

PROPUESTA PARA IMPLEMENTAR EL SECADO POR ATOMIZACIÓN EN EL PROCESO DE ACTIVACIÓN DE LA BENTONITA CON ÁCIDO SULFÚRICO

P. Romero¹, M. Otiniano²

RESUMEN

El presente trabajo propone reemplazar tres etapas del proceso de activación de la bentonita con ácido sulfúrico por una sola etapa, la del secado por atomización.

Palabras clave: Bentonita activada, secado por atomización, ácido sulfúrico.

PROPOSAL FOR THE IMPLEMENTATION OF SPRAY DRYING IN THE ACTIVATION PROCESS OF BENTONITE WITH SULFURIC ACID

ABSTRACT

The present work propose the replacement of the three stages of the activation process of bentonite with sulfuric acid by the only stage spray drying.

Keywords: Activated bentonite, spray drying, sulfuric acid.

1. INTRODUCCIÓN

La manufactura de las arcillas activadas por lixiviación parcial con ácidos minerales es un proceso que requiere un grado extremo de control de las variables de proceso para obtener un producto de la potencia blanqueadora requerida. Por eso se ha patentado una amplia variedad de procesos, pero se dispone de muy poca información de los procesos industriales reales, excepto de los datos en el artículo clásico de Burghardt^[2] y después de ello por Siddiqui^[1]. Por lo que se

presenta un diagrama de flujo del proceso general (Figura 1) que describe la moderna práctica industrial.

La arcilla en bruto^[4], como mineral se seca con aire y se transporta al **molino de rodillos** en donde la reducen a un tamaño más fino. El producto del molino es transportado a los tanques de tratamiento y mezclado con agua para formar un lodo de consistencia deseada. Allí la arcilla en bruto se mezcla con agua en un **espesador** y el lodo espeso se bombea al tanque del tratamiento.

1 pedroromero@yahoo.es, Departamento de Análisis de Procesos, FQIQ-UNMSM.

2 motinianoc@unmsm.edu.pe, Departamento de Operaciones Unitarias, FQIQ-UNMSM.

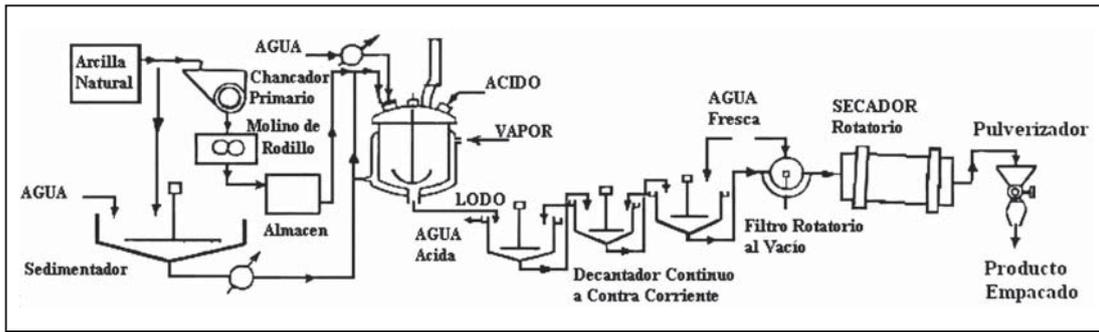


Figura 1. Diagrama de flujo para la manufactura de arcillas activadas.

Se añade el ácido sulfúrico al tanque en cantidades calculadas, entre 5 a 8 horas, con una buena agitación. La carga se calienta hasta ebullición usando vapor de agua.

Los contenidos se calientan por admisión de vapor vivo por un distribuidor a prueba de ácido. Después de la activación, el lodo es transferido a un sistema de decantadores continuos a contracorriente donde se lavan y sedimentan los lodos ácidos, tratando de llevar los lodos a una concentración máxima aproximadamente de un 35% en sólidos. La pasta lavada, libre de sales solubles y exceso de ácido, se bombea hacia un **filtro rotatorio continuo** al vacío. La torta del filtro se envía a un **secador rotatorio** en donde se reduce la humedad hasta el 10-15%, con partículas gruesas, necesitándose una unidad de molienda. El material secado es pulverizado hasta el tamaño deseado en un **molino Raymond**^[6] equipado con un clasificador barredor de aire, que proporciona un producto final con las especificaciones (-85% pasa la malla -200 Tyler). El producto se empaca y es vendido como arcilla blanqueadora de clase de contacto.

