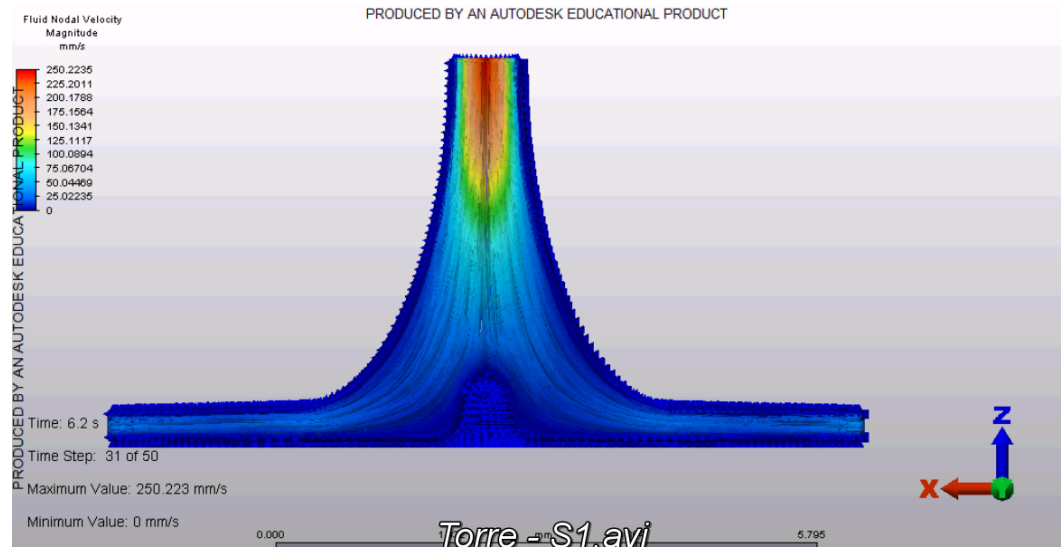


Figura 2.26 Simulación en futuro secador industrial.

Fuente: Elaboración propia

BIBLIOGRAFÍA

BERRIZ PÉREZ, Luis. Secadores solares para productos agropecuarios e industriales; Cuba: tel.: (537) 6405260. berriz@cubaenergia.cu

CENGEL, Yunus y GHAJAR, A. Transferencia de Calor y masa. 4ta ed. México: Editorial Mc Graw Hill, 2011, 920 p. ISBN: 978-607-15-0540-8

CENGEL, Yunus y BOLES, Michael. *Termodinámica*. 7ma ed. USA: Editorial Mc. Graw Hill, 2012. 1009 p. ISBN: 978-607-15-0743-3

DÁVILA, Juan Carlos, SILVA JAIMES, Marcial. Métodos de Medición del color en Páprika (*Capsicum annum L.*). Científica. 7 (1): 52 – 59

ELIZALDE SOLIS, Octavio. Solubilidades de la capsaicina y pigmentos liposolubles (carotenoides) del chile poblano en CO₂ supercrítico. Tesis doctoral 2008

FERNANDEZ TRUJILLO y ESCARBAJAL, David. El proceso tradicional de elaboración del pimentón de Murcia y sus posibles innovaciones. Universidad Politécnica de Cartagena, 2006

GERHART, Philip, GROSS, R y HOCHSTEIN J. Fundamentos de Mecánica de Fluidos. 2da ed. Estados Unidos: Editorial Addison Wesley Iberoamericana, 1995. 1091 p. ISBN: 0-201-60105-2

GIACONI M, Vicente. Cultivo de Hortalizas. 15va Edición. Santiago-Chile . Ed. Universitaria, 1998. 308 pp. ISBN: 956-11-1513-1

HERNANDEZ R, José, QUINTO D. Pedro, CUEVAS, Jaime, ACOSTA, Roberto, AGUILAR A, Jorge. Estudio del secado de capsicum annum L a través del modelo de Luikov, 2008

HIBBELER, Russel C. Ingeniería Mecánica DINÁMICA.12a ed. México: Editorial Pearson, 2010. 732 p. ISBN: 978-607-442-560-4

JIMÉNES, José Manuel "Súper". Ingenieros Solares; Editorial Pamiela; Pamplona, 1997

KREITH, Frank, MANGLIK, Raj y MARK, Bohn. Principios de transferencia de calor. 7ma ed. Editorial Cengage Learning, México 2012. 696 p. ISBN: 978-607-481-615-1

MÁNUEL LÁZARO, Antonio. LabVIEU6i Programación Gráfica para el Control de Instrumentación. España: 2001. 357 p. ISBN: 84-283-2817-X

MARINOS KOURIS, D. Z., MAROULIS, B. y KIRANOUDIS, C. T. Computer Simulation of industrial dryers. Drying Technology 14(5): 971-1010 (1996).

MONDELO, Pedro, GREGORI T, Enrique y BARRAU B., Pedro. Ergonomía 1. Editorial Alfaomega, 2000. 194 p. ISBN: 970-15-0295-7

MORAN, Michael, SHAPIRO, BOETTNER, BAILEY. Fundamental of Engineering Thermodynamics. 7ma ed, John Wiley, 2011. ISBN: 13 978-0470-49590-2

MAROTO BORREGO, J. B. Horticultura Herbácea y Especial. Ed. Mundi-Prensa 5ta edición. Madrid-España; 1986. 590 pp

MOTT, Robert L. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4ta ed. México: Editorial Prentice Hall, 1996. 580 p. ISBN: 0-02-384231-8

MUÑOZ ANTON, Javier; ingeniero industrial, Tesis Doctoral “Sistemas de Generación Eléctrica mediante Calderas de Vapor Energizadas por Radiación Solar Concentrada”. Universidad Politécnica de Madrid, 2008

RAMESH, M.N., WOLF, W., TEVINI, D. y YUNG, G. 2001 Influence of processing paramters on the drying of spice paprika. Journal of Food Engineering.Nº 49 (63-72)

RAMÍREZ, F. Manejo Nutricional Y Fertilización Balanceada en el cultivo de Páprika. Manejo del cultivo de Páprika. Arequipa, 2000

SAAVEDRA, Jorge A, PUENTE, Luis A, GONZALES, Guillermo A; CAMOUSSEIGT, Iván B. Automatización de un Secador Convectivo de Aire Caliente para fines de Docencia en Ingeniería de Alimento. Información Tecnológica Vol. 19(4), 3-10 (2008)

Subprograma VI: Nuevas Fuentes y Conservación de la Energía. Ingeniería del Secado Solar. Editores: (R. Corvalan; M. Horm; R. Roman; L. Saravia). CYTED-D

ZAPATA, M. BAÑON, S Y CABRERA, P. El Pimiento para Pimentón. Ed. Mundi-Prensa Madrid-España. 1992. 240 pp

ZARAUZ, Luis, SALINAS, Mirtha, ACHATA, Adolfo, CLAVERÍAS, Ricardo. Fortalecer el capital humano e institucional para lograr una pequeña agricultura competitiva: Impacto del CIED en el Valle de Tambo Arequipa:1996-2000. Lima, agosto del 2001

Mejora de las técnicas y procesos en la producción, cosecha y acopio de ajíes en Lambayeque. Tradingconsult, Informe final para la UNIÓN EUROPEA, Contrato N° 039/2007/LN17.L14/UE-PERU. Septiembre, 2009

INVESTIGACIONES REVISADAS

GENERALIZACIÓN DE SECADORES SOLARES DIRECTOS EN CUBA ANÁLISIS NUMÉRICO DE SUS TENDENCIAS ACTUALES, MC. Ing. Ciro César Bergues Ricardo, Dr Luis Bèrriz Pèrez, Ing. Pedro Griñan Villafañe.
<http://www.eumed.net/rev/delos/08/rpv.pdf>

SECADO SOLAR: UNA TECNOLOGÍA APROPIADA PARA EL NORTE ARGENTINO Hugo D. ZURLO, Liliana VERGARA, Rubén SPOTORNO, Francisco BENITEZ, Jorge DE PEDRO, Verónica CERVIÑO y Sergio MONZON.

SECADOR SOLAR HÍBRIDO PARA LA PRODUCCIÓN CONTINUA A ESCALA INDUSTRIAL DE PIMIENTO PARA PIMENTÓN Gonzalo José Durán - gduaran@inenco.net; Angel Condorí - miguel.angel.condori@gmail.com; Ricardo Echazú - ricardo.echazú@gmail.com; Gabriel Díaz Russo 2010

PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE SECADO SOLAR PARA AJI, MSc. César Rivasplata Cabanillas UNJBG – CERT – Tacna – PERÚ.
<http://www.perusolar.org/include/simposios/archivos16/conferencias16/PLANIFICACION%20Y%20DISENO%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20SECADO%20SOLAR%20PARA%20AJI.pdf>

CATÁLOGO DE MAQUINARIA PARA PROCESAMIENTO DE AJI AMARILLO Y PAPRIKA: Cooperación Alemana, GIZ, Agroideas. Lima, agosto 2013.
https://energypedia.info/images/b/b8/Maquinaria_para_Aj%C3%AD_amarillo_y_Paprika.pdf

EL CULTIVO DE PIMIENTO (*Capsicum annum*) EN LA REGIÓN DE MURCIA Y LOS EFECTOS NOCIVOS DEL USO DE BROMURO DE METILO (II). Ezziyani

Mohammed, Fitopatologo ´Facultad de Biología, Departamento de Fisiología Vegetal,
Universidad de Murcia; E-mail: ezzim@um.es

PÁGINAS WEB

<http://es.wikipedia.org/wiki/Capsicum> (15-10-2010)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Caroteno> (15-10-2010)

http://www.nrel.gov/gis/re_potential.html (20-11-2010)

<http://www.slideshare.net/ucsurcultural/cientifica7-1-3006> (30-12 2010)

<http://es.scribd.com/doc/94760326/DISENO-Y-ELABORACION-DE-SECADOR-SOLAR-DE-HAJI-PAPRICA> (04-04-2012)

<http://148.206.53.231/UAMI11307.pdf> (04-04-2012)

<http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Energia%20solar%20en%20Peru%20perueconomico.pdf>

http://micalentadorsolar.com/pdf/ReporteGCC_DS_final.pdf (05-04-2012)

<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/1/01/02/00/04.htm> (06-04-2012)

<http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/latin-america/energia-en-la-finca/uso-de-secadores-solares-para-el-procesamiento-de/> (01-05-2012)

http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1041/ASCENCIO_TIZA_IVAN_GENERADOR_GASES_CALIENTES_PAPRIKA.pdf?sequence=1 (04-05-2012)

http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/rev_cedit/2008_V03/pdf/a03v3.p

[df_](#) (04-04-2012)

<http://mundopaprika.blogspot.com/> (04-01-2013)

Videos: COSECHA Y POST COSECHA DE AJÍ PÁPRIKA:

<https://www.youtube.com/watch?v=iqJEoVrgk8U>

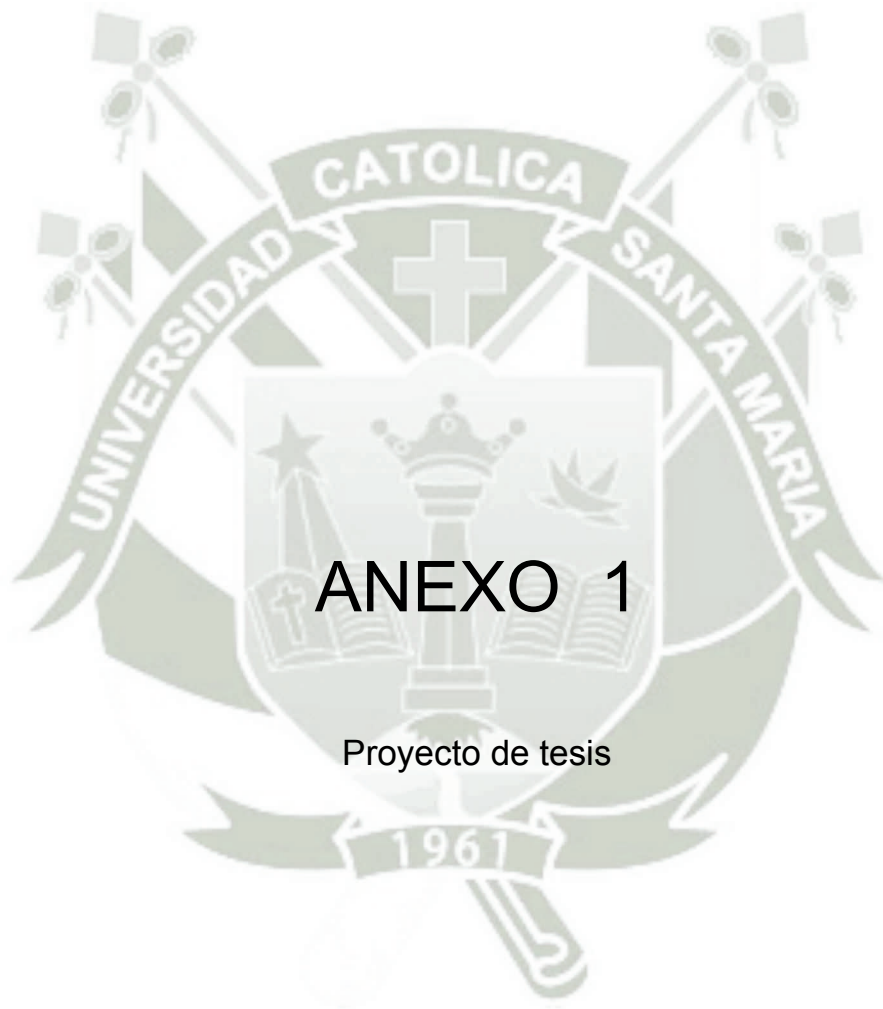
Contrastes - Reportaje: Exportación de ají paprika

<https://www.youtube.com/watch?v=CDvr5lQ3cuo>

Secado de pimientos: <https://www.youtube.com/watch?v=w8jaJUjFBz4>







ANEXO 1

Proyecto de tesis

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

ESCUELA DE POST GRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**“Evaluación Tecnológica del proceso de Deshidratación de
Páprika en dos modelos de secadores con energía solar y
modelo industrial, Arequipa 2011”**

Proyecto de tesis presentado por el Magister:

Fernández Barriga, Camilo Grimaldo

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales.

