

FACTIBILIDAD DEL SECADO SOLAR DE GRANOS EN SILO DE BASE CONICA.

M. Chiappero¹, J. M. Gauna¹, M. Medina^{1,2}, A. Gastón^{1,2}, M. A. Lara^{1,3}.

¹-Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. (UNR)

²-Consejo de Investigaciones. (UNR)

³-Instituto de Física Rosario –IFIR- (CONICET- UNR)

E-mail. chiappero_m@yahoo.com.ar/juanmag76@yahoo.com.ar/malara@fceia.unr.edu.ar/
Av. Pellegrini 250, (2000) Rosario. Argentina..

RESUMEN: En el siguiente trabajo se presenta el cálculo y la simulación de un silo secador de granos elevado de base cónica de 150 toneladas. Se efectuó la simulación numérica de la distribución de presiones y de las velocidades intragranulares para trigo a través del método de elementos finitos. Para ello se empleó el programa ALGOR (Versión 13.06-WIN,2001). Del análisis de los resultados se pudo observar que la distribución de presiones y velocidades son adecuadas para el secado de diferentes tipo de granos a baja temperatura en sistemas de silos a escalas intermedias. El secado es realizado por el precalentamiento del aire a través de un banco de colectores solares de diseño simple. Se realizó el cálculo de la superficie de colectores solares para lograr el incremento de temperatura del aire necesario para el secado de soja.

Palabra claves: Secado solar, silo, granos

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se muestra cómo con un silo de base cónica perforada (para la inyección de aire) se obtiene un secado satisfactorio a bajas temperaturas. Se define como secado de granos a bajas temperaturas el método artificial de secado que utiliza aire natural o aire ligeramente calentado (1 a 5°C por encima de la temperatura ambiente). Este precalentamiento se logra con colectores solares de diseño simple.

Este tipo de secado presenta varias ventajas: es un método de secado económico y técnicamente eficiente; la pérdida de humedad es lenta y el producto no sufre choques térmicos. Esto último reduce la presencia de tensiones internas en los granos, las que podrían perjudicar su calidad. Como ventaja adicional, en los sistemas de bajas temperaturas (estáticos) el producto sufre menos movimiento, lo que reduce los daños mecánicos.

Los silos de base cónica son los más frecuentemente utilizados para el almacenamiento y manipuleo de granos.

El estudio de factibilidad se realiza de la siguiente manera: En base al contenido inicial de humedad de cosecha del grano, se determina la pérdida de material seco que sufre cuando está ensilado, según S. J. Rossi y G. Roa (1980). Con este valor se determina el valor del caudal de inyección de aire por tonelada de grano (caudal unitario). A partir de este valor y la altura de grano, se determina la presión de inyección. Mediante la simulación numérica se verifica que las velocidades intragranulares estén por encima de la velocidad crítica establecida según la FAO. Esta condición asegura el nivel de humedad deseado para un almacenamiento seguro.

Para el precalentamiento del aire, se calcula el área de colectores solares, en base al caudal adoptado, el incremento de temperatura deseado y época de cosecha.

MODELO MATEMÁTICO UTILIZADO

La simulación se realizó utilizando el modelo matemático de distribución de aire en silos desarrollado por Brooker (1961) y modificada después por Segerlind (1982). A partir de la ecuación propuesta por Shedd (1953) que es utilizada para establecer la relación entre la velocidad y el gradiente de presión:

$$V_n = A \left(\frac{\partial p}{\partial n} \right)^B \quad (1)$$

siendo V_n velocidad normal a las isobaras de presión (isobaras) dentro del silo, $\left(\frac{\partial p}{\partial n} \right)$ gradiente de presión en la dirección normal a las isobaras de presión, A y B: constantes. que deben determinarse de forma experimental según el tipo de cereal.

Para bajas velocidades de aire se satisface la ecuación de Darcy, perdiéndose esta linealidad entre la velocidad y la presión. para altas velocidades.

El gradiente de presión en las direcciones x e y está relacionado con el gradiente de presión normal de la siguiente forma:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial n}\right)^2 = \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial p}{\partial y}\right)^2 \quad (2)$$

Asumiendo una relación lineal entre el vector gradiente de presión y los vectores de velocidad, Brooker (1974) propuso las siguientes ecuaciones para relacionar las componentes de la velocidad en las direcciones x e y con la velocidad normal:

$$V_i = \frac{\partial p / \partial i}{\partial p / \partial n} V_n \quad i = x, y \quad (3)$$

Puede definirse entonces la permeabilidad granular como:

$$G = \frac{V_n}{\partial p / \partial n} \quad (4)$$

por lo tanto:

$$V_i = G \frac{\partial p}{\partial i} \quad i = x, y \quad (5)$$

Considerando que los cambios de temperatura absoluta y presión son pequeños, el fluido puede considerarse incompresible, y la ecuación de continuidad se puede expresar mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

Sustituyendo (5) en (6) se obtiene:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(G \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(G \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0 \quad (7)$$

Para valores constantes de G, la ecuación (7) se transforma en la ecuación de Laplace.