El presente trabajo propone el reemplazo de las tres últimas etapas: **filtro rotatorio continuo al vacío, secador de horno rotatorio y el molino Raymond** por una única etapa, la cual sería el **secado por atomización**.

Lo que se propone es que la arcilla lavada en tanques sedimentadores continuos, pueda ser secada mediante un **secador atomizador**; alimentando el lodo sedimentado a

dicho equipo, que tendría un porcentaje de sólidos de 20 a 35%. El producto de este secado no necesita ser clasificado, ya que el tamaño de partícula puede regularse durante el proceso de secado.

No se ha encontrado en la bibliografía antecedentes similares a la propuesta que se está poniendo a consideración.

2. FUNDAMENTOS DEL PROCESO SELECCIONADO

a) Ácido a usarse

La activación con ácido sulfúrico, ácido clorhídrico o con una mezcla funcionará en forma óptima para un determinado aceite o grasa.

b) Activación

Si se añade directamente al reactor la arcilla, el ácido y el agua (con el fin de disgregar y activar en una sola fase); se apreciará un posible aglutinamiento de la arcilla^[4]. Trayendo como consecuencia de esto un ataque no uniforme del ácido, requiriéndose del uso de un desfloculante que disperse la arcilla y así evitar este problema. Es obvio que el material deberá tener dimensiones pequeñas y el calentamiento de la mezcla necesitará de dispositivos especiales.

Además en la disgregación separada puede calentarse la bentonita de tal manera que en el reactor se minimice el consumo de ener-

gía; sumándose a esto el hecho de que el tanque disgregador puede usar medios convencionales de calentamiento; como vapor a través de serpentines, dado que el medio es mucho menos corrosivo que en el reactor.

Con respecto al tiempo de operación es relativo, ya que en la disgregación-activación se requerirá tiempo para calentar la mezcla hasta la temperatura normal de activación (100-105 °C). En cambio en la disgregación inicial y luego activación se requerirá más tiempo para disgregar pero se ahorra tiempo en calentar la mezcla en la activación ya que esto se llevará a cabo en la 1.ª parte.

c) Lavado

La arcilla puede lavarse usando tanques sedimentadores.

Los que deberán estar contruidos de material resistente a los ácidos. Por otro lado cada tanque sedimentador deberá tener un sistema de agitación de la mezcla y de descarga del líquido clarificado. La alimentación a los tanques de lavado se podrá hacer por gravedad sin necesidad de bombas.

d) Secado

Una vez lavada la bentonita, el lodo resultante de la sedimentación se secará en un secador atomizador. El producto final del secador atomizador será ya el producto final requerido para comercializar y poder ser envasado directamente.

A diferencia del producto final del secador de horno rotatorio, que necesita de otras operaciones para llegar al producto final listo para la venta, como es la molienda y la clasificación de las partículas logradas.

Un esquema de la propuesta se puede ver en la figura N.º 2:

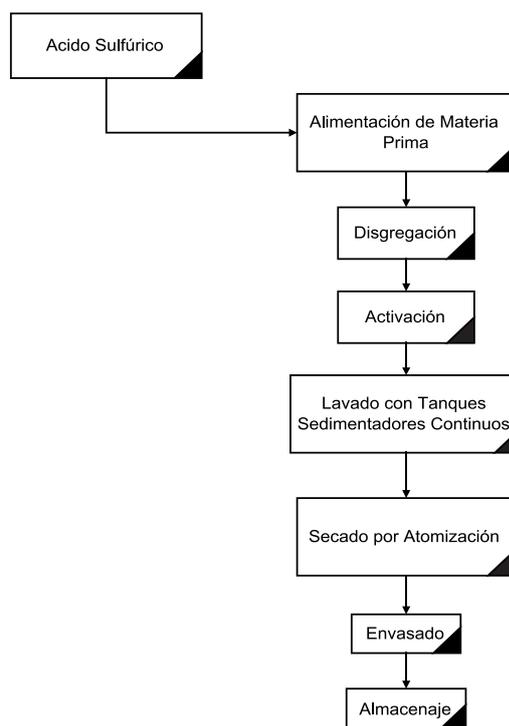


Figura 2. Secuencia óptima de procesamiento de arcilla activada.

