



Diseño operacional y construcción de un secador móvil para productos agrícolas.

Operational design and construction of a mobile dryer for agricultural products

Carlos Job Fiestas Urbina¹; Benigno Benito Lizárraga Zavaleta²; Manuel José Jiménez Escobedo²

RESUMEN

Objetivo: Construir un prototipo de secador de productos agrícolas a nivel de banco de laboratorio. **Métodos:** Se ha diseñado y construido un secador de productos agrícolas conformado por cuatro módulos: a) sistema de impulsión de aire, b) sistema de medición de la velocidad del aire de entrada, c) sistema de calefacción, d) túnel de secado. A la entrada y a la salida del túnel de secado se han instalado dos termómetros para medir la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo en cada posición, asimismo de un barómetro de Bourdon para medir la presión atmosférica del lugar. El sistema de medición del aire de entrada está conformado por un tubo de Pitot y un micro manómetro diferencial. El sistema de impulsión de aire es un ventilador alimentado con energía eléctrica. El sistema de calefacción está conformado por resistencias eléctricas de nicrom que operan a cuatro niveles de potencia de calefacción: 1) 484 (W), 2) 242 (W), 121 (W), 60.5 (W); una rejilla metálica para captar por conducción el calor generado por la resistencia eléctrica el cual es transferido por convección al flujo de aire. El túnel de secado contiene dos bandejas porta alimentos. Los sistemas modulares están ensamblados en tubos de PVC de 16 (cm) de diámetro y están asentados al pie de soportes metálicos.

Resultados: En una corrida de prueba se determinaron las siguientes características técnicas del secador de productos agrícolas: La longitud del secador: 114 (cm), diámetro interno del secador: 16 (cm), sistema de ventilación: ventilador eléctrico, 110 (VAC) de 50 – 60 (Hz), potencia de consumo eléctrico 15 (W), frecuencia del rotor: 3600 rpm., diámetro interno: 16 (cm). Sistema de medición del flujo de aire: tubo de Pitot. El costo de operación en energía estimado para un proceso de secado de 6 horas con una carga útil de 2 Kg por lote fue 0.08725 (S/./Kg/h). **Conclusiones:** Se ha logrado la construcción de un prototipo de secador de productos agrícolas a nivel de banco de laboratorio, con todos los instrumentos de medición requeridos para realizar estudios de investigación sobre las variables de interés en el proceso de secado de productos agrícolas.

Palabras clave: Secador, bandejas, productos agrícolas, diseño operacional, construcción.

ABSTRACT

Objective: To build a prototype of agricultural dryer for products at laboratory seat level. **Methods:** We designed and built a dryer for agricultural products composed of four modules: a) air drive system, b) measurement system air velocity input, c) heating system, d) drying tunnel. At the entrance and exit of the tunnel dryer were installed two thermometers to measure the temperature of dry bulb and wet bulb temperature at each position, also a Bourdon barometer to measure atmospheric pressure instead. The measuring system air inlet is formed by a Pitot tube and a differential micro manometer. The air drive system was an electrically powered fan. The heating system consists of nichrome resistors operating at four levels of heating power: 1) 484 (W), 2)

1 Facultad de Ciencias, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Email: carfieur@yahoo.es

2 Facultad de Ingeniería química y metalúrgica, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.



242 (W) 121 (W) 60.5 (W); a metal conductive grille to capture heat generated by the electric resistance which is transferred by convection to flow drying tunnel air, contains two food trays. Modular systems are assembled in PVC of 16 (cm) in diameter and are seated on metal supports foot. **Results:** The length of hair: 114 (cm) inside diameter of the dryer: 16 (cm) Ventilation System: In a test run the following technical characteristics dryer agricultural products were determined Electric Fan, 110 (VAC) of 50 - 60 (Hz), electric power consumption 15 (W), rotor frequency: 3600 rpm, internal diameter. 16 (cm) measuring .System airflow: Pitot tube. The energy operating cost estimated for a drying process 6 hours with a payload of 2 kg per batch was 0.08725 (S /./ Kg / h). **Conclusions:** There has been building a prototype dryer agricultural products at laboratory bench with all the measuring instruments required to conduct research on the variables of interest in the drying of agricultural products. **Keywords:** Drier, agricultural products, operational design, construction.

