

Desarrollo de un Banco de Flujo compresible. Aplicación a la determinación de coeficientes de pérdidas de presión en uniones de conductos en flujo compresible estacionario

J. Pérez, J. Hernández, J. Martínez, A. Cano, A. Viedma

*Dpto. Ingeniería Térmica y de Fluidos, Universidad Politécnica de Cartagena
C/ Dr. Fleming, s/n - 30202 Cartagena
Tel: +34 968 32 59 86 Fax: +34 968 32 59 99 E-mail pepe.perez@upct.es*

Resumen

Se describen en primer lugar las características básicas y de operación de un banco de flujo en impulsión, desarrollado para la realización de ensayos de investigación en Mecánica de Fluidos.

Los modelos de simulación del flujo compresible estacionario y no estacionario en conductos, son hoy día indispensables para el análisis de los equipos e instalaciones que requieren de sistemas de conducción de gases o vapores, tales como sistemas neumáticos, redes de conducción de gases, sistemas de admisión y escape de motores de combustión y compresores alternativos, entre otros. Los modelos empleados en la simulación del flujo compresible en sistemas con uniones de conductos, tanto en el caso de flujo estacionario como en el análisis de transitorios, requieren de coeficientes de pérdidas de presión locales. Estos coeficientes pueden ser determinados experimentalmente.

En este trabajo se presenta una metodología de ensayo que abarca desde la toma de medidas hasta el procesado y el análisis de datos, así como los resultados obtenidos, en la determinación de los coeficientes de pérdidas de presión en uniones con geometrías en "Y" y "T" para diferentes configuraciones del flujo y relaciones de gasto entre ramas en flujo compresible estacionario.

Palabras clave: Flujo Compresible - Uniones "Y" "T" - Coeficientes Pérdidas Presión

Abstract

Firstly, the test bench configuration and operating characteristics are described. This facility will allow to accomplish research tests in Mechanic of Fluids.

Nowadays, the steady and transient compressible flow simulation models are essential. These simulation models are required to analyse systems and equipments driving gas or steam, such as pneumatic systems, gas network, inlet and exhaust manifolds in ICE's and alternative compressors. The models used in compressible flow simulation at junctions, as much as, steady or transient flow, require local loss pressure coefficient. These coefficients can be experimentally obtained.

In this work, a test procedure is presented. This methodology includes measurement acquisition, processing data and analysis results. Finally, the experimental loss pressure coefficients obtained to different flow configurations and mass flow rate between branches, at junctions type tee and wye in steady compressible flow are showed.

Keywords: Compressible flow - Junctions "Y" "T" - Loss Pressure Coefficient

1. Introducción

El flujo interno en elementos singulares de un sistema de conducción de fluidos tales como uniones de conductos, codos, válvulas y otros accesorios es intrínsecamente tridimensional. La caracterización de estos elementos se puede realizar mediante

códigos 3D o experimentalmente en bancos de flujo. La primera opción no proporciona resultados suficientemente exactos y el tiempo de computación es elevado. La segunda opción permite determinar los coeficientes de pérdidas de presión, necesarios para el cálculo 1D con mayor exactitud, sin embargo, el coste económico es elevado debido a la complejidad de las instalaciones requeridas y a la duración de los ensayos.

Los modelos de simulación del flujo compresible estacionario ó transitorio en sistemas de conductos con uniones pueden estar basados en diferentes hipótesis [1]. En la mayoría se requiere la estimación de coeficientes de pérdidas de presión. Estos coeficientes deben ser calculados para cada geometría y tipo de flujo y se expresan en función del número de Mach y la relación de gastos entre ramas. En flujo incompresible las recopilaciones de datos más completas y fiables fueron realizadas por Miller [2,3,4] y ESDU [5,6]. En flujo compresible la información disponible es muy escasa, y fue obtenida por Abou-Haidar [7,8], para algunas geometrías de uniones de tres conductos, todos los tipos de flujo y diferentes relaciones de gasto entre ramas.