Las ventajas son las siguientes:

- El tiempo de operación total desde la alimentación hasta el producto final es menor que la otra alternativa, ya que se reduce considerablemente el tiempo de operación, debido a que el secado por atomización es instantáneo.
- Se reduce al mínimo la exigencia en cuanto a condiciones de alta temperatura y presión.
- Se eliminan operaciones presentes en las otras alternativas, filtro rotatorio al vacío, secador rotatorio, molienda y clasificación de partículas.
- Se puede obtener un producto excepto de contaminación, fácil de embolsar y almacenar y transportar.
- Se minimiza las pérdidas del material por procesos.
- Se minimiza los costos de mantenimiento y de equipos.

3. SECADO POR ATOMIZACIÓN

La operación de secado por atomización consiste básicamente en la dispersión de la alimentación en pequeñas gotas de diferentes tamaños (spray), que entran en contacto con una corriente de aire caliente, el cual debido a la gran superficie de contacto que encuentra, es capaz de transferir la cantidad de calor necesaria para la evaporación del agua contenida en las gotas en unos cuantos segundos, obteniéndose, partículas secas que se separan de la corriente gaseosa.

Los factores importantes a considerar en **el secado por atomización** son:

- a) Tipo y características del atomizador.
- b) Propiedades y condiciones del producto a secar.
- c) Flujo de la alimentación y acumulación.
- d) Diámetro medio y distribución de gotas.
- e) Flujo y patrón de flujo de aire.
- f) Carga calorífica del aire.
- g) Geometría de la cámara y forma de mezcla del pulverizado-aire.
- h) Distribución de temperaturas dentro de la cámara.
- i) Tiempos de retención y de residencia.
- j) Pérdidas de calor.
- k) Características finales del producto deseado.

La **operación de secado por atomización** comprende cuatro pasos fundamentales:

1. Atomización.
2. Contacto atomizado - aire.
3. Secado (evaporación de la humedad).
4. Separación del producto.

El movimiento relativo entre el atomizado y el aire determina las formas de contacto, pudiendo ser en corriente paralela, contracorriente o flujo mezclado; la geometría del secado influye en el patrón de flujo de aire haciéndolo ciclónico o paralelo.

El secado por atomizado involucra las transferencias de calor y masa, siendo ideal el hecho de separar el secado del pulverizado, con el contacto pulverizado-aire, pues los dos ocurren simultáneamente.

Ventajas y desventajas del secado por atomización

Como mencionamos anteriormente, existen diferentes formas de secar un producto, y antes de poder seleccionar un método determinado se debería tener en cuenta algunos factores importantes, Perry^[5] describe los diferentes métodos, la clase de material que se aconseja secar por ellos y los factores anteriormente referidos; a continuación presentamos algunas ventajas y desventajas en el secado por atomización.

Ventajas

1. Es una operación de un solo paso, de duración muy corta. Frecuentemente esto elimina muchas operaciones intermedias, como son^[7]: la filtración, molienda y clasificación.
2. La operación es continua, pudiendo secar grandes cantidades de material. Además, la puesta en marcha o el final de la operación es simple debido a que no es necesario tener material de retención.
3. Las propiedades y calidad del producto pueden variarse y controlarse.
4. Este método de secado puede adaptarse a un ciclo cerrado, operando ya sea con un gas inerte o con un solvente sobrecalentado como medio secante.
5. Un material que se está secando no toca las paredes hasta que el producto esté seco. Esto generalmente simplifica los problemas de corrosión y la selección de los materiales de construcción.

Desventajas

1. Se obtienen bajas densidades volumétricas cuando se requiere lo contrario.

Esto se da frecuentemente en el caso de materiales inorgánicos.

2. En general los secadores de este tipo son relativamente inflexibles, así un secador diseñado para atomización fina generalmente es incapaz de producir un producto de partículas más grandes.
3. Para una capacidad dada generalmente se requiere cargas evaporativas más grandes que las que se requieren en otros secadores.
4. En general, estos secadores, involucran una inversión inicial mayor que otros tipos de secadores continuos, excepto a altas capacidades, por encima de las 680 kg/h.
5. Frecuentemente los problemas de recolección de productos y de finos aumenta el costo del secado en un factor apreciable.

