

# IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE SECADO PARA ALIMENTOS

## **AUTORES**

Juan Merino Plaza<sup>1</sup>, Fabiola Cornejo Zúñiga<sup>2</sup>

- <sup>1</sup>Ingeniero en alimentos especializado en Procesos industriales 2006; jmerino@espol.edu.ec
- <sup>2</sup>Director de Tesis, Maestría en Ciencias de Alimentos, University of Massachusetts Amherst, USA, Ingeniera en Alimentos, Escuela Superior Politécnica del Litoral (1996 – 2000), Diplomado en Organización de Pequeñas Empresas, (1995 – 1996), Tecnóloga en Alimentos, (1992 – 1995), Escuela Superior Politécnica del Litoral, fcornejo@espol.edu.ec.

## **RESUMEN**

El presente trabajo se basa en la implementación de un secador de bandeja para la elaboración de prácticas aplicables a diferentes materias dictadas en la carrera de Ingeniería en Alimentos. El artículo describe las partes del secador de bandeja y las prácticas propuestas para cada materia.

This work describe the implementation of an airdryer for foods, in order to creat practices that will be applied to different courses of the Food Engineering carrer. The articule shows the parts of drier and describe all the practice that could be done in it.

## **INTRODUCCION**

El objetivo de esta tesis fue implementar un equipo de secado que permirá una mejor comprensión de lo que representan diversos procesos de operaciones unitarias durante el proceso de secado.

El propósito de la construcción del secador de bandejas es potenciar a la ESPOL y a la carrera de Ingeniería en Alimentos en la preparación de sus estudiantes. Se han desarrollado prácticas para las materias en donde se pueda utilizar el secador, como Introducción a la Ingeniería en alimentos, Balance de materia y energía, Operaciones Unitarias 1, Operaciones Unitarias 2, Operaciones Unitarias 3 y Deshidratación y Secado de alimentos. Adicionalmente en materias en donde se realizan proyectos que consisten en

crear nuevos productos como Procesamiento de alimentos 1 y 3 que tratan de la manipulación con frutas y hortalizas y de carnes y pescados respectivamente, el secador podría representar una variante para estos estudiantes.

## **CONTENIDO**

### **CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR DE BANDEJA**

Los secaderos de bandeja son secaderos de pequeña escala usados en laboratorios y plantas piloto para experimentar sobre secado de diversos materiales <sup>(3)</sup>.

El compartimiento de secado tiene aproximadamente 0.105 m<sup>3</sup> de capacidad y es equipado con una puerta de acceso de vidrio. Una bandeja, con una capacidad de almacenamiento de sólido de 4 kg aproximadamente, se encuentra ubicada dentro de la cámara. <sup>(9)</sup>

En la parte superior del secador se ha acoplado una balanza gramera ha la que se le ha alargado el plato en donde se ubica la muestra, de tal forma que este se encuentre dentro de la campana de secado.

Se cuenta con un interruptor general que es quien activa el paso de corriente al equipo, un panel de control en donde se encuentran ubicados los interruptores para encendido del blower y un selector para variar la velocidad; adicionalmente un selector para variar la potencia de las resistencias las que están directamente relacionadas con la variación de la temperatura. <sup>(9)</sup>

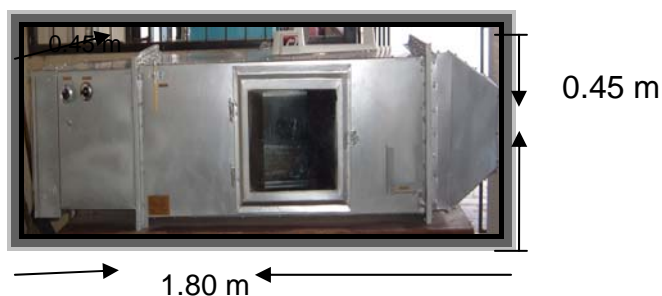


**Foto 1.** Botoneras



**Foto 2.** Perillas

### **Estructura externa del secador y sus dimensiones**



**Foto 3.** Secador de bandeja

### **Partes del secador**

#### **Blower**

El funcionamiento de un ventilador centrifugo varia con los cambios de condiciones, como la temperatura, la velocidad y de la densidad del gas que se maneje. <sup>(4)</sup>