AREQUIPA – PERÚ

2011

I. Preámbulo

Arequipa, tiene un lugar privilegiado respecto a la energía solar, una de las más altas a nivel mundial, su aprovechamiento es totalmente deficitario y sin el uso de alta tecnología. La presente investigación está orientada a solucionar la deficiente tecnología para el secado de pimientos de exportación. Permitirá proponer un prototipo de secador industrial de alta tecnología para pimientos, específicamente del ají paprika en la región Arequipa, requiere de varias investigaciones en el campo de alimentos, condiciones climáticas, determinación de curvas óptimas de secado, investigación en el recurso solar, investigación en cuanto a máquinas, materiales, su automatización y control, hasta la parte ambiental; que nos lleven a la innovación.

El propósito fundamental de esta investigación será la evaluación tecnológica comparativa del proceso de secado solar, que permita seleccionar el mejor secador de dos propuestas, analizar diferentes formas de optimizar el mejor modelo de secador, conducentes a lograr alta productividad en secadores de uso industrial, teniendo en cuenta que la materia prima a secar debe tener ciertas características de acuerdo a normas internacionales, consiguiendo minimizar el impacto ambiental, costo y tiempo de producción en el secado.

La evaluación y su análisis aportan criterios para revisar, ajustar, modificar, reestructurar, redimensionar, tener discernimiento en el diseño de nuevos modelos, que permitan lograr un prototipo a escala industrial, para luego proponer su comercialización una vez probada y certificada esta tecnología, es decir llegar a innovar, aunque esta parte no forma parte de la investigación.

Como investigador, tengo las capacidades y formé parte de un proyecto de investigación con fondos del FINCyT, "Mejoramiento de la Tecnología de Secado de Pimientos para Exportación en la Región Arequipa", CONCURSO N° 05 FINCyT-

PITEI 2009; en este proyecto se plantearon varias tesis, una de las más importantes es el trabajo de investigación planteado, que dará las bases para implementar la tecnología. Además debo mencionar que cuento con conocimientos en varios campos como la Energía solar, la parte ambiental, flujo de fluidos, Transferencia de calor y masa, diseño de máquinas y mecanismos, la automatización y control; en el proyecto mencionado con FINCyT, contamos con profesionales de varias especialidades, que permitirán lograr bases sólidas para innovar el secado industrial en general.



II. Planteamiento Teórico

1. Problema de Investigación

1.1. Enunciado del Problema

“Evaluación Tecnológica del proceso de deshidratación de Páprika en dos modelos de secadores con energía solar y modelo industrial, Arequipa 2011”

1.2. Descripción del Problema

Hay demanda de más de más de 2000 TM de páprika y no se cuenta con la tecnología adecuada de secadores en Arequipa. No existe una teoría de aceptación general, ni ecuaciones o correlaciones para tener criterios al momento de diseñar secadores, resultando que en la construcción de secadores, no se tienen los mejores criterios que optimicen su funcionamiento, el mismo se realizará por experimentación de laboratorio.

1.2.1 Área del conocimiento: El problema de investigación se ubica en el área de Ciencias Ambientales, la línea de Energía y medio ambiente, específicamente en Tecnología de Secado Solar.

.2.2 Operacionalización de variables:

Variables	Indicadores	Subindicadores
<p>1. Evaluación de la Calidad de páprika seco</p> <p>(conjunto de características y propiedades físicas, químicas y biológicas del producto final luego de secar)</p>	<p>1.1 Características físicas</p> <p>1.2 Características químicas y biológicas</p>	<p>1.1.1 Daño físico</p> <p>1.1.2 Humedad final</p> <p>1.1.3 Color del páprika</p> <p>1.1.4 Tipo de páprika (espesor)</p> <p>1.2.1 Grados ASTA</p> <p>1.2.2 Contenido de capsicinas y de carotenoides</p> <p>1.2.3 Daños, químicos y biológicos (Pérdidas de termolábiles)</p>
<p>2. Evaluación de parámetros físicos del secador</p> <p>(conjunto de características del modelo de secador)</p>	<p>2.1 Parámetros ambientales</p> <p>2.2 Parámetros de diseño del secador</p>	<p>2.1.1 Temperatura, velocidad, humedad y nubosidad del aire.</p> <p>2.1.2 Propiedades de radiación solar</p> <p>2.2.1 Control de Temperaturas de ingreso y salida del secador</p> <p>2.2.2 Control de velocidad del aire dentro del secador</p> <p>2.2.3 Control de humedad del aire de salida</p> <p>2.2.4 área óptima para secado solar en kg/m²</p> <p>2.2.5 Materiales y tecnología, ligada a costos de operación y mantenimiento.</p>

1.2.3 Interrogantes básicas

- a. ¿Qué tipo de modelos de secador tienen mayores ventajas luego de optimizar y adecuar la instrumentación?
- b. ¿Cómo puedo mejorar dos modelos A y B y optimizar sus características?
- c. ¿Cómo puedo diseñar, construir y evaluar un modelo que permita una mejor calidad de páprika deshidratada a nivel industrial al menor costo y que logre alta tecnología?

1.2.4 Tipo y Nivel del problema de investigación

Es una investigación tecnológica, de laboratorio, de carácter experimental, pues se realizará en modelos a escala de laboratorio, es comparativo pues se evaluarán comparativamente dos modelos (A y B) que permita tomar las ventajas de cada modelo y proyectar un modelo optimizado, por la extensión de estudio es de caso.

1.3. Justificación del problema

Esta investigación es de actualidad a nivel local y mundial, no ha sido investigado ni suficientemente abordado, y es necesario impulsar las tecnologías solares por los problemas ambientales, sobre todo impulsar el desarrollo agroindustrial; esta investigación contribuye a tales impulsos.

Justificación Técnica: El desarrollo agroindustrial sustentable y de alta tecnología se logra sumando pequeñas contribuciones, en diferentes aspectos técnicos, económicos ambientales. Un secador industrial está ligado a la combustión, para lograr las temperaturas reguladas requeridas; una forma de

reducir la contaminación ambiental es eliminando el uso de los combustibles, en este caso usando energía solar. Existen muchas investigaciones con uso de energía solar, se han construido diversos secadores de combustión y solares, pero siempre es factible su mejora y adaptación a nuestras condiciones, específicamente no hay secadores para ají páprika a nivel industrial. La evaluación tecnológica del secado solar de esta investigación, permitirá tener las bases y conocimientos tecnológicos que permitan construir secadores solares de alta tecnología, con cero emisiones, características óptimas de los productos, condiciones económicas adecuadas que mejoren la rentabilidad, entre otros.

Justificación Económica: Perú es el mayor exportador de aj páprika, sin embargo, la exportación del páprika en condiciones óptimas, que cumplan las normas internacionales, le da mayor valor agregado, reduce pérdidas por rechazo, o por pérdida de características del producto. La presente investigación, permitirá costos reducidos del propio secador y de los productos a secar. Evitar el consumo de combustible y los costos ligados a él. Esta investigación conducirá a la innovación en secadores, a su difusión y por ende a mayores rentabilidades, incremento en mano de obra entre otros.

Justificación Social: Las poblaciones del campo, no cuentan I+D+I, que beneficie en su desarrollo, reduciendo la migración a la ciudad, esta investigación busca el desarrollo agroindustrial que beneficia a toda la población. La implementación de esta investigación permitirá aumentar la oferta laboral y su capacitación en manejo de secadores solares.

2 Marco conceptual

2.1 Pimentón, Paprika:

Nombre científico o latino: ***Capsicum annuum L (longum)***, El pimentón es el fruto del pimiento rojo desecado y reducido a polvo.



- El género *Capsicum*¹, que incluye entre 20 a 30 especies, tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América, probablemente en el área Bolivia-Perú, donde se han encontrado semillas de formas ancestrales de más de 7.000 años, y desde donde se habría diseminado a toda América.



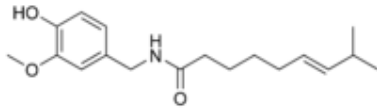
- Países productores son: América del Sur, España (Extremadura, Murcia y La Rioja), Estados Unidos, Hungría (considerada por muchos expertos como el de mejor calidad). Actualmente Perú es el primer exportador de este producto a nivel mundial, dónde su uso es cotidiano y de preferencia fresco, como ingrediente de los diferentes potajes nacionales.

- Sus variedades pueden ser: dulce, agridulce y picante.

- Su color puede variar del rojo-naranja al rojo-sangre.

- La característica picante se la debe a la "capsaicina" presente en una proporción muy baja que junto con otros componentes llamados capsaicinoides no superan el 1% (en el chile, por ejemplo, la proporción es superior al 1%).

1: <http://es.wikipedia.org/wiki/Capsicum>



Estructura de la Capsaicina

- Se utiliza como condimento, como adobo para chorizos, sobrasada, longaniza y chacinería en general.

Tal cual se ha indicado, en México se originó la palabra "chile" —del náhuatl *chilli* o *xilli*. Por su parte, el término ají aunque pueda parecer una derivación de ajo, es una palabra del idioma taíno, que se hablaba en las Antillas Mayores, particularmente en Cuba, el nombre **ají** es más utilizado en las Antillas y en América del Sur. En Argentina, Uruguay y Chile, el término **ají** se reserva para las variedades picantes (como el llamado catalán o el putaparió), denominándose *morrón verde*, *rojo* o *amarillo* a las suaves (conocidas en otros países como "ají morrón", "ají dulce" o "pimiento")

2.1.1 Calidad de páprika seco

Conjunto de características y propiedades físicas, químicas y biológicas del páprika luego de secar.

En un proceso de secado ya sea natural o artificial se busca que el producto no cambie sus características termolábiles ya que posteriormente va a tener que pasar por determinadas pruebas para su exportación, en la cual se determinará la calidad del producto, evaluándose sus características organolépticas (color, sabor y aroma), la limpieza del producto (incluyendo microbiología) entre otras; pero la prueba más relevante lo determina el color del producto, que está regulado por la **American Spice Trade Association**, que nos indica que el producto debe de estar entre un rango de 120 – 160 ASTA (expresa el contenido total de carotenoides), para llegar a este rango

el proceso de secado no tiene que superar los 60°C y el 20 % de humedad relativa al final del proceso.

La concentración de los extractos de productos naturales, entre ellos el chile, puede variar de acuerdo a la etapa de maduración (temprana: coloración verde, tardía: coloración roja, deshidratado: seco), tipo de cosecha y frutos de una misma planta. Para el caso del chile poblano (*Capsicum annuum L.*) los carotenoides, capsaicinoides y tocoferoles, son los grupos de compuestos que se encuentran en este fruto; la capsaicina es el componente en mayor cantidad entre los capsaicinoides y el β -caroteno es uno de los principales componentes de los carotenoides presentes en esta variedad de chile, Elizalde Solis (2008).

Generalmente se conoce como **caroteno**² al compuesto químico llamado más específicamente β -caroteno. Este es el carotenoide más abundante en la naturaleza y el más importante para la dieta humana, por lo que da su nombre a todo un grupo de compuestos bioquímicos. Al ser ingerido el β -caroteno natural es transformado en Vitamina A en la mucosa del intestino delgado, y ésta es almacenada principalmente en el hígado en forma de ésteres de retinol. El β -caroteno también puede ser absorbido y almacenado en el tejido graso sin ser modificado, produciendo una coloración ligeramente amarilla o anaranjada en las palmas de las manos y las plantas de los pies, siendo esta la razón por la cual el exceso en consumo de caroteno es una causa común de pseudoictericia (tinte amarillento cutáneo ajeno a retención biliar).

