



Efecto de un semicírculo dentro de un flujo de aire

Alan Castañeda Rodríguez

alanrodriguez.lim23@lasallecuernavaca.edu.mx

Santiago Ismael Ocampo Romero

santiagoocampo.lim23@lasallecuernavaca.edu.mx

Paloma Natasha Brindis de Salas Barreto

palomabarreto.lim23@lasallecuernavaca.edu.mx

Domingo Gabriel Flores Galeana

domingoflores.lim23@lasallecuernavaca.edu.mx

Estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica
Escuela de Ingeniería. Universidad La Salle Cuernavaca

Asesor del artículo:

Dr. Eder Uriel Martínez Sandoval.

ederurielmartinez.profesor@lasallecuernavaca.edu.mx.

Docente de la Escuela de Ingeniería. Universidad La Salle Cuernavaca

Resumen

El comportamiento del flujo de aire alrededor de cuerpos inmersos en un canal es determinante para comprender fenómenos como la separación de la capa límite, la formación de estela y las fuerzas aerodinámicas asociadas. En este trabajo se analiza el flujo de aire alrededor de una geometría semicircular fija

utilizando el método de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). El estudio se realizó bajo condiciones de flujo estacionario en dos dimensiones, considerando el aire como fluido incompresible. Se obtuvo el campo de velocidades y la distribución de presión alrededor del cuerpo, observándose una zona

de aceleración del flujo en la parte superior de la superficie curva y una región de recirculación en la estela detrás del objeto. Estos resultados permiten identificar el comportamiento característico de cuerpos romos en flujo externo y proporcionan la base para el cálculo del coeficiente de arrastre aerodinámico asociado a la geometría analizada.

Palabras clave: Mecánica de fluidos, CFD, semicírculo, interacción fluido-sólido.

Abstract

The behavior of air flow around bodies immersed in a channel is essential for understanding phenomena such as boundary layer separation, wake formation and associated aerodynamic forces. In this work, the air flow around a fixed semicircular geometry is analyzed using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. The study was carried out under stationary flow conditions in two dimensions, considering air as an incompressible fluid. The velocity field and pressure distribution around the body were obtained, revealing a flow-acceleration region over the curved upper surface and a recirculation region in the wake behind the object. These results help identify the characteristic behavior of blunt bodies in external flow and provide the basis for the calculation of the coefficient of aerodynamic drag associated with the analyzed geometry.

Keywords: Fluid mechanics, CFD, semicircle, fluid-solid interaction.

Nota editorial: En este artículo se respetó el estilo de citación IEEE de los autores debido al estándar disciplinar en ingeniería. Se ha autorizado esta excepción a los lineamientos generales de citación en estilo APA utilizados por la revista.

Introducción

En el estudio de la mecánica de fluidos, la interacción entre un flujo de aire y cuerpos sólidos representa un fenómeno de gran relevancia para el diseño y análisis de sistemas en ingeniería. La forma geométrica de un objeto influye directamente en el comportamiento del flujo que lo rodea, afectando variables como la presión, la velocidad, la formación de vórtices y el coeficiente de arrastre.

La interacción entre un flujo de aire y una superficie sólida depende de diversos factores, entre los cuales destacan la forma geométrica del cuerpo y el régimen del flujo. En particular, los cuerpos romos, como cilindros y semicírculos, presentan fenómenos característicos como la separación temprana de la capa límite, la formación de zonas de recirculación y la aparición de estelas pronunciadas. Estos efectos no solo modifican la distribución de presiones sobre la superficie del cuerpo, sino que también determinan las fuerzas aerodinámicas resultantes, tales como el arrastre o la sustentación lateral.

El análisis de estos comportamientos es relevante en numerosas aplicaciones de ingeniería. Por ejemplo, en el diseño de vehículos y estructuras expuestas al viento, comprender la dinámica de la estela permite mejorar la estabilidad y reducir las pérdidas energéticas asociadas al arrastre. En sistemas de ventilación y transporte de fluidos, el estudio del flujo alrededor de obstáculos ayuda a optimizar el diseño de canales, evitar zonas de baja velocidad y mejorar la eficiencia del transporte.

