

## CAPITULO 4

### FLUIDIZACIÓN EMPLEANDO VAPOR SOBRECALENTADO.

#### 4.1 Comparación del proceso de secado con vapor sobrecalentado y aire.

El proceso de secado es una de las operaciones más importantes en la industria química y alimenticia, en las cuales se usa vapor sobrecalentado o aire. Pero, comparando el proceso de secado con aire caliente contra el de vapor sobrecalentado este último proporciona numerosas ventajas (Dibella 1996 [10], Erdesz y Kudra 1990 [11], Lane y Stern 1956 [12]).

- i) La circulación de vapor sobrecalentado en el secado con sistemas cerrados reduce las pérdidas de energía que ocurren en el secado con aire caliente. También, la energía en forma de calor en la descarga de vapor resulta de la evaporación de la humedad del secado del material que puede ser recuperada o usada en otros procesos.
- ii) El alto coeficiente de transferencia de energía del secado con vapor sobrecalentado da como resultado un incremento en la velocidad de secado bajo ciertas condiciones, mejorando la eficiencia, y consecuentemente se reduce el equipo y el costo de capital.
- iii) En el secado con vapor sobrecalentado no hay oxidación, debido a que el oxígeno se libera al medio ambiente, y así se pueden eliminar los riesgos de fuego o explosión.

- iv) Solo una cantidad pequeña del vapor generado es liberada del sistema cerrado hacia la atmósfera. El gas del vapor puede ser condensado y el polvo en el vapor ser separado fácilmente.
- v) Algunos de los componentes orgánicos volátiles generados por el secado del material pueden ser recuperados y separados por un condensador.

#### **4.2 Limitaciones del secado con vapor sobrecalentado.**

Las principales limitaciones del secado con vapor sobrecalentado (Erdesz y Kudra 1990 [11], Kumar y Mujumdar 1990 [13], Shibata 1991 [14]) son las siguientes: las altas temperaturas del producto en vapor sobrecalentado le causan problemas a los materiales sensibles a las temperaturas y que se necesitan sistemas más complejos de secado en comparación con el secado con aire caliente. Sin embargo, las condiciones de vacío permiten eliminar los problemas que se presentan con materiales sensibles a la temperatura.

Algunos investigadores han hecho considerables investigaciones en aspectos tanto teóricos como experimentales de secado con vapor sobrecalentado. En el secado sobre el periodo de velocidad constante hay una inversión de temperatura, arriba de la cual la velocidad de secado es mucho más grande en el secado con vapor sobrecalentado que con aire caliente, sin embargo debajo de esa temperatura la situación es inversa (Nomura y Hyodo 1985 [15], y Yoshida y Hyodo 1970 [16]).

El secado en el periodo de velocidad decreciente podría ser esperado más rápido con vapor sobrecalentado que con aire caliente bajo ciertas condiciones. Esto fue concluido por: Hyodo y Yoshida (1976) [17] y Shibata (1991) [14] en el secado de esferas de vidrio sinterizado. Además, el contenido crítico de humedad es más bajo el secado con vapor sobrecalentado que en el secado con aire caliente (Shibata 1991) [14]. Por lo tanto, la velocidad de secado total se espera que sea más grande en el secado con vapor sobrecalentado que en el secado con aire caliente.

Hasta ahora, no se ha alcanzado una amplia aceptación industrial del secado con vapor sobrecalentado debido a la falta de equipo adecuado para este tipo de procesos. La aplicación de esta técnica esta principalmente limitada a solamente unos campos de secado industrial, tales como: el secado de papel, y pulpa de azucar (Svensson 1985, [18] y Jensen 1992) [19].

#### **4.3 Lecho fluidizado con vapor.**

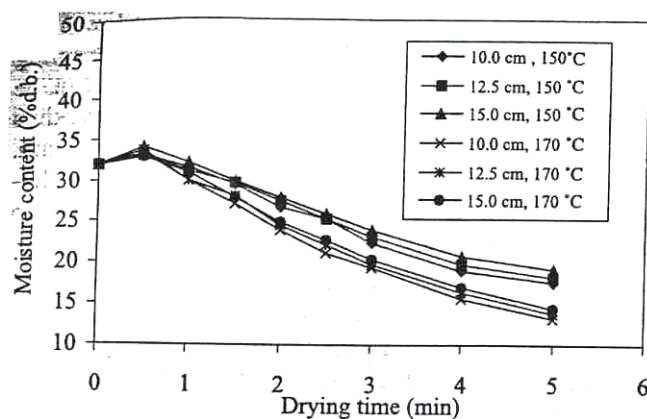
Potter (1983) [20], ha demostrado en una planta piloto que materiales sensibles a la temperatura pueden ser fluidizados y secados con vapor sobrecalentado operando bajo condiciones de vacío o a presiones más altas. La aplicación del secado en lechos fluidizados es para eliminar humedad para obtener ahorros significantes de energía comparados con los métodos convencionales de secado en lechos fluidizados.