2: <http://es.wikipedia.org/wiki/Caroteno> (14/01/2011)

Se han realizado estudios científicos para determinar el efecto del β -caroteno en la salud, y los resultados han mostrado que puede reducir las probabilidades de ataques cardíacos, funciona como un antioxidante liposoluble y aumenta la eficiencia del sistema inmunitario. En la farmacopea de numerosos países se utiliza como protector de la radiación ultravioleta tomado por vía oral. Se encuentra incluido dentro del grupo DO2 del código internacional ATC³ (*Anatomical, Therapeutic, Chemical classification system*), concretamente con el código D02BB01.

Su Dosis Diaria Definida es de 0,1 g. Ello se debe a que se ha demostrado que puede reducir la probabilidad de incidencia de algunos tipos de cáncer de piel.



Ramesh et al (2001) señalan que la calidad de los pimientos como el páprika se determina por su contenido de capsicina y de carotenoides. Por ello, el proceso de secado debe ser bien definido para minimizar el stress de secado, evitar el sobresecado, y mantener la calidad del producto. Los mismos autores reportan que la tasa de degradación de la calidad del páprika aumenta cuando la temperatura de secado se incrementa.

Hernández et al (2008) compararon temperaturas de secado de 55, 65 y 75C en aj páprika, concluyendo que la más eficiente era la de 75C. Sin embargo, Arjona et al (2006) recomiendan temperaturas de 30C para evitar problemas de degradación en

3: http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digo_ATC (14/01/2011)

los componentes. Elizalde Solis (2008), usaron CO₂ supercrítico como disolvente más adecuado que disolventes para reducir la contaminación por residuos, ya que su temperatura crítica es baja (304.12 K), permitió extracción de carotenoides y capsaisinoides que sufren una descomposición térmica por arriba de 335K (62°C).

Fernández-Trujillo (2006) indica que La normativa impide superar la temperatura crítica de 65-75 °C en operación de secado, lo que supone tiempos de 8-10 h de secado. A la salida del producto del secado la temperatura del aire debería estar alrededor de 40 °C.

El secado a 40-50 °C reduce el desarrollo de pardeamiento y favorece los procesos de biosíntesis de carotenoides (Ibrahim et al., 1997; Perez-Galvez et al., 2001).

Montero (2005) reporta que el secado solar por exposición directa ocasiona degradaciones del producto, reflejadas en el valor de grados ASTA de 4261 ± 5 . Lo explican como consecuencia de la variación de temperatura entre 20 °C y 40 °C aproximadamente, y por el gran porcentaje de radiaciones IR-UV que reciben las muestras, que podrían influir produciendo reacciones termodegradativas y fotoquímicas en los carotenoides, además de estar expuestas al sol y al aire por períodos de 30 días.

2.2 Parámetros físicos del secador y aspectos constructivos:

Modelo, a escala aproximada de 100:1, respecto a secador industrial.

Prototipo, equipo a escala 1:1

Durante el secado, se llevan a cabo fenómenos de transferencia de masa, calor y momentum, interrelacionados entre si y que dependen de las propiedades

estructurales o moleculares del material a secar (Marinos-Kouris et al., 1996) lo que hace difícil su estudio (Ranjan e Irundayaraj, 2003), condicionándolo al uso de pruebas a pequeña escala (Treybal, 1988), necesarias para definir los parámetros de proceso (Di Cesare et al., 2003).

Aspectos generales

Un sistema de secado exige costos de inversión relativamente elevados. La adquisición de tal sistema requiere además el adiestramiento técnico del operador, para que se pueda aprovechar al máximo los beneficios que esa nueva tecnología puede ofrecer, pues las ventajas del sistema dependen del buen manejo. Además de conocer las características del equipo adquirido, el productor debe saber que su capacidad de negociación aumenta en la comercialización. El aprovechamiento correcto de esa capacidad puede llevarlo a maximizar sus utilidades. (FAO 2002).

En nuestro país, la mayoría del secado del paprika se realiza actualmente sobre superficies de concreto, plastico o suelo (SENASA 2005). Se han desarrollado secadores solares para paprika, pero sus capacidades de trabajo son generalmente bajas, alrededor de 25 kg/día (UNICA, 2008).

Hernandez et al (2008), reporta un secador solar tipo indirecto, con ventiladores en que fue posible obtener en un lapso de 6 a 7 días chile jalapeño seco con un contenido de humedad de 4 % en promedio, lo cual significa un periodo de tiempo mucho mas corto que con el secado al aire libre y a un costo significativamente menor que con el uso de un secador industrial, y con la ventaja de no producir contaminacion. En Argentina (INTA), se reporta que el secado al sol implica una diferencia de costo de 40% (menor) respecto del secado en horno. En el mismo país,

Echazu et al 2006, reportan que en sistemas de secado solar el tiempo medio es de 15 a 20 días, con densidades de 10 a 11 kg de producto fresco por m² de bandeja. En secadores de túnel con aire forzado, a temperaturas de 50° C a 55° C la densidad es de 100 kg de producto fresco por m² de secador. Finalmente, el uso de quemadores permitió obtener el mejor control sobre la calidad del producto y el menor tiempo de secado.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería; Pesca y Alimentos de Argentina, ha desarrollado túneles de secado utilizando plástico (2007). Para secar una producción de 3.000 kg de pimiento/ha, se requieren unos 500 m² de túneles, con una inversión de US\$ 870.00. El tiempo de secado es de 15 a 18 días.

Saavedra (2008) reporta que para temperaturas de 45, 55 y 65 °C, se lograron tiempos de secado de 1080 (18 Horas), 540 y 240 min. (4 horas), respectivamente. Así mismo se comprueba que para todas las temperaturas ensayadas, las curvas de secado presentan una tendencia exponencial decreciente.

2.3 Energía solar térmica, Fluidodinámica y de Transferencia de calor.

La radiación solar en Arequipa es de 850 a 950 W/m². La humedad relativa promedio es de 46%, con una máxima promedio de 70% en la estación de verano y una mínima promedio de 27% durante las estaciones de otoño, invierno y primavera.

Para Arequipa diferentes fuentes entre ellas la National Renewable Energy Laboratory, muestran que se cuenta con radiaciones de 7 a 7.5 KW.h/m²día, consideramos como radiación directa y máxima de diseño de equipos solares.

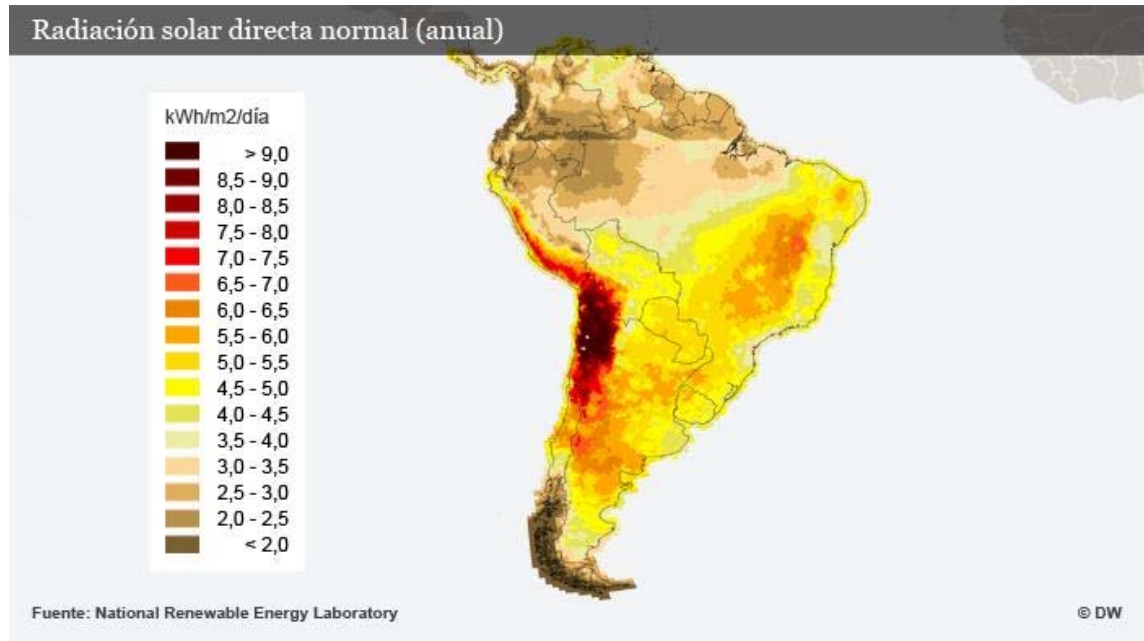


Fig. 1 Nivel de irradiación solar en América del sur

Fuente: (http://www.nrel.gov/gis/re_potential.html)

Los equipos solares de conversión térmica pueden ser de alta temperatura si las temperaturas están sobre los 500°C, de media temperatura si sus temperaturas están entre 100°C y 400°C, estos sistemas necesitan concentración de energía; los sistemas de baja temperatura, son los que necesitamos en el secado de paprika, porque debemos tener temperaturas comprendidas entre 40°C y 70°C, y limitar en la camara a 60°C, por ello es mejor usar sistemas de baja temperatura, que aprovechen la energía solar directa e indirecta, a diferencia de los sistemas de alta temperatura que solo usan energía directa y por lo tanto menos eficientes.

En nuestro caso es necesario aprovechar el efecto invernadero que lo da un vidrio o plastico que deben ser transparentes, minimizando perdidas de calor por conveccion y radiacion y de preferencia usando superficies selectivas, es decir en los transparentes con maxima transmisibilidad, y la superficie absorbente que tienda a ser un cuerpo negro con absorptividad maxima. Por otro lado debe tener el menor costo de equipo y

mantenimiento, la mayor durabilidad en condiciones extremas de sol, frío, lluvia, resistencia a otros invasores como roedores.

Además debe contar con sistema de termoacumulación que extienda las horas de secado y por lo tanto reducir el tiempo de secado, lo más usado es el agua como fluido de termoacumulación, regeneración, controlador de temperatura, logrando temperaturas que tiendan a ser uniformes, aun cuando se activa el ventilador, el mismo es solo para ayudar al flujo, el mismo que debe circular el aire por termosifón (por la diferencia en la densidad debido a la temperatura).

La fluidodinámica, fluidotérmica, termodinámica y transferencia de calor, nos permite una profundización en los estudios conducentes a la optimización, en este caso haremos uso del Software EES (Engineering Equation Solver) versión 8.4, es usado para optimizar en el área de termodinámica, termoeconomía, mecánica de fluidos y transferencia de calor, junto con simulaciones en Inventor Autodesk y SolidWorks.

Los conceptos básicos de transferencia de calor⁴ a utilizar son:

1. **Conducción:**

El calor se propaga a través de un medio material sin transporte de materia.

$$Q/A = q = (k/d)(T_2 - T_1) \quad (1)$$

Dónde:

T_2, T_1 = Temperaturas diferentes de una pared.

k = Coeficiente de conductividad térmica

d = Distancia entre las superficies

4: CENGEL y GHAJAR, Transferencia de calor y masa, Cap 1, p 17-30

2. **Convección:**

El caso más general es el de un fluido en movimiento en contacto con un cuerpo sólido a temperatura diferente. El movimiento del fluido puede ser producto del calentamiento que le ocasiona la superficie del sólido en contacto con él, en cuyo caso la fuerza impulsora viene a ser una diferencia de temperaturas y al fenómeno se le identifica como “convección libre”; en otro caso el fluido puede estar en movimiento debido al impulso que le transmite un ventilador, la fuerza impulsora es ahora una diferencia de presiones y el fenómeno se identifica como “convección forzada”

$$Q/A = q = h (T_s - T_a) \quad (2)$$

Dónde: h = Coeficiente de transferencia de calor por convección

T_s = Temperatura de la superficie

T_a = Temperatura del medio circundante

Convección natural:

En el secador por convección natural, al calentarse el aire, se hace más ligero, asciende, con lo que crea corrientes de aire seco que extrae la humedad del objeto a secar.

Convección forzada:

En el secador por convección forzada, el aire se mueve con el auxilio de ventiladores es el de más posibilidades para uso industrial; así como para el tratamiento de productos agropecuarios en grandes cantidades pueden ser diseñados con recirculación de aire y, por lo tanto, la eficiencia de la instalación aumenta.

3. **Radiación:**

Todos los cuerpos emiten energía radiante que se propaga a través del espacio circundante en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz y dentro de un espectro de longitudes de onda que depende de la naturaleza y temperatura de la superficie de un cuerpo emisor.

Cuando la radiación incide sobre un cuerpo no opaco, como vidrio, una parte de la energía recibida puede ser transmitida, otra reflejada y otra absorbida. La fracción de la radiación incidente que es transmitida por un cuerpo se llama transmitancia, la fracción reflejada reflectancia y la fracción absorbida absorptancia. Estos valores dependen de la longitud de onda de la radiación y del ángulo que hace la dirección de la radiación incidente con la normal de la superficie a la que llega. Si el cuerpo es opaco la radiación es sólo absorbida o reflejada.