El uso de simulaciones computacionales en dos dimensiones constituye una herramienta valiosa para analizar estos fenómenos. Aunque representa una simplificación respecto a un flujo tridimensional real, el modelo 2D permite capturar patrones esenciales como la separación, la “reattachment zone” y

la estructura general de la estela, con un costo computacional menor y un control más preciso de las variables del sistema.

En el presente trabajo, se aplica este enfoque para estudiar el comportamiento del flujo de aire alrededor de un semicírculo colocado dentro de un canal. A partir de las simulaciones obtenidas, se busca no sólo describir el patrón de flujo, sino también comprender la relación entre la geometría y los fenómenos aerodinámicos asociados, proporcionando una base para estudios posteriores orientados al análisis y optimización de formas expuestas a corrientes de aire.

Estado del arte

El estudio del comportamiento de flujos alrededor de cuerpos geométricos ha sido ampliamente abordado en la literatura de mecánica de fluidos, especialmente en configuraciones que involucran cilindros cuadrados y circulares. Estos trabajos han permitido comprender fenómenos como la separación del flujo, la formación de estelas turbulentas, la transferencia de calor y la influencia de parámetros como el número de Reynolds y el número de Peclet.

Estelas Turbulentas

Las estelas turbulentas ocurren cuando el flujo de un fluido se separa del cuerpo y forma remolinos caóticos y de distintas escalas en dirección y velocidad, generando mezclas complejas de flujo.

Número de Reynolds

El número de Reynolds es un parámetro adimensional que expresa la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas de un fluido:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad [1]$$

Donde ρ es la densidad, v la velocidad característica, D la longitud característica y μ la viscosidad dinámica. Este número determina el régimen de flujo: laminar para $Re < 2300$, transicional entre $2300 < Re < 4000$ y turbulento para $Re > 4000$. [3]

El artículo de Sohankar, Norberg y Davidson (1999) [6], “Simulation of three-dimensional flow around a square cylinder at moderate Reynolds numbers, Sohankar et. al.”, 1999, realizó simulaciones numéricas tridimensionales para analizar el flujo alrededor de un cilindro cuadrado en un rango de números de Reynolds entre 150 y 500. El estudio reveló patrones complejos de vorticidad y separación del flujo, destacando la sensibilidad del comportamiento aerodinámico a la geometría del cuerpo.

Posteriormente, Dhiman, Chhabra y Eswaran (2005), en “Flow and heat transfer across a confined square cylinder in the steady flow regime, Dhiman et. al.”, 2005, [5], exploraron la influencia del número de Peclet en la transferencia de calor. Utilizando simulaciones en régimen estacionario, demostraron cómo la geometría confinada y los parámetros térmicos afectan la distribución del flujo y la eficiencia térmica del sistema.

En un enfoque más experimental, P. W. Bearman, (2006) [4] publicó “Investigation of the flow behind a two-dimensional model with a blunt trailing edge and fitted with splitter plates Bearman”, 2006, donde analizaron cómo la adición de tres placas divisoras modifica la estela detrás de un cuerpo con borde posterior romo. Los resultados mostraron una reducción significativa en la intensidad de la turbulencia y una mejora en la estabilidad del flujo posterior.

Sumner (2010), [7] en su revisión “Two circular cylinders in cross-flow Sumner”, 2010, sintetizó múltiples estudios sobre la interacción entre cilindros circulares expuestos a flujo cruzado. El artículo destaca los efectos de interferencia, la formación de vórtices y la complejidad de las estelas generadas,

proporcionando un marco teórico valioso para estudios comparativos entre geometrías circulares y cuadradas.

Finalmente, Alam, Zhou y Wang (2011), en “The wake of two side-by-side square cylinders, Alam et. al.”, 2011[1], investigaron la interacción entre dos cilindros cuadrados colocados en paralelo. A través de simulaciones y análisis de flujo, identificaron patrones de interferencia que afectan la simetría de la estela, la presión sobre las superficies y la dinámica de separación del flujo.