Las velocidades que se alcanzan luego de hacer variaciones en el voltaje del blower son:

$$R \rightarrow V1 = 70CFM = 7.34m / s$$

$$S \rightarrow V2 = 50CFM = 5.24m / s$$

$$T \rightarrow V3 = 40CFM = 4.19m / s$$

## **Instrumentos de medición**

### Balanza

La balanza romana (brazos iguales y desiguales) pesan masas, es decir son independientes de la aceleración de la gravedad  $g$ . La romana (compensación exclusivamente por peso móvil) facilita el montaje con impresión de talones de peso. <sup>(9)</sup>

### Termo higrómetro

Los higrómetros eléctricos miden la resistencia eléctrica de una capa de materiales que absorben la humedad, expuestos al gas. Se han empleado gran variedad de elementos sensores.

Su operación consiste en medir temperatura y humedad relativa.



**Foto 4.** Termohigrómetro

### Termómetro bimetalico de bolsillo

El bimetálico termostático se define como un material compuesto que constan de tiras o fletos de dos o mas metales unidos entre si. Debido a los diferentes índices de expansión de sus componentes, esta composición tiende a cambiar de curvatura cuando se somete a una variación de temperatura. <sup>(9)</sup>

## **Instrumentos de control**

### Breaker doble 40 AMP

Este aparato permite que la temperatura se mantenga en el rango establecido.

### Botonera ON/OFF

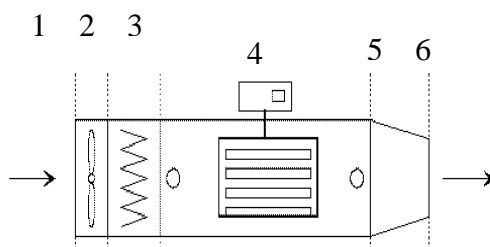
Las botoneras desempeñan un papel clave en la comunicación hombre-máquina. Una botonera de este tipo abre el paso de una señal que activa el sistema y según el sistema universal es de color verde; la de color rojo es quien detiene el paso de la corriente y hace que el sistema se apague. Para poder cumplir su tarea, deben tener un alto grado de funcionalidad.<sup>(9)</sup>

#### Termostato para horno de rango 50 – 300 °C

Interruptor que controla la temperatura cambiante. Sus funciones normales son finalizar un ciclo, mantener una temperatura constante, o apagar y encender el electrodoméstico.<sup>(9)</sup>

#### **Esquema del secador de bandeja**

El esquema del secador que sigue se indica por medio de números y que se mencionan:



**Figura 1.** Esquema del secador construido <sup>(12)</sup>

1. Caja de instalaciones eléctricas
2. Ventilador (blower).
3. Banco de resistencias.
4. Balanza analógica ubicada sobre la bandeja.
5. y 6. Cámara para estrangulamiento del aire.

#### **Método de operación del secador de bandeja**

Dependiendo de la muestra que se vaya a secar y en que tiempo se lo quiera hacer se debe de variar los parámetros que son fundamentales en un proceso de secado como son la temperatura y la velocidad del aire.<sup>(13)</sup>

Para operar el secador de bandeja correctamente, se ha realizado el siguiente esquema que facilita su uso del secador.

1. Obtener muestras de igual tamaño y forma del producto que se desea secar.
2. Abrir la puerta del secador.
3. Ubicar las muestras del producto a secar en la bandeja y una de ellas en la canastilla para realizar el estudio.
4. Cerrar la puerta del secador.
5. Conectar el enchufe en la toma corriente.
6. Regular el flujo de aire de la operación con la perilla 1
7. Colocar la temperatura necesaria para la operación con la perilla 2

8. Encender el equipo presionando el botón de color verde
9. Ubique el termohigrómetro frente al vidrio, dispare el sensor láser y constate la temperatura seleccionada con la perilla.
10. Establecer el intervalo de tiempo deseado para registrar la pérdida de peso
11. Anotar la variación de peso hasta que esta se vuelva constante.
12. Para apagar el equipo presione el botón de color rojo y deje enfriar hasta que lea 45°C en el termómetro de bolsillo.
13. Regrese todas las perillas a cero
14. Retire la muestra seca
15. Retire cualquier resto del producto que se encuentre en el secador
16. Cierre la puerta
17. Desconecte el equipo

