

## **CAPITULO 2**

### **ANTECEDENTES**

El uso de equipos de lechos fluidizados, ha abierto amplias posibilidades para el mejoramiento de varias tecnologías industriales. La aplicación de lechos fluidizados representa una aproximación al problema de incrementar la velocidad de transferencia de calor entre paredes visuales y corrientes de proceso. En muchos casos las propiedades de los lechos fluidizados permiten la conversión de procesos hornados no deseables en operaciones continuas. La automatización es también facilitada llevando acabo procesos en lechos fluidizados.

Sin embargo el desarrollo de equipos de lechos fluidizados había sido obstaculizado por un insuficiente estudio especializado, y por el retraso en la sistematización y generalización de material disponible que ha sido publicado en periódicos. [1]

#### **2.1 Marco Histórico**

La técnica de fluidización esta relacionada con operaciones que al principio se usaban comercialmente en el campo de la minería y la ingeniería metalúrgica, como la sedimentación y la clasificación de densidad. Probablemente la primera aplicación

exitosa de lechos de gas fluidizados, fue en la ingeniería del proceso de desintegración catalítico.

Durante la segunda guerra mundial (1939-1945), existió una gran demanda por combustible de alto octanaje, para los motores de pistones usados en aquella época en las aeronaves. En el proceso por el cual el petróleo es desintegrado en un catalizador para producirlo, cierta cantidad de carbón es depositado en el catalizador que rápidamente se ensucia y tiene que ser regenerado. Los lechos reactores convencionales, no se podían desarrollar para mantenerse con los muy altos requerimientos, y las técnicas de fluidización suministraron los medios para que las reacciones de desintegración y regeneración pudieran realizarse y el problema de transferir el ensuciado catalizador del reactor al generador y de vuelta, pudiera ser resuelto en una escala donde los altos requerimientos estaban involucrados. Subsecuentemente la industria química y la del petróleo se han concentrado en aplicaciones de lechos fluidizados que explotan la ventaja de la técnica de manejar sólidos en operaciones de contacto entre líquidos y sólidos. A pesar de que en el proceso de agrietamiento, las propiedades de transferencia de calor del sistema fluidizado han sido esenciales para operaciones exitosas, este aspecto era usualmente tomado por sentado y no tan explícitamente explotado. [2]

El hacer de conocimiento público las propiedades de un lecho fluidizado, es esencial para un mejor entendimiento de los complejos procesos que ocurren en un equipo de lecho fluidizado, y de esta manera proporcionar a los trabajadores de diversos campos, las bases necesarias para la aplicación creativa de los lechos fluidizados en sus

áreas industriales. En los últimos años se ha utilizado más ampliamente la fluidización como resultado de un estudio más detallado de sus propiedades. Los estímulos para dichos estudios fue el logro alcanzado en la aplicación práctica, que ha ocasionado una revolución técnica en varios campos.

## **2.2 Problemas y avances en la fluidización**

En la actualidad cientos de procesos se realizan aplicando técnicas de fluidización. Estos procesos se estudian continuamente con el afán de mejorar su funcionamiento y su efectividad. Existen sin embargo ciertos procesos en los que todavía se pueden correr ciertos riesgos por lo que no son muy usados. En ciertos campos se ha abandonado pues, los procesos por lechos fluidizados, como en la industria química fina y en la industria farmacéutica. Estos problemas se refieren a la degradación térmica y seguridad, y son consecuencia de que, en el proceso de secado a altas temperaturas o largos tiempos de residencia, se puede suscitar la degradación parcial de los productos sensibles a la temperatura. Por otro lado en la industria farmacéutica los procesos están involucrados con la evaporación de solventes orgánicos, así como también, dentro de los límites de flamabilidad hay riesgos de que se forme una explosión. [3]

Ante estos problemas surge la idea de lechos fluidizados a vacío, donde los lechos fluidizados operan a presiones y temperaturas más bajas. Las bajas temperaturas logradas bajo condiciones de vacío minimiza la probabilidad de degradación térmica. Al mismo tiempo, las bajas presiones de operación proporcionan un proceso seguro fuera de los límites de flamabilidad. [4]

### **2.3 Efecto de presión y temperatura operacional en secado por lechos fluidizados**

Se han realizado diferentes experimentos variando la presión y temperatura en lechos fluidizados y se ha observado que la variación de dichos parámetros tiene un efecto considerable en estos procesos. Trabajo experimental señala que en caso de partículas porosas, la reducción de la presión operacional aumenta la difusión en el sistema sólido-gas, y juega un papel favorable en el proceso de secado, aunque al mismo tiempo la capacidad de transporte del medio exterior se reduce. Sin embargo el incremento en la velocidad de secado conseguida con las partículas porosas no se observa en el proceso de secado de partículas compactas ya que la difusividad efectiva a través de estas partículas no es sensible a la variación en la presión operacional. [6]

La mayoría de los procesos de lecho fluidizado operan dentro de los rangos de temperatura y presión, de temperatura ambiente a 1000°C y de presión ambiente a 70 bar, respectivamente. Sobre este rango de temperatura, la viscosidad del gas se incrementa con un factor de 3 a 4, dependiendo del gas empleado. Si la presión del sistema permanece constante mientras la temperatura es cambiada, la densidad del gas disminuye sobre este rango de temperatura con un factor de 4.3. Si la presión del sistema es incrementada sin cambiar la temperatura, la densidad del gas se incrementa aproximadamente con el mismo factor. [6]

