Análisis comparativo del flujo y modelado de la transferencia de calor para una mezcla de gas y partículas en secadores por aspersión ciclónicos.

Dr. Javier Morales Castillo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Av. Universidad s/n. Ciudad Universitaria
San Nicolás de los Garza,
Nuevo León, México
tequilaydiamante@yahoo.com.mx

Marco Antonio Merino Rodarte
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de Chihuahua
Campus Universitario #2
Circuito Universitario
Chihuahua, Chih, Mexico
mmerinorodarte@gmail.com

Dr. F. Javier Almaguer Martínez
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas
Av. Universidad s/n. Ciudad Universitaria
San Nicolás de los Garza,
Nuevo León, México
almagerjavier@gmail.com

Dr. Antonino Pérez Hernández
CIMAV
Ave. Miguel de Cervantes 120
Complejo Industrial Chihuahua
Chihuahua, Chihuahua, México
antonino.perez@cimav.edu.mx

RESUMEN

Los secadores ciclónicos por aspersión han sido ampliamente utilizados para secar partículas dispersas dentro de gases. En este trabajo, un ciclón fue usado como un sistema de transferencia de calor entre un fluido caliente y partículas de menor temperatura. El comportamiento del flujo del aire caliente y las partículas en estado estacionario fue modelado por el uso de un paquete basando en Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en ingles). Fueron comparados dos casos diferentes en cuanto a la posición de la boquilla de aspersión, flujo paralelo

y cruzado. El efecto del tamaño de partícula, velocidad y temperatura fueron analizados. Los resultados de la simulación confirmaron la aplicabilidad de los modelos de CFD como una herramienta para el estudio de las variables críticas en los secadores ciclónicos.

PALABRAS CLAVE: Secador Aspersión, CFD, Volumen Macroscópico, Volumen de Aspersión.

1 INTRODUCCIÓN

El secado es el proceso de remoción térmica de sustancias volátiles (Humedad) para producir un producto sólido. Cuando un sólido húmedo es sometido al proceso de secado térmico ocurren simultáneamente dos procesos, transferencia de energía (en su mayoría en forma de calor) del ambiente circundante hacia la superficie húmeda y difusión del agua interna hacia la superficie del sólido, y posteriormente transferencia de masa por evaporación. La difusión de la humedad interna dentro del sólido, es una función de la temperatura, concentración de agua y de las propiedades físicas del sólido. La eliminación de agua como vapor, en la superficie del sólido, depende de las condiciones externas de temperatura, humedad y flujo del aire, área de la superficie expuesta y de la presión [1].

El secado por aspersión es un proceso que convierte pequeñas gotas de un líquido en polvo seco al entrar en contacto con una corriente de aire caliente. La rápida evaporación mantiene la baja temperatura de la gota sin que las altas temperaturas del gas afecten el producto [2]. En la industria se utiliza una gama amplia de formas de aspersor (por ejemplo boquillas de tipos variados, discos rotatorios, etc.) y posición de la aspersión, donde los más comunes son a flujo cruzado y flujo paralelo.

El estudio y comprensión del comportamiento físico del secado por aspersión se puede facilitar al separarlo en dos volúmenes de control. El *volumen de control macroscópico,* que comprende la entrada del aire a la cámara de secado, define los procesos termodinámicos globales basados sobre mediciones y monitoreo de parámetros del proceso de secado. El balance de materia y energía se puede calcular con las entradas y salidas de la cámara de secado. Dentro del volumen de control macroscópico, *el volumen de control de aspersión* donde se analiza la formación individual de cada gota, su interacción con el gas caliente que la rodea inmediatamente, y la evaporación del solvente para formar partículas secas.

El desarrollo en los procesos de secado por aspersión es, comúnmente, empírico y basado en experimentación. Los métodos tradicionales usan diseños de experimentos con análisis estadístico de los parámetros de proceso, y como resultado, las propiedades del producto. Este es un proceso intensivo y costoso, en tiempo e insumos [3]. Además los flujos turbulentos en tres dimensiones dentro del secador complican la comprensión fundamental del comportamiento de ambos volúmenes de control durante el proceso de secado [4]. El rápido desarrollo de las herramientas

computacionales para la simulación numérica, para predecir el comportamiento de los secadores ha tomado un rol importante en el estudio y desarrollo de esto equipos.