Si bien estos estudios han aportado conocimientos valiosos sobre el comportamiento de flujos alrededor de figuras geométricas, la mayoría se ha centrado en configuraciones específicas o en condiciones de contorno particulares. En este contexto, el presente trabajo busca aplicar lo aprendido en la asignatura de Mecánica de Fluidos, mediante el uso de CFD para explorar la geometría dada y sus condiciones de flujo mediante las fórmulas y los conocimientos vistos en clase, logrando así una mejor comprensión de los efectos aerodinámicos asociados a la forma del cuerpo.

Metodología

En la simulación realizada se estudió el comportamiento de un fluido al chocar con un objeto semicircular en un plano 2D. El modelo realizado utilizando un método CFD, con diámetro de 20 mm representado en la Figura 1.

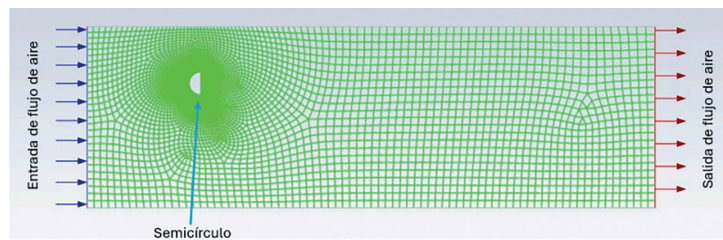
Figura 1. Geometría utilizada para la simulación en método CFD.



Fuente: Imagen obtenida de CFD por los autores.

La simulación presenta una entrada de flujo con velocidad constante, la Figura 2 corresponde a una malla computacional donde se muestra la discretización del dominio objeto de estudio, presentando la entrada y salida del flujo de aire con una velocidad constante de 0.21 m/s.

Figura 2. Mallado computacional de la geometría semicircular.

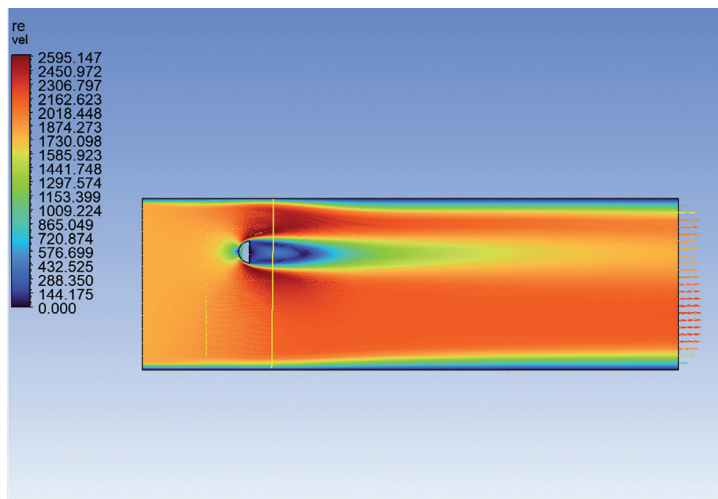


Fuente: Imagen obtenida de CFD por los autores.

Se empleó una malla estructurada con refinamiento localizado en la región circundante al cuerpo sólido, con el objetivo de capturar adecuadamente los gradientes de velocidad característicos de la capa límite y de la zona de separación del flujo. La densidad de elementos aumenta conforme el fluido se aproxima a la superficie del obstáculo, asegurando

una resolución suficiente para describir el comportamiento de interés. El mallado es un paso importante para obtener resultados de las magnitudes del campo de velocidad (Figura 3) y la velocidad de los vectores (Figura 4).

Figura 3. Distribución de campo de velocidad constante alrededor del cuerpo.



Fuente: Imagen obtenida de CFD por los autores.