Durante el proceso de secado de partículas porosas en un lecho fluidizado a vacío, las resistencias internas, dominan el proceso durante el periodo de reducción de velocidad de secado, donde la capacidad de remoción de humedad fuera del fluido gana importancia. [7]

Experimentos han mostrado que la velocidad mínima de fluidización es influenciada por la presión y temperatura operacional, y se incrementa, cuando se reduce la presión o cuando se incrementa la temperatura de operación. [8]

#### **2.4 Uso de vapor sobrecalentado en lechos fluidizados**

En varios procesos de lechos fluidizados, se ha reemplazado el medio de secado antes utilizado, el aire caliente por el vapor sobrecalentado, por varias razones:

1) Ahorro de energía: más de un 90% de ahorro de energía es posible porque la energía suministrada a estos secadores puede ser recuperada en una forma utilizable. [9]

2) Los secadores que operan con vapor sobrecalentado requieren un sistema cerrado, y por lo tanto no hay emisión de partículas finas a la atmósfera que cree contaminación.

3) Calidad del producto: Cuando se lleva a cabo el secado con vapor no hay posibilidad de que se contamine el producto por humo de gas u oxidación. En muchos casos este da una mejor calidad en el secado. Muchos alimentos para animales contienen fibras, proteínas y almidones. Entonces, en estos productos se ha encontrado, al ser

secados con vapor sobrecalentado que son más fáciles de digerir y en muchos casos tienen un valor nutritivo más alto. [10]

4) No existe resistencia del gas alrededor de la superficie del sólido, incrementando la transferencia de masa.

5) No existe posibilidad de oxidación en una fluidización con vapor sobrecalentado debido a que el ambiente no contiene oxígeno. Otra ventaja de la falta de oxígeno es que se elimina el riesgo de incendio y de explosión.

6) Si se generan sustancias volátiles durante el proceso, pueden ser separadas posteriormente en un condensador. [11, 12]

7) Recuperada y usada en otras secciones, se puede eliminar la contaminación ambiental. Estudios recientes han determinado también otras ventajas del vapor sobrecalentado en los procesos de secado, como las altas velocidades de secado y la desodorización de los productos al realizarse en una cámara cerrada sin aire. [13]

## **2.5 Ventajas y limitaciones de la técnica de fluidización**

La técnica de fluidización ha sido usada en operaciones que cuentan con contacto entre fluidos y sólidos, siempre que altas velocidades de transferencia de calor y masa entre sólido y fluido son requeridas o cuando altas velocidades de transporte de sólidos, hacia y desde un lecho son necesarias.

Algunas de las ventajas de esta técnica son:

1) Una enorme área de contacto entre el sólido y el fluido (un metro cúbico de partículas con un diámetro de 100 micras, tiene un área superficial mayor a los 30 mil metros cuadrados, que es similar al área superficial de la pirámide de Keops). Con esta gran área se logra alcanzar altas velocidades de transferencia de calor y masa entre el sólido y el fluido.

2) La facilidad de control con la que sólidos fluidizados son manejados.

3) La reducción de gradientes de temperatura a proporciones despreciables, a través del lecho como consecuencia del alto grado de mezcla de sólidos, que ocurre en sistemas de fluidización de gases.

4) Altas velocidades de transferencia de calor entre sólidos fluidizados y superficies inmersas.

5) el valor de la alta inercia térmica de los sólidos en operaciones de transferencia de calor.

Existen también ciertas limitantes en este tipo de operaciones:

1) El proceso demanda un gasto de potencia para la fluidización significativo.

2) Algunos sólidos no pueden ser fluidizados porque tienen una tendencia excesiva por el agotamiento de la partícula o una tendencia por aglomerarse.

3) Las velocidades operacionales están limitadas a un rango sobre el cual es lecho es fluidizado.

4) Existe usualmente un límite en el tamaño de las partículas que pueden ser fluidizadas (6500 micras o  $\frac{1}{4}$  de pulgada hasta unas micras o 0.001 pulgadas). Este límite es particularmente dependiente de la viscosidad del fluido y la razón de densidad de la partícula y el fluido, así como de la velocidad del flujo del fluido.

5) Una operación contracorriente verdadera no se puede obtener por fluidización, debido al alto grado de mezclado que ocurre usualmente en un lecho fluidizado. Una operación de contracorriente puede ser aproximada, utilizando un lecho multietapa, pero se ocasiona un diseño más complejo y una alta inversión.

6) La ausencia general de gradientes térmicos a través de un lecho fluidizado bien mezclado, es una desventaja en aquellas operaciones donde los gradientes térmicos son necesarios.

7) La dinámica de sistemas fluidizados no son suficientemente bien entendidos para permitirse realizar estos procesos a gran escala, cuando las condiciones de reacción son críticas. [2]



## **2.6 Algunas ventajas de la investigación sobre lechos fluidizados**

1) Pequeñas mejoras en conversión y/o producción, tan pequeñas como un 0.5%, puede incrementar las ganancias en cientos de millones de dólares en todo el mundo.

2) La mejor operación de los equipos existentes pudiera ser lograda cuando la composición del catalizador o de la producción sea modificada.

3) El encendido y funcionamiento de nuevas unidades más pequeñas, más largas o un poco diferentes en diseño podría traer mejoras en el proceso. [14]

4) La experimentación e investigación de los diferentes procesos, nos brindará la ventaja de crear más aplicaciones prácticas, e incluso mejorar procesos existentes o reemplazar los procesos comúnmente usados por otros que involucren ciertas ventajas a través de lechos fluidizados.