2. Geometría de las uniones de tres conductos y tipos de flujo

Las uniones de conductos se clasifican en planas y tridimensionales. Este trabajo se centra en uniones planas de tres conductos, que pueden ser tipo "T" o "Y", simétricas o asimétricas y conductos cuyos ejes de simetría intersectan en un punto. Los radios de curvatura exteriores y de horquilla son pequeños (bordes afilados). En la figura 1, se representan las configuraciones de flujo analizadas.

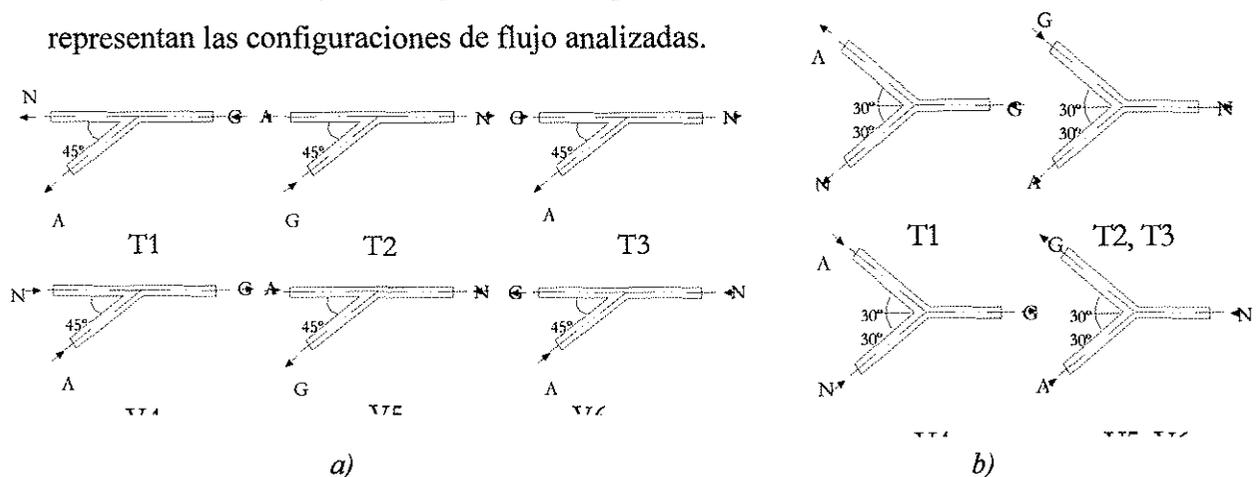


Figura 1. a) Configuraciones de flujo ensayadas en uniones tipo "T" b) Configuraciones de flujo ensayadas en uniones tipo "Y"

3. Coeficientes de pérdidas de presión en uniones

Las pérdidas de presión en uniones de conductos son debidas a varios factores [9]: esfuerzos de fricción de origen viscoso, cambios bruscos de dirección y sección que

producen el desprendimiento de la capa límite y un efecto de reducción del área de paso del flujo pudiendo producirse un fenómeno de “bloqueo”, transmisión de cantidad de movimiento y deformación entre flujos que interactúan (unión de flujos) o expansión y remansamiento no isoentrópico del flujo (separación de flujos). Todos estos factores producen una disminución de la presión de remanso, que está relacionada con el tipo de flujo y la geometría de la unión.

Hay diferentes definiciones para el coeficiente de pérdidas de presión, en este trabajo se utilizan los basados en la ecuación de conservación de la energía mecánica y de la de cantidad de movimiento para flujo compresible e incompresible [2,7,10,11], ó en la relación de gastos de descarga isoentrópico y gasto real a través de la unión [12].

4. Soporte experimental

Los ensayos han sido realizados en un banco de flujo de funcionamiento en impulsión. Este consta de un compresor de tornillo de 36,8 kW, que suministra 400 Kg/h a 8 bar.

Para posibilitar la reproducción y medida del gasto para los diferentes tipos de flujos en los ensayos de uniones, se dispone de una red de conductos acoplados en paralelo con dos medidores de gasto másico de efecto Coriolis de rangos configurables mediante software (Tabla 1). En la figura 2, se muestra un esquema del banco de flujo.

