



HAL
open science

Capacidad del Ansys Fluent ® V 16.0 para determinar la fuerza de arrastre en partículas no esféricas tipo discos cilíndricos

Jorge Sierra, Mohammed Khalij, Anne Tanière, Diego Hincapié, Sebastián Vélez

► To cite this version:

Jorge Sierra, Mohammed Khalij, Anne Tanière, Diego Hincapié, Sebastián Vélez. Capacidad del Ansys Fluent ® V 16.0 para determinar la fuerza de arrastre en partículas no esféricas tipo discos cilíndricos. Conferencia Internacional de Ingeniería, 2015, medelin, Colombia. hal-03542854

HAL Id: hal-03542854

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03542854>

Submitted on 25 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Ability of Ansys Fluent® V 16.0 to compute the drag force acting on non-spherical particles like cylindrical disks

Capacidad del Ansys Fluent® V 16.0 para determinar la fuerza de arrastre en partículas no esféricas tipo discos cilíndricos

Jorge Sierra¹, Mohammed Khalij², Anne Tanière³, Diego Hincapié⁴, Sebastián Vélez⁵

¹[jorgesierra\(AT\)itm.edu.co](mailto:jorgesierra(AT)itm.edu.co), ²[mohammed.khalij\(AT\)univ-lorraine.fr](mailto:mohammed.khalij(AT)univ-lorraine.fr), ³[anne.taniere\(AT\)univ-lorraine.fr](mailto:anne.taniere(AT)univ-lorraine.fr),

⁴[diegohincapie\(AT\)itm.edu.co](mailto:diegohincapie(AT)itm.edu.co), ⁵[sebvelgar\(AT\)gmail.com](mailto:sebvelgar(AT)gmail.com)

^{1,4,5}Instituto Tecnológico Metropolitano – Colombia

^{2,3}Université de Lorraine – Francia

Artículo de reflexión

ABSTRACT

This paper present a numerical simulation of the drag force for non-spherical particles using the commercial software ANSYS Fluent® V16.0. Drag force coefficient were obtained for non-spherical particle like a cylindrical disk with a sphericity factor of 0.23, particle orientation at 90° relative to the flow direction and $1 \leq Re_p \leq 300$. In order to validate the numerical results, comparisons with the correlations presented by Haider & Levenspiel (1989) and Hölzer & Sommerfeld (2008) were performed. The maximum error of the Haider & Levenspiel's correlation formula can be up to 10%. Further works must be developed in order to obtain accurately correlation of hydrodynamics forces acting in disks.

Keywords: Multiphasic flow, drag force, non-spherical-Disk CFD.

RESUMEN

Este artículo presenta la simulación computacional de la fuerza de arrastre en partículas no esféricas mediante el software comercial ANSYS Fluent® V16.0. Se determinaron los coeficientes de arrastre para un disco cilíndrico con esfericidad de 0.23 y una orientación de 90° respecto a la dirección del fluido, esto a régimen de $1 \leq Re_p \leq 300$. Se realiza una validación de los resultados obtenidos por comparación con las correlaciones presentadas por Haider & Levenspiel (1989) y Hölzer & Sommerfeld (2008). Se encuentra que para esta configuración, la correlación propuesta por Haider & Levenspiel respecto a la simulación presenta un error máximo del 10%. Se deben realizar trabajos adicionales con el fin de desarrollar correlaciones más precisas para determinar las fuerzas hidrodinámicas en discos a régimen turbulento.

Palabras clave: Flujo multifásico, fuerza de arrastre, disco no-esférico CFD.

© 2015. IAI All rights reserved

1 Introducción

La capacidad de prever el comportamiento de un fluido multifásico es importante a la hora de realizar un proceso de optimización. Estos fluidos están conformados por una fase dispersa que puede ser líquida, sólida y/o gaseosa y una fase continua compuesta por un líquido y/o un gas [1]. Tanto en los procesos naturales como industriales, la dinámica de las partículas contenidas en la fase dispersa determinan el comportamiento global del fluido multifásico. La dispersión de contaminantes en el ambiente, el transporte neumático, las cámaras de combustión de carbón pulverizado, la sedimentación de minerales en ríos, entre otros, son ejemplos de las aplicaciones naturales e industriales en donde la optimización o caracterización de la dinámica de las partículas juega un papel importante al momento de diseñar u optimizar un proceso de caracterización.