Valor de la permeabilidad granular (G)

El valor de G, según lo establecido en la ecuación (4), depende del gradiente de presiones y de la velocidad. El valor adoptado en este trabajo es $G = 0,0023 \text{ m}^2/\text{Pa s}$. Este valor de la constante G reproduce los cálculos numéricos presentados por Gu D et al.(1996) y por Mikitinac M.J y Sokhansanj S. (1985).

SIMULACIÓN DEL SILO SECADOR

Se procedió a trabajar sobre un silo elevado de 150 toneladas de capacidad (base trigo), cuyas dimensiones son: 6 metros de diámetro y 9 metros de altura. El sistema de inyección de aire es a través del piso cónico inferior de chapa perforada. La simulación se efectúa en base trigo debido a que es el cereal con mayor peso específico y menor espacio intragranular.

Dada la geometría del problema se modelizó una sección del silo considerando simetría axial. El dominio de cálculo fue discretizado empleándose 2340 elementos triangulares lineales a fin de asegurar una buena precisión en el cálculo.

Determinación de la condiciones de contorno para la resolución del problema.

Según las tablas de pérdida de carga para secado de trigo (ASAE,1992), para una altura de grano de 9 m y un caudal de aire unitario (adoptado) $Q = 0,795 \text{ m}^3/\text{min}\cdot\text{ton}$, la presión de inyección de aire es de $P_e = 4553 \text{ Pa}$. En la salida se tomó una presión de aire $P_s = 0 \text{ Pa}$. Estos datos fueron empleados como condiciones de contorno para la simulación numérica y se detallan en la figura 1.

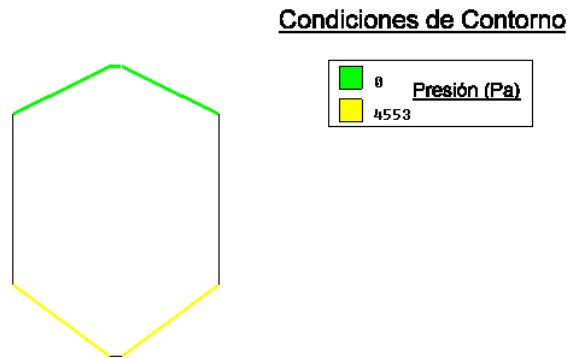


Fig. 1: Gráfico de condiciones de contorno impuestas.

Resultados.

Las figuras 2 y 3 muestran los resultados de presiones y velocidades intragranulares.

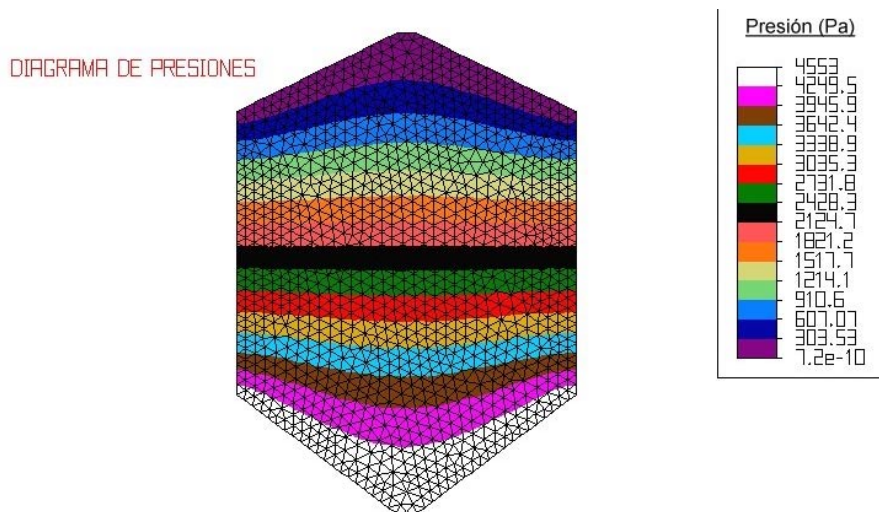


Fig. 2: Simulación de distribución de presiones en el silo.