## Guía de Practicas

### Introducción a la Ingeniería en Alimentos

- El objetivo de esta practica es familiarizarse con el equipo de secado, conocer los instrumentos que forman parte del secador, aprender a leer la tabla psicrométrica y determinar humedad absoluta, flujo volumétrico, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco

Los resultados que se obtienen de esta práctica es el siguiente:

**Tabla 1.** Valores obtenidos de la carta psicrometrica

<i>Tbs</i>	<i>Tbh</i>	<i>Hr</i>	<b>Ha</b>	<b>H1</b>
65 °C	45 °C	32 %	4.050(KJ/Kg aire seco)	0.042(Kg agua/Kg aire seco)
75 °C	53 °C	30 %	4.500(KJ/Kg aire seco)	0.085(Kg agua/Kg aire seco)

### Balance de materia

El objetivo es realizar un balance de materia en un secador con flujo de aire constante y determinar la cantidad de agua que pierde el producto durante un proceso de secado a diferentes tiempos y temperaturas. Los resultados que se obtiene luego de los cálculos pertinentes son:

**Tabla 2.** Valores de masa inicial y final del producto y del aire a diferentes temperaturas

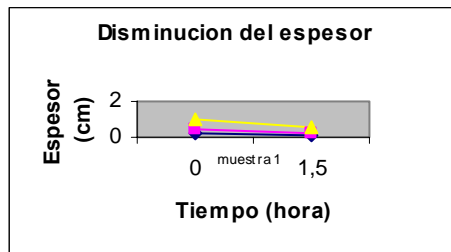
Masa de producto (cantidad de agua)			Masa de aire (cantidad de agua)		
Humedad producto base seca			Humedad del aire		
°T	Inicial -----	final	°T	Inicial -----	final
65°C	2.6875 x10 <sup>-3</sup> Kg.H <sub>2</sub> O/Kg s.s	0.0353 Kg.H <sub>2</sub> O/Kgs.s	65°C	2.6875 Kg Kg H <sub>2</sub> O/h	0.0353 Kg H <sub>2</sub> O/h
75°C	2.6875 x10 <sup>-3</sup> Kg.H <sub>2</sub> O/Kg s.s	0.0240 Kg.H <sub>2</sub> O/Kgs.s	75°C	0.085 Kg H <sub>2</sub> O/h	0.1316 Kg H <sub>2</sub> O/h

**Influencia del espesor de la muestra en un proceso de secado**

- El objetivo de esta practica es determinar la influencia del espesor de la muestra en el proceso de secado midiendo su humedad final a un mismo tiempo, y los resultados que se obtienen luego del secado a un determinado tiempo es:

**Tabla 3.** Valores de humedad final a diferentes espesores

Muestras (dimensiones)	H1 (porcentaje)	H2(porcentaje)
0.25 cm.	85%	14 %
0.5 cm.	85%	25 %
1 cm.	85%	49 %



*Figura 2. Disminución del espesor vs tiempo*

**Balance de materia y energía**

Que tiene como objetivo obtener la cantidad de calor que se añade al producto durante el proceso de secado

Para lo que es necesario calcular entre otras cosas:

**Tabla 4.** Valores de entalpía del producto

Valores de Hs	65 °C	75 °C
Entrada del producto	69095 KJ/Kg s.s	69095.75 KJ/Kg s.s

Salida del producto	154120.875 KJ/Kg s.s	167235.136 KJ/Kg s.s
---------------------	----------------------	----------------------

Para obtener: **Tabla 5.** Calor que necesita el producto para secar

<b>Calor entregado por fuente externa</b>	<b>65 °C</b>	<b>75 °C</b>
Q	73946.72	85362.61

### **Operaciones Unitaria I**

#### **Calculo del número de Reynolds**

El cual tiene como objetivo Determinar el número de Reynolds en el secador de bandeja a diferentes flujos de aire, y con sus cálculos se puede determinar el mismo que se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 6.** Valores del número de Reynolds

