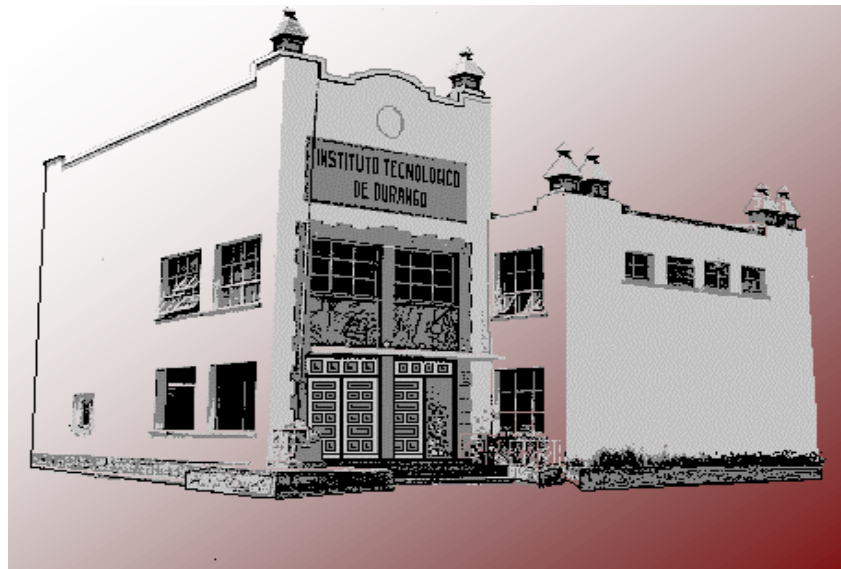


Instituto Tecnológico de Durango



INGENIERÍA QUÍMICA

PROTOCOLO DE PROYECTO DE TESIS
Simulación y correlación para el coeficiente arrastre
sobre una gota esférica en extrusión

PRESENTA:

José Alberto Rivera Esquivel.
03040907

DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Carlos Francisco Cruz Fierro

26 de marzo de 2010

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	2
OBJETIVOS.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
CRONOGRAMA.....	10
REFERENCIAS.....	10

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es el diseñar un sistema de simulación para el coeficiente de arrastre sobre una gota esférica en un extrusor prototipo. La realización de esta investigación pretende dar un seguimiento a la simulación mediante el uso de un programa conocido como COMSOL, donde se pueden plantear las formas y directrices que se deben tomar para poder desarrollar simulaciones de elemento finito.

En la Ingeniería Química se ha vuelto más importante en el desarrollo de nuevos procesos y prototipos. La combinación de trabajo experimental y análisis teórico en modelos por ordenador ha demostrado su utilidad al acelerar la comprensión y disminuir los costos involucrados en el desarrollo de nuevos procesos.

En el pasado, las sofisticadas herramientas de modelación estaban disponibles únicamente para las grandes empresas, donde los ahorros en granel justifican los costos de los programas informáticos y los ingenieros especializados en su uso.

Hoy en día, el modelado es una parte integral de la educación del Ingeniero Químico, el cual realiza modelos de sistemas avanzados en una PC.

JUSTIFICACIÓN

Estas simulaciones son muy importantes ya sea para una institución o en alguna empresa donde se necesite este tipo de trabajos, ya que pueden ayudar en el aprendizaje y el entendimiento del funcionamiento del equipo, así como en el análisis de lo que ocurre cuando se hace un cambio en las condiciones de operación.

En el Instituto Tecnológico de Durango se cuenta con un equipo que produce partículas esféricas por extrusión (Valero Soria, 2009), pero desafortunadamente no existe todavía un modelo confiable que permita predecir el tamaño de la partícula en función de las condiciones de operación del equipo, por lo que es cuestión de prueba y error para obtener partículas del tamaño deseado.

Por este motivo, se han dirigido los esfuerzos a entender diferentes facetas del fenómeno involucrado. Este trabajo es una contribución a dichos esfuerzos, desarrollando una herramienta de simulación que permita evaluar la fuerza de arrastre sobre la gota a medida que se va formando en el equipo.

ANTECEDENTES

El equipo para producción de partículas esféricas por extrusión (Figuras 1 y 2), que se utiliza para la fabricación de partículas de alginato, está constituido por un contenedor de solución, una cámara de corte, un rotámetro de aire, un regulador de presión, y se pueden instalar agujas de diferentes calibres según el tamaño de gota que se requiera (Valero Soria, 2009).



Figura 1 Equipo para producción de partículas esféricas por extrusión.

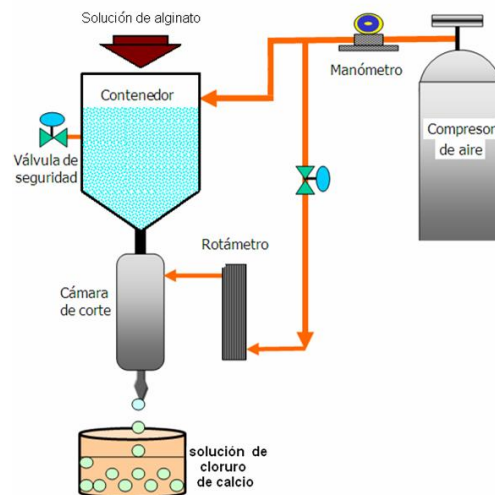


Figura 2 Diagrama del funcionamiento del extrusor. Adaptado de Valero Soria (2009)

Estas partículas se producen forzando una solución de alginato de sodio (un polímero natural) la cual pasa a través de una aguja donde se forma una gota la cual es aproximadamente esférica. Un flujo de aire tangencial a la gota ejerce una fuerza de arrastre que contribuye a desprender la gota de la aguja (Figura 3).

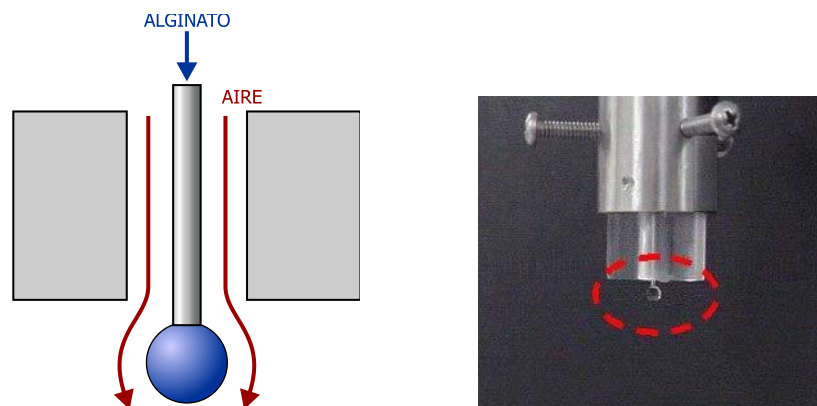


Figura 3 Principio de operación del extrusor.

El aire de corte se canaliza a través de una pieza de aluminio (Figura 4), a través de la cual pasa la aguja de extrusión. El modelo de simulación deberá reproducir las dimensiones de esta pieza.



Figura 4 Canalizador de flujo.

La gota cae a un vaso que contiene una solución de cloruro de calcio (CaCl_2). Estas partículas tienen que estar en contacto con la solución de cloruro de calcio durante el tiempo que dura el entrecruzamiento (aproximadamente de 15 a 30 minutos), convirtiendo el alginato de sodio a un gel sólido de alginato de calcio, y formándose así entonces una partícula esférica (Figura 5).



Figura 5 Ejemplos de partículas de alginato.

Controlando el tamaño de la aguja, la presión de extrusión, y la velocidad del aire de corte, se puede variar el tamaño de la partícula desde menos de un milímetro hasta varios milímetros.

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar un modelo de simulación de flujo mediante elementos finitos para predecir el coeficiente de arrastre del aire de corte sobre una gota esférica en extrusión.