INTRODUCCIÓN

Para presentar el secador de bandejas, su diseño y construcción, se usó el método reduccionista, en el cual explicamos el diseño y construcción de cada una de las etapas del sistema por separado.

La primera etapa correspondió a la medición de la velocidad del aire de entrada, conformada por un tubo de PVC de diámetro interno $\phi = 16$ (cm), tubo de Pitot, y un micro manómetro diferencial de alcohol.

La segunda etapa correspondió al sistema de impulsión de aire, consistente en un tubo de PVC de diámetro $\phi = 16$ (cm), un ventilador eléctrico Fem = 110 (VAC), potencia eléctrica = 15 (W).

La tercera etapa correspondió al sistema de calefacción, el cual es un circuito de resistencias óhmicas que irradian calor a cuatro niveles de potencia: 484 (W), 242 (W), 121 (W), 60.5 (W), los cuales se seleccionan teniendo en consideración el material a secar.

La cuarta etapa fue un túnel de secado que contenía dos bandejas, donde se colocaron los productos agrícolas que se deseaba secar.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Figura N° 01: Diseño del secador móvil para productos agrícolas

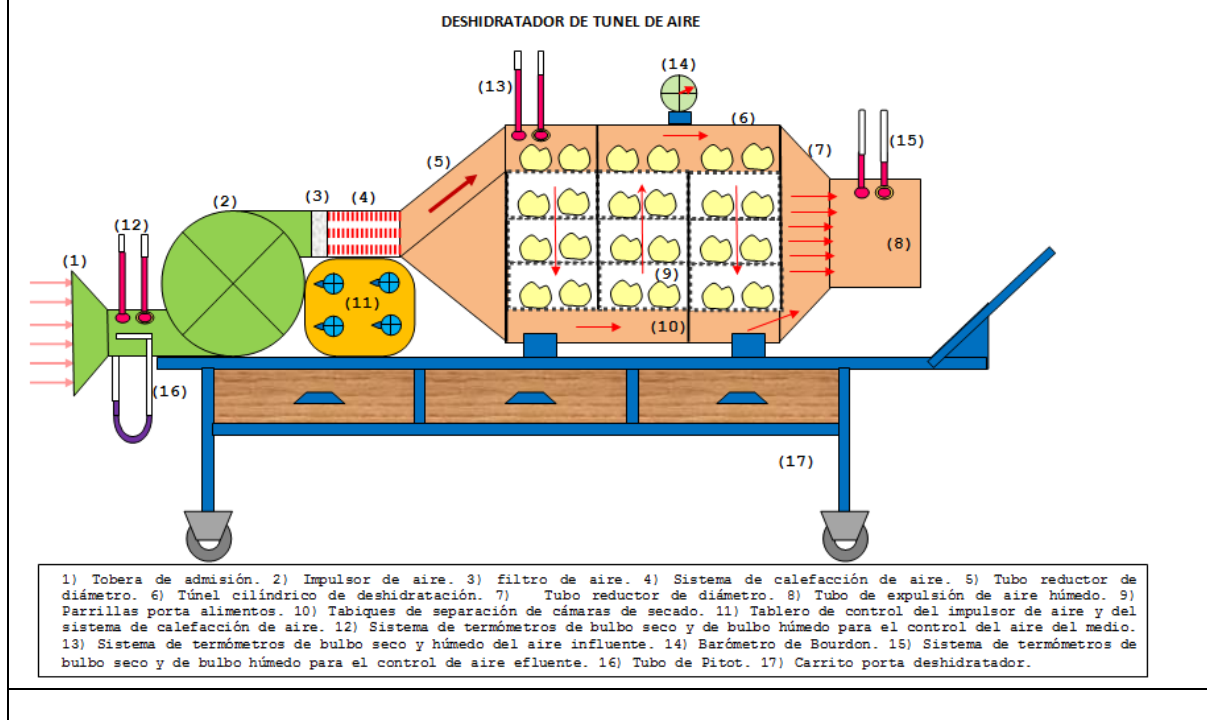


Figura N° 02: Fotografía del modelo de secador de productos agrícolas construido en el Laboratorio de Física I de la UNJFSC.



Sistema de impulsión de aire

La función del impulsor de aire es crear un flujo de aire a través del túnel de secado.