La hipótesis de considerar las partículas como esferas ha sido implementada durante los últimos 20 años, y resulta conveniente debido a la simplicidad en el cálculo de la fuerza de arrastre y debido a la cantidad de

experimentaciones realizadas, que describen el comportamiento del fluido cuando interactúa con la esfera, tanto para la zona de flujo laminar como turbulento. La relación entre el coeficiente de arrastre para una esfera y el número de Reynolds se puede encontrar en el trabajo de Schiller y Naumann [2], que ha sido validado numéricamente.

Desde 1920 se han realizado diferentes trabajos teóricos y experimentales relacionados con las fuerzas hidrodinámicas sobre partículas no esféricas. Una compilación de las correlaciones disponibles para el cálculo del coeficiente de arrastre de una partícula no esférica sometida a un flujo de un fluido incompresible se encuentra en [3]. En este trabajo se encontró que los principales inconvenientes a la hora de calcular las fuerzas hidrodinámicas radican en la dificultad que se presenta en la determinación exacta de la superficie de la partícula, así como de la dimensión y la posición instantánea de la partícula respecto a la dirección del fluido. En la literatura existen dos tipos de aproximaciones para determinar el coeficiente de arrastre de una partícula no esférica: 1) el primero

consiste en desarrollar expresiones para calcular la fuerza de arrastre para una partícula de geometría única y orientación fija en función del Re , conocidas como correlaciones para $C_D = f(Re, \text{geometría})$. De acuerdo con este tipo de correlación se han realizado algunos trabajos sobre partículas no esféricas y en discos [4, 5]. Las correlaciones obtenidas en estas experiencias ofrecen un margen de error aceptable, sin embargo, no se permite extrapolar hacia otra geometría debido al error que se produce en el cálculo de la fuerza de arrastre. Por esta razón, el primer método resulta insuficiente a nivel general, debido a que no se considera la orientación de la partícula y solamente aplica para una geometría específica. 2) La segunda metodología surge con el fin de suplir las falencias para el cálculo de la fuerza de arrastre, una correlación que tiene en cuenta la orientación de la partícula y que permite extrapolar hacia otras geometrías. Esta aproximación se realiza mediante la implementación de diferentes parámetros adimensionales, necesarios para determinar la orientación de la partícula, la superficie exterior y la sección transversal respecto a la dirección del fluido. Estas expresiones se conocen como $C_D = f(Re, \text{factores de forma})$. Esta metodología, a pesar de que puede ser utilizada para diferentes geometrías, tiende a ser menos precisa que la primera, debido a la dificultad que se presenta en la medición de la superficie de las partículas no esféricas, sumado a que dichos factores de forma no representan exactamente la geometría irregular de la partícula, ni el comportamiento real del fenómeno de transporte.

La primera correlación propuesta en función del Re y de factores de forma, introdujo el concepto de factor de esfericidad \emptyset , que es la relación en el área superficial de la esfera de volumen equivalente al de la partícula $s = \frac{\pi}{4} d_{sph}^2$, respecto al área superficial de la partícula no esférica S [6]. El cálculo de la fuerza de arrastre para una partícula no esférica sometida a un flujo incompresible, Newtoniano, se calcula mediante la correlación (1):

$$C_D = \frac{24}{Re} (1 + A Re^B) + \frac{C}{1 + \frac{D}{Re}} \quad (1)$$

$$Re = Re_p = \frac{\|u_R\| d_{sph}}{\nu} \quad (2)$$

$$\emptyset = \frac{s_e}{s} \quad (3)$$

Donde:

$$A = \exp(2.3288 - 6.4581\emptyset + 2.4486\emptyset^2)$$

$$B = 0.0964 + 0.5565\emptyset$$

$$C = \exp(4.905 - 13.8944\emptyset + 18.4222\emptyset^2 - 102599\emptyset^3)$$

$$D = \exp(1.4681 + 12.2584\emptyset - 20.7322\emptyset^2 + 15.8855\emptyset^3)$$

C_D = Coeficiente de arrastre.

