

Determinación mediante simulación numérica del coeficiente de fricción en tubo recto de sección constante para flujo compresible, adiabático y estacionario. Validación experimental

J. Pérez García, J. Hernández Grau, J. Martínez García, A. Cano Cerón,

A. Sánchez Kaiser y A. Viedma Robles

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

Universidad Politécnica de Cartagena

C/ Dr. Fleming s/n CP:30202 Cartagena

Tlf: 968 325986 Fax: 968 325999

Email: pepe.perez@upct.es

Los sistemas de conductos para transporte de fluidos en condiciones de flujo compresible adiabático presentan numerosas aplicaciones tanto en régimen estacionario como transitorio. La caracterización de elementos singulares para el modelado de estos sistemas, consiste en la obtención de un coeficiente de pérdidas de presión. Este coeficiente puede ser obtenido numérica o experimentalmente.

La caracterización de elementos singulares mediante simulación numérica, presenta ciertas dificultades, debido al carácter tridimensional del flujo y a los desprendimientos de la capa límite.

La caracterización experimental en banco de flujo estacionario requiere un procesado adecuado de los datos de las variables fluidas medidas en los extremos de los conductos del elemento singular. Un aspecto importante en el procesado de datos consiste en evaluar de forma correcta el factor de fricción y obtener las pérdidas de presión por efecto viscoso, ya que estas deben ser restadas de las pérdidas de presión totales.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos para el coeficiente de fricción mediante simulación numérica del flujo compresible adiabático estacionario en un conducto recto de sección constante. Los resultados obtenidos han sido comparados con datos experimentales, y ello ha permitido seleccionar y ajustar diferentes parámetros de simulación, tales como el modelo de turbulencia más adecuado en función del número de Reynolds, las condiciones de contorno para obtener una convergencia más rápida, la sensibilidad y el tamaño del mallado en función del gasto simulado, los modelos de discretización y el algoritmo de resolución.

En la figura 1, se muestra un esquema del montaje experimental realizado y en la figura 2, se muestra una comparación entre los resultados obtenidos mediante la simulación numérica y los datos experimentales del coeficiente de fricción en función del número de Reynolds, ambos muestran buena correlación con la ecuación de Colebrook-White.

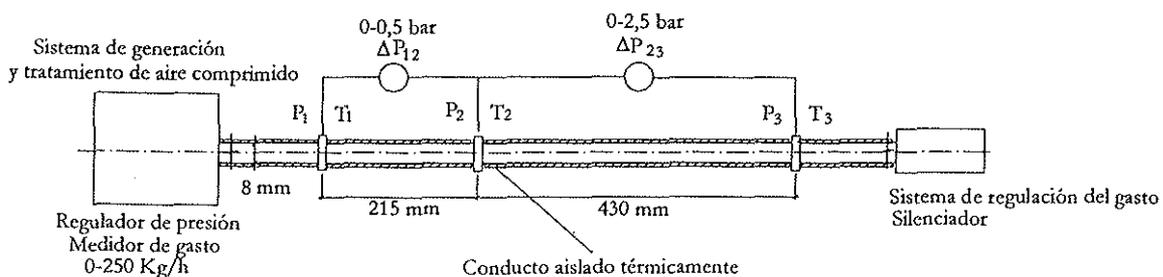


Figura 1. Esquema del montaje experimental para determinación del coeficiente de fricción