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es un conjunto de técnicas numéricas para la solución de ecuaciones de los modelos matemáticos, en un dominio discreto, que describen la dinámica de fluidos. Son de gran utilidad en la solución de problemas relacionados con procesos dinámicos de transferencia de calor y masa, interacciones sólido-fluido, reacciones químicas, cambio de fase y radiación [5].

2 METODOLOGIA

Se generó del dominio para el modelado de los fenómenos físicos presentes en el secado por aspersión, a partir de los planos del equipo, esto consistió en dibujar en un CAD el volumen interior del equipo a estudiar. La Discretización del dominio o mallado consistió en dividir el volumen en pequeños elementos con formas de hexaédricas, donde para cada uno de ellos y por interpolación se resuelven las ecuaciones propias del modelo.

De los parámetros iniciales de diseño y operación se identificaron las condiciones de frontera al sistema, es decir entradas y salidas de materia, cabe mencionar que se consideró como sistema adiabático. La entrada de gas se consideró como una entrada abierta a presión ambiental, en la cual ingresa el flujo de aire y pasa a través de un quemador de gas calentándolo. El flujo de aire caliente es controlado por extractor instalado a la salida del secador, el caudal se calculó a partir de las especificaciones técnicas del extractor. Los parámetros de aspersión se simularon para boquillas estándar comerciales con un flujo de 0.06 litros por segundo.

Antes de seleccionar el modelo, se hizo una primera aproximación de los flujos dentro del secador con un modelo de turbulencia estándar, cuyos resultados fueron de utilidad para determinar los posibles modelos matemáticos a resolver. Tras varias pruebas preliminares se determinó el modelo de turbulencia adecuado para este fenómeno, el k-□ realizable [6].

La solución del modelo y el análisis de resultados se llevaron a cabo en un software de CFD comercial.

3 RESULTADOS

En la Figura 1, se muestra el dominio generado para la simulación del secador por aspersión, se indica la posición de la boquilla se aspersión según el caso de flujo paralelo (B1) y flujo cruzado o contra corriente (B2).

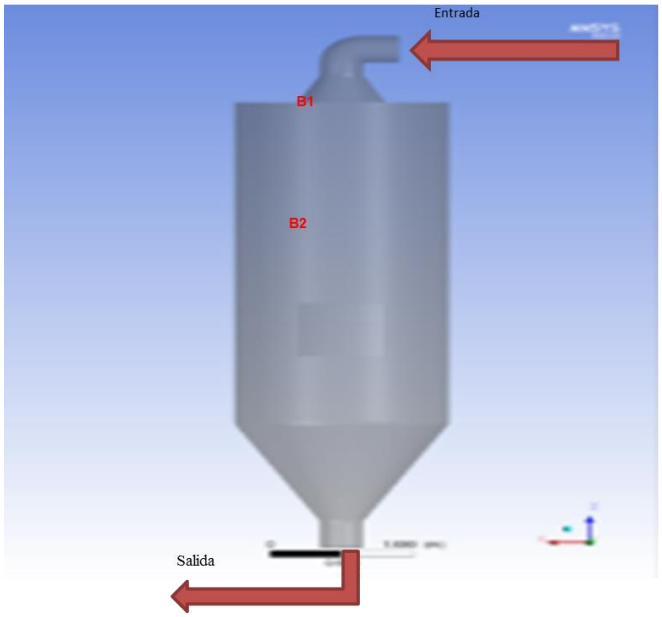

Figura 1. Dominio del modelo, Volumen interno del secador

La Figura 2 muestra el comportamiento del flujo del aire caliente, aquí se puede observar la importancia de la geometría de la entrada del aire, pues la inercia del flujo al momento de entrar por el ducto en 90°, desvía el flujo hacia la pared del secador, generando un vórtice horizontal, el cual se ve directamente afectado por la posición de la aspersión, y a su vez el tiempo de residencia de las partículas: 1.06264 segundos y 2.62229 segundos para el modelo a flujo paralelo y cruzado, respectivamente.

