



Instituto Tecnológico de Durango

Protocolo de Proyecto de Tesis

**Maestría en Ciencias en Ingeniería
Química.**

***“Estudio hidrodinámico de la fluidización
de partículas cilíndricas”.***

Presenta: Paulina Hernández Ruelas.

Asesor: Dr. Carlos Francisco Cruz Fierro.

INDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN	3
MARCO TEÓRICO	4
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECIFICOS	9
HIPÓTESIS	9
MÉTODO EXPERIMENTAL	10
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	12
BIBLIOGRAFÍA	13

INTRODUCCIÓN

A pesar del progreso obtenido en los últimos años en el conocimiento del comportamiento de las partículas en los diferentes procesos que involucran el contacto de una fase sólida con una fase fluida, la gran mayoría de los modelos usados se basan en la suposición de que las partículas son de forma esférica. Sin embargo, en la práctica, el contar con partículas esféricas (o suficientemente cercanas a esferas) es la excepción más que la norma.

El objetivo de este proyecto, es el de contar con descripciones más precisas del comportamiento hidrodinámico de los lechos fluidizados con una geometría diferente a la esfera. Las partículas que aparecen en muchos sistemas fluidizados de interés industrial tienen más similitud con una forma cilíndrica que con una forma esférica. Para describir el comportamiento de el lecho, es necesario el conocer la geometría de la partícula. La información de la altura de lecho nos puede proporcionar un conocimiento a fondo de cómo se va a desarrollar un proceso.

La figura siguiente muestra la comparación entre una partícula cilíndrica y una partícula esférica,

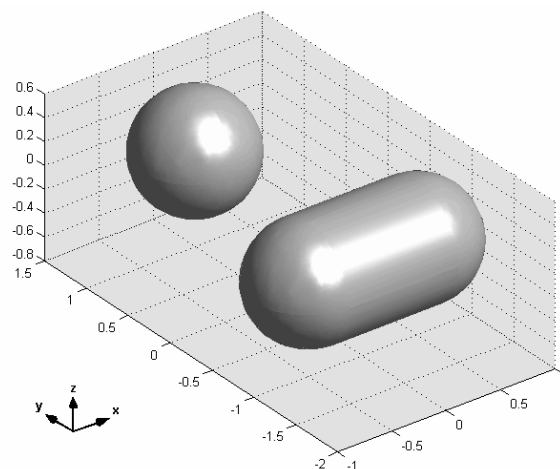


Figura. Comparación entre una partícula cilíndrica y una partícula esférica.

JUSTIFICACIÓN

Innegablemente, los procesos de sistemas partícula-fluido basados en la suposición de partículas esféricas han encontrado amplia aplicación a la solución de problemas reales de diseño y mejora de proceso químicos. Desafortunadamente, esta descripción del sistema es necesariamente incompleta dado que son pocas las ocasiones en las que se puede hablar, con toda certeza, de un sistema de partículas esféricas. Dependiendo del grado de error que se tenga sobre los resultados de dicho diseño o proceso químico es donde se puede observar que tanto afecta la esfericidad de la partícula.

Dados los recientes avances tecnológicos en el área tanto industrial como ambiental entre otras, se ha puesto al alcance de los investigadores varias herramientas muy valiosas en términos de conocimiento de sistemas reales, plasmado en la forma de un modelo que describe el sistema líquido-sólido con partículas esféricas. Una vez conocido valorado y estudiado el sistema, es necesario el conocer su equivalente pero con partículas cilíndricas, con lo cual el investigador dispondrá de herramientas con las cuales podrá conocer y experimentar un gran número de variaciones de las condiciones del problema, ya sea en búsqueda de un óptimo, o para entender más a fondo el comportamiento del sistema en cuestión.

Al obtener datos experimentales de el comportamiento de partículas no esféricas, se está dando un paso en la dirección correcta, con el fin de obtener una representación más realista del fenómeno físico en cuestión.