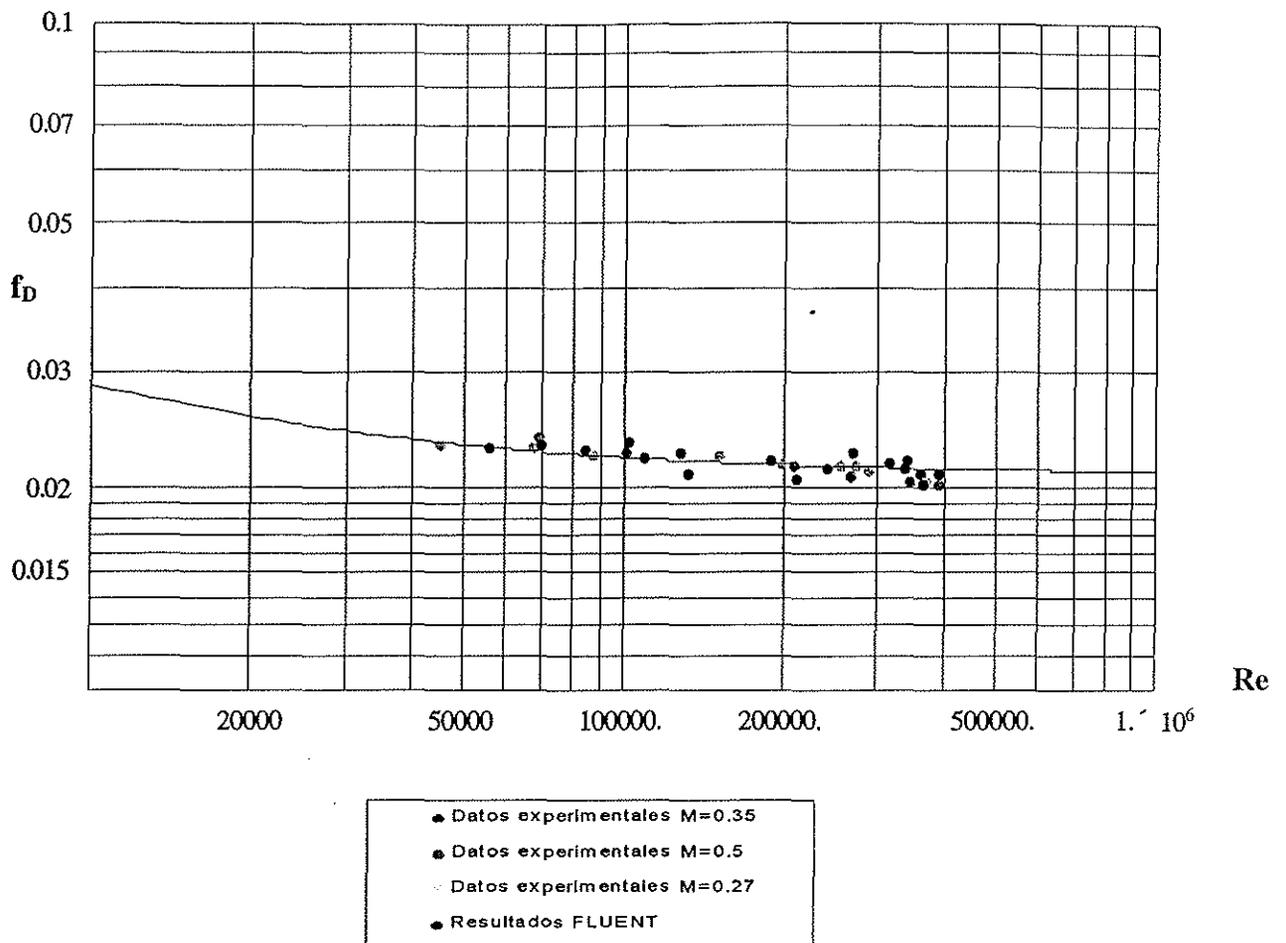


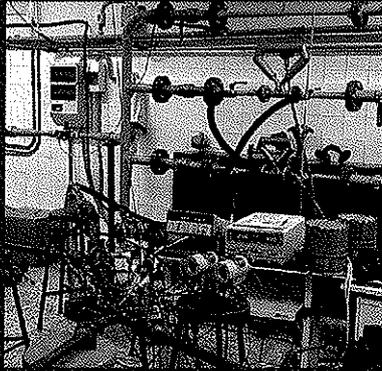
Figura 2. Comparación de resultados obtenidos para el coeficiente de fricción



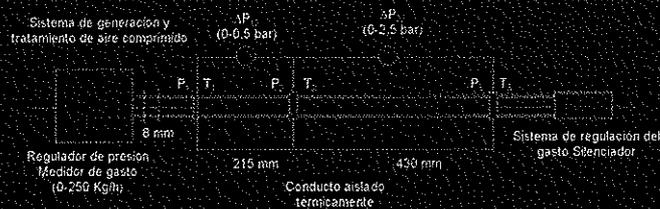
Determinación mediante simulación numérica del coeficiente de fricción en tubo recto de sección constante para flujo compresible, adiabático y estacionario. Validación experimental

(1) J. Pérez García, (2) J. Hernández Grau, (3) J. Martínez Saldaña, (4) A. Cano Gerón, (5) A. Sánchez Casero, (6) A. Viedma Rojas

(1) Área de Mecánica de Fluidos (2) Área de Máquinas y Motores Térmicos, Departamento de Ingeniería Técnica y de Fluidos, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Antigua Hospital de Marina, s/n Doctor Fleming s/n, 30202 Cartagena, E. más. Universidad Pontificia de Cartagena



En este trabajo se presentan los resultados obtenidos para el coeficiente de fricción mediante simulación numérica del flujo compresible adiabático estacionario en un conducto recto de sección constante de 8 mm de diámetro y 1262,5 mm de longitud. Los resultados obtenidos han sido validados con datos experimentales medidos en banco de flujo, barriendo un rango del número de Reynolds de $4,5 \cdot 10^4$ a $4 \cdot 10^5$, y un rango del número de Mach de 0,27 a 0,5. En el estudio han sido ensayados distintos modelos de turbulencia en función del gasto a la entrada. La malla utilizada para la resolución de los casos numéricos es de tipo estructurado, variando el número de celdas en función del número de Reynolds con el fin de cumplir las condiciones del modelo de turbulencia.



