

# DISEÑO DE UN SISTEMA SEMI-CONTINUO PARA SECADO RAPIDO DE GRANOS

Dr. Jorge Medina Valtierra, Ing. Elhma Myriam Castro Chávez / Depto. de Ingeniería Química. ITA

81

## RESUMEN

Para determinar la cinética de secado del sorgo, una cierta cantidad de grano húmedo se colocó en un tubo de fluidización en el cual, el grano se secó hasta un valor determinado a condiciones de temperatura y flujo de aire constantes. Los valores experimentales de humedad relativa ayudaron a obtener el modelamiento de la cinética de secado a varias temperaturas, seleccionando así, la temperatura de secado más adecuada para diseñar un secador con flujo de grano continuo, o bien bajo una operación semicontinua.

## INTRODUCCION

Los sistemas de lecho fluidizado han adquirido, en las últimas décadas, mucha importancia por las ventajas que aportan al manejo de los sólidos (1-3). En el caso de procesos físicos que involucran fenómenos de transferencia de masa y calor como lo es el secado de sólidos, al encontrarse éstos prácticamente suspendidos en la corriente de aire el área de contacto sólido-gas es muy alta, traduciéndose esto en una mayor eficiencia de la operación respecto a otros medios de contacto sólido-gas, lo anterior es la principal razón por la cual, estos sistemas son muy usados en diversos procesos industriales.

El uso práctico del secador depende del grano que se desee secar, ya que este equipo sólo podrá manejar granos con ciertas especificaciones como lo son la densidad aparente, forma y tamaño entre otras características. El objetivo de este trabajo fue obtener un equipo eficiente de secado para poder ser utilizado en experimentos a nivel planta piloto y bajo una

operación continua.

## METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Antes de analizar la cinética de secado, con ayuda de una estufa, se llevó a cabo el secado de granos para determinar el grado de humedad total y humedad en equilibrio que corresponden al valor máximo por humedecimiento forzado del grano y a la humedad que toma el grano de una forma natural después de secarse.

Para la determinación de humedad total  $H_o$  y humedad al equilibrio  $H_e$ , (grs.  $H_2O$ /grs. sorgo seco) se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$H_o = (W_3 - W_1) / W_1 \quad (1)$$

$$H_e = (W_o - W_1) / W_1 \quad (2)$$

Donde:

$W_o$  = Peso inicial de granos de sorgo = 300 gr.

$W_1$  = Peso del grano seco = 278 gr.

$W_2$  = Peso promedio de 10 granos secos = 0.23258 gr.

$W_3$  = Peso del grano con máxima humedad = 421.5 gr.

$H_e$  = Porcentaje de Humedad de equilibrio = 7.9

$H_o$  = Porcentaje de humedad total = 56.6

Después de haber obtenido los datos anteriores, el grano humedecido a un valor máximo es sometido al proceso de fluidización en el equipo de secado (fig. 1) a condiciones constantes de flujo de aire y temperatura. Para construir las curvas de secado se hace un muestreo de 10 granos ( $W_t$ ) cada 5 minutos.

\* El proyecto participó en el Concurso Nal. de Creatividad 1993.

A determinados tiempos se calcula la humedad relativa (H) para obtener la curva de secado mediante la siguiente expresión:

$$H = (W_t - W_2) / W_2 \quad (3)$$

Con respecto a las operaciones continua y semicontinua el peso de grano a secar fue de 1 kg con una agregación de una cierta cantidad de grano húmedo, misma cantidad de grano seco es retirado por unidad de tiempo (ambas cantidades estimadas en base seca), esto para simular un flujo continuo y constante a través del secador.

### RESULTADOS Y DISCUSION

Los modelos que se presentan se basan en el hecho de que al final del secado se obtiene un contenido de humedad nulo y que en cualquier momento el contenido de humedad puede ser medido o calculado.

Debido a que los valores experimentales del contenido de humedad respecto al tiempo, obtenidos en procesos continuos, forman curvas bien definidas como lo muestra la literatura (4-5); los modelos de curvas simples que aproximan el mayor número de estos puntos experimentales son las curvas exponenciales para datos a temperaturas bajas y curvas hiperbólicas simples para temperaturas altas.

Considerando lo anterior, el análisis matemático se realiza de una manera análoga a la cinética de una reacción química, realizada en un reactor intermitente, es decir a condiciones constantes. Tenemos como consecuencia, una expresión cinética dada por:

$$V_s = -dH / dt = KH H^n \quad (4)$$

Donde:

$V_s$  = Velocidad de secado que define la cantidad de humedad eliminada con respecto al tiempo (t) y masa constante de granos.

$KH$  = Constante de velocidad específica de secado  
 $n$  = Orden de la cinética de secado.