Re_p = Reynolds partícula

d_{sph} = Diámetro de la esfera de volumen equivalente

$\|u_R\|$ = velocidad relativa entre fluido y la partícula

ν = viscosidad cinemática del fluido

Esta correlación presenta una desviación máxima de 0.024 para el cálculo de la fuerza y el coeficiente de arrastre C_D , en partículas no esféricas con un factor de esfericidad $\emptyset > 0.67$. Sin embargo, para partículas con $\emptyset < 0.67$ presenta una desviación entre 0.049 para un factor de esfericidad $\emptyset = 0.230$ y 0.107 para un factor de esfericidad $\emptyset = 0.026$, lo cual se considera aceptable. En la Figura 1 se muestra la dependencia del coeficiente de arrastre con el Re .

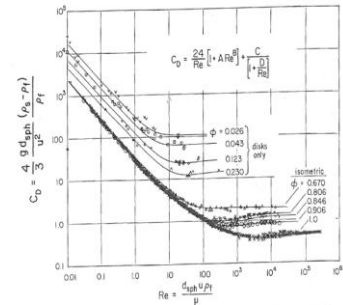


Figura 1: Coeficiente de arrastre de partículas esféricas y no esféricas en función del Re y del factor de esfericidad \emptyset [6]

Se han realizado clasificaciones de las principales correlaciones de la segunda metodología, con el fin de clasificar las existentes para determinar el coeficiente de arrastre en partículas no esféricas, entre los cuales se destaca la de Hartman et al. [3]. Estos autores realizaron una validación de la confiabilidad de cada una de estas correlaciones, en la determinación de la fuerza de arrastre para diferentes partículas no esféricas, tales como discos, cilindros, elipsoides entre otros y respecto a datos experimentales disponibles en la literatura. Según ellos, la correlación más apropiada para el cálculo de la fuerza de arrastre en discos es la correlación (1), propuesta por Haider y Levenspiel [6], que presenta un error promedio de 14.9% y un error máximo del 45.5% en el cálculo de la fuerza de arrastre en discos.

En 2008 se presenta una correlación general en función del Re y de Factores de forma ($\emptyset, \emptyset_{\perp}$) en las que se considera la orientación de la partícula respecto a la dirección del fluido, la forma y el tamaño, para calcular la fuerza de arrastre en una partícula de forma arbitraria [7].

$$C_D = \frac{8}{Re} \frac{1}{\sqrt{\emptyset_{\perp}}} + \frac{16}{Re} \frac{1}{\sqrt{\emptyset}} + \frac{3}{\sqrt{Re}} \frac{1}{\emptyset^{3/4}} + 0.4210^{0.4(-\log \emptyset)^{0.2}} \frac{1}{\emptyset_{\perp}} \quad (4)$$

Donde la esfericidad \emptyset es la relación entre el área superficial de la esfera de volumen equivalente respecto al área superficial de la partícula considerada. La esfericidad transversal (\emptyset_{\perp}) es la relación entre la sección transversal de la esfera de volumen equivalente respecto a la sección transversal de la partícula considerada. Según los autores, esta correlación es la que ofrece mejor precisión en el cálculo de la fuerza de arrastre de partículas no esféricas, presentando una error promedio de 14.1% respecto a datos experimentales disponibles en la literatura. Sin embargo, para partículas no esféricas como discos, esta correlación presenta una desviación relativa máxima de 88% y una desviación media de 17.7% respecto a los datos experimentales.

En 2012 se presentó un estudio en el que se determinan, mediante simulación computacional, los coeficientes de arrastre, levante y torque de cuatro geometrías axisimétricas, tales como discos, fibras y elipsoides [8]. Este estudio se realizó mediante simulación numérica directa (DNS), que se basa en resolver las ecuaciones de cantidad de movimiento y conservación de masa en el volumen de control discretizado a una escala menor a la escala de Kolmogorov. A pesar de las ventajas que presenta este tipo de simulación, el costo computacional es considerablemente alto, comparado con las técnicas utilizadas en el presente estudio.

El objetivo de esta investigación es determinar la confiabilidad del software comercial ANSYS Fluent® V16.0 mediante el cálculo de las fuerzas hidrodinámicas (arrastre, levante y torque), en partículas no esféricas sometidos a flujos de fluidos Newtonianos. En este trabajo se realiza el estudio de validación del programa para determinar la fuerza de arrastre en discos cilíndricos, como partícula no esférica, a una orientación fija de $\beta=90^\circ$ respecto a la dirección del fluido. Un segundo estudio será realizado para determinar la influencia de la orientación de la partícula en la fuerza de arrastre experimentada por la partícula.

2 Dinámica traslacional de partículas no esféricas modelo

Existen pocos modelos que describen la dinámica de una partícula no esférica sometida al flujo de un fluido. Estas partículas están sometidas tanto a una rotación como a una traslación simultáneamente en la mayoría de los casos. En un marco de referencia Lagrangiano, la traslación de la partícula se determina por la ecuación de movimiento [8]:

$$m_p \frac{D\vec{v}_p}{Dt} = \vec{F}_D + V_p(\rho_p - \rho_f)\vec{g} + \vec{F}_{PG} + \vec{F}_{VM} + \vec{F}_L \quad (5)$$

Donde:

m_p = masa de la partícula

V_p = Volumen de la partícula

ρ_p, ρ_f = Densidad de la partícula – fluido

v_p = Vel. traslacional centro de masa de la partícula

F_D = Fuerza de arrastre

F_{PG} = Fuerza por gradiente de presión

F_{VM} = Fuerza de masa virtual

F_L = Fuerza de levante

2.1 Fuerza de arrastre \vec{F}_D

La fuerza de arrastre que experimenta una partícula se debe al gradiente de presión generado por la perturbación del fluido, debido a la partícula y a los esfuerzos viscosos por rozamiento entre el fluido y la superficie de la partícula. Estas fuerzas se representan por la expresión (6):

$$\begin{aligned} \|\vec{F}_D\| &= F_{D,PRESIÓN} + F_{D,FRICCIÓN} \\ \|\vec{F}_D\| &= - \int_S p \vec{x} \cdot \vec{n} dS + \int_S \vec{n} \cdot \tau \cdot \vec{x} dS \quad (6) \end{aligned}$$

Esta fuerza está caracterizada por el coeficiente de arrastre denotado por C_D , que depende físicamente del régimen del fluido cuantificado por $Re_p = \|\vec{u}_R\| d_{sph} / \nu$; donde $\|\vec{u}_R\| = \vec{u}_p - \vec{u}_f$ representa la velocidad relativa entre la velocidad de la partícula \vec{u}_p y la velocidad del fluido \vec{u}_f , d_{sph} representa el diámetro de la esfera de volumen equivalente y ν la viscosidad cinemática del fluido. La orientación de la partícula respecto a la dirección del flujo se denota por el ángulo β , que se forma por el eje de simetría de la partícula y la dirección del fluido. Este criterio aplica para partículas axisimétricas en un marco de referencia simplificado 2D. El coeficiente de la fuerza de arrastre se puede determinar mediante la ecuación (7):

$$C_D = \frac{\|\vec{F}_D\|}{\frac{1}{2} \rho_f u_R^2 d_{sph}^2} \quad (7)$$

3 Análisis numérico computacional

Se plantea el estudio con el fin de validar y determinar los coeficientes de arrastre del disco de la Figura 2. Inicialmente mediante simulación numérica computacional de fluidos (CFD) se calculan las fuerzas y los coeficientes de arrastre con base en la ecuación (7), según los parámetros descritos en la Tabla 1. Luego se realiza una comparación de los valores obtenidos numéricamente respecto de los datos experimentales con los cuales se realizó el ajuste de la correlación (1).

Tabla 1: Parámetros de simulación

Re_p	Partícula	Rel. Aspecto H/Dp	Factor esferici. \emptyset	Orientación β
1				
40				
70	Disco			
100	cilíndrico	0.028	0.23	90°
180				
300				

3.1 Modelo matemático

En este estudio se considera el fluido isotérmico, incompresible, newtoniano de flujo uniforme y estacionario. No se consideran efectos de pared. Bajo estas consideraciones las ecuaciones que rigen el movimiento del fluido son:

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (8)$$

$$(\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = -\frac{1}{\rho_f} \nabla p + \nu \Delta \vec{u} \quad (9)$$

Donde p representa la presión del fluido.

3.2 Geometría, volumen de control y condiciones de la simulación

La geometría de la partícula analizada es un disco cilíndrico, sus dimensiones y parámetros de forma se muestran en la Figura 2.

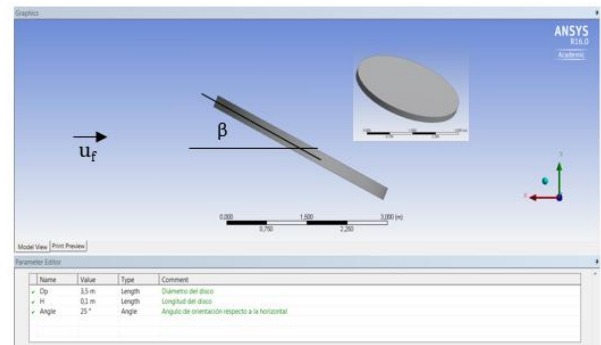


Figura 2: Configuración del disco con factor de esfericidad $\emptyset=0.23$

El volumen de control está conformado por un cilindro envolvente de dimensiones previamente establecidas, para evitar efectos de capa límite de la pared del cilindro envolvente sobre el flujo cercano a la partícula. La longitud es lo suficientemente larga para permitir el desarrollo de la estela aguas abajo de la partícula, como se muestra en la Figura 3. El proceso de discretización del dominio (mallado) se conformó por elementos tetrahedrales y se implementó un refinamiento adaptativo por gradiente de presión normalizado de 0.5 cada 20 iteraciones, esto con el fin de garantizar que los elementos tengan el tamaño necesario

para capturar los gradientes de presión alrededor de la partícula y así garantizar precisión en el cálculo de la fuerza de arrastre. La independencia del mallado se determinó cuando las variaciones en la fuerza de arrastre eran inferiores al 3% respecto del valor anteriormente calculado, así finalmente se determinó que aproximadamente 650.000 elementos eran suficientes para la realización de las simulaciones. Las simulaciones se realizaron en el programa ANSYS Fluent® V16.0 versión académica. Las condiciones de frontera consideradas se presentan en la Figura 3.

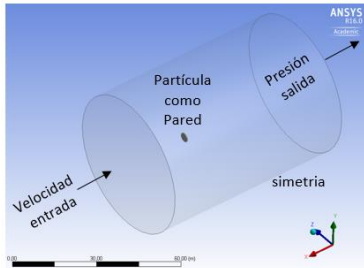


Figura 3: Configuración del volumen de control y condiciones de frontera

4 Análisis de resultados

Los resultados del estudio donde se realiza una comparación de los coeficientes de arrastre C_D para una partícula cilíndrica, con factor de esfericidad de $\emptyset=0.23$, orientación $\beta=90^\circ$ respecto a la dirección del flujo obtenidos mediante simulación numérica computacional, se ajustan satisfactoriamente con los resultados obtenidos para la misma partícula usando la correlación propuesta por (1). Esta correlación es la más apropiada para el cálculo del coeficiente de arrastre en discos con factor de esfericidad $\emptyset=0.23$ [3]. El error que se presentó es del 10%, que es aceptable si se considera que el flujo aguas abajo de la partícula a cierto número de Re_p se puede convertir en un flujo inestacionario; no se conoce por parte de los autores el régimen de flujo para el cual la estela aguas abajo de la partícula se convierte en un flujo inestacionario.