Contacto atomizado - aire

Los factores importantes en el diseño de una cámara de secado son:

- a) Dirección y grado de atomización (contacto atomizado-aire).
- b) Patrón de flujo del aire, descarga del producto.
- c) Tiempo de retención.
- d) Flujo de aire.

Este último es una función de la razón de evaporación requerida y de las características del secado. El tiempo de de retención es igual al volumen de la cámara dividido entre el flujo del aire, y expresa el tiempo de retención medio del aire en la misma. La dirección en la cual las partículas atomizadas son arrojadas, determinan el diseño básico; si la torre es vertical se dará la adecuada distancia vertical para las gotas lanzadas en el cono de la tobera, o el diámetro relativo adecuado de la cámara para acomodar

las gotas giradas horizontalmente desde un atomizador centrífugo. La falta de conocimientos de la interdependencia de las variables, limita una relación general que pueda involucrar los efectos combinados del atomizado, en el diseño de los secadores.

Diseños de cámaras utilizadas en la industria

Los diseños de cámara comúnmente construidos para la industria química están ilustrados en **las Figuras 3 y 4**. Son de tipo de atomización centrífuga, hay otros que tienen atomización por tobera.

Los secadores por atomización en los cuales el flujo de aire es esencialmente en cocorriente, es usado principalmente en instalaciones comerciales por muchas ventajas, y es que permite el diseño simple y puede resultar de buen éxito para secar un amplio rango de productos.

La Figura 3 muestra un secador con atomización centrífuga con flujo de aire turbulento, cocorriente y espiral. Una corriente secundaria de aire frío circula en flujo mezclado, el flujo de aire que es rotado en dirección opuesta al atomizador, incrementa la turbulencia y mejora la razón de secado. La acción del aire en el atomizado permite el diseño de un diámetro relativamente pequeño, pero con una altura relativa grande. Un cono con buena inclinación evita la obstrucción en la cámara y ayuda a prevenir la acumulación del material seco. Una modificación de este diseño permite la introducción de aire tangencialmente a la pared del cilindro, ya sea ambiental o calentado, para incrementar la eficiencia de secado, o el enfriamiento y endurecimiento del material con temperaturas moderadas. El tiempo de retención puede ser diseñado sobre un amplio rango, usando técnicas de atomización y patrones de flujo^[10].

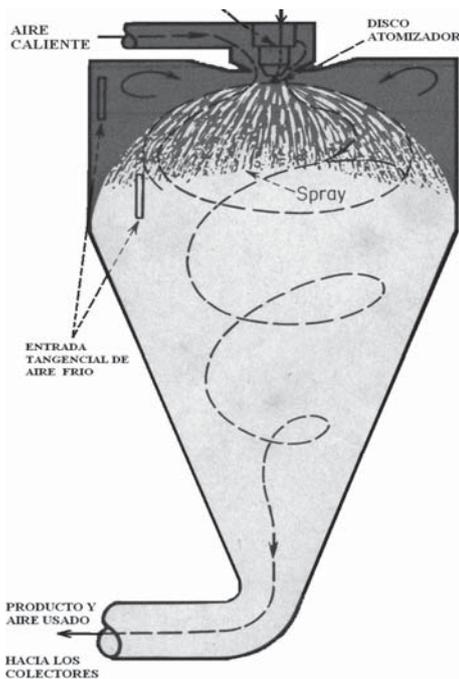


Figura 3. Secador con atomización centrífuga.

La Figura 4 ilustra un tipo de secador originado en Europa y que tiene algo de similitud con la Figura 3, sin embargo, el ingreso del aire caliente es introducido debajo del atomizado (spray) por un ducto y dispersado dentro de la cámara. La dispersión del aire caliente puede ser ajustada para variar la dirección del aire contra el atomizado.