MODELO ANALÍTICO

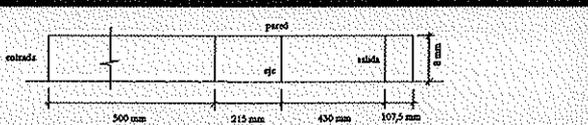
El sistema de ecuaciones que determina el movimiento del fluido en el conducto considerado es el propio de los conductos de sección lentamente variable, donde hemos de aplicar las hipótesis de flujo adiabático sin existencia de calor por reacción química, flujo compresible, estacionario con fricción, y conducto de diámetro constante. Como después comprobaremos, la entalpía de remanso se mantiene constante, a diferencia de lo que ocurre con la presión, de momento que desciende debido a la irreversibilidad del proceso.

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = - \frac{\lambda}{8} \frac{UU}{r_h}$$

$$\rho U \frac{\partial}{\partial x} \left(h + \frac{1}{2} U^2 \right) = 0$$

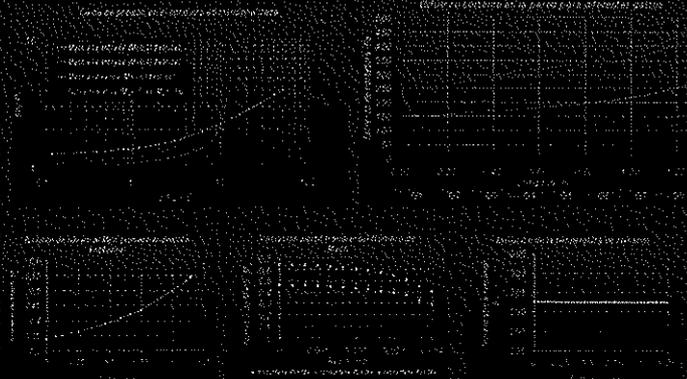
PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN

Solver:	SEGREGATED 2-D Análisis numérico dp
Algoritmo de formulación:	IMPLICITO
Modelo de turbulencia:	K-epsilon y Spalart-Allmaras en función del rango de Reynolds
Modelos de discretización:	Presión -> Standard Aceptamiento Presión-Velocidad -> SIMPLE Momento y Energía cinética turbulencia -> 1º orden Upwind
Fluido:	Aire
Densidad:	Ley de gas ideal
Viscosidad dinámica:	Ley de Sutherland (2 coeficientes)
Material:	Acero (Rugosidad absoluta $R=6$ mm)
Mallado:	Mallado de número de celdas en dirección transversal variable para ajustar el valor de ϵ en función del gasto simulado
Condiciones de contorno:	Entrada -> Mass Flow Inlet Salida -> Pressure Outlet



Diametro del conducto: 8 mm
 Longitud: 1262,5 mm
 Rango de gastos: 30 - 160 Kg/h
 Intervalo de Reynolds: $4,5 \cdot 10^4$ - $4 \cdot 10^5$
 Intervalo de Mach: 0,27 - 0,5

RESULTADOS NUMÉRICOS



COMPARACIÓN DE RESULTADOS NUMÉRICOS Y EXPERIMENTALES

Los datos experimentales del coeficiente de fricción fueron obtenidos para diferentes valores del número de Reynolds manteniendo el número de Mach constante ($Ma=0,27$, $Ma=0,35$ y $Ma=0,5$). El error promedio entre los resultados de la simulación numérica y los experimentales es del 4,5%. Los resultados tanto numéricos como experimentales muestran una muy buena correlación con la ecuación de Colebrook-White para el valor de rugosidad del conducto ensayado. Para el procesamiento de los datos experimentales se ha utilizado el modelo de cálculo para flujo compresible adiabático estacionario (flujo de Fanno).

$$\frac{4fL}{D} = \frac{1}{\gamma M^2} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right) \left(1 - \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 \right) + \frac{\gamma-1}{2\gamma} \ln \left(\frac{U}{U_0} \right)$$

Los resultados mostrados en la figura siguiente fueron obtenidos mediante dos modelos de turbulencia distintos. El modelo K-epsilon estándar proporcionaba mejores resultados para los puntos de mayor Reynolds, mientras que para los puntos de Reynolds más bajo dentro del rango considerado el modelo que mejor se aproximaba a la curva de referencia fue el de Spalart-Allmaras. Otros modelos como el K-omega fueron ensayados para estos valores más bajos del número Reynolds, sin embargo los valores obtenidos con este modelo presentaban un mayor error en el cálculo del factor de fricción que el anterior modelo respecto a la curva de referencia.

Factor de Fricción