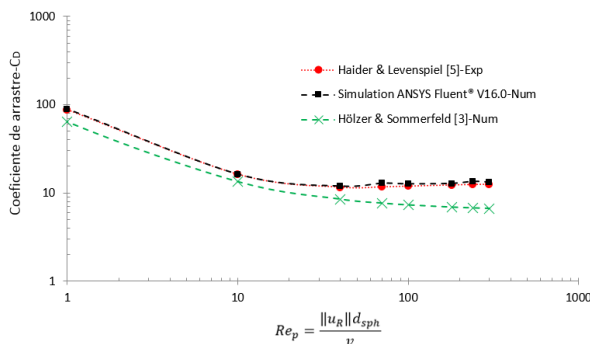


Figura 4: Coeficiente de arrastre en función del Re_p para una orientación de $\beta=90^\circ$ respecto a la dirección del fluido

En la Figura 4 se realiza una comparación de los resultados obtenidos del proceso de simulación y los valores obtenidos por las correlaciones (1) y (4). La correlación propuesta (4) presenta subvaloración de los coeficientes de arrastre, que se debe a los datos

experimentales utilizados en el proceso de ajuste de esta correlación, ya que se utilizó una gran cantidad de partículas con factor de esfericidad superiores a $\emptyset=0.67$ y cercanos a 1 [7]. Caso contrario ocurre con la correlación (1), en el que en su proceso de ajuste de constantes se incluyeron partículas con factor de esfericidad $\emptyset=0.23$, igual al de la partícula considerada en este estudio y tal como se puede observar en la Figura 1.

5 Conclusiones

Se calcula la capacidad del programa ANSYS Fluent® V16.0 como satisfactoria para determinar la fuerza de arrastre en una partícula no esférica tipo disco cilíndrico, con factor de esfericidad $\emptyset=0.23$ y sometida a un flujo de régimen $1 < Re_p < 300$, donde se presenta un error máximo del 10% que se considera aceptable para este tipo de aplicación.

Se requieren trabajos futuros para validar el programa bajo diferentes configuraciones. Simulaciones en las cuales se tengan como variables la orientación de la partícula respecto a la dirección del fluido, diferentes relaciones de aspecto de la partícula con el fin de variar el factor de esfericidad \emptyset y aumento en el régimen determinado por el Re_p para encontrar, en función de la orientación, a qué régimen de flujo se vuelve inestacionaria la estela de la partícula aguas abajo. El acompañamiento de estas simulaciones con trabajos experimentales, mediante técnicas de medición no invasivas (PIV, LDV, DLHM), conllevaría a correlaciones numérico-experimentales más precisas a la hora de calcular las fuerzas hidrodinámicas en partículas no esféricas, y de esta manera optimizar y/o caracterizar tanto procesos naturales como industriales que implican la dinámica de fluidos multifásicos.

Referencias

- [1] Oesterlé, B. (2006). [Ecoulement multiphasiques-Des fondements aux methods d'ingénierie](#). Paris: Lavosier.
- [2] Ouchene, R. et al. (2015). [Drag, lift and torque coefficients for ellipsoidal particles: from low to moderate particle Reynolds numbers](#). Computers & Fluids 113, pp. 53-64.
- [3] Chhabra, R. et al. (1998). [Drag on non-spherical particles: an evaluation of available methods](#). Powder Technologies 101, pp. 288-295.
- [4] Davis, A. (1990). [Stokes drag on a disk sedimenting toward a plane or with other disks: additional effects of a side wall or free surface](#). Physics of Fluids A 2(3), pp. 301-312.
- [5] Michael, P. (1966). [Steady motion of a disk in a viscous fluid](#). Physics of Fluids 9(3), pp. 466-471.
- [6] Haider, A. & Levenspiel, O. (1989). [Drag coefficient and terminal velocity of spherical and nonspherical particles](#). Powder technologies 58, pp. 63-70.
- [7] Hölzer, A. & Sommerfeld, M. (2008). [New simple correlation formula for the drag coefficient of non-spherical particles](#). Powder technologies 184, pp. 361-365.
- [8] Zastawny, M. et al. (2012). [Derivation of drag and lift force and torque coefficients for non-spherical particles in flows](#). International Journal of Multiphase Flow 101, pp. 288-295.