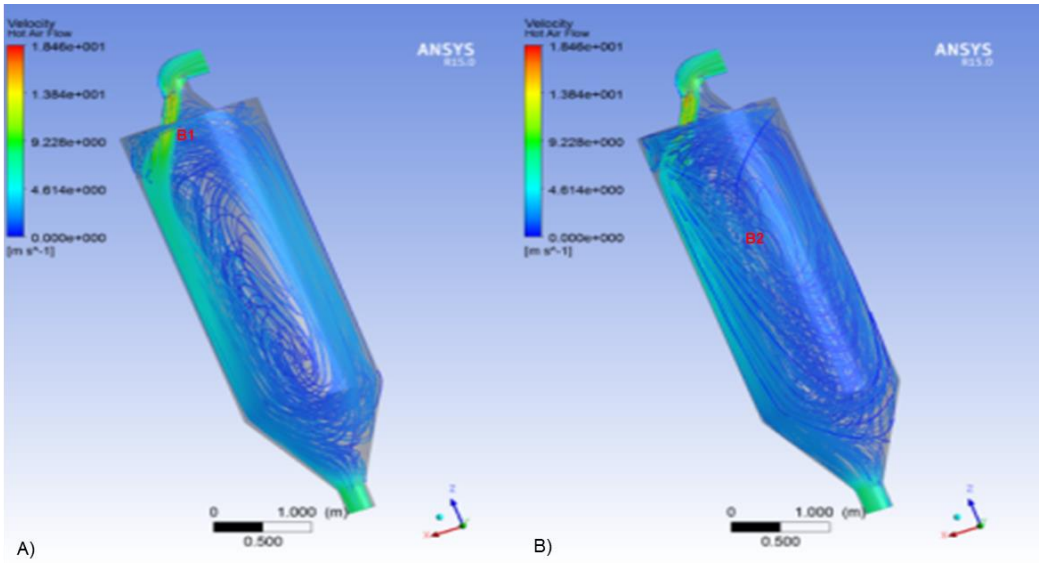

Figura 2. Comportamiento del flujo de aire caliente en el modelo de A) flujo paralelo y B) flujo cruzado. Las líneas de flujo se presentan coloreadas en función de la velocidad.

La Figura 3 muestra el efecto de la evaporación del agua en el perfil de temperaturas del aire. Dicho perfil de temperaturas se grafica en una superficie con código de color en función de temperatura (Leyenda izquierda). Para cada una de las partículas (Gotas), generadas por la aspersión, se monitoreo su trayectoria, y su pérdida en masa por efecto de la evaporación del agua. El diámetro de la partícula disminuye en función de la perdida en masa. Las trayectorias de dichas partículas se muestras en función de su diámetro, coloreadas según la leyenda mostrada para cada caso.