Tabla 1. Características técnicas de los medidores de gasto

Fischer Rosemount. Micro Motion. Sensores ELITE Acondicionador de señal RFT9739	CMF025	CMF050
Rango nominal	0-1090 Kg/h	0-3400 Kg/h
Exactitud en la medida del gasto (gases)	± 0.50% FS	± 0.50% FS
Repetibilidad (gases)	± 0.25% FS	± 0.25% FS
Estabilidad de cero (gases)	0.027 Kg/h	0.163 Kg/h

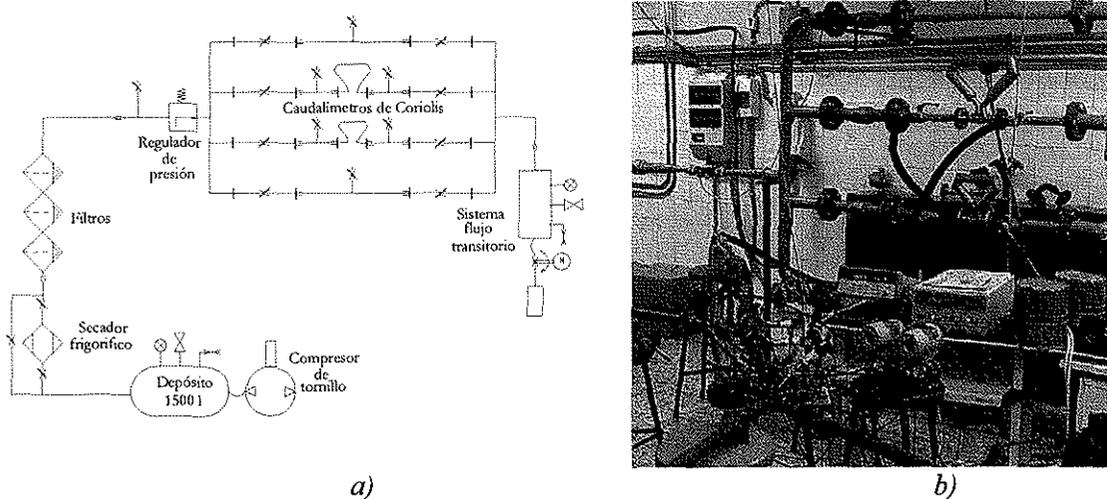


Figura 2. a) Esquema general del banco de flujo b) Instrumentación del banco de flujo

4.1 Montaje para medir las propiedades del flujo en los conductos de la unión

Los métodos experimentales de caracterización de elementos singulares en flujo estacionario compresible se basan en la medida de las propiedades del flujo en los extremos de los conductos que llegan al elemento a caracterizar (Figura 3). Para la medida de presiones absolutas y caídas de presión entre las secciones de medida de la unión, se han utilizado transductores piezorresistivos y medidores de presión diferencial, mientras que para la medida de temperaturas se han utilizado Pt100, clase A, con conexión a cuatro hilos. Las señales de salida, incluidas los gastos máxicos se conectan a un multímetro digital HP 34970A, con conexión puerto serie RS-232 al PC.