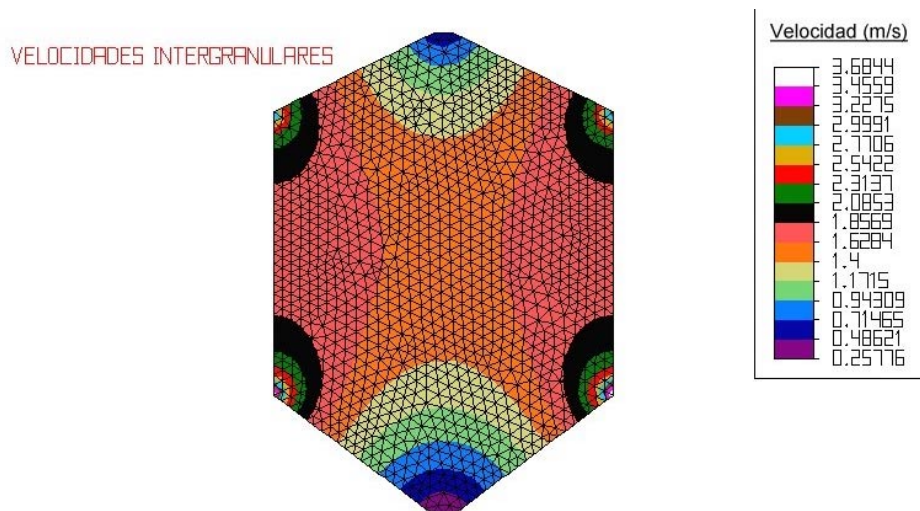


Fig. 3: Simulación de distribución de velocidades intergranulares en el silo.

En los diagramas se puede observar un gradiente de presiones uniforme y que la velocidad mínima (0,25776 m/s) supera olgadamente al valor mínimo admisible para secado de granos a baja temperatura que es de 0,06 m/s para trigo (www.fao.org). De esta forma al superar esta velocidad mínima admisible se evita el deterioro del grano como consecuencia de la proliferación de hongos.

COLECTORES SOLARES

El tipo de colector seleccionado fue el colector solar simple plano de chapa galvanizada con la superficie superior descubierta y pintada de negro mate.



Fig. 4: Perspectiva y corte del colector solar simple.

El colector de este tipo alcanza eficiencias medias de 12% con la superficie sin pintar (o deteriorada) y de 30%, con la superficie pintada de negro mate (Cortés, 1988; Cortés y Piacentini,1990). En un banco de colectores, el acoplamiento de los colectores individuales a un conducto central permite alcanzar una eficiencia media del 50% (Lara et al., 1986). Esto se debe al aporte térmico que realiza el motoventilador al flujo de aire generando este aporte hasta un incremento de 2°C de temperatura.

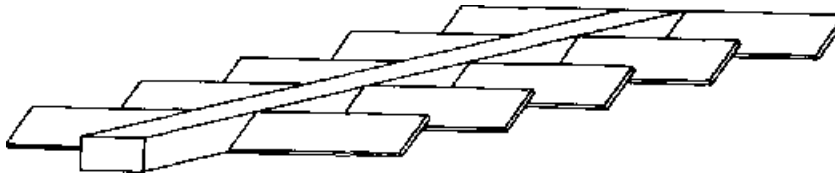


Fig. 5: Banco de colectores.

Cálculo del área de colectores

En el caso concreto de granos, generalmente los colectores producen un aumento de temperatura que oscila entre 1 a 5°C diarios. El cálculo del área de colectores se realiza para el periodo de cosecha de soja debido a que las condiciones ambientales son las más desfavorables.

Frente a estos requerimientos es preciso cuantificar la potencia necesaria que el colector solar debe entregar para calentar el aire. La energía por unidad de tiempo necesaria para calentar el aire (P) es:

$$P = V\rho_e C_p (T_s - T_e) \quad (8)$$

V : caudal volumétrico de aire que circula por el colector

ρ_e : densidad del aire evaluado a la temperatura media $(T_s + T_e)/2$.

C_p : calor específico del aire evaluado a la temperatura media $(T_s + T_e)/2$.

$\Delta T = (T_s - T_e)$: diferencia entre la temperatura de entrada T_e y de salida T_s del aire del ducto.

En la Tabla 1 se indican los valores de estas magnitudes empleadas en el cálculo.

V [m ³ /s]	ρ_e [kg/m ³]	C_p [J/kgC]	$\Delta T = (T_s - T_e)$ [C]
1.983	1.224	999.02	3

Tabla 1. Valores empleados para el calculo de la potencia del banco de colectores

La superficie de colectores puede determinarse a partir de la siguiente expresión (Duffie J. A. y Beckman W. A., 1991):

$$A = \frac{P}{I} \quad (9)$$

donde I es la radiación solar media incidente en la superficie inclinada del colector. Este valor depende principalmente de la latitud y de la altura de la zona, la época del año y el ángulo de inclinación del colector en relación con la dirección de los

rayos solares. Para la pampa húmeda (Rosario, latitud 32,9), durante la cosecha de soja en los meses de abril-mayo, el valor de I promedio resulta ser 380 W/m² (Grossi Gallegos, 1997), obteniéndose:

$$A = 20 \text{ m}^2 \quad (10)$$

Es necesario corregir el área calculada considerando la eficiencia media del banco de colectores. Para el banco de colectores seleccionados la eficiencia es del 35% (Lara et al, 1986). Por lo tanto la superficie efectiva necesaria de colectores es de :

$$A_{\text{efectiva}} = 60 \text{ m}^2 \quad (11)$$

La inclinación que tendrán los colectores será de 47°24', orientados hacia el norte (De Dios, 1996). Esta inclinación es para los meses de abril mayo, época de la cosecha de soja.

CONCLUSION

En este trabajo se muestra la factibilidad de realizar el secado de granos en un silo elevado de base cónica mediante el precalentamiento del aire a través de un banco de colectores solares de diseño simple.

Mediante la simulación numérica se pudo verificar que la distribución de presiones y velocidades intragranulares dentro de la masa de granos asegura la correcta aireación de todos los sectores del silo.

El cálculo del banco de colectores realizado para las condiciones climáticas desfavorables correspondientes a la cosecha de soja permiten inferir que el sistema podrá ser empleado sin dificultades operativas para el secado de otros granos cultivados en la región, por ejemplo sorgo, trigo, maíz y girasol.

ABSTRACT

In this work, the calculation and the simulation of an elevated drying bin of grains of conical base of 150 tons is presented. The low temperature drying is carried out by preheating the air that flows through a bank of solar collectors of simple design. The pressure and intergranular air velocity distribution were numerically simulated for wheat by applying the finite element method and the commercial package ALGOR (Version 13.06-WIN,2001). The solar collector surface was calculated in order to achieve the increment of air temperature necessary for soybean drying. By means of the simulation and the analysis of the results, it can be observed that the distribution of pressures and velocities fit technical requirements for low temperature of different type of grains in intermediate scales bins.

Keywords: Solar drying, bins, grains

REFERENCIAS

- ALGOR. Versión 13.06-WIN,2001.
ASAE (1992). Standars 1992. 39th Edition, D272.2
Brooker, D.B. (1961). *Pressure Patterns in Grain_Drying Systems established by numerical methods*. Transactions of the ASAE 4(1), 72-77.
Brooker, D.B. F.W. Bakker-Arkema and C.W.Hall (1974). *Drying of Cereal Grain*. New York, N.Y.AVI.Pub.Co., Inc.
Cortés A. (1988). Estudio sobre el secado solar de granos y colectores a flujo de aire. Instituto de Física Rosario.U.N.R.
Cortés A. y Piacentini R. (1990). *Improvement of the Efficiency of a Bare Solar Collector by Means of Turbulence Promoters*. Instituto de Física Rosario U.N.R.
De Dios C. A. (1996). *Secado de granos y secadoras*. FAO. www.fao.org/inpho/vlibrary/x0028s/X0028S00.htm#Contents
Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2a. edición. Wiley Intescience, New York.
Farm structures in tropical climates (1988) Edited by Bengtsson L. P, Whitaker J. H.. FAO. 1988. www.fao.org/inpho/vlibrary/s1250e/contents.
Grossi Gallego, H. (1997). *Cartas de Irradiación Solar Global*. División Física UNLu. Argentina
Gu D., Sokhansanj S., R.W. Besant (1996)-*Intergranular Air Movement within an Experimental Grain Store with Three Different Floor Configurations-ASAE* .
Lara M. A., Cortés A., Gaspar R., Piacentini R. D. (1986). *Solar Grain Drying in Humid and Hot-Temperature Climates*. Instituto de Física Rosario (CONICET-U.N.R.).
Miketinac M. J. y Shahab Sokhansanj-(1985) *Velocity-PressureDistribution in Grain Bins-Brooker's Model* (Universidad de Saskatchewan, Canada).
Rossi S. J.y Roa G. (1980). *Secagem e Armazenamento de Produtos Agropecuários com Uso de Energis Solar e Ar Natural*. Academia de ciencias do Estado de Sao Paulo.
Segerling, L.J.(1982). *Solving the Non-linear airflow Equation*. ASAE Paper N° 823017. St Joshep, Mich. ASAE.
Shedd, C.K. (1953). *Resistance of Grains and Seeds to Airflow*. Agricultural Engineering 34, 616-619.