°T	D (m)	V(m/s)	$\mu$ (Pa.s)	$\rho$ (Kg./m <sup>3</sup> )	Re
25 °C	0.0762	4.19	$18.682 \times 10^{-6}$	1.127	19260.6
60°C	0.0762	4.19	19.907	1.025	16439.4

### **Operaciones Unitaria II**

#### **Coefficiente de Transmisión de calor**

El Objetivo es determinar el coeficiente de transmisión de calor por convección de un producto colocado en un secador de bandeja a velocidad de aire y temperatura constante y el resultado que se obtiene luego de realizar los cálculos pertinentes son:

**Tabla 7.** Valores del coeficiente de transferencia de calor y densidad de flujo másico

	Temperatura		
	60 °C	70 °C	80 °C
<b>G (kg/m<sup>2</sup>h)</b>	15461.1	15023.7	19601.3
<b>h (w/m<sup>2</sup>h°K)</b>	45.82	44.78	43.77

Influencia de la velocidad de aire en el coeficiente de transferencia de calor

El Objetivo es Determinar como afecta la variación de la velocidad en el coeficiente convectivo de transferencia de calor.

El resultado que se obtienen luego de los diferentes cálculos son:

**Tabla 8.** Valores de densidad, densidad de flujo másico y coeficiente convectivo de transferencia de calor a diferentes velocidades

V (m/s)	$\rho$	G	h
<b>R = 7.34</b>	1.025	27084.6	71.75
<b>S = 5.24</b>	1.025	19335.6	54.79
<b>T = 4.19</b>	1.025	15461.1	45.82

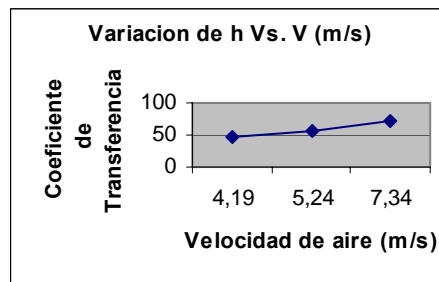


Figura. 3 Variación de h vs V (m/s)

### Operaciones Unitarias III

#### Determinación del coeficiente de difusión de transferencia de masa

##### Objetivos

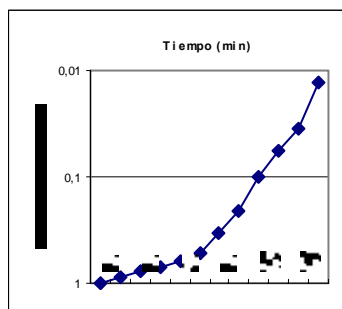
- Determinar los valores del coeficiente de difusión de transferencia de masa y comprobar la aplicación de la ley de Fick y obtener información sobre el mecanismo de transferencia de agua, durante la deshidratación de frutas.

El resultado que se obtiene de la grafica obteniendo la pendiente del mismo es:

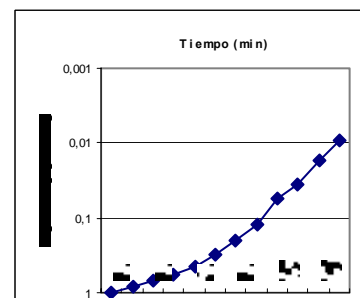
**Tabla 9.** Valores del coeficiente de difusión en secado de plátano a 65 y 75 °C



Muestra	Deff
Plátano (65°C)	0.0105
Plátano (75°C)	0.0142



**Figura. 4** Grafico experimental para determinar Deff a 65°C



**Figura 5.** Grafica experimental para obtener Deff a 75°C

### **Deshidratación y Secado**

#### **Calculo de periodo de velocidad constante**

En donde se tiene como principal objetivo calcular el valor total de evaporación (VTE) y de donde se obtienen:

**Tabla 10.** Valores de velocidad de secado y de velocidad total de evaporación a una misma área

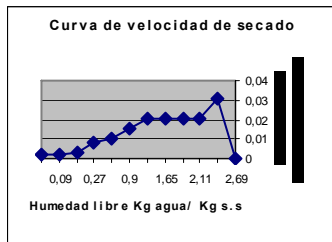
Muestra	A	Rc	VTE
Plátano (65°C)	$9.62 \times 10^{-4} \text{m}^2$	1.37 Kg/hm <sup>2</sup>	$1.3 \times 10^{-3}$ Kg/h
Plátano (75°C)	$9.62 \times 10^{-4} \text{m}^2$	1.46 Kg/hm <sup>2</sup>	$1.4 \times 10^{-3}$ Kg/h

#### **Calculo de periodo de velocidad decreciente**

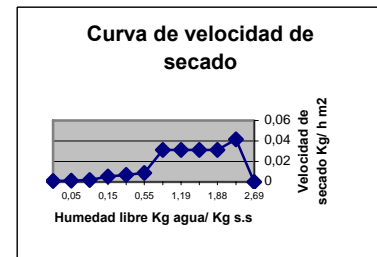
Cuyo objetivo es Determinar la velocidad de secado para el régimen de velocidad decreciente; y los resultados que se obtienen según cálculos a diferente temperatura son:

**Tabla 11.** Valores de velocidad de secado en el periodo decreciente

Muestra	Rd (65°C)	Rd (75°C)
Plátano	$7.6 \times 10^{-4}$	$7.3 \times 10^{-4}$



**Figura. 6** Curva de velocidad de secado a 65°C



**Figura. 7** Curva de velocidad de secado a 75°C

### Calculo de tiempo de secado

En donde el Objetivo principal es determinar el tiempo total de secado el cual consta de dos etapas, el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente para diferentes frutos.

Luego del procedimiento recomendado los resultados obtenidos son:

**Tabla 12.** Valores del tiempo total de secado

Muestra	Tc(horas)	Td(horas)	Tts(horas)
Plátano(65°C)	0.71	2.89	3.6
Plátano(75°C)	0.94	1.53	2.47

### Conclusiones

En un proceso de secado existen factores muy importantes que se pueden variar durante el mismo; pero son solo dos quienes se constituyen en los verdaderos protagonistas del proceso. La temperatura y la velocidad del aire marcan la forma, la calidad y el tiempo en que se llevara a cabo este proceso.

En este secador es posible el secado de frutas sin destruir mayormente la calidad de la misma. La textura de los alimentos es el parámetro de calidad que mas se modifica con la desecación.

La variación en la textura depende también de las condiciones del desecador, por ejemplo, si se usan velocidades de deshidratación rápidas y temperaturas elevadas los cambios serán mas pronunciados que con flujos y temperaturas mas bajas, y es por este motivo que no

recomendamos secar a temperaturas superiores a 75 Centígrados. Este fenómeno sucede de la siguiente forma: a medida que el agua va eliminándose, los solutos se desplazan hacia la superficie del alimento. Si las temperaturas son elevadas la evaporación del agua hace que la concentración de solutos en la superficie aumente lo que conduce a la formación de una capa superficial dura e impenetrable. Este fenómeno se llama acortezamiento y reduce la velocidad de deshidratación dando lugar a un alimento seco en su superficie pero húmedo en su interior.

El aumento de la velocidad del aire en un proceso de secado ocasiona que aumente el flujo del mismo que pasa a través del producto por lo que aumenta el valor del coeficiente global de transferencia de calor. El inconveniente que se presenta por una velocidad alta es el daño del producto por arrastre en la superficie.

Con lo que se concluye que para el secado de plátano los mejores parámetros de operación (según a calidad de producto final) son 4.19 m/s de velocidad de aire que se obtiene moviendo la perilla hasta la letra T y ubicando una temperatura de 65 °C, con esto se estima que el tiempo de secado sea de 4 horas para plátano de seda con 72.9 g de agua/ 100 g de peso de producto de humedad inicial y llegando hasta 0.0353 humedad en base seca.

#### **REFERENCIAS**

##### **a) Libro con edición**

Geankopolis, Cristie J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias, Prentice – may, Inc., México, 1998, Tercera Edición.

##### **b) Libro con edición**

Hutte, MANUAL DEL INGENIERO DE TALLER, editorial Gustavo Gili. S.A., Barcelona España 1978, tomo 1.