Objetivos Específicos

- Desarrollar en COMSOL el modelo axisimétrico de la gota en extrusión.
- Simular el flujo de aire alrededor de la gota a diferentes velocidades de aire y de tamaño de gota para obtener la fuerza de arrastre sobre la gota, tanto para flujo laminar como para flujo turbulento.
- Determinar el coeficiente de arrastre a partir de la fuerza de arrastre y correlacionarlo con el flujo de aire y el tamaño de la gota.

MATERIALES Y MÉTODOS

COMSOL es un poderoso medio interactivo para el modelado y la solución científica y problemas de ingeniería basado en ecuaciones diferenciales parciales, que corre dentro del entorno de MATLAB. Con ella puede ampliar fácilmente los modelos convencionales que se ocupan de una rama de la física en modelos de multifísica del estado del arte, involucrando múltiples ramas de la ciencia y la ingeniería. Acceder a este poder, sin embargo, no requiere tener un profundo conocimiento de las matemáticas o análisis numérico.

De hecho, se puede construir muchos modelos de utilidad, simplemente definiendo las cantidades físicas en lugar de definir las ecuaciones directamente. Entonces internamente compila una serie de ecuaciones diferenciales parciales (comúnmente llamadas PDEs, del inglés partial differential equations) que representa el

problema. COMSOL también permite crear modelos basados directamente en la ecuación que represente el fenómeno físico en cuestión.

Además de ofrecer estos múltiples enfoques de modelado, COMSOL ofrece múltiples formas de aprovechar ese poder, bien a través de una interfaz gráfica autónoma flexible o directamente desde MATLAB.

La estructura matemática con la que COMSOL opera es un sistema de ecuaciones diferenciales parciales (PDEs). Las PDEs son la base fundamental de las leyes de la ciencia, por lo que pueden y deben ser utilizadas para modelar los fenómenos científicos. COMSOL tiene una muy amplia aplicabilidad, y puede modelar una gran cantidad de fenómenos físicos en muchas disciplinas, todos ellos representados de una u otra forma en PDEs. Entre los tipos de fenómenos que se pueden modelar en COMSOL se encuentran:

- Acústica
- Biociencia
- Reacciones químicas
- Difusión
- Electromagnetismo
- Dinámica de fluidos
- Celdas de combustibles
- Física general
- Geofísica
- Transferencia de calor
- Sistemas microelectromecánicos (MEMS, micro-electromechanical system)
- Ingeniería de microondas
- Óptica
- Fotónica
- Flujo en medios porosos
- Mecánica cuántica
- Componentes de radiofrecuencia

- Dispositivos semiconductores
- Mecánica estructural
- Fenómenos de transporte
- Propagación de ondas

El módulo de ingeniería química proporciona una poderosa manera de modelar el equipo y procesos en el ámbito de la ingeniería química. Dispone de interfaces adaptadas y formulaciones de problemas relacionados con la transferencia de masa, calor, y momentum, junto con las reacciones químicas en 1D, 2D ó 3D. Se puede utilizar estos modelos sin dejar de tener la plena flexibilidad de modelado con sus propias ecuaciones.

El módulo de ingeniería química está diseñado para su aplicación en la investigación, diseño, desarrollo y educación. Se utiliza en muchas áreas de la ingeniería química y la tecnología, incluyendo:

- Diseño e ingeniería de reactores
- Catálisis heterogénea
- Procesos de separación
- Celdas de combustible y electrólisis industrial
- Control de procesos en relación con Simulink

El módulo de ingeniería química en COMSOL consta de los llamados modos de aplicación. Estos son conjuntos predefinidos de ecuaciones adaptadas al ámbito de la ingeniería química. El ingeniero químico puede tratar los problemas en 1D, 2D, así como en 3D. Los tres principales modos de aplicación del módulo de ingeniería química son:

- *Balances de momentum:* En este grupo de modo de aplicación, la distribución de velocidad es determinada para el problema de interés. Las ecuaciones que se incorporan son las ecuaciones de Navier-Stokes, ecuaciones generales para fluidos no newtonianos, un modelo de turbulencia κ - ϵ en 2D, las ecuaciones de

Euler compresibles en 2D, y las ecuaciones que describen el flujo en medios porosos, dado por la ley de Darcy y la ecuación de Brinkman.

- *Balances de energía:* En este grupo de modo de aplicación, la distribución de temperatura se calcula para sistemas no isotérmicos. Este modo trata de problemas que involucran transferencia de calor por convección y conducción. El término convectivo en el vector de transporte de calor está dado ya sea por el balance de momentum o se puede dar un perfil de velocidades predefinido.
- *Balances de masa:* En este grupo de modos de aplicación, se simula el vector de transporte para todas las especies químicas de interés. Este modo incluye ecuaciones que describen la transferencia de masa de diferentes especies, ya sea por difusión o por convección. Para sistemas electroquímicos y sistemas electromecánicos, se modelan los efectos cinéticos, el transporte por difusión, por convección, y la migración. Para aplicaciones de convección-difusión, se encuentran disponibles las ecuaciones de Maxwell-Stefan para coeficientes de difusión multi-componente. El término convectivo en el transporte en masa, puede ser el vector definido por el balance de momentum o ser establecido por el usuario de forma pre-definida.

En un trabajo previo de residencia profesional (Rivera Esquivel, 2009) se desarrolló un modelo preliminar en Femlab (como anteriormente se llamaba Comsol) para simular la fuerza de arrastre sobre la gota (Figuras 6 y 7). Sin embargo, por limitaciones propias del programa de simulación, sólo fue posible llevar a cabo simulaciones en flujo laminar con velocidades muy bajas del aire. El módulo de ingeniería química de Comsol incluye simulaciones de transferencia de momentum con simetría axial para las que sí es posible calcular la fuerza de arrastre sobre la gota.

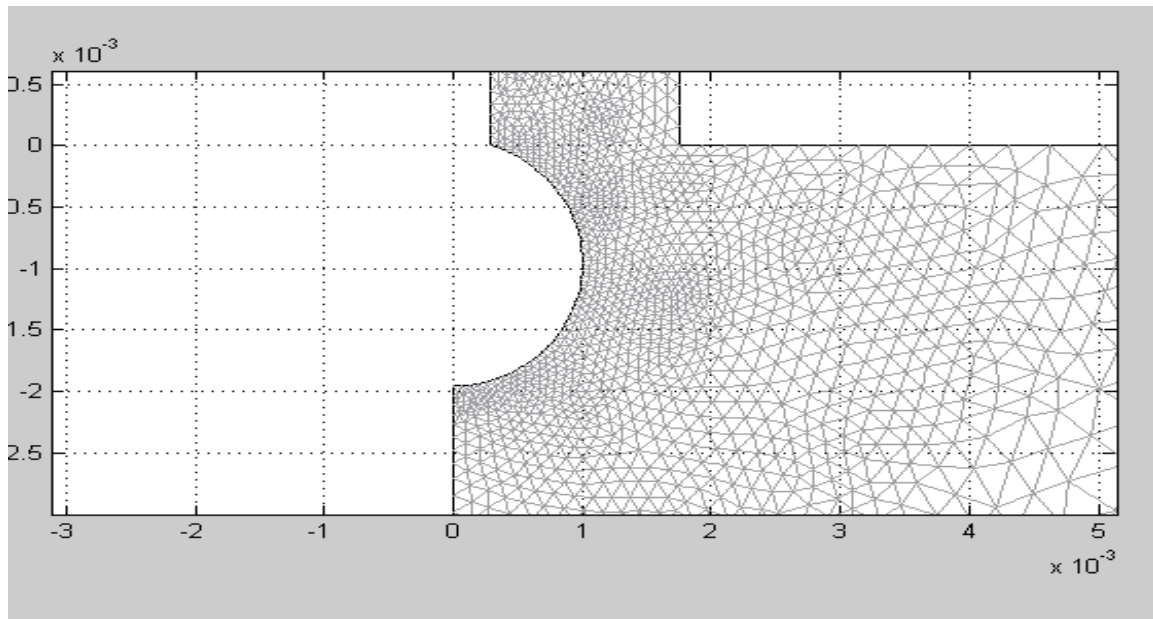


Figura 6. Ejemplo de simulación axisimétrica, malla de simulación (Rivera Esquivel, 2009).

