

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

## **ANTEPROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

“Simulación de la fuerza de arrastre ejercida sobre una cadena de partículas esféricas”

**Asesor Interno**

Dr. Carlos Francisco Cruz Fierro

**Empresa o Institución**

Instituto Tecnológico de Durango

**PERIODO**

Enero – Junio 2009

# ANTEPROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

## DATOS GENERALES

<b>Nombre del proyecto</b>	<b>"Simulación de la fuerza de arrastre ejercida sobre una cadena de partículas esféricas"</b>
<b>Director del proyecto</b>	Dr. Carlos Francisco Cruz Fierro
<b>Empresa o institución</b>	Instituto Tecnológico de Durango
<b>Departamento académico</b>	Departamento de Ingenierías Química y Bioquímica
<b>Lugar de realización</b>	Centro de Cómputo del Laboratorio de Ingeniería Química (LIQ1)
<b>Periodo de realización</b>	Enero – Junio 2009

## ANTECEDENTES

### *Arrastre en partículas en lechos fluidizados*

En un lecho fluidizado, se ponen en contacto una fase sólida con una fase fluida que puede ser un líquido o un gas. Ya que la fase sólida se presenta en forma de partículas, se le suele denominar "fase particulada", mientras que la fase fluida se le denomina "fase continua". El flujo vertical ascendente del fluido ejerce una fuerza de arrastre sobre las partículas. Si la velocidad de flujo es suficientemente alta, esta fuerza tiende a igualar al peso flotante de las partículas, con lo que éstas se levantan y se mantienen suspendidas en un estado de agitación constante.

El coeficiente de arrastre es el número adimensional que captura la magnitud de la fuerza de arrastre, comparada con la energía cinética del fluido que se aproxima a la partícula:

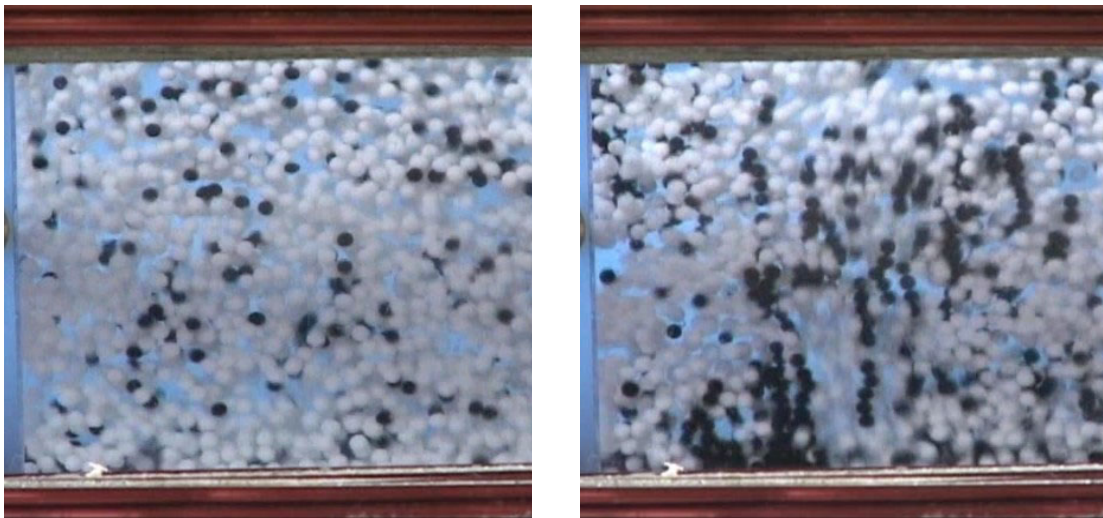
$$C_D \equiv \frac{|\mathbf{F}_D|}{\frac{1}{2} \rho_f |\mathbf{u} - \mathbf{v}|^2 A}$$

donde  $C_D$  es el coeficiente de arrastre,  $\mathbf{F}_D$  es la fuerza de arrastre ejercida sobre la partícula,  $\rho_f$  es la densidad del fluido,  $A$  es el área de la sección transversal de la partícula, perpendicular al flujo, y  $\mathbf{u}$  y  $\mathbf{v}$  son las velocidades del fluido y de la partícula, respectivamente. Existen numerosas correlaciones para estimar  $C_D$  para esferas, tanto para

flujo laminar como para flujo turbulento. Sin embargo, la información disponible para geometrías no esféricas es mucho más limitada.