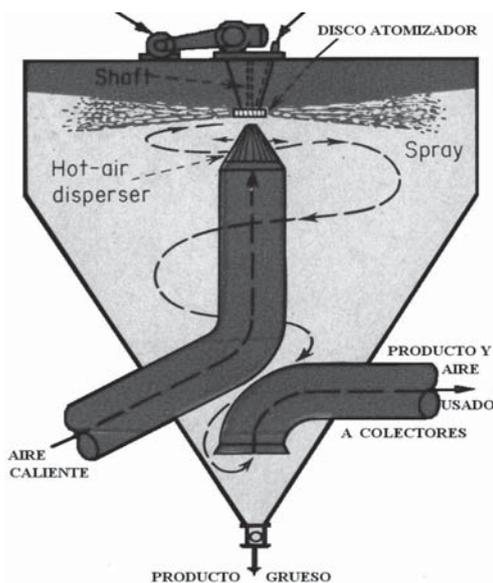


Figura 4. Secador con atomización centrífuga.

El patrón del aire y del atomizado determina el diámetro de la cámara, por lo que el atomizado es llevado horizontalmente. Es necesario una altura relativamente pequeña en el cilindro, y en la práctica el cono es hecho con un ángulo obtuso mayor que en la Figura 3. Este diseño se acomoda más a una menor turbulencia, velocidad baja del aire-atomizado y un tiempo de retención alto, el cual requiere un gran volumen de cámara. El tiempo de retención es generalmente (para equipos industriales) de 18 a 30 segundos.

Secado del atomizado (spray)

Esta tercera etapa de la operación de secado se refiere a la evaporación de las gotas, envueltas en el flujo del aire caliente. Esta involucra las transferencias de calor y masa entre el aire y el atomizado, y dichas transferencias ocurren por convección en la capa límite de cada gota. Ahora la capa límite como los fenómenos de transporte, dependerán de la temperatura, velocidad relativa entre el atomizado y el aire, la humedad y propiedades de transporte del atomizado y del aire.

Para gotas que provienen de una solución, la temperatura del equilibrio dinámico sería más alta que su temperatura de bulbo húmedo, y en el caso de suspensiones podrían ser iguales las dos temperaturas. Si la temperatura inicial de la gota no es igual a la temperatura del equilibrio dinámico, esta tendrá a aproximarse a esa temperatura. Durante este periodo inicial, el secado que se lleva a cabo es generalmente despreciable. Si la gota establece un equilibrio dinámico con el aire caliente, exhibirá un **período de secado constante**^[13,16] (**constant rate**). La duración de este período constante dependerá de la fuerza directora de la temperatura y del mecanismo interno de transferencia de masa.

Una temperatura alta del aire y una concentración de sólido elevada, acortará el período de secado constante, por lo tanto bajo estas condiciones este período puede ser despreciado. Un segundo período es el **decaimiento de la evaporación (falling-**

rate); el cual consta de dos etapas¹², la primera etapa consiste en la formación de una estructura rígida o semi-rígida en la superficie de la gota, la segunda es la remoción de la humedad remanente y esto está frecuentemente acompañado por una vaporización interna, la cual puede causar la expansión de la partícula.

La parte inicial de la curva representa el inmediato contacto de la gota-aire, se caracteriza por el aumento de la temperatura de la superficie, el cual se lleva a cabo en milisegundos¹⁰.

La parte recta (horizontal) representa el período de secado constante, caracterizado por la más alta razón de evaporación en toda la operación, la superficie de la gota está continuamente saturada por la migración de humedad de interior de la gota a la superficie. En la parte curva la intersección con la parte recta se define como punto crítico, este punto es alcanzado por la gota de mantener su superficie húmeda, y el período de secado declina; este período se da hasta que la superficie de la gota esté completamente seca. La parte final se caracteriza porque toda la transferencia de masa se ve limitada por la superficie sólida. La razón de evaporación se sigue desarrollando hasta que la humedad de la gota adquiere la humedad del medio, determinándose el equilibrio.

Regularmente el producto es removido de la cámara antes de alcanzar la humedad de equilibrio.

Efecto de las variables de operación en el tamaño de partícula y densidad volumétrica

- a) **Flujo de alimentación.** Un incremento de esta variable hará aumentar el tamaño de la partícula y la densidad volumétrica, porque al entrar más masa cuando todas las variables están constantes, esta se manifiesta con el aumento del tamaño.
- b) **Cantidad de sólidos en la alimentación.** A mayor cantidad de sólidos, el tamaño de partícula aumentará, porque

el tamaño de gota casi permanecerá inalterable.