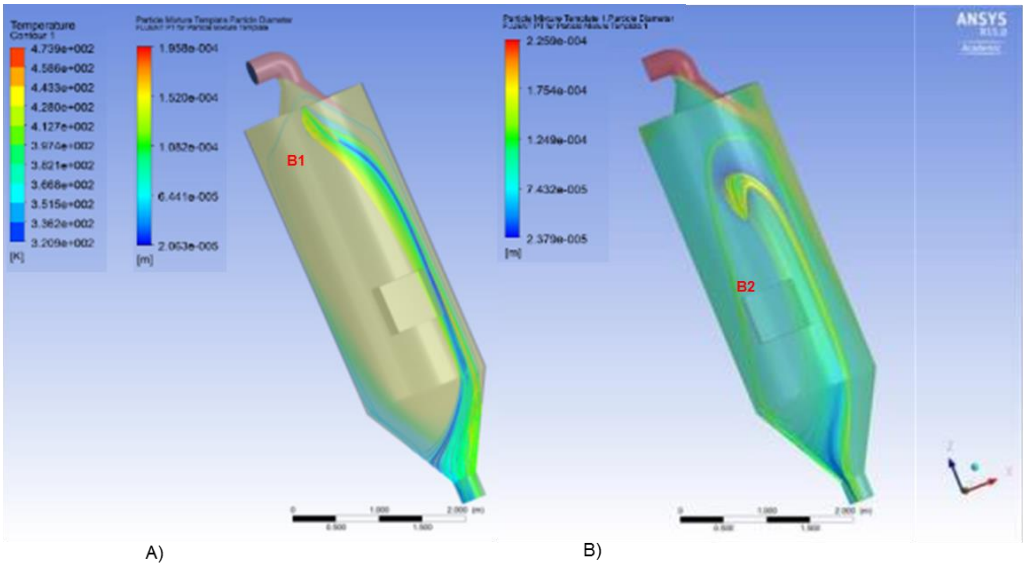

Figura 3. Efecto de la evaporación del agua en el perfil de temperaturas. Contorno coloreado según la leyenda de la izquierda, en función de la temperatura y la trayectoria de las partículas coloreadas en función del diámetro de partícula, para el modelo de A) flujo paralelo y B) flujo cruzado.

Para una boquilla de aspersión de doble fluido con mezclado externo, el tamaño de partícula es indirectamente proporcional a la viscosidad y tensión superficial del fluido, además depende del comportamiento externo del fluido [7].

$$\mathrm{SMD} = 51 d_0 \mathrm{Re}^{-0.39} \mathrm{We}^{-0.18} \left(\frac{\dot{m}_L}{\dot{m}_A}\right)^{0.29} \quad (1)$$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho_L U_R d_o}{\mu_L} \quad (2),$$

$$\mathrm{We} = \frac{\rho_L {U_R}^2 d_o}{\sigma} \quad (3)$$

Donde SDM, es el diámetro medio de Sauter, Re y We son los números de Reynolds y Weber respectivamente. Para una inyección en flujo paralelo resulto un tamaño de partícula de 195 micrómetros, y 225 micras para el contra flujo.

La Figura 4 muestra el perfil de fracción másica del vapor de agua para cada uno de los casos. Se calculó una tasa promedio de evaporación en el secador para el flujo paralelo y contraflujo con de 2.00084e-006 [kg s-1] y 2.67765e-006 [kg s-1] respectivamente.

No se encontró diferencia significativa en cuanto a la cantidad de agua evaporada en ambos secadores, 94 y 92.5 % para el flujo paralelo y contraflujo respectivamente, debido al tamaño de partícula generada. Cabe mencionar que la viscosidad del fluido se consideró similar a la del agua , y se usó una boquilla para líquidos viscosos, generando partículas de 200 micras aprox. y un área superficial extensa.