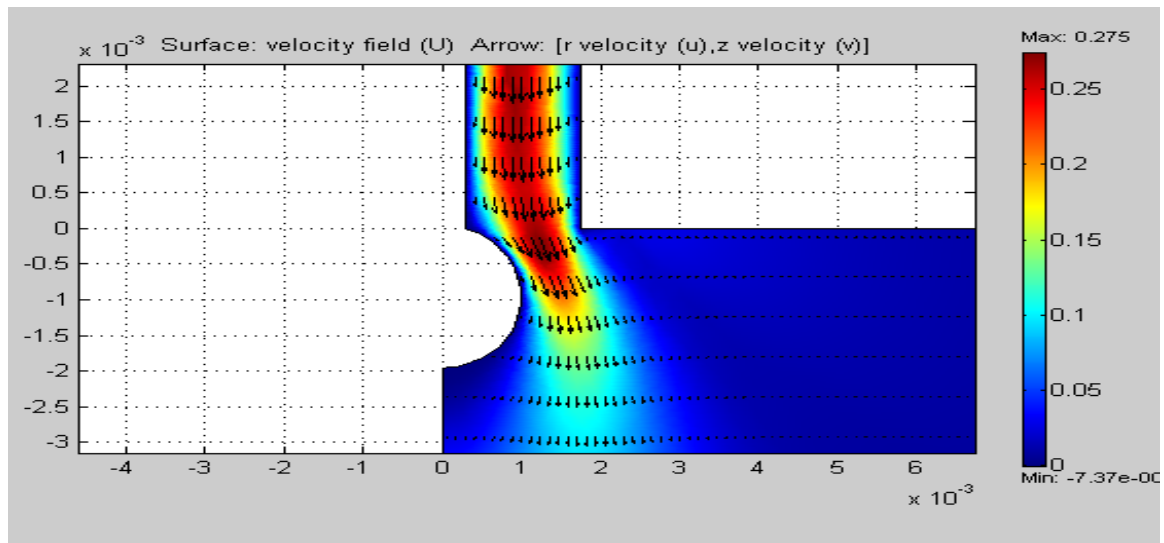


Figura 7 Ejemplo de simulación axisimétrica, velocidad del fluido (Rivera Esquivel, 2009).

CRONOGRAMA

ACTIVIDAD	MESES							
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Investigación bibliográfica	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Capacitación en el uso de COMSOL	◆	◆						
Desarrollo del modelo en COMSOL			◆	◆	◆			
Corridas de simulación			◆	◆	◆	◆		
Correlación de resultados				◆	◆	◆	◆	
Redacción de tesis						◆	◆	◆

REFERENCIAS

Alanís Lozoya D. H. (2009). “Efecto de los principales parámetros de operación de un prototipo de extrusor de partículas esféricas”. Reporte de Residencia Profesional, Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de Durango.
<http://tecno.cruzferro.com/residencias/03040852-alanis-residencia>

Bird, Stewart y Lightfoot (2006). “Transport Phenomena”, 2ª edición, Wiley.

Comsol (2002). “FEMLAB documentation”. Versión 2.3.

Comsol (2008). “Comsol Multiphysics documentation”. Versión 3.2.

Cruz-Fierro C. F. (2005). “Hydrodynamic Effects of Particle Chaining in Liquid-Solid Magnetofluidized Beds: Theory, Experiment and CFD Simulation”. Tesis para obtener el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería Química, Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA.
<http://cruzferro.com/academic/archives/open/phdthesis/2005cruzferro-phd>

Rivera Esquivel J. A. (2009). "Simulación de la fuerza de arrastre sobre una gota esférica en un extrusor prototipo". Reporte de Residencia Profesional, Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de Durango.
<http://tecno.cruzfierro.com/residencias/03040907-rivera-residencia>

Valero Soria H. A. (2009). "Prototipo para producción de partículas esféricas por extrusión". Tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico, Instituto Tecnológico de Durango, Durango, México.

White F. M. (1986). "Fluid Mechanics", Ed. McGraw-Hill, 732 p.