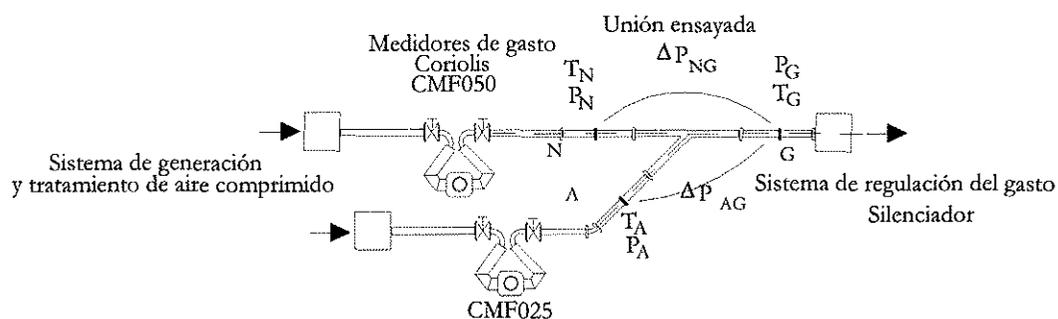


Figura 3. Montaje para medida de variables termofluidas en ensayos de uniones

La incertidumbre experimental en la determinación del coeficiente de pérdidas de presión en función de la relación de gastos entre ramas y del número de Mach fue realizada según [13]. Los valores obtenidos son: temperaturas $\pm 1,2\%$, gastos $\pm 0,72\%$, presiones absolutas $\pm 0,63\%$, diferencias de presión $\pm 0,13\%$, y la propagación de la incertidumbre en el cálculo de la relación de gastos $\pm 1,21\%$, número de Mach $\pm 0,6\%$ y coeficiente de pérdidas de presión, $\pm 2,42\%$

5. Metodología de ensayo y procesado de datos

El procedimiento de ensayo consiste en los siguientes pasos:

- Ensayo de fricción en tubo recto para obtención de la rugosidad real del conducto
- Ensayo de cada unión para las diferentes configuraciones de flujo (unión y bifurcación) y relaciones de gasto entre ramas 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1
- Tratamiento y procesado de datos del ensayo de fricción en tubo recto. Modelo de cálculo de flujo compresible adiabático. Obtención de la rugosidad por regresión de la función de Colebrook-White para el factor de fricción en función de la rugosidad
- Tratamiento y procesado de datos de los ensayos de uniones. Determinación de las propiedades del flujo en la intersección, aplicando el modelo de flujo del apartado

anterior para tener en cuenta la caída de presión por fricción. Y por último, obtención del coeficiente de pérdidas de presión (Figura 4)

6. Resultados del ensayo. Comparación con datos de referencia

En la figura 4, se muestran los resultados obtenidos para la unión tipo “Y”, configuración de flujo “T1”, y se comparan con datos de referencia de Abou-Haidar [7,8]. Se observa buena coincidencia para las diferentes relaciones de gasto, tanto cuantitativamente como en tendencia, si bien para $M > 0.4$ existen diferencias, debido a que en [7,8] se determina la presión en la intersección, por extrapolación de una función obtenida por regresión de la presión estática medida a lo largo del conducto, teniendo en cuenta la pérdida de presión por fricción, según modelo incompresible [2].

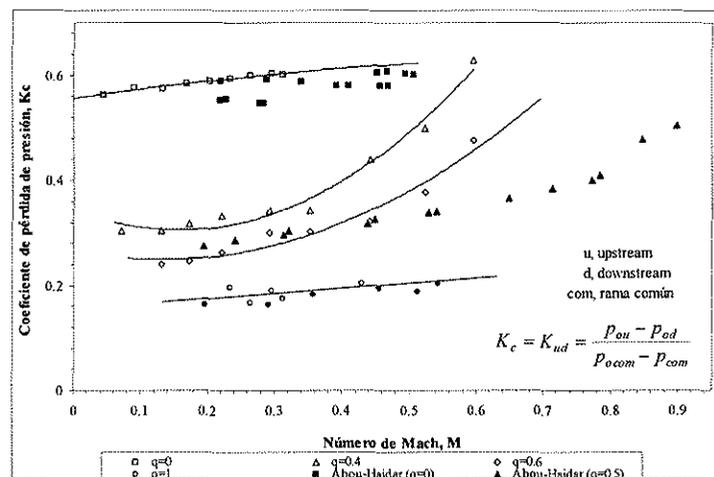


Figura 4. Comparación del coeficiente de pérdidas de presión. Flujo compresible Y3 “T1”

En la figura 5, se compara el coeficiente de pérdidas obtenido experimentalmente para el rango de flujo incompresible con datos de referencia de Miller [2,3], ESDU [5,6] y Abou-Haidar [7,8]. Se observa buena coincidencia a bajas relaciones de gasto y una ligera sobrevaloración a altas.