Los desarrollos industriales de estos de estos secadores tienen que resolver los problemas prácticos asociados con el reciclado de vapor sobrecalentado portador de

partículas finas, la condensación tiene que ser evitada de cualquier forma, y el manejo del equipo para los sólidos tiene que ser cuidadosamente diseñada.

#### 4.4 Secado de arroz en lecho fluidizado con vapor sobrecalentado.

C. Taechapiroj et. al. (2003), en sus experimentos de secado de arroz en un lecho fluidizado, observo el comportamiento de los granos de arroz secados con vapor sobrecalentado a diferentes temperaturas y alturas de lecho. Donde, a medio minuto, los granos de arroz absorbieron una pequeña cantidad de agua condensada y de esta manera, la temperatura se incremento rápidamente al punto de saturación correspondiente a 100 °C. De acuerdo a la figura 4.1 se puede ver como las muestras pueden ganar humedad aun cuando, las condiciones de operación tales como temperatura y profundidad de lecho han cambiado. [21]



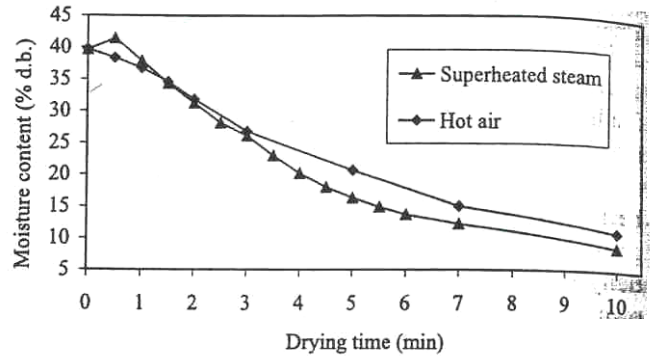
**Figura 4.1** Variación del contenido de humedad en arroz, a diferentes alturas de lecho y temperatura de entrada de vapor sobrecalentado. [21]

Si los resultados anteriores se comparan con los obtenidos por Tang y Cenkowski (2000) (citados por C. Taechapiroj et. al. 2003), quienes estudiaron el secado de papas

en un secador de bandeja usando vapor sobrecalentado, los resultados son diferentes por que, en su trabajo, el contenido inicial de humedad ganada varió con la temperatura. Una posible causa a esta contradicción puede ser el hecho de usar una velocidad alta de vapor en el secado de arroz ( $> 3$  m/s para lecho fluidizado) dando como resultado, la combinación de velocidades altas de calor y transferencia de masa. Así, el condensado existente entre los granos evapora rápidamente, en lugar de difundirse dentro de los granos. A partir de la figura 4.1, el contenido inicial de humedad que ganan las muestras a diferentes condiciones es de aproximadamente 0.02 d.b. [21]

Así mismo, la figura 4.2 representa la comparación de las características de secado de arroz con vapor sobrecalentado contra aire caliente. Después de pasar por la primera etapa de condensación, el contenido de humedad se reduce exponencialmente con el tiempo de secado, de este modo indicando que, la principal resistencia al movimiento de humedad esta en el interior. En la etapa de reducción de humedad, la curva de secado de secado es muy similar a la encontrada en el secado con aire caliente pero, el tiempo total de secado para vapor es mas corto a pesar de, la existencia del periodo de condensación.

La reducción de humedad mas rápida se debe a que, la velocidad de transferencia de calor es más grande con vapor sobrecalentado a esta temperatura. El tiempo total de secado para obtener un contenido de humedad dado decrece con el incremento de la temperatura del vapor. Esto es consistente con la teoría fundamental de secado, la cual espera un flujo de transferencia de calor más alto hacia el lecho de arroz con temperaturas más altas. [21]



**Figura 4.2** Comparación de velocidad de secado con arroz bajo condiciones de secado con vapor sobrecalentado y aire caliente (Temperatura = 150°C, Altura de lecho = 10 cm., y Velocidad = 1.3U<sub>mf.</sub>).