### ***Arrastre sobre cadenas de partículas***

Experimentalmente se ha observado que la aplicación de un campo magnético a un lecho fluidizado de partículas magnetizables da origen a la formación de cadenas que se encuentran orientadas en la dirección de las líneas de campo (Figura 1). Estas cadenas presentan una interacción diferente con el fluido, dando lugar a cambios en el coeficiente de arrastre (Cruz-Fierro, 2005; Pinto-Espinoza, 2002).



**Figura 1.** Formación de cadenas de partículas en un lecho magnetofluidizado. En ausencia de campo (izquierda) todas las partículas se mueven libremente y se distribuyen al azar. Cuando el campo es aplicado (derecha), las partículas magnetizables forman cadenas. Partículas blancas no magnéticas agregadas para contrastar.

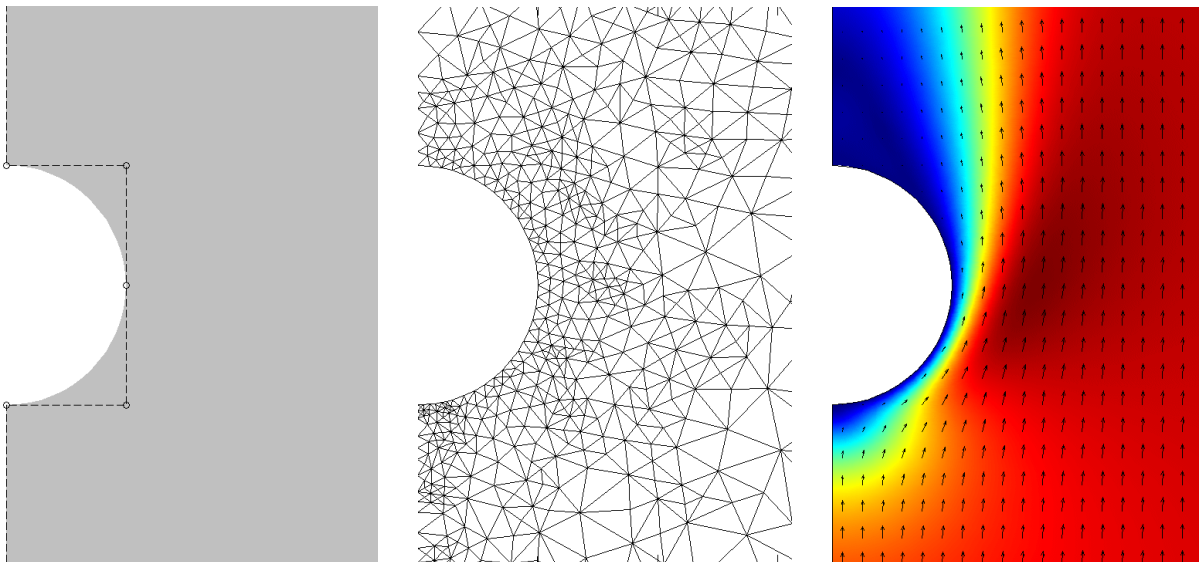
Desafortunadamente, a la fecha se carece de un modelo adecuado para predecir el coeficiente de arrastre para estas cadenas de partículas, en función del número de Reynolds, por lo que los modelos de simulación de lechos fluidizados empleados actualmente son incapaces de reproducir adecuadamente el comportamiento del lecho cuando se presenta formación de cadenas.

### Simulación CFD

La dinámica computacional de fluidos (CFD, computational fluid dynamics) es una herramienta de simulación que permite obtener perfiles de velocidades en sistemas con fluidos en movimiento. En el caso de sistemas con simetría cilíndrica, se puede llevar a cabo una simulación bidimensional considerando únicamente el plano rz.

FEMLAB (llamado Comsol Multiphysics en versiones más recientes) es un programa de simulación basado en MATLAB que permite llevar a cabo simulaciones de una gran variedad de fenómenos físicos, empleando el método de elementos finitos para resolver las ecuaciones diferenciales parciales que los describen. Uno de los módulos de FEMLAB aplica las ecuaciones de continuidad y Navier-Stokes para el cálculo de flujo de fluidos en sistemas con simetría axial.

El procedimiento general de solución se muestra en la Figura 2. La región de interés (dominio) se crea geoméricamente, se definen sus características como densidad y viscosidad, se discretiza formando un mallado triangular, y se resuelven numéricamente las ecuaciones diferenciales del sistema para obtener el perfil de velocidades y la distribución de presión en el sistema. A partir de estos resultados de simulación, se puede obtener información adicional como la fuerza ejercida por el fluido sobre una o varias de las interfases fluido-sólido.