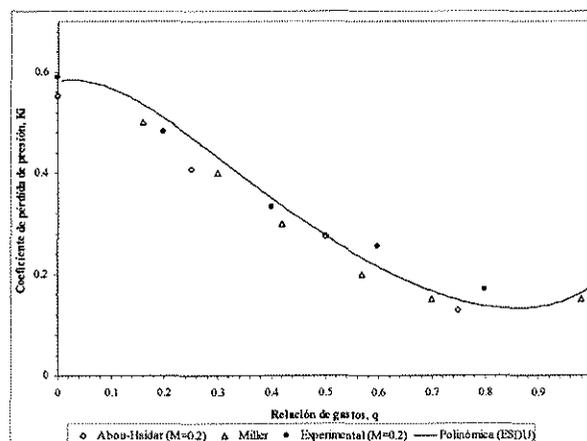


Figura 5: Comparación del coeficiente de pérdidas. Flujo incompresible Y3 “T1”

En la figura 6, se muestran ahora los resultados obtenidos para la unión tipo “T”, configuración de flujo “V4”, se trata de un caso de unión de flujos. En este caso los datos de referencia disponibles corresponden a uniones tipo “T” de 30 y 60°, mientras que los resultados son para un ángulo de la rama lateral de 45°. Los resultados obtenidos son cuantitativamente intermedios entre ambos y la variación con el número de Mach para las diferentes relaciones de gasto es coincidente. Al tratarse de una unión asimétrica, se representan de forma separada los coeficientes de cada rama. Se observa que el rango de variación del coeficiente K_{AG} con la relación de gastos es mayor que el del coeficiente K_{NG} .

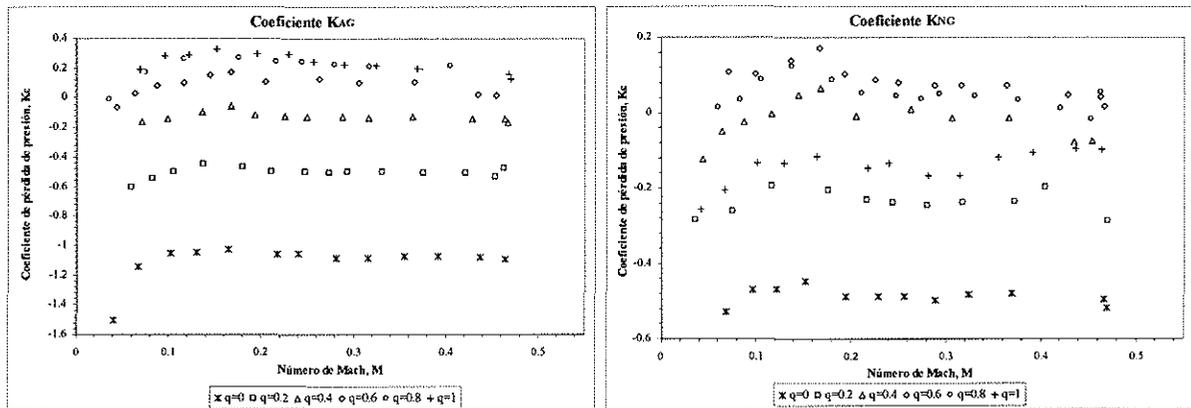


Figura 6. Coeficiente de pérdidas de presión. Flujo compresible. Caso T3 “V4”

Para la comparación en flujo incompresible si se dispone de datos de referencia de ESDU [9,10], donde también se recopilan datos de Blaisdell & Manson y Peterman. En la figura 7 se observan la buena coincidencia para los coeficientes de ambas ramas.