Dada su amplia aplicabilidad en procesos industriales en general, y en procesos de índole ambiental en lo particular, el disponer de datos experimentales del comportamiento y características de un lecho fluidizado de partículas no esféricas para este tipo de tratamientos tiene un alto potencial de impacto en investigación y desarrollo tecnológico.

MARCO TEÓRICO

Fluidización se puede definir a partir de el conocimiento de que partículas sólidas en reposo son elevadas y suspendidas por una corriente en movimiento de forma ascendente, que puede ser un gas o líquido (llamado también de forma general fluido), debido a esta interacción entre las partículas sólidas y el fluido se le denomina operación unitaria de contacto.

Durante este proceso, las partículas sólidas (fase dispersa) se comportan como un fluido, de ahí la denominación de “fluidización”.

Los sistemas gas-sólido pueden mostrar diferentes regímenes de fluidización, en particular la formación de burbujas (regiones con mucho menor contenido de partículas). Los sistemas líquido-sólido, por otro lado, son hidrodinámicamente más estables.

Los lechos fluidizados han encontrado variedad de aplicaciones industriales (Epstein, 2003) entre las que destacan:

- Clasificación mecánica de partículas por tamaño, densidad o forma.
- Lavado y/o lixiviación de sólidos.
- Cristalización por sembrado.
- Adsorción e intercambio de iones.
- Favorecimiento de la electrólisis por medio de partículas fluidizadas.
- Intercambiadores de calor de lecho fluidizado.
- Reactores catalíticos heterogéneos, en particular la reformación catalítica del petróleo.
- Combustión de carbón en lecho fluidizado.
- Biorreactores de lecho fluidizado.

Entre las aplicaciones recientes de los lechos fluidizado en la rama de procesos ambientales se pueden observar :

- Separación y clasificación de desechos sólidos.
- Gasificación de biomasa en lechos fluidizados.
- Incineración de biomateriales por fluidización.
- Biofiltros de lecho fluidizado.
- Biorremediación con microorganismos fijos en partículas sólidas fluidizadas.
- Remoción de sólidos suspendidos en aguas residuales (Jovanovic, 2005).

Un lecho fluidizado líquido-sólido consiste de un recipiente vertical que contiene partículas donde el líquido es introducido a través de perforaciones (plato distribuidor) en el fondo del recipiente. El líquido asciende a través del lecho suspendiendo las partículas. Al incrementar la velocidad del líquido, el lecho se expande de manera regular. Si la velocidad se eleva hasta alcanzar la velocidad terminal de las partículas, éstas son acarreadas fuera del sistema (elutriación).

La esfericidad es un parámetro que puede usarse para caracterizar la geometría de las partículas, el cual determina que tanto las partículas se acercan a la forma ideal de esferas perfectas. La caracterización de las partículas se puede encontrar por medio de:

Esfericidad.-

$$\phi_s = \left[\frac{\text{Superficie de una esfera}}{\text{Superficie de una partícula}} \right]_{\text{mismo volumen}}$$

Cuando $\phi_s = 1$, nos dice que las partículas son esferas perfectas.

$0 < \phi_s < 1$ esto es aplicable para partículas con geometría diferente a la de una esfera.

Superficie de la esfera se calcula a partir de.-

$$s = 4 \pi r^2 \quad (1)$$

$$s = \pi d_{sph}^2$$

Superficie específica para una partícula por definición se determina como.-

$$a' = \frac{\text{Superficie de partícula}}{\text{Volumen de una partícula}}$$

Superficie específica para una partícula no esférica.-

$$a' = \frac{\pi d_{sph}^2 / \phi_s}{\pi d_{sph}^3 / 6} = \frac{6}{\phi_s d_{sph}} \quad (2)$$

Superficie específica para una partícula esférica.-

$$a' = \frac{6}{d_{sph}} \quad (3)$$

Superficie total del lecho.-

$$a = \frac{\text{Superficie de todas las partículas}}{\text{Volumen de todas las partículas en el lecho}} = \frac{6(1 - \varepsilon_m)}{\phi_s d_{sph}} \quad (4)$$

donde ε_m es la fracción hueca, que en el lecho se visualiza como el espacio que existe entre las partículas para que el fluido se desplace y permita la fluidización de las partículas.