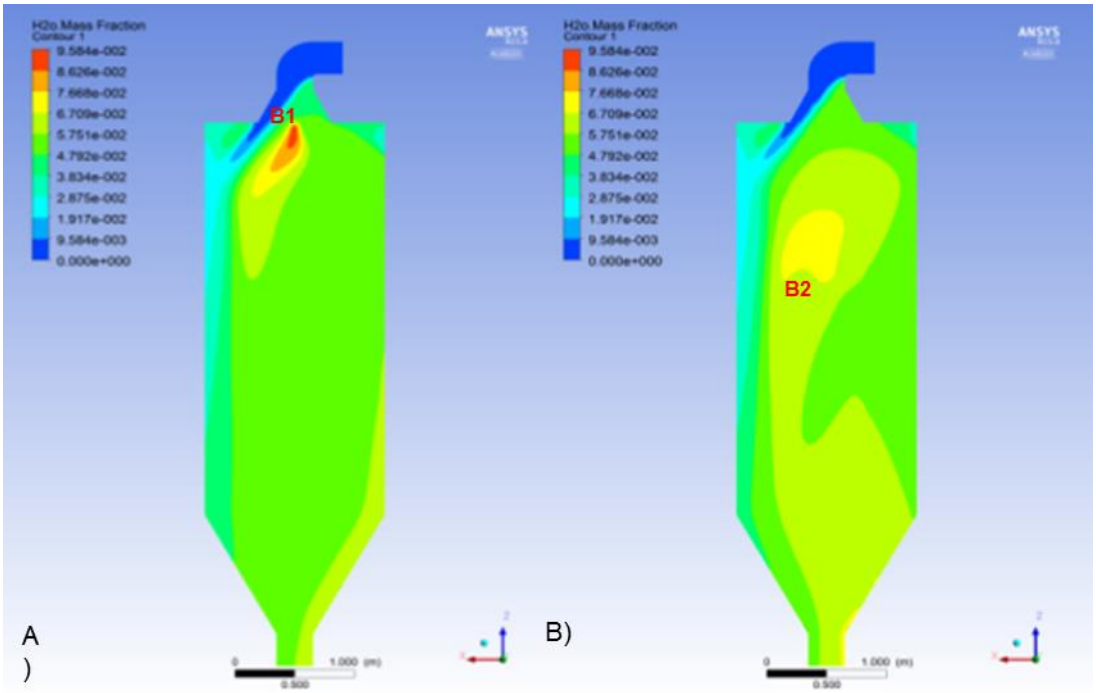

Figura 4. Distribución de la fracción másica de vapor de agua en el modelo de A) flujo paralelo y B) flujo cruzado, respectivamente.

Como se puede observar, las partículas son completamente arrastradas por el fluido, lo que determina el tiempo de residencia en el equipo. La tasa de transferencia de masa promedio en el secador a contraflujo, la dispersión espacial de las partículas es más extensa, interactuando de una manera más eficiente con el medio circundante. La tasa de evaporación de la partícula está en función de la humedad relativa del aire circundante a la misma, para partículas más dispersas espacialmente la acumulación de humedad entre partículas es menor.

4 CONCLUSIONES

La eficiencia de secado para ambos casos fue similar, debido a que la boquilla de aspersión generó partículas con una superficie de intercambio extensa. Lo cual produce coeficientes de transferencia de calor altos. Sin embargo, modelo a contra flujo presenta un comportamiento más favorable por su dispersión espacial del arrastre de partículas y una evaporación 30 % más rápida que flujo paralelo.

El análisis por CFD es una herramienta útil para evaluar dos distintos diseños de equipo, es una herramienta de tomas de decisión.

5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible debido a la colaboración entre tres instituciones importantes, la Universidad Autónoma de Chihuahua, la Universidad Autónoma de Nuevo León y el Centro de Investigación en Materiales Avanzados; y al apoyo del Dr. Javier Morales y Dr. Antonino Pérez.

6 REFERENCIAS

[1] Mujumdar, A. and A. Menon, *Drying of solids: Principles,Classification and selection of dryers*, in *Handbook of Industrial Drying*, A. Mujumdar, Editor. 2006: Quebec, Canada. p. 1279.

[2] Roustapour, O.R., et al., *A proposed numerical–experimental method for drying kinetics in a spray dryer*. Journal of Food Engineering, 2009. **90**(1): p. 20-26.

[3] Dobry, D.E., et al., *A Model-Based Methodology for Spray-Drying Process Development.* Journal of Pharmaceutical Innovation, 2009. **4**(3): p. 133-142.

[4] Turchiuli, C., et al., *Evolution of particle properties during spray drying in relation with stickiness and agglomeration control.* Powder Technology, 2011. **208**(2): p. 433-440.

[5] Cengel, Y. and J. Cimbala, *Mecanica de fluidos: fundamentos y aplicaciones*. 2 ed. 2012.

[6] Ansys-Inc, *Theory Guide.*

[7] Huimin, L., *Fundamental Phenomena and Principles* in *Science and Engineering of droplets*. 2000: Detroit Michigan.