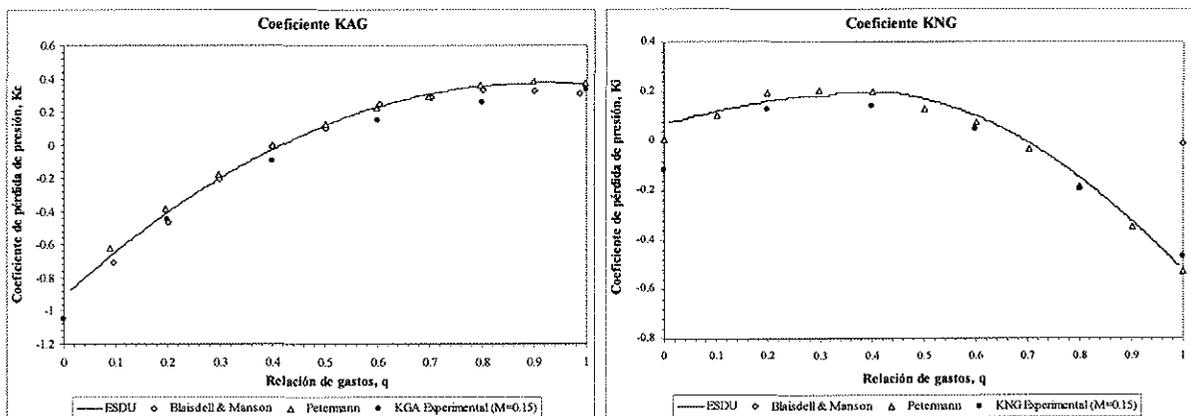


Figura 7. Comparación de los coeficientes. Flujo incompresible. Caso T3 “V4”

8. Conclusiones

Se ha desarrollado un banco de flujo que permite la determinación experimental del coeficiente de pérdidas de presión en flujo compresible estacionario en uniones de tres

conductos. El banco opera en impulsión y utiliza caudalímetros máscicos de efecto Coriolis para medida del gasto, lo cual permite obtener una gran exactitud y evitar los problemas de incertidumbre en la medida de los caudalímetros volumétricos.

Se ha desarrollado una nueva metodología de ensayo y procesado de los datos y han sido obtenidos los coeficientes de pérdidas para diferentes geometrías y tipos de flujo para un amplio rango de números de Mach ($0 < M < 0.6$), en uniones en “Y” y “T”.

Por último, se han comparado los resultados obtenidos con datos de referencia disponibles y se observa buena coincidencia.

Agradecimientos

Los autores agradecen el soporte económico a la Fundación Séneca de la Región de Murcia a través de la financiación del proyecto PB/19/FS/97

Referencias

1. Winterbone, D. E.; Pearson, R. J.: Theory of Engine Manifold Design. Wave action methods for IC engines. Chapter 6, 1999
2. Miller, D.S.: Int. Flow: guide to losses in pipe and duct system, BHRA, 1971, pp. 329
3. Miller, D. S.: Internal flow systems, BHRA, 1978, pp. 220-259
4. Miller, D. S.: Compressible Internal Flow, *BHRA Fluid Engineering* 1984
5. ESDU Item N°: 73022, Pressure losses coefficients in three-leg pipe junctions: dividing flows, ESDU International plc, 1973.
6. ESDU Item N°: 73023, Pressure losses coefficients in three-leg pipe junctions: combining flows, ESDU International plc, 1973.
7. Abou-Haidar, N. I.: Compressible flow pressure losses in branched ducts, *Thesis, The University of Liverpool*, Dep. Mech. Eng., 1989.
8. Abou-Haidar, N. I.: Compressible flow pressure losses in branched ducts. *Journal of Turbomachinery*. July 1994. Vol. 116/537
9. Corberán, J. M.; Salavert, J.M. Uniones de conductos en los sistemas de admisión y escape de los M.C.I.A. *VII Cong. N de Ing. Mecánica. Año VI-Vol. II*, pp: 191-199
10. Benson, R.S.: A simple algoritm for a multi-pipe junction in non-steady homentropic flow. *Int. J. Mech. Eng. Sci.*, Vol. 17 1975, pp: 40-41
11. Morimune, T.; Hirayama, N.; Toshiyuki Maeda, T.: Study of compressible high speed gas flow in piping system. *JSME. Vol. I24, N° 198, December 1981*. pp: 2082-2089
12. Linnhoff, H. J.: Test on the steady flow rig, Ruhr Univ. in Bochum (Germany), 1991
13. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. ISO. 1993