**Figura 2** Ejemplo de simulación CFD axisimétrica en FEMLAB, flujo alrededor de una esfera. Izquierda a derecha: dominio, discretización y solución (perfil de velocidades).

El propósito de este proyecto es llevar a cabo simulaciones axisimétricas del flujo alrededor de una cadena de dos, tres o cuatro partículas, para evaluar la fuerza de arrastre ejercida por el fluido. Los resultados obtenidos se emplearán para proponer un modelo para dicha fuerza, en función del número de Reynolds y el número de partículas en la cadena.

### ***Referencias***

Cruz-Fierro C. F. (2005). "Hydrodynamic Effects of Particle Chaining in Liquid-Solid Magnetofluidized Beds: Theory, Experiment, and Simulation". Tesis para obtener el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería Química, Oregon State University, Corvallis, Oregon, EE. UU.

Pinto-Espinoza J. (2002). "Dynamic Behavior of Ferromagnetic Particles in a Liquid-Solid Magnetically Assisted Fluidized Bed (MAFB): Theory, Experiment, and CFD-DPM Simulation". Tesis para obtener el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería Química, Oregon State University, Corvallis, Oregon, EE. UU.

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar mediante simulación un modelo para predecir la fuerza de arrastre en flujo laminar sobre una cadena de dos, tres o cuatro partículas esféricas, alineada en la dirección del flujo.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- ★ Desarrollar en FEMLAB el modelo axisimétrico de la cadena de partículas.
- ★ Simular el flujo alrededor de la cadena a diferentes velocidades y con diferentes longitudes de cadena para obtener la fuerza de arrastre sobre la gota.
- ★ Desarrollar un modelo que relacione el coeficiente de arrastre con el número de Reynolds y la longitud de cadena.

## DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

- ★ **Investigación bibliográfica.** Se consultarán los recursos bibliográficos disponibles para obtener información relevante al proyecto.
- ★ **Capacitación en el uso de FEMLAB.** Se aprenderá el manejo del programa de simulación, cómo definir un modelo, discretizarlo, resolverlo, y obtener la fuerza ejercida por el fluido sobre una superficie.
- ★ **Desarrollo del modelo en FEMLAB.** Se definirá geoméricamente el modelo que represente el flujo alrededor de una cadena de partículas esféricas.
- ★ **Corridas de simulación.** Se llevarán a cabo diferentes simulaciones variando la velocidad de flujo del aire (por lo menos 5 valores) y la longitud de cadena (de dos a cuatro partículas, por lo menos).
- ★ **Correlación de resultados.** Se explorará la posibilidad de reducir los resultados de simulación a un modelo matemático que permita predecir el coeficiente de arrastre sobre la cadena en función de los parámetros estudiados.
- ★ **Seguimiento de residencia.** De acuerdo a la calendarización establecida, durante los tres periodos de seguimiento de residencia, se evaluará el avance logrado de conformidad con el formato SNEST-AC-PO-007-05.
- ★ **Preparación del reporte final.** En el reporte final se detallarán todas las actividades realizadas y los resultados obtenidos durante el periodo de residencia.

**ANTEPROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

Simulación de la fuerza de arrastre ejercida sobre una cadena de partículas esféricas

**CRONOGRAMA**

ACTIVIDAD	SEMANAS															
	FEB				MAR				ABR				MAY			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Investigación bibliográfica	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		
Capacitación en el uso de FEMLAB			◆	◆	◆	◆	◆									
Desarrollo del modelo en FEMLAB						◆	◆	◆	◆							
Corridas de simulación									◆	◆	◆	◆				
Correlación de resultados													◆	◆		
Seguimiento de residencia						◆			◆						◆	
Preparación de reporte final													◆	◆	◆	◆

**DATOS DE LA INSTITUCIÓN**

<b>Razón social</b>	Instituto Tecnológico de Durango
<b>RFC</b>	SEP-210905-775
<b>Giro o actividad</b>	Educación pública
<b>Titular</b>	Ing. Juan Gamboa García
<b>Domicilio</b>	Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote. Col. Nueva Vizcaya Durango, Dgo. 34080
<b>Dirección Internet</b>	<a href="http://www.itdurango.edu.mx/">http://www.itdurango.edu.mx/</a>