- c) **Temperatura de alimentación.** Este factor afectará haciendo disminuir la viscosidad, en lo que se refiere a la carga calorífica que pueda tener la alimentación por su temperatura es despreciable, comparado con el calor total necesario para su evaporación. Con respecto a la densidad volumétrica, esta disminuirá con el aumento de la temperatura de alimentación, produciéndose partículas huecas.
- d) **Tensión superficial.** Esta influirá en forma indirecta a las partículas afectando en mayor grado en la atomización. Altos valores de tensión superficial producirá gotas de tamaño grande.
- e) **Temperatura del aire.** El efecto de esta temperatura depende de las características del material a secar. Pero regularmente esto afecta hinchando a las gotas y decreciendo la densidad volumétrica.

Elementos de diseño de un secador por atomización

Los datos de diseño de ciertas variables de operación de un secador deben determinarse por pruebas experimentales, antes de que el diseño final sea realizado. En general la selección del atomizador, el diseño de la cámara, y el sistema de recuperación del producto, estarán gobernados por las características de la solución o suspensión a secar, y las características deseadas del producto seco. Por ello es importante saber cuál es la secuencia que debe seguirse para obtener estos datos, pues ningún secador es lo suficientemente flexible.

En general, el primer paso es desarrollar un método seguro de obtención de datos de diseño de las variables de operación involucradas.

Generalmente las variables más importantes para las cuales los datos de diseño deben establecerse son las siguientes:

- Naturaleza del producto deseado.
 - El método de atomización utilizado.
 - Concentración de la alimentación.
 - Temperaturas de secado.
 - Necesidad de enfriamiento con corrientes secundaria de aire.
 - Método de separación del producto.
 - Recuperación de finos.
3. La máxima concentración que puede ser bombeada. Esto es característico de la solución o de la pasta.
 4. Pérdidas de calor o costos de combustibles. En general la tendencia es seleccionar la máxima concentración compatible con estas cuatro consideraciones. La concentración más alta posible generalmente será determinada por el bombeo y requerimientos de atomización.

a) Naturaleza del producto deseado

Cualquier material puede ser secado por este método hasta obtener partículas de diferentes tamaños y formas, que pueden ser esferas huecas, sólidas, aglomeradas o con un gran porcentaje de fragmentos. La decisión de las características del producto final, es fundamental para decidir el tipo de secador a seleccionarse y las técnicas de su operación.

b) Selección del método de atomización

La determinación del mejor método de atomización para un producto nuevo requiere de pruebas experimentales, en los diferentes atomizadores que existen. Sin embargo rara vez se encuentran disponibles, por lo que no es posible hacer comparaciones y encontrar cual es el mejor entre todos.

c) Selección de la concentración apropiada

La determinación de la concentración de la alimentación para propósitos de diseño puede ser hecha solo por pruebas experimentales. La concentración será determinada por las siguientes consideraciones:

1. Efecto en la calidad y operación del secador.
2. Efecto en la densidad a granel.

d) Selección de la temperatura de secado

La temperatura de secado está generalmente determinada solamente por la sensibilidad al calor del producto. Si el producto es completamente inerte, entonces la limitación de temperatura, generalmente la dan los materiales de construcción, la cantidad de calor que se puede suministrar al aire, o el efecto sobre algunas propiedades deseadas que pueden causar la temperatura en el producto.

e) Necesidad de enfriamiento del producto

Los datos de diseño sobre este punto, también solo pueden ser establecidos por pruebas. Aquellos productos que requieren aire secundario, para el enfriamiento después del secado son generalmente los termoplásticos y ciertos productos alimenticios que contienen azúcar. Frecuentemente, la necesidad es la de mantener las superficies interiores frías para prevenir el pegado de partículas.

f) Método de separación del producto

Dos métodos principales son usados para la separación del producto:

1. El producto es transportado desde el secador por los gases de salida. Este es generalmente el método más fácil de diseñar y es usado ampliamente

cuando se obtiene un producto fino y el rompimiento de partículas no es un inconveniente. Muchos esquemas han sido diseñados para la separación del producto por este método, el objetivo usual ha sido, en todos los casos separar todo el producto para que ningún material seco permanezca dentro del secador en contacto con las superficies calientes.