2.4 **Contenido de humedad:**

Las condiciones físicas del producto se modifican en el transcurso de la extracción de humedad, influye en la cinética del secado. Así cuando la humedad se encuentra en la superficie sólo se necesita para el secado la evaporación superficial. Sin embargo, cuando la humedad se halla en el interior, el secado está influido por el movimiento de la humedad en la materia, que es consecuencia de fenómenos como la capilaridad, la difusión del vapor y el flujo de las moléculas. La determinación directa del contenido de humedad implica medir la masa del producto y la masa seca correspondiente al eliminar el agua evaporable contenida en él, aplicando calor a una temperatura generalmente de 104 °C hasta llegar a un peso constante de la muestra. Este método, aunque es el más utilizado, presenta como principal inconveniente el que al evaporar el agua se pueden eliminar, al mismo tiempo, otras sustancias del

producto (volátiles) lo cual puede suponer errores en la obtención de dicha variable. El contenido de humedad en base húmeda⁵, definido como el peso del agua presente en el producto por unidad de peso del material sin secar (3) El contenido de humedad en base seca, definido como el peso del agua presente en el producto por unidad de peso del material seco (4).

$$M_{wb} = \frac{W_w}{W_o} = \frac{W_o - W_d}{W_o} \quad (3)$$

$$M_{db} = \frac{W_w}{W_d} = \frac{W_o - W_d}{W_d} \quad (4)$$

- **Mwb:** Humedad en base húmeda (Kg. agua / Kg. prod. húmedo)
- **Mdb:** Humedad en base seca (Kg. agua / Kg. prod. seco)
- **Wo:** Peso inicial de la materia sin secar (Kg.)
- **Ww:** Cantidad de agua en el producto húmedo (Kg.)
- **Wd:** Peso de la materia seca en el producto (Kg.)

Todo este análisis nos lleva a curvas de secado, que son diferentes en cada tipo de paprika, principalmente por el espesor de su carnosidad y el momento de cosecha.

5: MONTERO P, Irene (2005), Modelado y construccion de un secadero solar hıbrido para residuos biomasicos. Tesis doctoral p 17

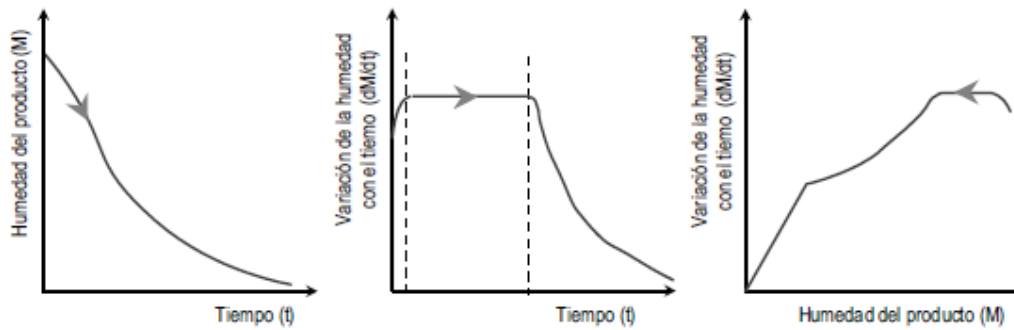


Fig. 2 Curvas de secado, humedad del producto y variación de humedad, dependiendo si es higroscópico o no. El páprika es producto agrícola por lo tanto es higroscópico. Fuente: MONTERO P, Irene (2005), p 21

2.5 Sistemas de automatización y control de flujo, temperatura y humedad.

Un deshidratador de alta tecnología necesita controlar automáticamente la temperatura, sin que sobrepase el valor seteado, en nuestro caso 60°C , para no malograr los elementos termolábiles, controlar la humedad del aire para secado y humedad del producto entre 15 a 20%, y además debe ser totalmente robusto, que no necesite mano de obra especializada en todo su tiempo de vida útil, porque en el campo no puede haber personal especializado, simplemente prender y apagar. Sin embargo durante el diseño y optimización necesitamos mucha experimentación con el manejo de valores en diferentes condiciones. Inicialmente aprovechando los recursos del FINCyT, contamos con un sistema de adquisición de datos, sin embargo este es muy caro y no será posible usar en deshidratadores industriales, para ello usaremos microcontroladores que pueden ser PICs, o mejor la tecnología de control que está ingresando como es el sistema ARDUINO. Existen otros controladores y su selección depende de sus ventajas como: Costo, robustos, simples, durables y de preferencia usar softwares de uso libre (Free software).

3. Antecedentes investigativos

El autor participó de investigación en secado industrial de Páprika usando energía solar, por lo que cuenta con cierta experiencia en el área.

No se han encontrado investigaciones similares, sin embargo por analogía usaremos diferentes investigaciones relacionadas para llegar a buen término.

Investigaciones que servirán y dan cuenta de esta investigación son:

3.1 Jorge A. Saavedra, Luis A. Puente, Guillermo A. González e Iván B. Camousseigt. Automatización de un Secador Convectivo de Aire Caliente para fines de Docencia en Ingeniería de Alimentos (2008)

RESUMEN

El presente trabajo describe el diseño y montaje de un dispositivo experimental para la automatización de un secador de aire caliente con flujo paralelo en co-corriente para realizar estudios de secado. El desarrollo del trabajo se dividió en dos actividades principales: (i) diseño del sistema de automatización y (ii) la validación de los datos entregados por el equipo. Se obtuvo un dispositivo capaz de registrar las variables del proceso de secado y de la imagen de la muestra deshidratada en tiempo real, como así mismo transmitir dicha información a través de Internet. Los datos procesados por el sistema automático comparados con experiencias manuales tradicionales (no automatizadas) se validaron estadísticamente. Se concluye finalmente que la propuesta es viable, fiable y atractiva para el usuario por lo que facilita el proceso de enseñanza-aprendizaje en un área de especial importancia en Ingeniería de Alimentos.

3.2 José Hernández R., Pedro Quinto D., Jaime Cuevas, Roberto Acosta; Jorge O. Aguilar A. ESTUDIO DEL SECADO DE CAPSICUM ANNUUM L A TRAVÉS DEL MODELO DE LUIKOV (2008)

RESUMEN

En este trabajo se estudia el proceso de secado del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L), tanto desde el punto de vista teórico como experimental, para esto se realizaron pruebas de secado de chile jalapeño entero a tres diferentes temperaturas 55, 65 y 70 °C en un túnel de secado, los resultados experimentales obtenidos se han comparado con respecto a los valores teóricos que proporciona la solución numérica del modelo matemático de la teoría de Luikov, el cual se ha resuelto por el método de diferencias finitas. Con la solución numérica se ha modelado el comportamiento del perfil de contenido de humedad en el chile jalapeño, encontrándose que son los números de Lu, Bim y Pn los que tienen mayor influencia en la pérdida de humedad.

3.3 Clodoaldo Sivipaucar, Herve Curo, Eder Huancahuari, Víctor Llantoy, & Andrés Valderrama. CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR POR CONVECCIÓN NATURAL PARA EL SECADO DE PLANTAS MEDICINALES NO TRADICIONALES (2008)

RESUMEN

En el mundo actualmente existe una elevada demanda de productos naturales, entre ellas las plantas medicinales; que para un mejor proceso de manipulación, industrialización y empleo, necesitan ser deshidratadas. El presente trabajo resume el objetivo central del proyecto de diseño, cálculo y construcción de un secador solar indirecto por convección natural para el secado de plantas medicinales aromáticas no tradicionales. Este equipo térmico, consta de tres partes: colector solar, cámara de

secado y chimenea; aprovecha simultáneamente el fenómeno de radiación solar térmica con el proceso de convención natural. Las plantas medicinales aromáticas no tradicionales seleccionadas para los ensayos experimentales, para demostrar el funcionamiento del secador solar indirecto, inicialmente son: muña, toronjil, eucalipto y santa hierba. Éstas serán pesadas antes y después del proceso de secado para cada ensayo, para obtener la pérdida de humedad, que permitirá evaluar la calidad del proceso de secado; se miden las temperaturas en distintos puntos del secador solar y en cada etapa de secado de las plantas medicinales no tradicionales; se monitorean las condiciones climáticas del medio ambiente. Las plantas medicinales no tradicionales se podrían seleccionar de acuerdo a sus propiedades medicinales y a las zonas de su cultivo, lo que permitiría promover su sembrado en las zonas alto andinas del Perú e incentivar su industrialización.

3.4 **Ciro César Bergues Ricardo, Luis Bèrriz Pèrez, Pedro Griñan Villafañe**

GENERALIZACIÓN DE SECADORES SOLARES DIRECTOS EN CUBA ANÁLISIS NUMÉRICO DE SUS TENDENCIAS ACTUALES

RESUMEN

Se describen los prototipos más representativos de secadores solares directos construidos en la parte oriental de Cuba, que fueron resultados de impacto por sus índices técnicos económicos. Estos son secadores solares diversos con cubierta de vidrio y de polietileno, secándose productos de alta importancia social y gran valor agregado como madera, semillas, plantas medicinales y pienso animal. En su concepción se aplicaron criterios de extensión y generalización que permitirán su escalado a capacidades semindustriales. Se hace un breve análisis del impacto energético y medioambiental de los mismos, y de sus posibilidades futuras para la gestión medioambiental en Cuba, al evitar emisiones de CO₂.

El análisis secuencial de los prototipos logrados tiene que ver con la concepción de un método numérico sistémico ingenieril novedoso para el análisis de los cambios tecnológicos en los secadores, del que se da una breve caracterización. Se hacen recomendaciones sobre qué conducta deberá seguirse en el futuro inmediato a fin de lograr mejores resultados en la diversificación y desarrollo de mejores aplicaciones de impacto económico, social y medioambiental.

4. Objetivos:

General: Diseñar un modelo de secador para deshidratar el páprika a nivel industrial

3.1 Adecuar la instrumentación y mejoras de cada modelo A y B.

3.2 Determinar las características óptimas de cada modelo A y B.

3.3 Disenar, construir y evaluar un deshidratador modelo de alta tecnología apropiado para uso industrial considerando mejoras respecto a modelos A y B

5. hipótesis

Dado que en la actualidad se viene deshidratando páprika en forma rústica usando como fuente de energía la solar para el funcionamiento de pequeños deshidratadores:

Es probable que al disenar un modelo industrial logremos mejor calidad del proceso de deshidratación del páprika.

5.1 Dado que es posible la mejora de todo modelo, y que la instrumentación debe ser adecuada para comparar:

Es probable que en un tipo de secador A o B mejorados, se logre mejores características de producto, económicas, de practicidad y con la instrumentación adecuada para compararlas.

5.2 Dado que durante el secado de páprika es posible perder propiedades importantes como grados ASTA, y beta carotenoides:

Es probable determinar características óptimas que reduzcan las pérdidas, con procesos de secado indirecto y adecuado.

5.3 Dado que podemos manipular las características del modelo de secador:

Es probable disenar un modelo de alta tecnología, con características adecuadas para proponer un secador industrial de características deseables que use energías renovables y de bajo costo.



III Planteamiento Operacional

1. Técnicas, instrumentos y materiales de verificación

Variable	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
1. Evaluación de la Calidad de páprika seco (conjunto de características y propiedades físicas, químicas y biológicas del producto final luego de secar)	1.3 Características físicas	Observación instrumental	-Ficha de observación
	1.4 Características químicas y biológicas	Observación de laboratorio	Ficha de análisis
2. Evaluación de parámetros físicos del secador (conjunto de características del modelo de secador)	2.1 Parámetros ambientales	Observación instrumental	- Hoja de experimentación
	2.2 Parámetros de diseño del secador	Investigación tecnológica	Ficha de observación

2. Campo de Verificación

2.1 Ubicación espacial

El estudio se realizará en la ciudad de Arequipa, UCSM, en el Parque industrial.

2.2 Ubicación temporal: Abril a diciembre 2011

2.3 Unidades de estudio: Dos modelos de secadores solares, propuestos dentro del Proyecto FINCyT, de diferente tipo:

Modelo de cámara central de $1\text{m} \times 2\text{m} = 2\text{ m}^2$, propuesto por el autor (Modelo A).

Modelo de dos cámaras laterales de $3,2\text{ m} \times 2,4\text{m} = 7,6\text{ m}^2$, propuesto por Dr. Nicolas Ognio (Modelo B).

Ambos modelos contarán con la instrumentación y software, adquisición de datos LabView (Programación gráfica para el control de instrumentos) del proyecto FINCyT.

Modelo a diseñar y construir por el autor, con instrumentación básica y sistema de automatización y control básicos usando ARDUINO 1, permitirá controlar un ventilador por temperatura, un ventilador por timer y una válvula de regulación de salida del aire caliente por la chimenea en función de la humedad.

3. Estrategia de recolección de datos

Para efecto de recolección de datos, se cuenta con dos secadores modelo, uno propuesto por mi persona y el otro por el Dr. Nicolás Ognio, a escala aproximada de 100:1, respecto a los secadores industriales; estos dos modelos fueron construidos y se están equipando para su estudio con la instrumentación apropiada, estos nos permitirán el diseño experimental necesario para cumplir con los objetivos propuestos en esta investigación.

Planificación de la experimentación:

Pre experimentación

Como son modelos construidos dentro del proyecto, estos no cuentan con pruebas previas, ni datos de secado. Será necesario adecuar la instrumentación, hacer pruebas preliminares que nos permitan mejorar cada modelo.

Experimentación:

Cada experimentación se realizará en forma duplicada, y con los mejores parámetros para cada secador, buscando en cada caso la mayor eficiencia de secado, con productos que cumplan adecuadamente las condiciones de calidad del producto, a costos bajos, que aseguren secado industrial en las mejores condiciones.

Para el **secador A de 2m²** se plantean las siguientes pruebas:

Para diferentes velocidades de aire, dadas por la regulación del ventilador (0,3 m/s, 0,5 m/s y 1 m/s), diferentes cantidades de agua (12 litros, 15 litros y 18 litros) que uniformiza temperatura de secado y diferente carga (5kg, 6kg y 8kg), manteniendo temperaturas de cámara de 45°C, 55°C y 60°C.

Para el **secador B de 7,6m²** se plantean las siguientes pruebas:

Para diferentes velocidades de aire, dadas por la regulación del ventilador (0,3 m/s, 0,5 m/s y 1 m/s), diferentes cantidades de agua (100 litros, 150 litros y 200 litros) que uniformiza temperatura de secado y diferente carga (20kg, 22kg y 28kg), manteniendo temperaturas de cámara de 45°C, 55°C y 60°C.

Esta experimentación nos permitirá tomar decisiones de mejores condiciones de secado, recomendar mejoras para diseño de un nuevo modelo y prototipo a nivel industrial.

Evaluado cada modelo, se optimizará con recomendaciones, pudiéndose modificar el modelo seleccionado. Luego habrá una post experimentación que nos permita optimizar el modelo seleccionado, realizando previamente las mejoras recomendadas por los investigadores del proyecto. Esto permitirá el diseño del prototipo industrial y su evaluación.

Fecha	Agua	Peso muestra inicial	Humedad inicial	Peso muestra final	Humedad final	Pérdida capsicina	Pérdida caroteno	Modelo A B
Lt							
Hora	Ø(%) i	Ø(%) 2	Ø(%) s	Ti	T2	Tc	Ts	Qprom
8.00								
9.00								
10.00								
11.00								
12.00								
13.00								
14.00								
15.00								
16.00								
17.00								
18.00								
Día	Responsable	Firma	Observaciones:					
1 2 3	Tmañana Ttarde Diseño CFB					

Fecha	Agua	Peso muestra inicial	Humedad inicial	Peso muestra final	Humedad final	Pérdida capsicin	Pérdida caroteno	Modelo Industr 25 kg
Lt							
Hora	Ø(%)	Ø(%) 2	Ø(%) s	T1 Amb	T2 colec	T3 ing	T4 sale	Qprom
8.00								
9.00								
10.00								
11.00								
12.00								
13.00								
14.00								
15.00								
16.00								
17.00								
18.00								
Día	Responsable	Firma	Observaciones:					
1 2	Tmañana					
3 Diseño					
	Ttarde		CFB					
							

IV Cronograma de trabajo

Tiempo	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Actividad	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3	1 2 3 4
1. Desarrollo del proyecto	x x		4	
2. Recolección de datos modelos A y B	x x			
3. Diseño, construcción, experimentación y optimización en modelo industrial		x x x x		
4. Recolección de datos de modelo industrial			x x	
5. Sistematización			x x x	
6. Elaboración del informe final				x x x x

V BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

BERRIZ PÉREZ, Luis. Secadores solares para productos agropecuarios e industriales; Cuba: tel.: (537) 6405260. berriz@cubaenergia.cu

CENGEL, Yunus y GHAJAR, A. Transferencia de Calor y masa. 4ta ed. México: Editorial Mc Graw Hill, 2011, 920 p. ISBN: 978-607-15-0540-8

CENGEL, Yunus y BOLES, Michael. *Termodinámica*. 7ma ed. USA: Editorial Mc. Graw Hill, 2012. 1009 p. ISBN: 978-607-15-0743-3

DÁVILA, Juan Carlos, SILVA JAIMES, Marcial. Métodos de Medición del color en Páprika (*Capsicum annum L.*). Científica. 7 (1): 52 – 59

ELIZALDE SOLIS, Octavio. Solubilidades de la capsaicina y pigmentos liposolubles (carotenoides) del chile poblano en CO₂ supercrítico. Tesis doctoral 2008

FERNANDEZ TRUJILLO y ESCARBAJAL, David. El proceso tradicional de elaboración del pimentón de Murcia y sus posibles innovaciones. Universidad Politécnica de Cartagena, 2006

GERHART, Philip, GROSS, R y HOCHSTEIN J. Fundamentos de Mecánica de Fluidos. 2da ed. Estados Unidos: Editorial Addison Wesley Iberoamericana, 1995. 1091 p. ISBN: 0-201-60105-2

GIACONI M, Vicente. Cultivo de Hortalizas. 15va Edición. Santiago-Chile . Ed. Universitaria, 1998. 308 pp. ISBN: 956-11-1513-1

HERNANDEZ R, José, QUINTO D. Pedro, CUEVAS, Jaime, ACOSTA, Roberto, AGUILAR A, Jorge. Estudio del secado de capsicum annum L a través del modelo de Luikov, 2008

HIBBELER, Russel C. Ingeniería Mecánica DINÁMICA.12a ed. México: Editorial Pearson, 2010. 732 p. ISBN: 978-607-442-560-4

JIMÉNES, José Manuel "Súper". Ingenieros Solares; Editorial Pamiela; Pamplona, 1997

KREITH, Frank, MANGLIK, Raj y MARK, Bohn. Principios de transferencia de calor. 7ma ed. Editorial Cengage Learning, México 2012. 696 p. ISBN: 978-607-481-615-1

MÁNUEL LÁZARO, Antonio. LabVIEU6i Programación Gráfica para el Control de Instrumentación. España: 2001. 357 p. ISBN: 84-283-2817-X

MARINOS KOURIS, D. Z., MAROULIS, B. y KIRANOUDIS, C. T. Computer Simulation of industrial dryers. Drying Technology 14(5): 971-1010 (1996).

MONDELO, Pedro, GREGORI T, Enrique y BARRAU B., Pedro. Ergonomía 1. Editorial Alfaomega, 2000. 194 p. ISBN: 970-15-0295-7

MORAN, Michael, SHAPIRO, BOETTNER, BAILEY. Fundamental of Engineering Thermodynamics. 7ma ed, John Wiley, 2011. ISBN: 13 978-0470-49590-2

MAROTO BORREGO, J. B. Horticultura Herbácea y Especial. Ed. Mundi-Prensa 5ta edición. Madrid-España; 1986. 590 pp

MOTT, Robert L. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4ta ed. México: Editorial Prentice Hall, 1996. 580 p. ISBN: 0-02-384231-8

MUÑOZ ANTON, Javier; ingeniero industrial, Tesis Doctoral “Sistemas de Generación Eléctrica mediante Calderas de Vapor Energizadas por Radiación Solar Concentrada”. Universidad Politécnica de Madrid, 2008

RAMESH, M.N., WOLF, W., TEVINI, D. y YUNG, G. 2001 Influence of processing paramters on the drying of spice paprika. Journal of Food Engineering.Nº 49 (63-72)

RAMÍREZ, F. Manejo Nutricional Y Fertilización Balanceada en el cultivo de Páprika. Manejo del cultivo de Páprika. Arequipa, 2000

SAAVEDRA, Jorge A, PUENTE, Luis A, GONZALES, Guillermo A; CAMOUSSEIGT, Iván B. Automatización de un Secador Convectivo de Aire Caliente para fines de Docencia en Ingeniería de Alimento. Información Tecnológica Vol. 19(4), 3-10 (2008)

Sivipaucar Clodoaldo, Herve Curo, Eder Huancahuari, Víctor Llantoy, & Andrés Valderrama. CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR POR CONVECCIÓN NATURAL PARA EL SECADO DE PLANTAS MEDICINALES NO TRADICIONALES, Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CDIT. 2008

Subprograma VI: Nuevas Fuentes y Conservación de la Energía. Ingeniería del Secado Solar. Editores: (R. Corvalan; M. Horm; R. Roman; L. Saravia). CYTED-D

ZAPATA, M. BAÑON, S Y CABRERA, P. El Pimiento para Pimentón. Ed. Mundi-Prensa Madrid-España. 1992. 240 pp

ZARAUZ, Luis, SALINAS, Mirtha, ACHATA, Adolfo, CLAVERÍAS, Ricardo. Fortalecer el capital humano e institucional para lograr una pequeña agricultura competitiva: Impacto del CIED en el Valle de Tambo Arequipa:1996-2000. Lima, agosto del 2001

Mejora de las técnicas y procesos en la producción, cosecha y acopio de ajíes en Lambayeque. Tradingconsult, Informe final para la UNIÓN EUROPEA, Contrato N° 039/2007/LN17.L14/UE-PERU. Septiembre, 2009

INVESTIGACIONES REVISADAS

“Modelado y Construcción de un Secadero Solar Híbrido para Residuos Biomásicos. (2005). Tesis Doctoral por Montero P. Irene. <http://biblioteca.unex.es/tesis/8477237115.pdf>.

GENERALIZACIÓN DE SECADORES SOLARES DIRECTOS EN CUBA ANÁLISIS NUMÉRICO DE SUS TENDENCIAS ACTUALES, MC. Ing. Ciro César Bergues Ricardo, Dr Luis Bèrriz Pèrez, Ing. Pedro Griñan Villafañe. <http://www.eumed.net/rev/delos/08/rpv.pdf>

SECADO SOLAR: UNA TECNOLOGÍA APROPIADA PARA EL NORTE ARGENTINO Hugo D. ZURLO, Liliana VERGARA, Rubén SPOTORNO, Francisco BENITEZ, Jorge DE PEDRO, Verónica CERVIÑO y Sergio MONZON.

SECADOR SOLAR HÍBRIDO PARA LA PRODUCCIÓN CONTINUA A ESCALA INDUSTRIAL DE PIMIENTO PARA PIMENTÓN Gonzalo José Durán - gduaran@inenco.net; Angel Condorí - miguel.angel.condori@gmail.com; Ricardo Echazú - ricardo.echazú@gmail.com; Gabriel Díaz Russo 2010

PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE SECADO SOLAR PARA AJI, MSc. César Rivasplata Cabanillas UNJBG – CERT – Tacna – PERÚ.

<http://www.perusolar.org/include/simposios/archivos16/conferencias16/PLANIFICACION%20Y%20DISENO%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20SECADO%20SOLAR%20PARA%20AJI.pdf>

CATÁLOGO DE MAQUINARIA PARA PROCESAMIENTO DE AJI AMARILLO Y PAPRIKA: Cooperación Alemana, GIZ, Agroideas. Lima, agosto 2013.

https://energypedia.info/images/b/b8/Maquinaria_para_Aj%C3%AD_amarillo_y_Paprika.pdf

EL CULTIVO DE PIMIENTO (*Capsicum annum*) EN LA REGIÓN DE MURCIA Y LOS EFECTOS NOCIVOS DEL USO DE BROMURO DE METILO (II). Ezziyani Mohammed, Fitopatólogo Facultad de Biología, Departamento de Fisiología Vegetal, Universidad de Murcia; E-mail: ezzim@um.es

PÁGINAS WEB

<http://es.wikipedia.org/wiki/Capsicum> (15-10-2010)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Caroteno> (15-10-2010)

http://www.nrel.gov/gis/re_potential.html (20-11-2010)

<http://www.slideshare.net/ucsurcultural/cientifica7-1-3006> (30-12-2010)

<http://es.scribd.com/doc/94760326/DISENO-Y-ELABORACION-DE-SECADOR-SOLAR-DE-HAJI-PAPRICA> (04-04-2012)

<http://148.206.53.231/UAMI11307.pdf> (04-04-2012)

<http://fc.uni.edu.pe/mhorn/Energia%20solar%20en%20Peru%20perueconomico.pdf>

[http://micalentadorsolar.com/pdf/ReporteGCC_DS_final.pdf_\(05-04-2012\)](http://micalentadorsolar.com/pdf/ReporteGCC_DS_final.pdf_(05-04-2012))

<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/1/01/02/00/04.htm>
(06-04-2012)

[http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/latin-america/energia-en-la-finca/uso-de-secadores-solares-para-el-procesamiento-de/_\(01-05-2012\)](http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/latin-america/energia-en-la-finca/uso-de-secadores-solares-para-el-procesamiento-de/)

http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1041/ASCENCIO_TIZANA_IVAN_GENERADOR_GASES_CALIENTES_PAPRIKA.pdf?sequence=1 (04-05-2012)

http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/rev_cedit/2008_V03/pdf/a03v3.pdf_f_ (04-04-2012)

<http://mundopaprika.blogspot.com/> (04-05-2012)

Videos: COSECHA Y POST COSECHA DE AJÍ PÁPRIKA:

<https://www.youtube.com/watch?v=jqJEoVrgk8U>

Contrastes - Reportaje: Exportación de ají paprika

<https://www.youtube.com/watch?v=CDvr5lQ3cuo>

Secado de pimientos:

<https://www.youtube.com/watch?v=w8jaJUjFBz4>

ANEXO 2

Cálculos adicionales para modelo industrial de 25 kg

ANEXO 2A: Uso de EES en psicrometría

ANEXO 2B : Cálculo y selección del ventilador axial

"Uso del EES para cálculos básicos en psicrometría y dimensionamiento en Secador Solar, Tesis Doctoral CFB"

"Datos conocidos y asumidos T1 es a entrada de colector, T2 al ingreso de cámara y T3 salida de cámara, igual humedad relativa...."