Al tener propuesta la ecuación, se procedió a evaluarla con los datos obtenidos en la experimentación, esto a diferentes temperaturas con el fin de obtener una expresión cinética para cada temperatura. Primeramente se obtuvieron datos de

humedad relativa a partir de los datos gravimétricos obtenidos de una manera experimental, con los cuales se obtuvo una gráfica de %H vs t. Con la ayuda de la misma se aplicó el método diferencial para análisis de datos cinéticos (6), el cual es apropiado para analizar reacciones con datos no muy dispersos.

La ecuación cinética propuesta (4) se lineariza para obtener:

$$\ln(-dH / dt) = \ln KH + \ln H \quad (5)$$

La cual es análoga a la ecuación de la recta.

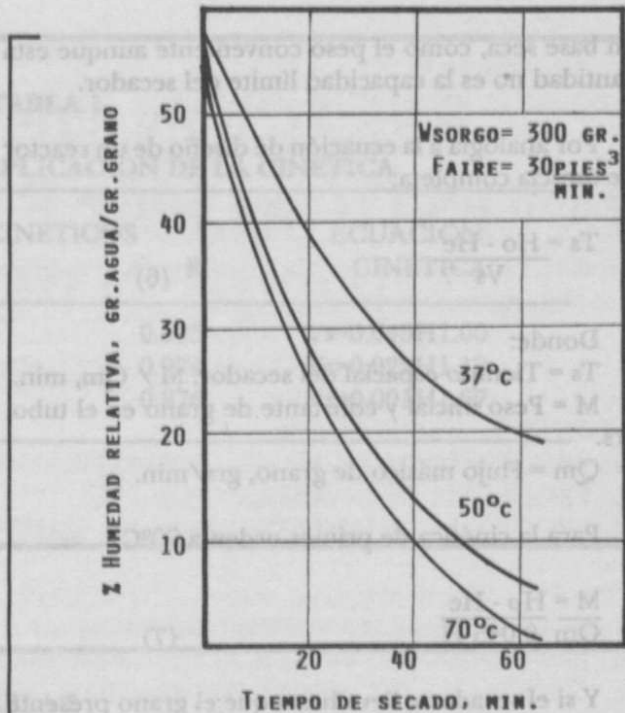
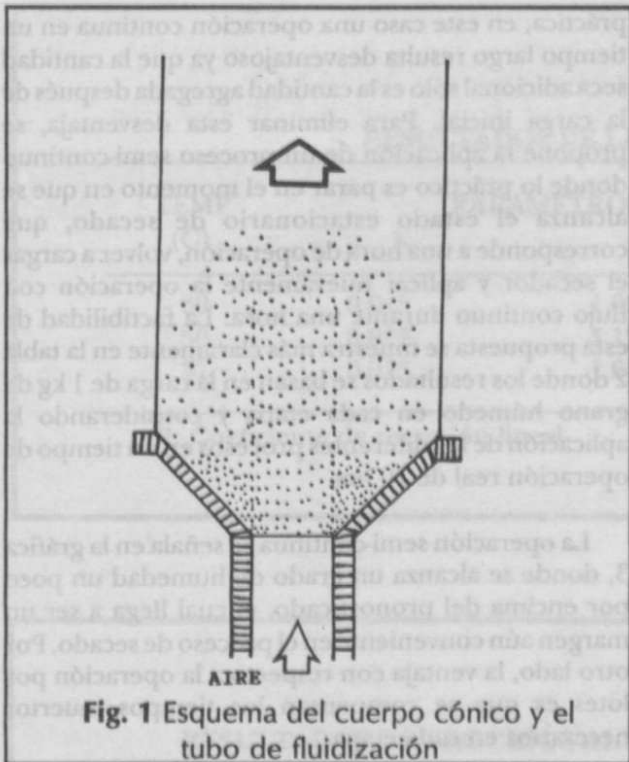
Los datos cinéticos de humedad relativa contra tiempo (fig. 2) se ensayan directamente en la ecuación propuesta. Los puntos obtenidos en la gráfica se deben ajustar a una línea recta, de esta manera se obtiene la ecuación modelo que representa los datos cinéticos del secado.

Graficando X contra Y o aplicando regresión lineal se obtienen de la ecuación linearizada, los parámetros y modelos cinéticos mostrados en la tabla 1. De esta manera se obtiene la ecuación modelo que representa los datos cinéticos del secado, a cada temperatura.

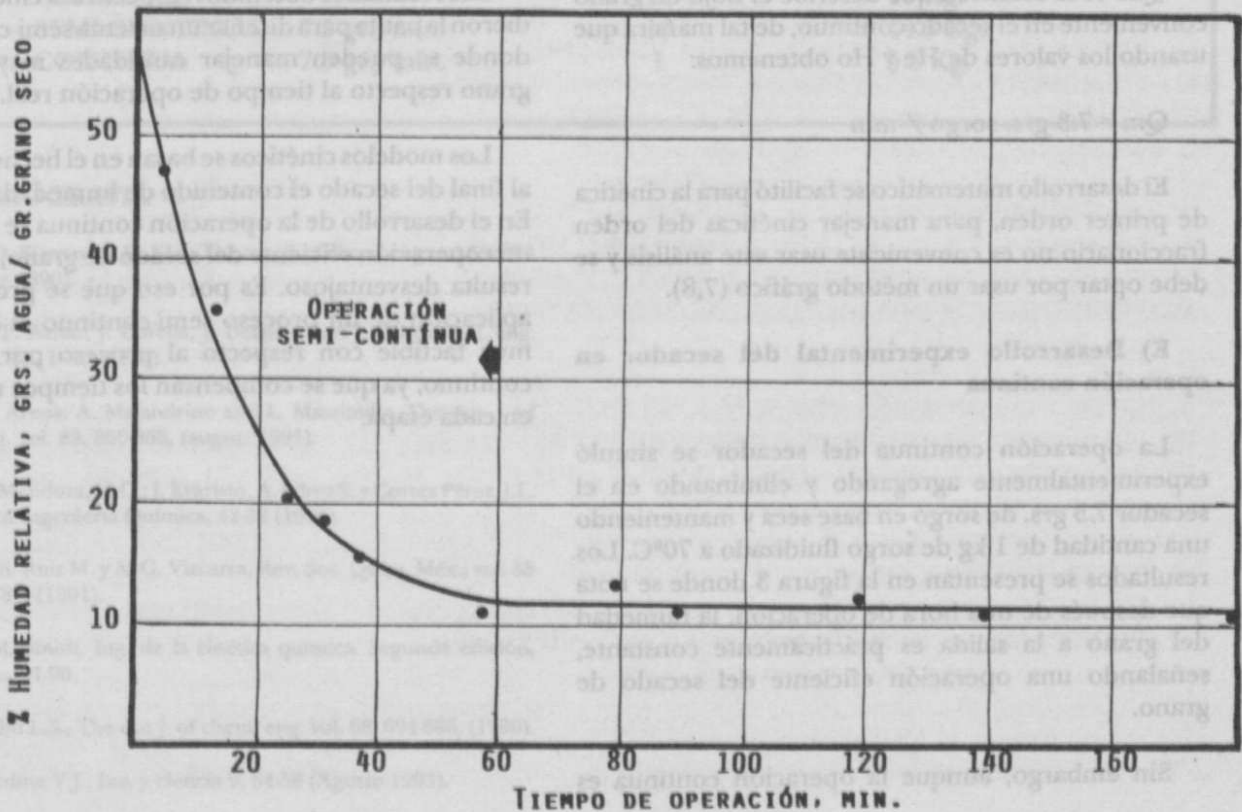
Los resultados nos indican que para una temperatura de 70°C tenemos una cinética de primer orden, donde la dependencia de la velocidad de secado a las condiciones de operación usadas, es directamente proporcional a la humedad relativa del grano. A temperaturas más bajas las velocidades de secado son menores, como era de esperarse, esto es cierto a pesar de que el modelo cinético presente órdenes de velocidad mayores a la unidad, en este caso la constante de proporcionalidad KH afecta notablemente la expresión final.

### D) Diseño de un sistema de secado continuo

Debido a que los modelos cinéticos encontrados señalan que el comportamiento del secador es análogo a la conducta de un reactor químico, se consideró la posibilidad de diseñar un sistema de secado en operación continua, donde a partir de la cinética manejable de primer orden a 70°C, se pronosticó el flujo de grano por el secador al establecer previamente una cantidad constante de grano en el tubo de fluidización, para este análisis se escogió 1 kg de sorgo



**Fig. 3** Operación continua en el secador a una temperatura de 70°C



en base seca, como el peso conveniente aunque esta cantidad no es la capacidad límite del secador.

Por analogía a la ecuación de diseño de un reactor de mezcla completa:

$$T_s = \frac{H_o - H_e}{V_s} \quad (6)$$

Donde:

$T_s$  = Tiempo espacial del secador,  $M / Q_m$ , min.

$M$  = Peso inicial y constante de grano en el tubo, grs.

$Q_m$  = Flujo másico de grano, grs/min.

Para la cinética de primer orden a  $70^\circ\text{C}$ :

$$\frac{M}{Q_m} = \frac{H_o - H_e}{0.045 H} \quad (7)$$

Y si el secado se lleva hasta que el grano presente una humedad final ( $H$ ) igual a la de equilibrio ( $H_e$ ):

$$Q_m = \frac{45 H_e}{H_o - H_e} \quad (8)$$

Que es la ecuación que describe el flujo de grano conveniente en el secado continuo, de tal manera que usando los valores de  $H_e$  y  $H_o$  obtenemos:

$$Q_m = 7.3 \text{ grs. sorgo / min}$$

El desarrollo matemático se facilitó para la cinética de primer orden, para manejar cinéticas del orden fraccionario no es conveniente usar este análisis y se debe optar por usar un método gráfico (7,8).

#### E) Desarrollo experimental del secador en operación continua

La operación continua del secador se simuló experimentalmente agregando y eliminando en el secador 7.5 grs. de sorgo en base seca y manteniendo una cantidad de 1 kg de sorgo fluidizado a  $70^\circ\text{C}$ . Los resultados se presentan en la figura 3 donde se nota que después de una hora de operación, la humedad del grano a la salida es prácticamente constante, señalando una operación eficiente del secado de grano.

Sin embargo, aunque la operación continua es

práctica, en este caso una operación continua en un tiempo largo resulta desventajoso ya que la cantidad seca adicional sólo es la cantidad agregada después de la carga inicial. Para eliminar esta desventaja, se propone la aplicación de un proceso semi-continuo donde lo práctico es parar en el momento en que se alcanza el estado estacionario de secado, que corresponde a una hora de operación, volver a cargar el secador y aplicar nuevamente la operación con flujo continuo durante una hora. La factibilidad de esta propuesta se muestra más claramente en la tabla 2 donde los resultados se basan en la carga de 1 kg de grano húmedo en cada etapa y considerando la aplicación de los diferentes procesos en un tiempo de operación real de 10 hrs.

La operación semi-continua se señala en la gráfica 3, donde se alcanza un grado de humedad un poco por encima del pronosticado, el cual llega a ser un margen aún conveniente en el proceso de secado. Por otro lado, la ventaja con respecto a la operación por lotes es que se compensan los tiempos muertos necesarios en cada etapa.

#### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos respecto a la cinética nos dieron la pauta para diseñar un sistema semi-continuo donde se pueden manejar cantidades mayores de grano respecto al tiempo de operación real.

Los modelos cinéticos se basan en el hecho de que al final del secado el contenido de humedad es nulo. En el desarrollo de la operación continua se observó una operación eficiente del secado de grano, aunque resulta desventajoso. Es por eso que se propuso la aplicación de un proceso semi-continuo el cual fue muy factible con respecto al proceso por lotes y continuo, ya que se compensan los tiempos muertos en cada etapa.

**TABLA 1**  
**RESULTADOS DE LA APLICACION DE LA CINETICA**

TEMP (C)	PARAMETROS CINETICOS			ECUACION CINETICA
	K	N	R	
69	0.045	1.008	0.993	$V_s=0.045H1.00$
50	0.022	1.126	0.974	$V_s=0.022H1.12$
37	0.013	1.674	0.876	$V_s=0.001H1.67$

R: Coeficiente de regresión lineal

**TABLA 2**

**RESULTADOS DE PROCESOS ALTERNATIVOS EN EL SECADO DE GRANO**

PROCESO	FLUJO DE GRANO	No. ETAPAS	WGRANO SECO
POR LOTES	—	10	10 Kg.
SEMI-CONTINUA	7.5 gr./min.	10	14.5 Kg.
CONTINUA	7.5 gr./min.	1	5.5 Kg.

**BIBLIOGRAFIA**

- 1.- J. O. Kim and S. D. Kim, The can. J. of chem. eng. vol.68, 368-375 (June 1990).
- 2.- M.P. Aznar, J. Corella, J. Delgado and J. Lahoz. Ind. eng. chem. res. 32, 1-10 (1993).
- 3.- U. Arena, A. Malandrino and L. Massimilla. The can. J. of chem. eng. vol. 69, 860-868, (august 1991).
- 4.- V. Mendoza, M.G.; I. Evaristo, A. Pérez S. y Cortez Pérez, J.L. Avances en Ingeniería Química, 42-52 (1990).
- 5.- R. S. Ruiz M. y M.G. Vizcarra, Rev. Soc. Quím. Méx.; vol. 35 No. 2, 82-87, (1991).
- 6.- J.M. Smith. Ing. de la cinética química. Segunda edición, C.E.C.S.A., 91-96.
- 7.- Lobo L.S., The can J. of chem. eng. vol. 68, 694-696, (1990).
- 8.- Medina V.J., Inv. y ciencia 9, 54-58 (Agosto 1993).