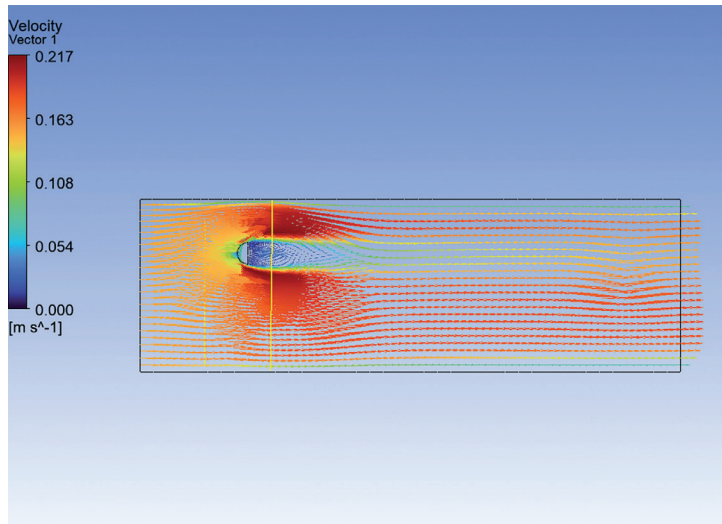
Los colores representan la magnitud de la velocidad, desde valores cercanos a cero hasta aproximadamente 0.217 m/s. Se observa que el flujo se acelera al rodear la parte superior del semicírculo, lo cual genera una zona de mayor velocidad y, por consiguiente, una disminución de la presión sobre la superficie curva. Este comportamiento es característico de cuerpos romos y responde al intento del fluido de seguir la geometría antes de que ocurra la separación de la capa límite. Detrás del semicírculo aparece una región extensa donde la velocidad disminuye notablemente, representada por tonos azulados. Esta zona corresponde a la estela o región de recirculación, donde el fluido pierde energía debido a la separación del flujo en la superficie posterior del cuerpo. Dentro de esta estela se forman patrones de movimiento más complejos, que pueden incluir remolinos o vórtices dependiendo del régimen del flujo. La presencia de esta región

es fundamental, pues es responsable de gran parte del arrastre aerodinámico que actúa sobre la geometría semicircular.

A medida que el flujo avanza hacia la salida del canal, se aprecia cómo las velocidades comienzan a recuperarse gradualmente, tendiendo nuevamente a un perfil más uniforme. Los vectores en la parte derecha de la figura indican la dirección del flujo y muestran cómo este comienza a estabilizarse después de haber sido perturbado por el obstáculo. Finalmente, las líneas verticales amarillas representan ubicaciones de muestreo que permiten obtener perfiles de velocidad transversales y analizar con mayor detalle la recuperación del flujo aguas abajo.

Para complementar la interpretación de este contorno de velocidad, la Figura 4 muestra los vectores, los cuales permiten visualizar con mayor claridad la trayectoria que siguen las partículas del fluido alrededor del semicírculo. Esta representación facilita identificar de forma más precisa la desviación del flujo, la separación sobre la superficie curva y la estructura de la estela detrás del cuerpo.

Figura 4. Velocidad del vector: líneas de corriente.



Fuente: Imagen sacada de CFD por los autores.

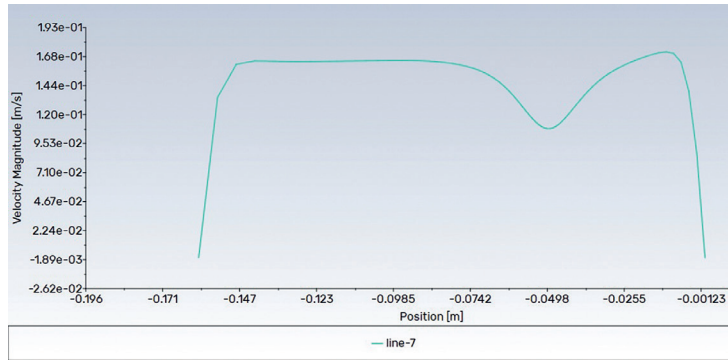
Esta figura complementa la distribución de velocidades mostrando los vectores del flujo alrededor del semicírculo. Estas líneas permiten visualizar la trayectoria que siguen las partículas del fluido y evidencian de manera clara los efectos aerodinámicos que produce la geometría. Antes de llegar al cuerpo, las líneas se comprimen y se curvan hacia la parte superior del semicírculo, lo que indica una aceleración del flujo y una disminución de la presión en esa región. Este comportamiento coincide con los valores elevados de velocidad observados en el mapa de colores de la figura anterior.