$P_{atm} = 80 \text{ "kPa"}$

$T_{db_1} = 20 \text{ "C"}$

$RH_1 = 50/100$

$T_{wb_1} = 17 \text{ "C"}$

$T_{db_2} = 50 \text{ "C"}$

$T_{db_3} = 45$

$RH_3 = 70/100 \text{ "%. Humedad relativa en estado 3 "}$

$Vol_dot_1 = 45/60 \text{ "Flujo volumétrico en m}^3/\text{min, pasa a m}^3/\text{s"}$

$v_1 = VOLUME(AirH2O, T=T_{db_1}, P=P_{atm}, R=RH_1)$

$T_{wb_1} = WETBULB(AirH2O, T=T_{db_1}, P=P_{atm}, R=RH_1)$ Si conocemos TBS y TBH hacer pequeño Cambio"

$m_dot_a_1 = Vol_dot_1/v_1$

$$w_1 = \text{HUMRAT}(\text{AirH}_2\text{O}, T = T_{\text{db}_1}, P = P_{\text{atm}}, R = \text{RH}_1)$$

$$w_1 = w_2$$

$$m_{\dot{v}_1} = m_{\dot{a}_1} * w_1$$

$$w_3 = \text{HUMRAT}(\text{AirH}_2\text{O}, T = T_{\text{db}_3}, P = P_{\text{atm}}, R = \text{RH}_3)$$

$$m_{\dot{v}_2} = m_{\dot{a}_2} * w_2$$

"Conservación de energía para colector y cámara de secado"

"El proceso es adiabático y no hay trabajo (se desprecia el trabajo de los ventiladores por ser despreciables frente a la radiación aprovechada)"

$$h[1] = \text{ENTHALPY}(\text{AirH}_2\text{O}, T = T_{\text{db}_1}, P = P_{\text{atm}}, w = w_1)$$

$$h[2] = \text{ENTHALPY}(\text{AirH}_2\text{O}, T = T_{\text{db}_2}, P = P_{\text{atm}}, w = w_2)$$

$$h[3] = \text{ENTHALPY}(\text{AirH}_2\text{O}, T = T_{\text{db}_3}, P = P_{\text{atm}}, w = w_3)$$

$$Q_i = m_{\dot{a}_1} * (h[2] - h[1]) \quad \text{"Calor requerido"}$$

$$Q_i = 900 \text{ W/m}^2 * A, \text{ recordar que radiación de AQP es de } 850 \text{ a } 950 \text{ w/m}^2$$

$$A = Q_i / 0.9$$

DISEÑO DEL VENTILADOR AXIAL INSTALADO EN CÁMARA DE SECADO:

PARAMETROS INICIALES PARA EL CÁLCULO:

- Caudal : Q
- Revoluciones: N
- Presión: P
- Densidad: ρ

Caudal : Q	0.5403 m³/s
Revoluciones: N	825
Presión: P	62.223 Pa
Densidad: ρ	1.2 Kg/m³

a) CÁLCULO DEL CAUDAL:

Según experimentos realizados nuestra velocidad de trabajo a la salida del ventilador será (V=4.5m/s)

Las dimensiones de nuestra sección transversal son de (0.9642mx0.1246m)

Por lo tanto el caudal dentro del colector será:

$$Q = A * V$$

$$Q = 0.1201 * 4.5$$

$$Q = 0.5405 \text{ m}^3/\text{s}$$

b) CALCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN:

b.1) CAÍDA DE PRESIÓN POR ARRASTRE:

Determinamos la fuerza de arrastre en colector:

$$\text{El área es } A_s = 2A_c + 2A_s$$

$$A_s = 2(3.01 * 0.1246) + 2(3.01 * 0.9642)$$

$$A_s = 6.5546 \text{ m}^2$$

El número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V_s D_h}{\nu}, \quad R_e = \frac{4.5 * 0.0922}{1.792 * 10^{-6}}, \quad R_e = 1.45 * 10^6$$

Por lo tanto determinamos que es un flujo laminar

El coeficiente de arrastre será:

$$C_a = \frac{1308}{\sqrt{R_e}}, \quad C_a = \frac{1308}{\sqrt{1.45 * 10^6}}, \quad C_a = 0.0109$$

Finalmente la fuerza de arrastre será:

$$F_a = \frac{1}{2} (0.0109) (0.9768) (4.5)^2 (6.5546), \quad F_a = 0.7066 \text{ N}$$

Por lo tanto:

$$P = \frac{F_a}{A}, \quad P = \frac{0.7066}{0.1191}, \quad \Delta P_a = 5.893 \text{ Pa}$$

b.2) DETERMINAMOS LA CAIDA DE PRESION EN LA CAMARA:

Cálculo para vencer la presión de la cámara:

$$P = \gamma * H, \quad P = (9.78 * 0.9768)(1), \quad \Delta P_c = 9.553 \text{ Pa}$$

b.3) CAÍDA DE PRESIÓN POR FRICCIÓN:

Como tenemos distintas superficies determinamos el MANING:

$$n = \frac{(\sum F(n_i^{1.48})^{2/3}}{F^{2/3}}$$

$$n = \frac{((0.9642)(0.006)^{1.48})^{2/3} + ((0.9642)(0.009)^{1.48})^{2/3} + 2((0.1246)(0.012)^{1.48})^{2/3}}{2.1776^{2/3}}$$

$$n = 0.01227$$

Desde luego determinamos la pérdida:

$$h = \frac{10.2m^3 Q^{2.48}}{D_h^{4.75}}, \quad h = \frac{10.5(0.01227)^{4.75}(0.8409F^2(3.01F))}{(0.2208)^{4.75}}, \quad h = 4.2773m$$

finalmente la caída de presión será:

$$F = \gamma \cdot H, \quad \Delta P_f = (0.9768)(9.78)(4.2773), \quad \Delta P_f = 40.86Pa$$

b.4) DETERMINAMOS LA CAÍDA DE PRESIÓN EN EL INGRESO A LA CÁMARA:

$$\Delta P_{ic} = K \frac{1}{2} \rho V^2, \quad \Delta P_{ic} = (0.20) \frac{1}{2} (0.9768)(4.5)^2, \quad \Delta P_{ic} = 1.978Pa$$

b.5) DETERMINAMOS LA CAÍDA DE PRESIÓN EN LA REDUCCIÓN:

$$\Delta P_r = K \frac{1}{2} \rho V^2, \quad \Delta P_r = (0.40) \frac{1}{2} (0.9768)(4.5)^2, \quad \Delta P_r = 3.956Pa$$

POR LO TANTO LA CAÍDA DE PRESIÓN TOTAL SERÁ:

$$\Delta P_t = \Delta P_a + \Delta P_c + \Delta P_f + \Delta P_{ic} + \Delta P_r$$

$$\Delta P_t = 3.883Pa + 9.333Pa + 40.86Pa + 1.978Pa + 3.956Pa$$

$$\Delta P_t = 62.223Pa$$

DETERMINAMOS LA VARIACION DE CALOR EN EL SECADOR:

DEL ENSAYO REALIZADO SIN VENTILADOR EN EL CANAL RECTANGULAR DEL COLECTOR:

DATOS PRELIMINARES:

Velocidad promedio muerta=0.3m/s

Área de la sección transversal=0.1201m²

Caudal=0.03603m³/s

Flujo másico=0.03875Kg/s

	TEMPERATURAS $T(^{\circ}\text{C})$	TEMPERATURA MEDIA $T_f(^{\circ}\text{C})$	CALOR ESPECIFICO DEL AIRE $C_p(\text{J/Kg k})$	CALOR PROMEDIO $Q(\text{w/m}^2)$
		$T_f = \frac{T_2 + T_1}{2}$		$Q = \frac{(T_2 - T_1) C_p \dot{m}}{A}$
EN LA MAÑANA	T1=31 T2=69	50	1007	510.96
MEDIO DIA	T1=36 T2=80	58	1007	591.63
EN LA TARDE	T1=29.5 T2=61.5	45.5	1007	430.29
PROMEDIO				510.9875

ENSAYO REALIZADO CON VENTILADOR EN EL CANAL RECTANGULAR DEL COLECTOR SOLAR:

DATOS PRELIMINARES:

Velocidad promedio de salida del ventilador=13.23m/s

Área de la sección transversal=0.1201m²

Caudal=1.58m³/s, Flujo másico=1.78Kg/s

	TEMPERATURAS $T(^{\circ}\text{C})$	CALORES DETERMINADOS $Q(\text{w/m}^2)$	CALOR ESPECIFICO DEL AIRE $C_p(\text{J/Kg k})$	TEMPERATURA DE INGRESO A LA CAMARA $T_2(^{\circ}\text{C})$
				$T_2 = \frac{QA}{C_p \dot{m}}$
EN LA MAÑANA	T1=30	510.96	1007	30.83

MEDIO DIA	T1=40	591.63	1007	40.95
EN LA TARDE	T1=40	430.29	1007	40.69
PROMEDIO				37.49

	TEMPERATURAS T(°C)	CALORES DETERMINADOS Q(w/m ²)	CALOR ESPECIFICO DEL AIRE Cp.(J/Kg k)	TEMTERATURA DE INGRESO A LA CAMARA T3(°C)
				$T_3 = \frac{QA}{Cp \cdot h}$
EN LA MAÑANA	T1=30.83	510.96	1007	31.26
MEDIO DIA	T1=40.95	591.63	1007	41.45
EN LA TARDE	T1=40.69	430.29	1007	41.38
PROMEDIO				38.03

VARIACION DE TEMPERATURA EN LA

Fecha : 15/08/2011

TEMPERATURAS (ENSAYO EN VACIO -VIDRIO LIMPIO)

Hora	T 1 (°C)	T 2 (°C)	T 3 (°C)
09:00	27	55	53
09:30	29	66	59
10:00	32	74	67
10:30	35	77	69
11:00	35	78	71
11:30	37	80	74
12:00	36	80	74
12:30	35	78	74
13:00	34	76	74
13:30	34	72	70
14:00	33	68	65
14:30	31	64	63
15:00	30	59	59
15:30	27	52	51
16:00	21	43	40
16:30	17	50	33

CAMARA:

CÁLCULO Y DISEÑO DE UN VENTILADOR AXIAL

Requerimientos:

Caudal :Q	0.5405m³/s
Revoluciones: N	825
Presión: P	62.223Pa
Densidad: ρ	1.2Kg/m³

$$Q = 8000 \text{ m}^3/\text{hr} , \quad P = 90 \text{ Pa} , \quad N = 875 \text{ RPM} , \quad \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

Coefficiente de rapidez:

$$N_y = \frac{53 \cdot Q^{\frac{1}{2}} \cdot \omega}{P^{\frac{3}{4}}} , \quad N_y = \frac{53 \left(0.5405 \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\pi \cdot 825}{30} \right)}{(62.2)^{\frac{3}{4}}} , \quad N_y = 151.99$$

Ecuación empírica: $D = 0,32 \frac{(0,545 N_y + 4b) \sqrt{p}}{n}$

b = ancho paleta = 100mm

$$D = 0,32 \frac{(0,545 \cdot 151.99 + 4 \cdot 0,1) \sqrt{90}}{825} , \quad D = 0,2546 \text{ m}$$

Ecuación de Continuidad

$$Q = C_a \cdot A , \quad C_a = \frac{4Q}{\pi D^2 (1 - \gamma^2)} , \quad \gamma = \frac{D_{cubo}}{D} , \quad \gamma = 0,4 - 0,8$$

Asumiremos: $\gamma = 0,5$

$$D = 2,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{\gamma(1 - \gamma^2)}} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{k \cdot \varphi \cdot n}} , \quad \text{Donde: } k \cdot \varphi = 0,6 - 1,0$$

Asumiremos: $k \cdot \varphi = 1,0$

$$D = 2,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{0,5 \cdot (1 - 0,5^2)}} \cdot \sqrt[3]{\frac{0,5405}{1 \cdot 825}} , \quad D = 0,3294 \text{ m}$$