La Tabla 1 nos muestra la esfericidad para algunos tipos de partículas:

Tabla 1.- Esfericidad de Partículas.

Tipo de partícula	Esfericidad ϕ_s
Esfera	1.00
Cubo	0.81
Cilindros	
• h = d	0.87
• h = 5 d	0.70
• h = 10 d	0.58
Discos	
• h = d / 3	0.76
• h = d / 6	0.60
• h = d / 10	0.47
Carbón activado	0.70 – 0.90
Sólidos pulverizados	0.63
Corcho	0.69

(Levenspiel – Kunii, 1991)

Diámetro de una esfera.-

d_{sph} = (diámetro de una esfera con volumen igual a una partícula)

$$d_{sph} = \left(\frac{6V_p}{\pi} \right)^{1/3} \tag{5}$$

El diámetro efectivo.-

$$d_{eff} = \phi_s d_{sph} \tag{6}$$

- **Partículas grandes (>1 mm)**

Si las partículas son de forma regular, su tamaño se puede encontrar por medio de calibradores o micrómetros, si se sabe su densidad, pesando cierto número de partículas, o por desplazamiento de líquido si las partículas son no porosas.

- **Partículas medianas:**

La determinación del tamaño y clasificación de este tipo de partículas, se lleva a cabo por tamizado, (Levenspiel – Kunii, 1991).

En el caso de partículas medianas, no se encuentra relación entre d_{eff} y d_p (diámetro de la partícula), por lo que podemos deducir:

- ✓ Para las partículas irregulares sin una dimensión aparentemente más larga o más corta.-

$$d_{eff} = \phi_s d_{sph} \cong \phi_s d_p \quad (7)$$

- ✓ Para las partículas irregulares con una dimensión algo más larga, pero con una relación de aspecto menor a 2:1 (cilindros cortos).-

$$d_{eff} = \phi_s d_{sph} \cong d_p \quad (8)$$

- ✓ Para las partículas irregulares con una dimensión algo más corta, pero con una relación de aspecto mayor a 2:1 (cilindros largos), aproximadamente.-

$$d_{eff} = \phi_s d_{sph} \cong \phi_s^2 d_p \quad (9)$$

- ✓ Para las partículas planas o en forma de agujas, se estima experimentalmente la relación entre el d_p y d_{eff} de los valores ϕ_s para discos y cilindros.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento hidrodinámico de partículas cilíndricas en un lecho fluidizado.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar y construir una unidad experimental de fluidización líquido-sólido.
- Seleccionar partículas cilíndricas que, por sus características físicas (tamaño, forma, densidad) abarquen diferentes condiciones de fluidización en el equipo experimental.
- Obtener datos experimentales de las características de fluidización de las partículas cilíndricas seleccionadas.

HIPÓTESIS

El comportamiento hidrodinámico de partículas cilíndricas en un lecho fluidizado es diferente que el de partículas esféricas, por lo que no es adecuado describirlo con los mismos modelos usados normalmente para las partículas esféricas.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Se diseñará una unidad experimental para fluidización líquido-sólido, que se montará en el Laboratorio de Ingeniería Química. En base al rango de condiciones de operación y a las características de las partículas a fluidizar, se seleccionarán las dimensiones del equipo y los accesorios (bomba, válvulas, etc.) e instrumentación básica (medidores de flujo y presión) necesarios.

Enseguida se procederá a una selección física de las partículas cilíndricas que por su forma, densidad, tamaño, peso, se crean que son las adecuadas y que de forma representativa muestren el comportamiento de un lecho fluidizado.