El sistema de impulsión de aire está conformado por:

- 1) Un tubo de PVC de diámetro $\phi = 16$ (cm).
- 2) Un ventilador asíncrono, alimentado por energía eléctrica de $F_{em} = 110$ (VAC), y potencia eléctrica = 15 (W).
- 3) Una fuente de energía eléctrica, $F_{em} = 110$ (VAC).

Figura N° 03: Diseño del sistema de impulsión de aire.

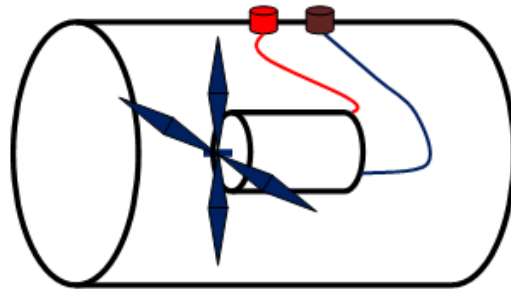


Figura N° 04: Fotografía del modelo de sistema de impulsión de aire, construido en el Laboratorio de Física I de la UNJFSC..





Sistema de medición de flujo de aire

Su función fue proporcionar los datos necesarios para determinar el flujo de aire en el túnel de secado.

En el esquema adjunto que se muestra, se presenta el sistema de medición de flujo de aire a la entrada y consistió en:

- 1) Un tubo de PVC de diámetro interno $\phi = 16$ (cm).
- 2) Un tubo de Pitot.
- 3) Un micro manómetro diferencial de alcohol

El flujo de aire se evaluó tomando la siguiente data.

ρ_l : densidad del líquido manométrico (alcohol etílico), (Kg/m^3)..

ρ_a : densidad del aire, (Kg/m^3)..

α : ángulo de inclinación, ($^\circ$).

L: longitud de la columna de líquido manométrico, (m).

g: aceleración de la gravedad, ($9.8 \text{ m}/\text{s}^2$)..

V_a : velocidad del aire, (m/s)..

ϕ : diámetro del tubo de PVC, (m)..

F: flujo másico de aire en el tubo, (Kg/s).

En el micro manómetro diferencial, se obtuvo la diferencia de presiones que ocurren en los ramales del tubo de Pitot.

$$P_1 - P_2 = \rho_l g L \text{sen}(\alpha) \quad (1)$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli en el tubo de Pitot, obtuvimos la velocidad del aire, según la expresión siguiente.

$$V_a = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho_a}} \quad (2)$$

El flujo de aire en el secador fue dado por la expresión siguiente.

$$F = \frac{\pi \phi^2 \rho_a V_a}{4} \quad (3)$$

Figura N° 05: Diseño del sistema de medición del flujo de aire.

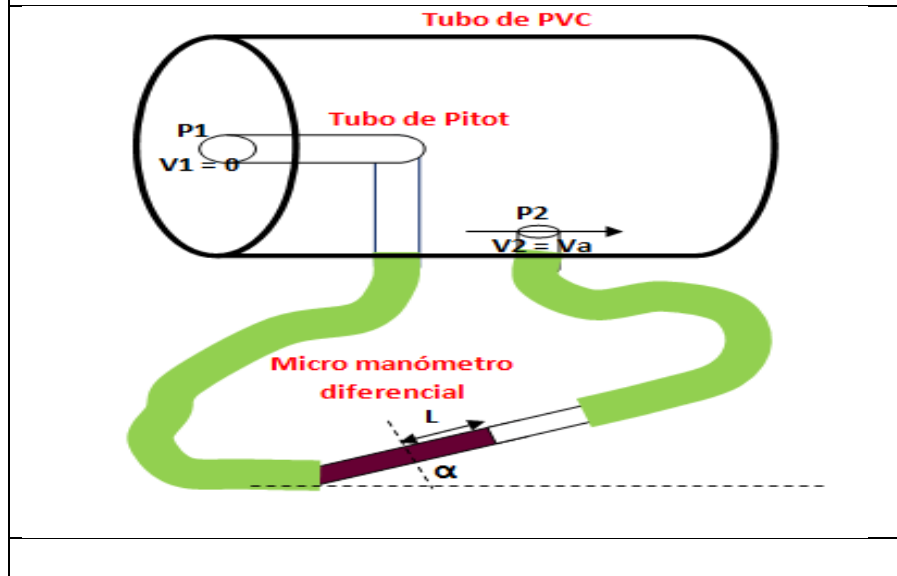
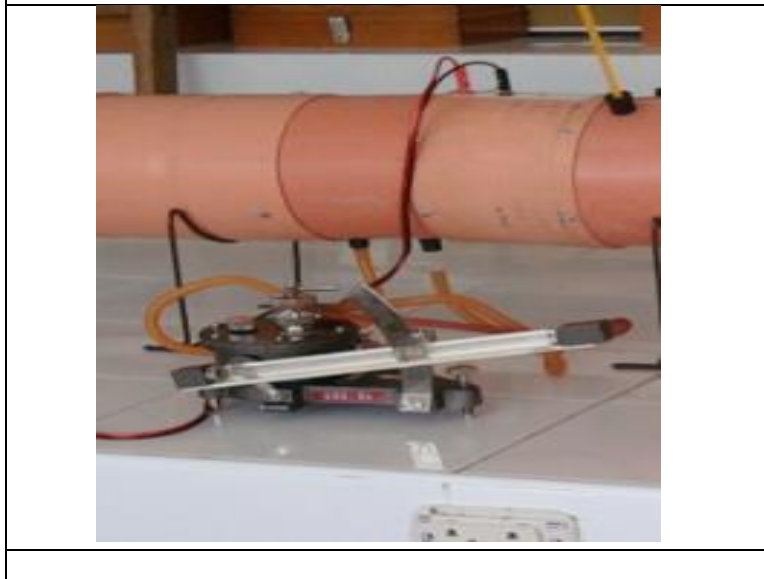