Por lo tanto:

Asumimos: $D = 0,3 \text{ m}$

Velocidad tangencial:

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,3 \cdot 825}{60}, \quad U = 12,959 \text{ m/s}$$

Comentario: $U < 100 \text{ m/s}$ para disminuir ruido

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,3^2}{4}, \quad F = 0,0706 \text{ m}^2$$

Coefficiente de Caudal: $\varphi = \bar{Q} = \frac{Q}{FU}, \quad \varphi = \frac{(0.5405)}{0,0706 \cdot 12.959}, \quad \varphi = 0,59$

Coefficiente de presión:

$$\psi = \frac{2P}{\rho \cdot U^2}, \quad \psi = \frac{2 \cdot 62.2}{1,2 \cdot 12,959^2}, \quad \psi = 0,6173$$

Coefficiente teórico de presión:

$$\psi_T = k\psi, \quad \text{donde: } k = 1,25$$

$$\psi_T = 1,25 \cdot 0,6173, \quad \psi_T = 0,7716$$

$$\gamma = \frac{D_{BT}}{D}, \quad \text{donde: } \gamma = 0,6$$

$$D_{BT} = 0,3 \cdot 0,6, \quad D_{BT} = 0,18 \text{ m}$$

$$\ell = \frac{(D - D_{BT})}{2}, \quad \ell = \frac{(0,3 - 0,18)}{2}, \quad \ell = 0,06 \text{ m}$$

$$\frac{F_{BT}}{F} = \frac{\frac{\pi D_{BT}^2}{4}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{D_{BT}^2}{D^2} = \gamma^2$$

$$F_i = F - F_{BT} \pm \text{Área Anular}$$

$$F_i = F \left(\frac{1 - F_{BT}}{F} \right) = F(1 - \gamma^2)$$

$$\varphi = \frac{Q}{F(1 - \gamma^2)u} = \frac{\varphi'}{1 - \gamma^2}$$

$$\varphi = \frac{\varphi'}{1 - \gamma^2}, \quad \varphi = \frac{0,59}{1 - 0,6^2}$$

$\varphi = 0,9219 \pm$ Coeficiente de caudal considerando el área descrita por los álabes

Componente axial:

$$Ca = \varphi U, \quad Ca = 0,9219 \cdot 12.959, \quad Ca = 11,9476 \text{ m/s}$$

Radio medio

$$r_i = \frac{D_{BT}}{2} + \ell \frac{(2i-1)}{2n}$$

n = número de divisiones

i = número de zona

Angulo medio

$$\beta_{mi} = \arctg \frac{Ca}{U_i - \frac{C_2 u}{2}}$$

Angulo a la salida

$$\beta_2 = \arctg \frac{Ca}{U_i - C_2 u}$$

Velocidad absoluta: $C_{2u} = \frac{P}{\rho \cdot U_i \cdot \eta}$, donde $\eta = 0,75 - 0,92$

Asumimos $\eta = 0,9$

$$U_i = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{60} \quad \text{y} \quad \beta_i = \arctg \frac{Ca}{U_i}$$

zona	ri	rc	U _i	C _{2u}	β _i	β _m	β ₂
1	0,094	0,629	8,146	7,070	55,715	68,899	84,857
2	0,103	0,686	8,886	6,481	53,360	64,708	78,618
3	0,111	0,743	9,627	5,983	51,140	60,953	73,038
4	0,120	0,800	10,367	5,555	49,051	57,575	68,063
5	0,129	0,857	11,108	5,185	47,086	54,522	63,631
6	0,137	0,914	11,848	4,861	45,239	51,753	59,679
7	0,146	0,971	12,589	4,575	43,503	49,232	56,148
promedio	0,120	0,800	10,367	5,673	49,299	58,234	69,148

$$(C_{y\tau}) = \frac{\psi_T \cos \beta_m}{F_i^2 - \frac{\psi\tau}{4}}$$

$$\psi = \frac{2P}{\rho U^2} \quad , \quad \psi = \frac{2 \cdot 62,2}{1,2 \cdot 12,959^2} \quad , \quad \psi = 0,6173$$

$$\psi_T = k\psi \quad , \quad \text{donde: } k = 1,25$$

$$\psi_T = 1,25 \cdot 0,286 \quad , \quad \psi_T = 0,7716$$

$$C_{y\tau} = \frac{\psi_T \cdot \cos \beta_m}{r_i^2 - \frac{\psi_T}{4}} \quad , \quad C_{y\tau} = \frac{0,7716 \cdot \cos 58,234}{0,8^2 - \frac{0,7716}{4}} \quad , \quad C_{y\tau} = 0,9085$$

Asumo $C_y = 0,7$

$$\tau_{cp} = \frac{C_{y\tau}}{C_y} \quad , \quad \tau_{cp} = \frac{0,9085}{0,7} \quad , \quad \tau_{cp} = 1,2979$$

Número de álabes:

$$Z = \frac{\pi \tau c p \cdot D \cdot \bar{r}_i}{b}, \quad Z = \frac{\pi \cdot 1,2979 \cdot 0,3 \cdot 0,8}{0,1}, \quad Z = 9,7$$

Tomo $Z = 10$ alabes

DISEÑO DE LOS ALABES DEL RODETE

$$R = 194,29 \text{ mm.}$$

$$B = 4$$

$$C_1 = 0,9$$

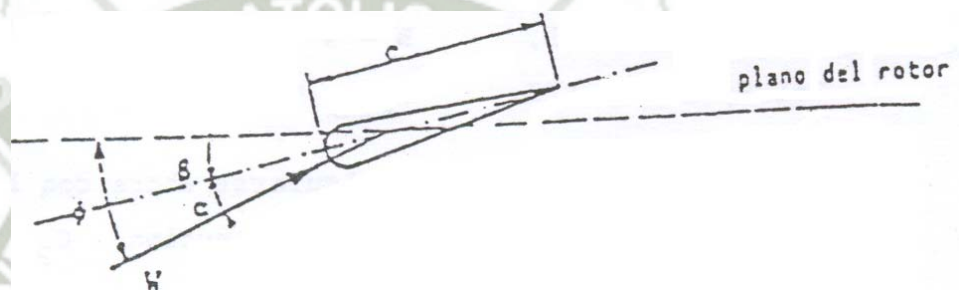
$$\lambda_0 = 2,5$$

$$\alpha = 4^\circ$$

$$\lambda_r = \lambda_0 \cdot \frac{r_i}{R}$$

$$\phi = \frac{\text{tg}^{-1}\left(\frac{1}{\lambda_r}\right)}{1,5}, \quad \beta = \phi - \alpha$$

$$C = \frac{8 \cdot \pi \cdot r_i}{B \cdot C_1} \cdot (1 - \cos \phi)$$



Donde:
C = Longitud de la cuerda del alabe (mm)
ri = Radio medio del alabe (mm)
λ_r = velocidad especifica local
i° = ángulo de ataque
β° = ángulo del alabe
ϕ° = ángulo entre el plano de rotación y la velocidad respecto al alabe del rodete.

ZONA	R(mm)	λ	n	i	β	C(mm)
1	94,29	1,6176	21,1491	4	17,1491	44,34
2	102,86	1,7647	19,6925	4	15,6925	42,00
3	111,43	1,9118	18,4087	4	14,4087	39,81
4	120,00	2,0588	17,2710	4	13,2710	37,77
5	128,57	2,2059	16,2576	4	12,2576	35,89
6	137,14	2,3529	15,3503	4	11,3503	34,16
7	145,71	2,5000	14,5343	4	10,5343	32,56

SELECCIÓN DE MOTOR ELECTRICO

Procederemos a seleccionar de acuerdo al catálogo de motores eléctricos DELCROSA. Revisando el catálogo escogeremos un motor tipo: **NV71b8**, el cual tiene las siguientes características:

Potencia en HP	Descripción			Modelo		
	Velocidad en RPM	Tensión a 60 Hz en Volts	Tamaño Armazón NEMA	RGZE Uso general Catálogo Spiridon	RGZESD Servicio pesado No. de parte	RGZZESD A prueba de explosión Catálogo Spiridon
0.5	900	220/440	143T	1LA01438YK30	N/A	N/A
	1800	220/440	143T	1LA01434YK30	N/A	1MJ91434YP30
0.75	1200	220/440	143T	1LA01436YK30	N/A	1MJ91436YP30
	900	220/440	145T	1LA01458YK30	N/A	N/A
1	3600	220/440	143T	1LA01432YK30	1LA91432YK30*	1MJ91432YP30
	1800	220/440	143T	1LA01444YK30	1LA91444YK30*	1MJ91444YP30
	1200	220/440	145T	1LA01456YK30	1LA91456YK30*	1MJ91456YP30
	900	220/440	182T	1LA01828YK30	1LA91828YK30*	1MJ91828YP30
1.5	3600	220/440	143T	1LA01442YK30	1LA91442YK30*	1MJ91442YP30
	1800	220/440	145T	1LA01454YK30	1LA91454YK30*	1MJ91454YP30
	1200	220/440	182T	1LA01826YK30	1LA91826YK30*	1MJ91826YP30
	900	220/440	184T	1LA01848YK30	1LA91848YK30*	1MJ91848YP30
2	3600	220/440	145T	1LA01452YK30	1LA91452YK30*	1MJ91452YP30
	1800	220/440	145T	1LA01464YK30	1LA91464YK30*	1MJ91464YP30
	1200	220/440	184T	1LA01846YK30	1LA91846YK30*	1MJ91846YP30
	900	220/440	213T	1LA02138YK30	1LA92138YK30*	1MJ92138YP30
3	3600	220/440	182T	A7B82500006685	1LA91822YK30*	1MJ91822YP30
	1800	220/440	182T	1LA01824YK30	1LA91824YK30*	1MJ91824YP30
	1200	220/440	213T	1LA02136YK30	1LA92136YK30*	1MJ92136YP30
	900	220/440	215T	1LA02158YK30	1LA92158YK30*	1MJ92158YP30
5	3600	220/440	184T	1LA01842YK30	1LA91842YK30*	1MJ91842YP30

$P = 0,1 \text{ KW}$

$n = 900 \text{ RPM}$

$f = 60 \text{ Hz}$

Nro. de polos = 8 polos

Eficiencia = 41,3% (nominal)

$\cos \varphi = 0,69$, $T_a/T_n = 2,0$

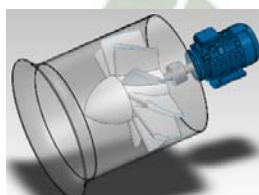
$T_m/T_n = 1,8$, $T_M/T_n = 2,4$

$I_a/I_n = 2,1$, $I_n = 1,05 \text{ A}$ (a 220 conexión delta)

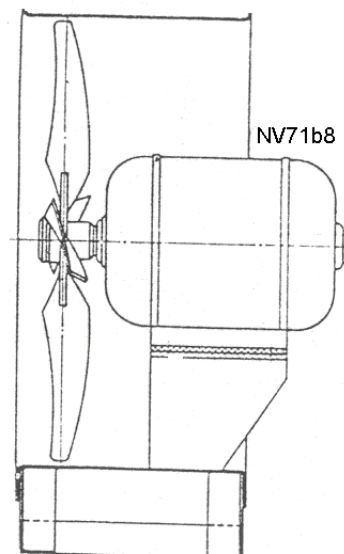
$I_{\text{rotor}} = 0,0041 \text{ kg.m}^2$

Peso del motor = 10,3 kg

Se ha escogido un motor de la serie NV por ser los de menor costo y porque no se necesitan características especiales para este caso.



Simulación para análisis con CFD (**Computational Fluid Dynamics**)



ANEXO 3

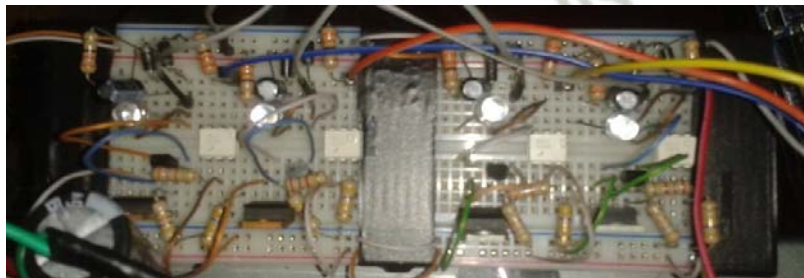
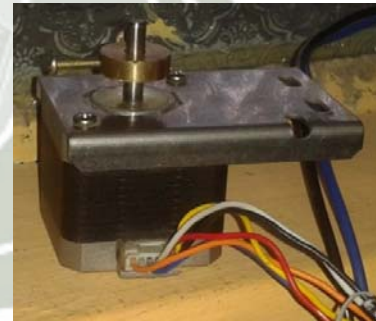
Automatización y Control usando ARDUINO

SENSORES Y ACTUADORES A UTILIZAR PARA LA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL SECADOR SOLAR CON ARDUINO

La automatización y control hoy en día se hace indispensable, aún más en el control de temperatura y humedad del secador solar, permitirá mantener la temperatura dentro de 50°C a 60°C, aun cuando la radiación solar varía durante el día, esto variando el flujo de aire que pasa por la cámara de secado, y la regulación de compuerta de salida del aire en función de la humedad. La automatización controla un grupo de ventiladores en medio del colector, por temperatura y un ventilador debajo de la cámara de secado por timer, los mismos pueden ser seteados a valores predeterminados. Tiene sensor de humedad en parte superior de la cámara de secado para evitar salida del aire con baja humedad, permitiendo abrir o cerrar compuerta con el motor de paso, en función a la humedad. También puede controlar el color del páprika, con los sensores respectivos. Se hace una pequena descripción del sistema.

