

Jiménez-Islas, H. y Navarrete-Bolaños, J. L.

Departamento de Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Celaya. Ave. Tecnológico y García Cubas S/N. Celaya 38010, Gto. Tel (4) 611-75-75 ext 326, FAX: (4) 611-79-79, e-mail: hugo@itc.mx

Palabras clave: *Convección natural, transferencia de calor y masa, colocación ortogonal*

**Introducción.** El estudio del almacenamiento de granos en silos constituye un problema interesante, ya que se presenta convección natural de calor y de masa debido a los gradientes de temperatura que existen entre el medio ambiente y el grano, creando, por lo tanto, las condiciones favorables para el crecimiento de hongos y para el ataque de insectos, debido a la formación de puntos calientes (1), por lo que es importante conocer la dinámica de la transferencia en el silo con el fin de evaluar las condiciones de almacenamiento y así prever el deterioro del grano (2)

Así en este contexto, el objetivo del trabajo es desarrollar y resolver las ecuaciones de transporte que modelen la dinámica de transferencia de calor y masa en el almacenamiento de granos en silos.

**Metodología.** Se analizó un silo cilíndrico de radio R y altura L, que contiene un grano con espacios intersticiales saturados con aire a una humedad absoluta inicial  $Y_0$  (kg de agua/kg a.s.) y una temperatura  $T_h$ . El grano es isotrópico y con propiedades darcianas y presenta una humedad inicial  $X_0$  (kg de agua/kg de s.s.) y una temperatura igual a  $T_0$ . En un instante mayor del tiempo cero, se establecen condiciones isotérmicas en la superficie superior y en la superficie lateral de la cavidad, de tal manera que la temperatura es igual a  $T_1$ , mientras que el fondo se encuentra aislado. El modelo es (1)

Continuidad

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

Ley de Darcy:

$$\tilde{n} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = \tilde{i} C^{-1} \cdot \mathbf{v} - \nabla \mathbf{p} + \tilde{n} \mathbf{g} \quad (2)$$

Energía:

$$(\tilde{n} C_v) \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T \right) = \mathbf{K} : \nabla \nabla T + Q_0 + Q_L \quad (3)$$

Humedad del aire:

$$\tilde{n}_a \frac{\partial Y}{\partial t} + \tilde{n}_a (\mathbf{v} \cdot \nabla Y) = \tilde{n}_a D_a \nabla^2 Y + k_y \tilde{n}_a a_v [Y - Y_i] \quad (4)$$

Humedad del grano:

$$\tilde{n}_s \frac{\partial X}{\partial t} = \tilde{n}_s D_{eff} \nabla^2 X - k_y \tilde{n}_s a_v [Y_i - Y] + P_0 \quad (5)$$

$a_w = f(X, T)$  que es la isoterma de sorción del grano (6)

La humedad absoluta de equilibrio en la interfase se define:

$$Y_i = \frac{18 a_w P_v^0}{29 (P_{atm} - a_w P_v^0)} \quad (7)$$

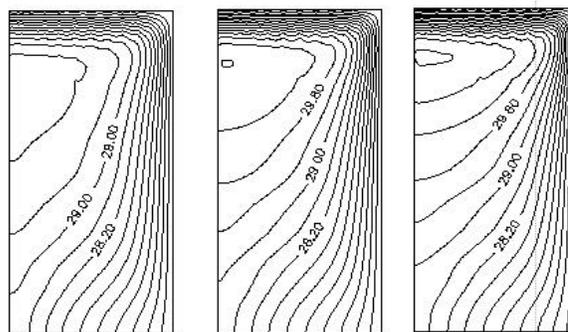
En donde  $Q_0$  es el calor de respiración,  $Q_L$  es el calor latente volumétrico y  $P_0$  es la generación de humedad en el proceso

respiratorio de los granos. El sistema de ecuaciones se adimensionalizó, se aplicó el criterio de función corriente y vorticidad para eliminar el término de la presión y el modelo resultante se resolvió con discretización espacial mediante colocación ortogonal mientras que la discretización del tiempo se hizo con diferencias finitas para formar un esquema implícito. Para efectuar las simulaciones se seleccionó al sorgo debido a los datos que se han obtenido en trabajos previos (2)

**Resultados y Discusión.** En la Fig 1 se observa el efecto de la convección natural de calor y masa para  $Ra = 4.48$  y  $A = 2.08$ . Los patrones de flujo alcanzan más rápidamente el estado estable, mientras que los perfiles de concentración tardan más tiempo para alcanzar el estado estable, debido al efecto combinado de las fuerzas de flotación originadas por los gradientes de temperatura y de concentración

Fig. 1 Dinámica de las isotermas para  $Ra = 4.48$  y  $A = 2.08$

**Conclusiones.** El efecto que controla la dinámica es la



transferencia de masa. Se predice la formación de puntos calientes y con mayor contenido de humedad que la inicial.

**Agradecimiento.** CONACYT. Proyecto I33605-U

**Bibliografía.**

1. Jiménez-Islas, H., 1999, Modelamiento Matemático de los Procesos de Transferencia de Momentum, Calor y Masa en Medios Porosos, Tesis Doctoral. UAM-Iztapalapa. Mex.
2. Magaña-Ramírez, J. L., 2000, Modelamiento de los parámetros de secado de granos, aplicado a sorgo, utilizando ecuaciones de transporte para medio poroso. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España-Universidad Autónoma de Guanajuato.