2. El segundo método está basado en el principio de separación de la mayor parte del producto del gas en la cámara de secado, separándolo a través de ventanas de descarga apropiadas, mientras que los gases de salida con polvo salen de un segundo colector de polvo. Este procedimiento es generalmente seguido cuando se desea un producto de partículas grandes con un mínimo de partículas rotas.

g) Recuperación de finos

Así como el proceso de secado por atomización crea un material subdividido, es evidente que la recolección de finos y polvo es una operación auxiliar importante. La eficiencia con la cual productos y polvo pueden ser recuperados podría hacer que la operación de secado no sea satisfactoria. Los sistemas de recolección que pueden encontrarse en el secado por este método son colectores ciclónicos, filtros de mangas, y colectores húmedos.

Comportamiento del secador por atomización

En general, los secadores operan en un amplio rango de condiciones. Ellos manipulan soluciones diluidas del 1% hasta de 70% de concentración de sólidos. Pueden operar con temperaturas de entrada entre 79 °C y 760 °C. El calor para el secado puede obtenerse del vapor de agua, aceite, gas, carbón o electricidad.

En la industria de alimentos, un gran porcentaje de secadores emplean calentadores de vapor indirectos para el calentamiento del aire y la temperatura de entrada estará limitada por la presión de vapor disponible. Esto impone un tope en la capacidad de evaporación para una cámara de tamaño o capacidad de aire fijados. El vapor de agua tiene muchas ventajas:

1. Cuando hay suficiente capacidad de evaporación el uso del vapor reduce la cantidad de atención y labor normalmente necesitada para un sistema de calentamiento directo.
2. El calentamiento indirecto es más limpio. No se requiere equipo auxiliar para la puesta en marcha y no hay peligro de ensuciar el producto con hollín, tal como puede ocurrir con una combustión incorrecta en sistemas de calentamiento directos.
3. No es relativamente peligroso, dado que las temperaturas son raramente lo suficientemente altas para que los productos en las paredes ardan.
4. No es costosa si se usa vapor de baja presión para el precalentamiento de la alimentación, en cuyo caso el consumo puede ser tan bajo como de 1,4 a 2 kg de vapor/kg de agua evaporada.
5. El uso de la temperatura del aire de entrada relativamente baja es conducida para alcanzar polvos de alta densidad. Otro método de calentamiento indirecto del aire es el de pasarlo a través de un intercambiador de calor calentado por los gases residuales de la caldera antes de descargarlos a la atmósfera. Un calentador de vapor se instala en el sistema principalmente como medio de regular la temperatura de aire caliente pero también puede ser usado cuando la planta se está poniendo en marcha.

Las características del producto final, obtenidas en esta operación de secado por atomización (tamaño, forma, densidad, humedad, etc.) dependerán en forma particular

de sus condiciones de operación y de los parámetros y características del atomizador, lo que hace sumamente difícil predecir dichas propiedades sin realizar pruebas experimentales.

Para realizar dichas pruebas se puede utilizar un secador por atomización a nivel de planta piloto equipado con atomizador de disco centrífugo para manipular elevadas razones de alimentación y producen spray más uniformes.

Para conseguir una distribución de partícula de producto seco uniforme y de una determinada dimensión, es fundamental mantener una superficie periférica húmeda constante en el disco. Dicha película tiene una influencia fundamental en las características del spray y en el tamaño de las partículas secas. Esta película húmeda está afectada por el diámetro del disco, la rapidez de giro del disco, el número de ventanas, altura de las ventanas, y las propiedades físicas y químicas de la alimentación, la razón de la alimentación y otras variables operacionales.

Con la determinación experimental del diámetro medio de la gota a la salida del disco atomizador (D_{vs}) de la muestra y las propiedades de la alimentación, conjuntamente con las características del atomizador y la razón de alimentación para las pruebas experimentales, se determinará la periferia húmeda del disco (M_p) despejado de la siguiente ecuación propuesta por Friedman, Gluckert y Marshall⁵, quienes estudiaron experimentalmente el efecto de las características del atomizador y de las variables de operación sobre el tamaño de las partículas.

$$\frac{D_{vs}}{r} = 0,4 \left[\frac{M_p}{\rho \cdot N \cdot r^2} \right]^{0,6} \left[\frac{\mu}{M_p} \right]^{0,2} \left[\frac{\sigma \rho L}{M_p^2} \right]^{0,1}$$