MOTOR PASO A PASO UNIPOLAR: Va a ser utilizado para el control de la compuerta montada en la chimenea; cada paso que va a dar es de 1.8 grados a 5 voltios.

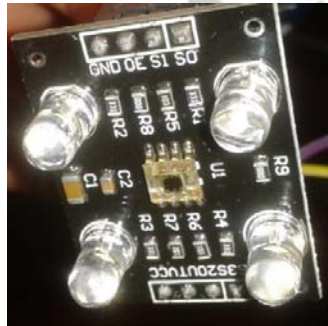
CONTROL DE MOTOR PASO A PASO UNIPOLAR: Disenado para manejar un motor paso a paso unipolar o bipolar de hasta 25 VDC con una capacidad de dos 2 Amperios, con optoacoplador para proteger las salidas del ARDUINO.



SENSOR DE HUMEDAD DHT2: Sensores de humedad DHT22 con un rango de 0 a 100% de HR.



SENSOR DE TEMPERATURA: A diferencia de los otros sensores analógicos del secador usados anteriormente, esta vez se ha mejorado con unos sensores digitales con recubrimiento externo.



SENSOR DE RECONOCIMIENTO DE COLOR TCS230: Con este sensor podemos reconocer el color del páprika o cualquier producto que deseemos saber.



SENSOR DE LUZ BH1750: Este sensor ya viene calibrado para determinar el nivel de lux en el ambiente.

DISPOSITIVO DE ALMACENAMIENTO MICRO SD TF CARD MEMORY SHIELD: Con este dispositivo podemos guardar los valores captados en una micro sd.

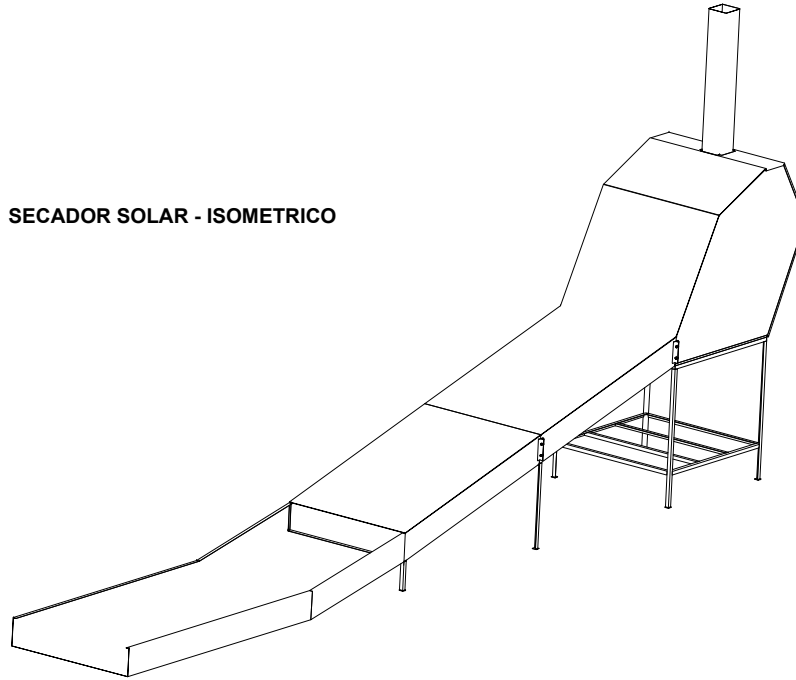


ANEXO 4

PLANOS del modelo industria

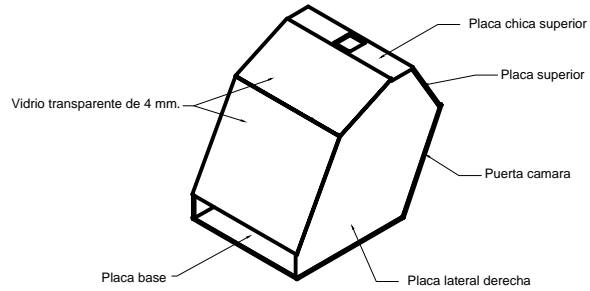


SECADOR SOLAR - ISOMETRICO



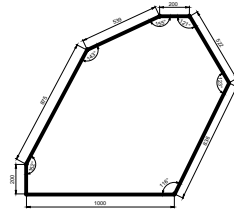
	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
<i>Dibujado</i>	10 / 07 / 18	CARLOS OSWALDO PEREZLOPEZ RAMBONA		
<i>Revisado</i>	10 / 07 / 18	CARLOS OSWALDO PEREZLOPEZ RAMBONA		
	DISEÑO DE SECADOR SOLAR PARA 200 KG DE AJI PAPRIKA			PLANO 01 DE 04 ISOMETRICO
				REVISION: 1
				Firma:

ISOMETRICO- CAMARA SECADOR

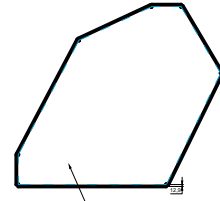


Placa lateral Derecha

Vista Frontal



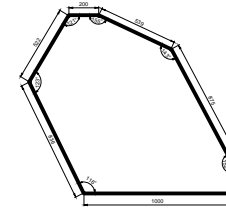
Desarrollo



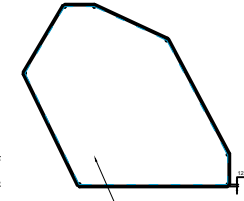
Plancha galvanizada 1/27"

Placa lateral Izquierda

Vista Frontal



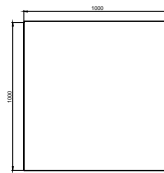
Desarrollo



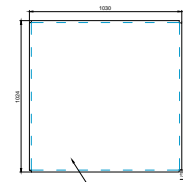
Plancha galvanizada 1/27"

Placa base

Vista Frontal



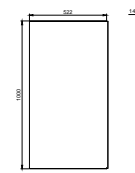
Desarrollo



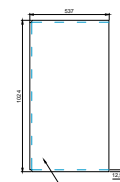
Plancha galvanizada 1/27"

Placa superior

Vista Frontal



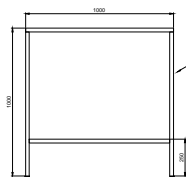
Desarrollo



Plancha galvanizada 1/27"

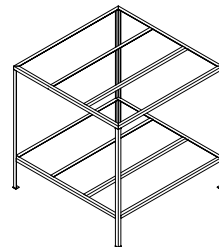
BASE - CAMARA SECADOR

Vista Frontal

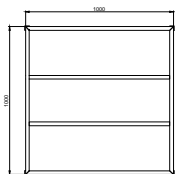


Ángulo de 1" x 1/8"

Isometrico

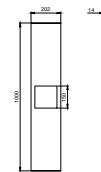


Vista Superior

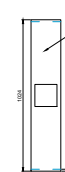


Placa chica superior

Vista Frontal



Desarrollo



Plancha galvanizada 1/27"

	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado	10 / 07 / 12	CARLOS OSWALDO PEREZ/ENRIQUE BARRERA		
Revisado	10 / 07 / 12	CARLOS OSWALDO PEREZ/ENRIQUE BARRERA		
	DISEÑO DE SECADOR SOLAR PARA 200 KG DE AJI PAPIKA			PLANO 02 DE 04 VISTA Y DETALLES
				REVISION: 1
				Firma:

Chimenea - camara

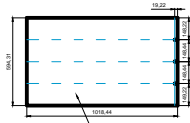
Isometrico



Vista Frontal

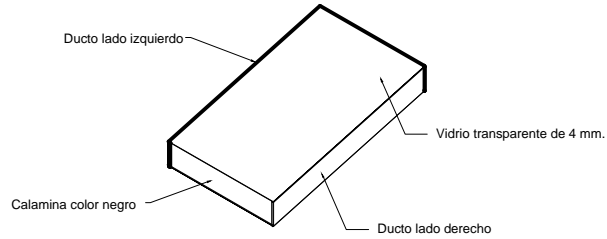


Desarrollo



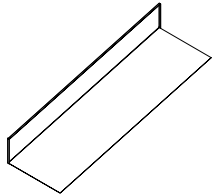
Plancha galvanizada 1/27"

ISOMETRICO - DUCTO

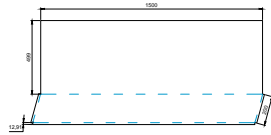


Ducto - lado izquierdo

Isometrico

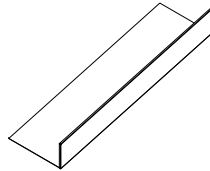


Desarrollo

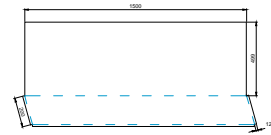


Ducto - lado derecho

Isometrico

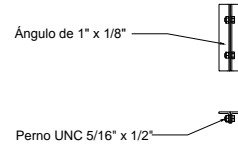


Desarrollo



Angulos de sujecion

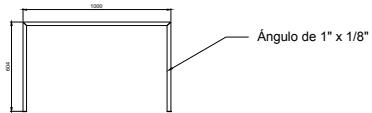
Vista Frontal



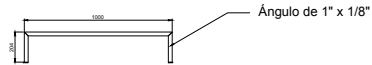
Isometrico



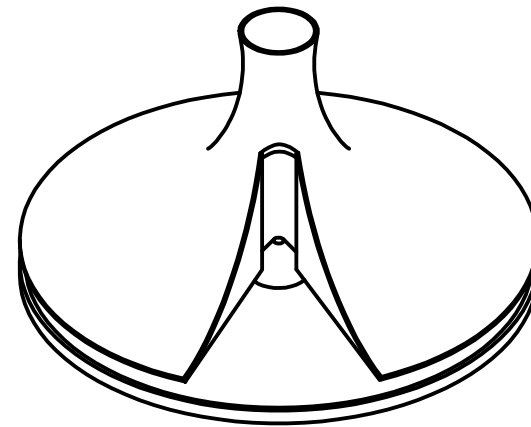
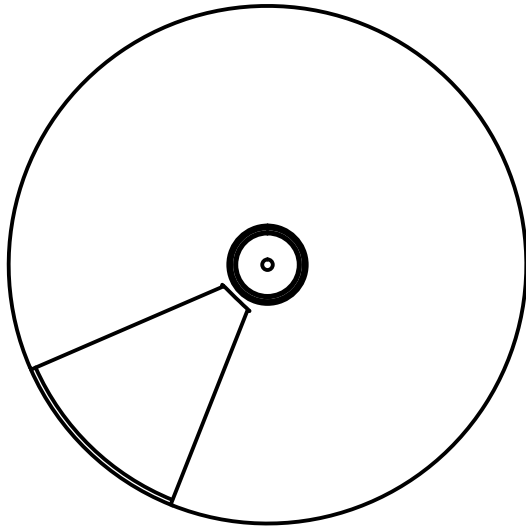
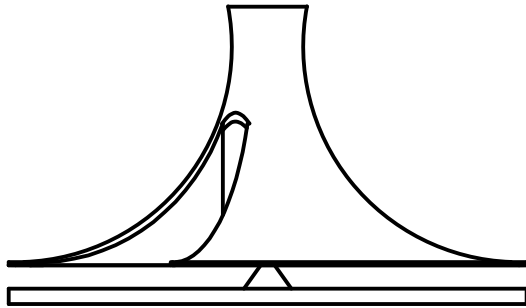
Soporte ducto - grande



Soporte ducto - pequeño



	Fecha	Nombre		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Dibujado	18 / 07 / 18	CARLOS OSWALDO FERRERES BARRERA		
Revisado	18 / 07 / 18	CARLOS OSWALDO FERRERES BARRERA		
	DISEÑO DE SECADOR SOLAR PARA 200 KG DE AJI PAPRIKA			PLANO 03 DE 04 VISTA Y DETALLES
				REVISION: 1
				Firma:



	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>		UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
<i>Dibujado</i>	10 / 07 / 18	CARLOS OSWALDO PEREZLOPEZ RAMBONA		
<i>Revisado</i>	10 / 07 / 18	CARLOS OSWALDO PEREZLOPEZ RAMBONA		
	DISEÑO DE SECADOR SOLAR TIPO CHIMENEA DE AJI PAPIKA			PLANO 04 DE 04 VISTA Y DETALLES
				REVISION: 1
				<i>Firma:</i>