Figura # 06: Fotografía del sistema de medición del flujo de aire, construido en el laboratorio de Física I de la UNJFSC.



Sistema de calefacción

El sistema de calefacción aumentó la temperatura del flujo de aire, con el fin de bajar su composición de humedad.

El sistema de calefacción de aire estaba conformado por:

- 1) Un tubo de PVC de diámetro $\phi = 16$ (cm).
- 2) Una resistencia eléctrica de micrón que conectaba a una Fem = 220 (VAC) irradiando 484 (W) de energía calórica.
- 3) Una malla de alambre para captar por conducción, el calor de la resistencia eléctrica y transferirlo al flujo de aire circundante por convección.
- 4) Un interruptor biestable para seleccionar el nivel de potencia.

Figura N° 07: Diseño del sistema de calefacción de aire.

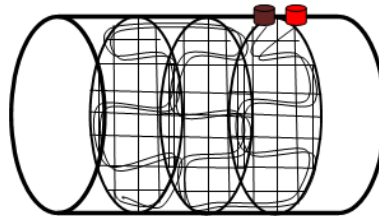


Figura N° 08: Fotografía del sistema de calefacción de aire, construido en el laboratorio de Física I de la UNJFSC.



Túnel de secado

El túnel de secado estaba conformado por los siguientes elementos:

- 1) Un tubo de PVC.
- 2) Dos soportes de bandeja.
- 3) Dos bandejas metálicas porta alimentos.

Figura # 09: Diseño del sistema túnel de secado de productos agrícolas.

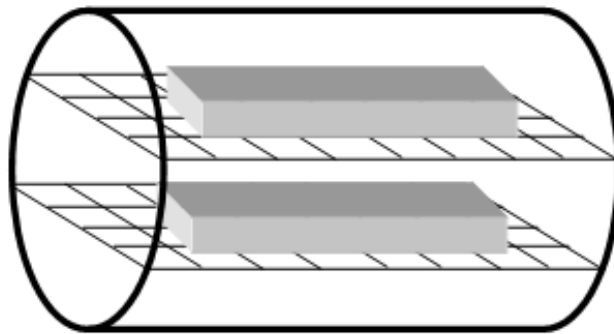
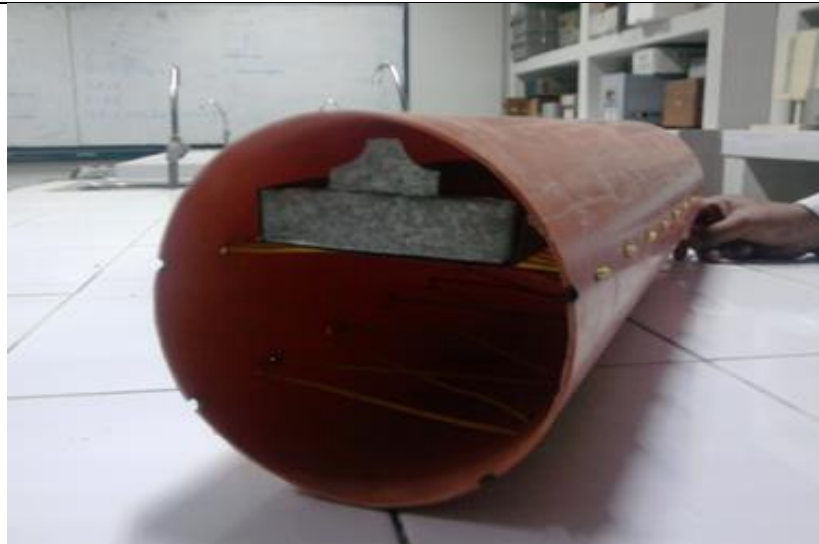