M_L = velocidad de alimentación

M_p = unidad de periferia húmeda

L = velocidad de alimentación por unidad de periferia húmeda

ρ, σ, μ : densidad, tensión superficial y viscosidad de la alimentación

D_{vs} = Diámetro medio de gota a la salida del disco atomizador, en micrones

$V_T = \pi d \cdot N$ = velocidad tangencial de las gotas

d = diámetro del disco (r : radio del disco)

N = velocidad de giro del disco (rpm)

La velocidad radial es despreciable comparada con la velocidad tangencial y el valor resultante de la velocidad será casi el de la velocidad tangencial, como si fuera la velocidad periférica.

Dicha correlación empírica (I) es capaz de englobar todos los parámetros involucrados en el proceso, de allí que es válida para el escalamiento de diferentes tamaños de disco, pero dentro del rango de condiciones para las cuales fue ajustada.

Por lo cual se pueden realizar las pruebas experimentales a diferentes concentraciones del lodo y a diferentes flujos de alimentación manteniendo constantes los parámetros del secador y del atomizador, por lo que se espera que se produzca un producto seco casi instantáneamente, dentro del rango de tamaño característico de la bentonita activada.

4. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar las pruebas experimentales y utilizar **un secador por atomización a nivel de planta piloto**. Se tiene acceso para el uso del secador de la firma sueca **Niro-Atomizer**, tipo Minor, modelo 53-MQ-2/Q, con **un atomizador de disco centrífugo**, ubicado en el Laboratorio # 23 de la **Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería** para demostrar experimentalmente la factibilidad de utilizar el secado por atomización en el proceso de obtención de la bentonita activada.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado la propuesta del **secado por atomización**, como única etapa, para reemplazar las tres últimas etapas del conocido proceso de fabricación de bentonitas activadas, como son el filtro rotatorio continuo al vacío, secador de horno rotatorio y el molino Raymond. Entre las principales ventajas que tendría sería que el tiempo de operación es muy corto casi instantáneo, reduciendo las pérdidas de material, no requiriendo altas temperaturas y presiones, y minimizando los costos de mantenimiento y de equipos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Siddiqui M. *Bleaching Earths*. Londres: Pergamon Press; 1968.
- [2] Burghardt O. *Arcillas Activadas*. Salzelmen Germani.
- [3] Friedman SJ, Marshall WR Centrifugal Disk Atomization. *Chem Eng Progr*: 1952: 48, 181.
- [4] Dunin-Borkowski E. *Minerales Industriales del Perú*. Lima: Ingemmet; 1996.
- [5] Perry J. *Chemical Engineering Handbook*, 5 ed. New York: Mc Graw-Hill; 1973.
- [6] Foust AS. *Principios de Operaciones Unitarias*. México: CECSA; 1977.
- [7] Pavlov, KF, Romankov PG. Problemas y Ejemplos para el Curso de Operaciones Básicas y Aparatos en Tecnología Química. Moscú: Editora Mir; 1981.
- [8] Treybal R. Operaciones de Transferencia de Masa, 2.ª México: McGraw - Hill; 1980.
- [9] Levenspiel O. Ingeniería de las Reacciones Químicas, 2.ª Madrid: Editorial Reverté; 1981.
- [10] Belcher DW, Smith DA, Cook E M. Design and use of Spray Dryers Part I and II, *Chem Eng* 1963: 30, 83, 14, 201.
- [11] Chemical Engineering. Drying Equipment Reprinted from Chemical Engineering. *Chem Eng* 1977 Jan 17.
- [12] Crosby EJ, Marshall WR. Effects of Drying Conditions on the Properties of Spray - Dried Particles. *Chem Eng Progr*. 1958: 54, 56.
- [13] Lapple CE, Shepherd CB. Calculations of Particle Trajectories. *Ind Eng Chem* 1940: 32: 605.
- [14] Marshall WR, Seltzer E. Principles of Spray Drying. *Chem Eng Progr* 1950: 46: 501.
- [15] Trommelen AM., Crosby EJ. Evaporation and Drying Of Drops in Superheated Vapors. *AIChE Journal* 1970: 16: 857.