Una vez que se seleccionaron las partículas de manera física, se realizarán las pruebas preliminares de fluidización de dichas partículas para así, observando el comportamiento de éstas en el lecho, determinar 5 tipos diferentes de partículas que son con las que se va a trabajar. Al ser seleccionadas, se les determinará su longitud y su diámetro (medidas con un vernier), peso (báscula), densidad, esfericidad, etc. Estas partículas al ser seleccionadas se someterán a 6 diferentes valores de velocidad superficial de fluidización.

Los parámetros adimensionales que caracterizarán la fluidización de estas partículas son el número de Reynolds de cada partícula, el número de Arquímedes y la relación de aspecto. La velocidad de fluidización afecta directamente al número de Reynolds.

Con la selección final de partículas se llevarán a cabo los diversos análisis de el lecho fluidizado, tomando en cuenta diversas variables entre las que podemos encontrar, la velocidad de fluidización, tamaño de partícula, densidad de partícula, tamaño de expansión de lecho (determinada por inspección visual), caída de presión a través del lecho (registrada por medio de un transductor de presión), entre otras.

Con las partículas seleccionadas, parámetros a determinar, así como números adimensionales, cada experimento se realizará por triplicado.

Cuando ya se obtuvieron los resultados de los diversos experimentos, se procederá a el análisis e interpretación de los datos, para así de esta manera reportar los resultados de variación obtenidos de las tres partículas seleccionadas a las cuales se les determino su esfericidad, que nos llevará a la vez a un mejor conocimiento del comportamiento de estos sistemas fluidizados, para su aplicación en el diseño de procesos químicos.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Jul- Ago 2006	Sep- Oct 2006	Nov- Dic 2006	Ene- Feb 2007	Mar- Abr 2007	May- Jun 2007	Jul- Ago 2007	Sep- Oct 2007	Nov- Dic 2007	Ene- Mar 2008
Revisión bibliográfica.										
Selección de partículas.										
Diseño y construcción del equipo experimental.										
Pruebas preliminares de fluidización con las partículas seleccionadas.										
Obtención de datos experimentales.										
Análisis e interpretación de datos obtenidos experimentalmente.										
Presentación en un foro internacional.										
Redacción de Tesis.										
Defensa de Tesis.										

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson y Jackson (1967). "A fluid mechanical description of fluidized beds". I&EC Fundamentals 6: 527-539 p
- Cruz-Fierro (2005). "Hydrodynamic Effects Of Particle Chaining In Liquid-Solid Magnetofluidized Beds: Theory, Experiment, And Simulation": Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Chemical Engineering, Oregon Sate University, U.S.A.
- Epstein, N (2003). " Liquid-Solids Fluidization": Capítulo del libro: Handbook of Fluidization and Fluid-Particle System, W.-C. Yang (editor). New York, Marcel Dekker, Inc.: 705-764 p
- Haider y Levenspiel (1989). "Drag Coefficient and Terminal Velocity of Spherical and Nonspherical Particles": Powder Technology 58: 63-70 p.
- Jovanovic, Sornchamni, Reed, Cruz Fierro, Atwater, Akse y Wheeler Jr. (2005). "Magnetically Assisted Filtration of Solid Waster: Laboratory and Flight Experiments": SAE Technical Paper Series (ISSN 0148-7191) paper 2005-01-3082, 35th International Conference on Environmental Systems (ICES) , Rome, Italy, July 11-14, 2005.
- Levenspiel, Kunii (1991). "Fluidization Engineering". Butterwort-Heinemann series in chemical engineering. 61 – 63 p.

- 📖 Pyle (1950). “Some effects of particle shape on fluidization characteristics”. Tesis de Licenciatura, University of Washington, 37 p.
- 📖 Pinto-Espinoza, Joaquín (2001). “Dynamic behavior of ferromagnetic particles in a liquid-solid magnetically assisted fluidized bed (MAFB): Theory, Experiment, and CFD-DPM simulation. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Chemical Engineering, Oregon Sate University, U.S.A.