Figura N° 10: Fotografía del sistema túnel de secado, construido en el laboratorio de Física I de la UNJFSC.





Evaluación del secador de productos agrícolas

En una corrida de prueba se determinaron las siguientes características técnicas del secador de productos agrícolas:

Secador:

La longitud del secador: 114 (cm).

Diámetro interno del secador: 16 (cm).

Sistema de ventilación:

Ventilador eléctrico, 110 (VAC) de 50 – 60 (Hz). Potencia de consumo eléctrico 15 (W).

Frecuencia del rotor: 3600 rpm.

Diámetro interno: 16 (cm).

Sistema de medición del flujo de aire:

Tubo de Pitot: tubos de vidrio conformados para tubo de Pitot.

Micro manómetro de alcohol de densidad $0.909 \text{ (g/cm}^3\text{)}$. Inclinación del tubo manométrico respecto a la horizontal ($5^\circ - 90^\circ$).

Sistema de calefacción del flujo de aire:

Diámetro del tubo de calefacción 16 (cm).

Resistor óhmico de nícróm, resistencia eléctrica 484 (W) y 242 (W), alimentadas con energía eléctrica de 220 (VAC).

Sistema túnel de secado

Tubo de PVC de longitud efectiva 45 (cm).

Dos pisos porta bandeja.

Dos bandejas porta productos agrícolas.

Sistema de soporte

Tres pie soportes del secador.



Desempeño

Su desempeño fue tal que a la máxima potencia de calefacción, y temperatura del medio ambiente 24°C, se obtuvieron temperaturas del flujo de aire de entrada al túnel de secado entre 33° C y 56°C, que es el rango requerido para la función de secado de productos agrícolas.

Estimación de costos de operación en consumo de energía.

Considerando una operación de secado con una carga de 2 Kg de producto agrícola, con una duración de 6 horas:

- Potencia consumida (Pot) = 0.015 (KW) + 0.484 (KW) = 0.499 (KW).
- Tiempo de la operación (t) = 6 (h).
- Precio de la energía eléctrica Pr = 0.35 (S/./KW-h).
- Consumo de energía eléctrica (CEE) = (Pot) (t) = 0.499(KW) 6 (h) = 2.994 (KW-h).
- Costo de operación en energía (COE) = (CEE) (Pr) = 2.994 (KW-h) 0.35 (S/./KW-h) = S/. 1.047.
- Esto equivalía a un costo de 0.08725 (S/./Kg/h).

CONCLUSIONES

1. Se ha logrado la construcción de un prototipo de secador de productos agrícolas a nivel de banco de laboratorio, con todos los instrumentos de medición requeridos para realizar estudios de investigación sobre las variables de interés en el proceso de secado de productos agrícolas como higos, manzanas, duraznos, pasas, guindones, quinua, etc.
2. El costo de operación en energía, estimado para un proceso de secado que dure 6 horas con una carga útil de 2 Kg por lote es 0.08725 (S/./Kg/h).
3. Recomendamos hacer escalamiento para construir un secador semiindustrial tipo túnel, con tubos de diámetro 12 (plg).
4. Recomendamos realizar estudios de tesis sobre determinación de variables de secado para frutas de la región.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cengel, Y., Boles, M.B. (2009). Termodinámica. Edit. McGraw-Hill. México D. F.

Geankoplis C. (1995). Procesos de transferencia y operaciones unitarias. Edit. Continental. México D. F.

Giles Ranald V. (2010). Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. McGraw-Hill. México D.F.

Shames (2009). La mecánica de los fluidos. Edit. McGraw-Hill. México D. F.