Detrás del semicírculo se forma una zona de recirculación donde las líneas de corriente muestran patrones irregulares y cambios abruptos en su dirección, lo que confirma la separación del flujo y la presencia de una estela. Esta región coincide con la zona de baja velocidad previamente identificada. A medida que el fluido avanza hacia el extremo derecho del canal, las líneas vuelven a organizarse en trayectorias casi paralelas, lo que indica la recuperación progresiva del flujo después de haber sido perturbado por el obstáculo.

Resultados

La gráfica (Figura 5) presentada corresponde al análisis realizado en la zona aguas abajo del semicírculo, a partir de los datos extraídos en la línea vertical de muestreo ubicada después de la región de recirculación. Mientras que las figuras anteriores permiten observar de manera cualitativa la distribución de la velocidad y la trayectoria de las partículas del fluido, esta gráfica complementa dichos resultados mostrando la variación cuantitativa de las componentes del flujo en esa sección transversal.

Figura 5. Gráfica de perfil de velocidad aguas abajo.



Fuente: Imagen obtenida de CFD por los autores

Conclusión

La simulación del flujo alrededor del semicírculo mostró que esta geometría altera de manera significativa el comportamiento del aire dentro del canal. El flujo se acelera sobre la superficie curva y luego se separa, formando una estela caracterizada por bajas velocidades y recirculación. Las líneas de corriente confirmaron la desviación del flujo y la estructura de la estela, mientras que los datos obtenidos aguas abajo evidenciaron una recuperación progresiva del perfil de velocidad. En conjunto, los resultados permiten concluir que la presencia del semicírculo genera un aumento local de la velocidad, una zona de separación bien definida y efectos persistentes que se reducen conforme el flujo avanza. Estos comportamientos coinciden con lo esperado para cuerpos romos y validan la utilidad del modelo CFD empleado.

Bibliografía

- [1] M. M. Alam, Y. Zhou, y X. W. Wang, «The wake of two side-by-side square cylinders», *Journal Of Fluid Mechanics*, vol. 669, pp. 432-471, ene. 2011, doi: 10.1017/s0022112010005288.
- [2] CFD, Part of Synopsys. (2025a). ¿Qué es un flujo turbulento? [Accedido: 23 de octubre de 2025]. <https://www.CFD.com/simulation-topics/what-is-turbulent-flow>
- [3] CFD, Part of Synopsys. (2025b). ¿Qué son los números de Reynolds? [Accedido: 23 de octubre de 2025]. <https://www.CFD.com/blog/what-is-reynolds-number>
- [4] P. W. Bearman, «Investigation of the flow behind a two-dimensional model with a blunt trailing edge and fitted with splitter plates», *Journal Of Fluid Mechanics*, vol. 21, no.2, pp. 241-255, feb. 1965, doi: 10.1017/s0022112065000162.
- [5] A. K. Dhiman, R. P. Chhabra, y V. Eswaran, «Flow and heat transfer across a confined square cylinder in the steady flow regime: Effect of Peclet number», *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, vol. 48, n.o 21-22, pp. 4598-4614, jul. 2005, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.04.033.
- [6] A. Sohankar, C. Norberg, y L. Davidson, «Simulation of three-dimensional flow around a square cylinder at moderate Reynolds numbers», *Physics Of Fluids*, vol. 11, n.o 2, pp. 288-306, feb. 1999, doi: 10.1063/1.869879.
- [7] Sumner, D. (2010). Two circular cylinders in cross-flow: a review [Disponible en línea. Accedido: 23 de octubre de 2025]. *Journal of Fluids and Structures*, 26,849-899. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889974610000861>
- [8] Thermopedia. (2025). Número de Peclet [Accedido: 23 de octubre de 2025]. https://www-thermopedia-com.translate.googleusercontent.com/1014/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge