

Diseño de una bomba centrífuga: análisis numérico y experimental

J. Fernández, E. Blanco, J. Fernández Oro, M. T. Stickland⁽¹⁾, T. J. Scanlon⁽¹⁾

Universidad de Oviedo, E-mail:jff@correo.uniovi.es

⁽¹⁾*University of Strathclyde, E-mail:mstickland@mecheng.strath.ac.uk*

Resumen

Este artículo describe el uso de un sistema de giro de imágenes que, en unión de la técnica de velocimetría de partículas (PIV), permite la visualización y caracterización cuantitativa de los patrones de flujo existentes entre los álabes de un rodete centrífugo. Se presentan las distribuciones de velocidad y mapas de vectores del flujo relativo dentro de un canal para una velocidad de giro del rodete de 350 rpm y un caudal de 510 l/h. Los datos se comparan con los obtenidos en una simulación numérica mediante CFD.

Palabras Clave: rodete, centrífuga, PIV, CFD.

Abstract

This paper describes the use of a rotating all mirror image derotator system in collaboration with Particle Image Velocimetry (PIV) to visualise and quantitatively examine the flow patterns between the blades of a centrifugal impeller. Velocity contours and vector maps of the relative flow field within a blade passage are presented for an impeller speed of 350 rpm and a flow rate of 510 l/h. The data are compared with the results of a computational fluid dynamics (CFD) model.

Keywords: impeller, centrifugal, PIV, CFD.

1. Introducción

El flujo dentro de bombas centrífugas es un fenómeno complejo y tridimensional, en el que se contempla turbulencia, flujos secundarios, no estacionariedad, etc. Además, la geometría de la bomba no posee simetría por la forma de la voluta, por lo que el movimiento del rodete con respecto a la voluta genera una interacción no estacionaria que puede afectar, no solo a las características genéricas de la bomba, sino también puede ser responsable de fluctuaciones de presión, que pueden interactuar con el propio circuito en el que se encuentra la bomba y generar esfuerzos transitorios sobre partes mecánicas (Adkins y Brennen [1]), siendo una de las causas más importantes de vibración y ruido hidráulico (Dong et al [2]).

La comparación de resultados numéricos con datos experimentales es necesaria para asegurar la validación del modelo computacional. La mayoría de datos experimentales que se puede consultar se presenta bajo con un punto de vista absoluto respecto al movimiento del rodete (Shepherd et al. [4]). Sin embargo, se obtiene más información

cuando se realizan medidas en un marco referencial relativo donde el observador se mueve con el rodete. En este artículo se presentan resultados tomados desde el punto de vista relativo, realizando la comparación de patrones de flujo entre los modelos experimental y numérico.

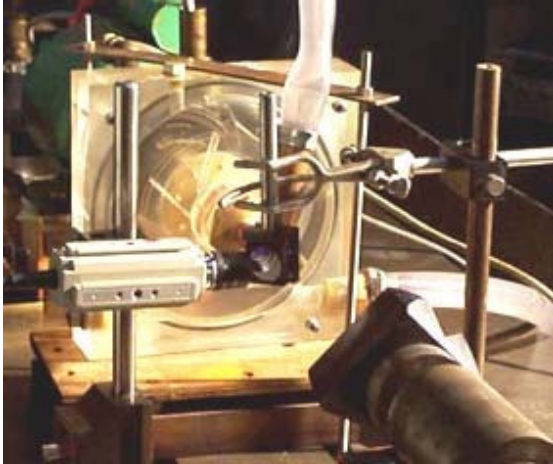


Figura 1. Fotografía del equipo experimental

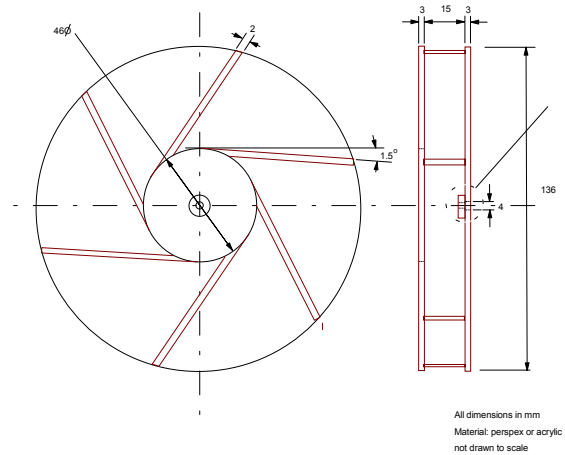


Figura 2. Rodete de la bomba

El giro de imágenes permite al marco de referencia del sistema de imágenes PIV moverse con el flujo en rotación y, por tanto, ofrece una imagen de todo el campo de flujo, como si la cámara estuviera rotando a la misma velocidad que el rodete. Más información acerca de este método se tiene en Stickland et al [5], donde se describe el mapa de flujo en un rodete semiaxial. En Stickland et al [6] se obtienen imágenes mediante película “húmeda” de alta velocidad, posteriormente digitalizadas mediante una cámara CCD sujeta a una capturadora de fotogramas en un PC y analizadas por autocorrelación. En el presente trabajo se describe el uso de una cámara digital de alta velocidad con descarga directa sobre un PC, efectuando posteriormente un análisis mediante correlación cruzada. El proceso es mucho más eficiente y permite la obtención de mapas de vectores en sucesivos intervalos de tiempo.

2. Equipo experimental

La figura 1 muestra una fotografía ilustrativa de los sistemas ópticos empleados.

En las figuras 2 y 3 se presentan las dimensiones de la bomba construida. El rodete y la voluta han sido realizados en metacrilato y están extremadamente pulidos para permitir unas buenas características ópticas. El rodete posee un diámetro de 136 mm y tiene 6 álabes rectos, con un diámetro de entrada de 46 mm. Las condiciones de diseño para este rodete son de 600 rpm para un caudal de 2731 litros/hora.

El sistema de giro de imágenes consta de dos espejos, ópticamente planos, de cuatro por dos pulgadas y plateados, formando una V con un ángulo de $90^\circ \pm 1'$. Los espejos van montados en un eje conectado a un servomotor de corriente continua, que a su vez está conectado al motor del eje que acciona el rodete de la bomba, girando ambos a la misma velocidad (figura 4).

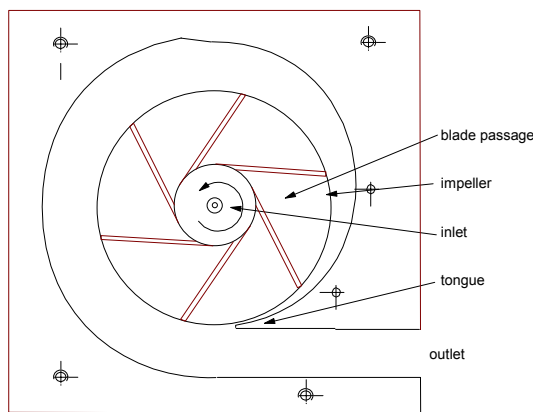


Figure 3. Rodete y voluta

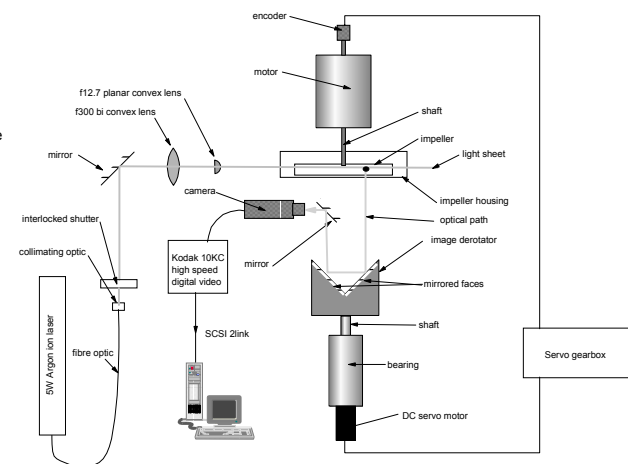


Figura 4. Esquema del montaje experimental

Las imágenes del flujo son capturadas por una cámara “Photrom Fastcam super 10KC” de alta velocidad capaz de capturar más de 10k imágenes por segundo, completado con 4 lentes de 25 mm. La iluminación fue efectuada con un laser de iones de argón de 5W de espectro, con un montaje de fibra óptica, con 4W útiles al final del cable. Las imágenes se analizaron posteriormente mediante una correlación cruzada usando el paquete de software de análisis Flowmanager de Dantec.

El fluido empleado fue agua, al que se le añadieron partículas esféricas de aproximadamente 50 μm de diámetro. La bomba se situó en un circuito cerrado alimentando un depósito no presurizado y el caudal se obtuvo con un rotámetro capaz de medir un flujo máximo de 1780.5 l/h. El rodete era accionado por un motor de corriente alterna y controlado con un variador de frecuencia.

3. Simulación numérica

Las simulaciones numéricas presentes en este artículo han sido desarrolladas a través del paquete comercial de software FLUENT 5, usando el modelo k- ϵ estándar y esquemas de segundo orden para las derivadas espacial y temporal. Para la obtención de resultados no estacionarios se necesitan unas 7 vueltas completas de rodete. Más información acerca de las características del modelo utilizado puede obtenerse en Fernández [3].

4. Resultados y discusión

Las imágenes se obtuvieron con un tiempo de exposición de 0.001 s y posteriormente fueron correlacionadas. Se representan los mapas de vectores de velocidad para el plano central del rodete en dos posiciones, 135° y 270°, tomando como origen la vertical de la figura 3 y sentido de las agujas del reloj. La velocidad de giro de rodete es de 350 rpm con un caudal volumétrico de 510 l/h, lejos del punto de diseño. El rodete gira en el sentido de las agujas del reloj.

En la figura 5 se tienen los resultados experimentales en la posición 270° y en la figura 6 los numéricos, que concuerdan razonablemente bien, cuantitativamente con el mismo orden de magnitud, aunque se produce una velocidad ligeramente mayor en los datos numéricos cerca de la zona de presión en la cabeza de los álabes. En las figuras 7 y 8, para la posición de 135°, existe una buena concordancia entre los datos experimentales y los CFD a pesar de la gran complejidad en el flujo cuando los álabes del rodete pasan enfrente de la lengüeta de la voluta. Estas discrepancias se deben a que a bajos caudales los modelos numéricos tienen dificultad para capturar los fenómenos de desprendimiento que ocurren.

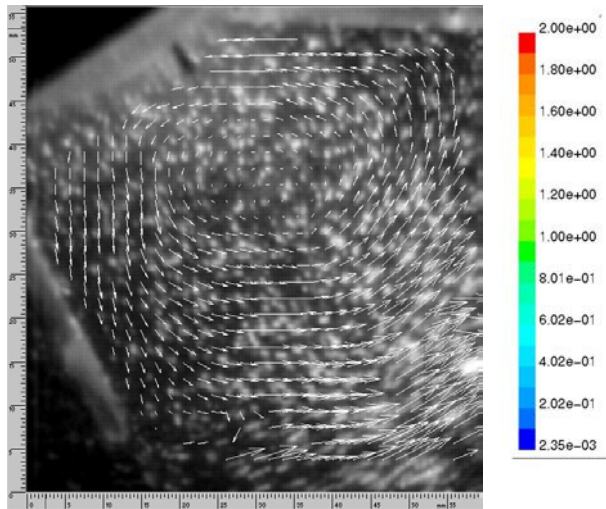


Figura 5 Magnitud PIV de la velocidad, 270°

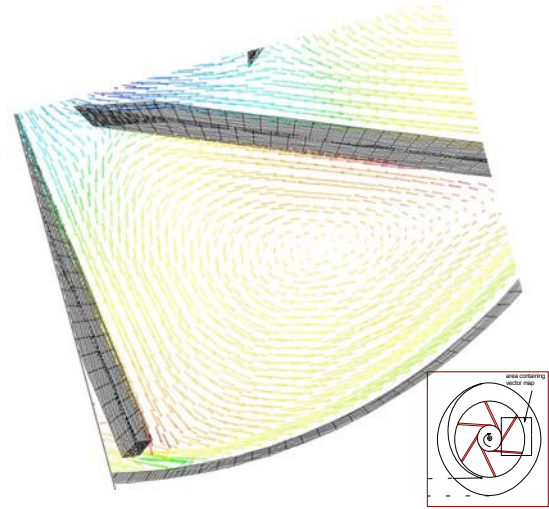


Figura 6 Magnitud CFD de la velocidad, 270°

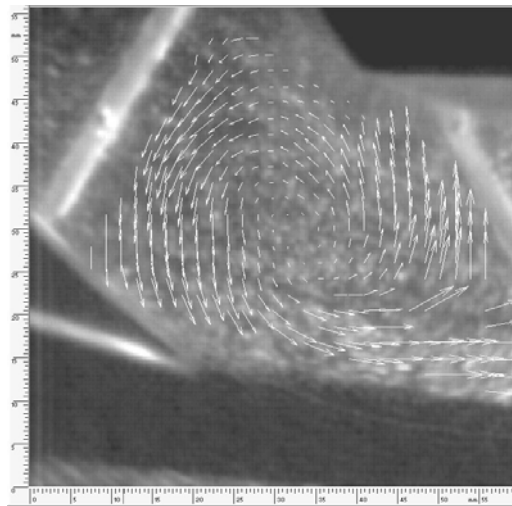


Figura 7. Magnitud PIV de la velocidad, 135°

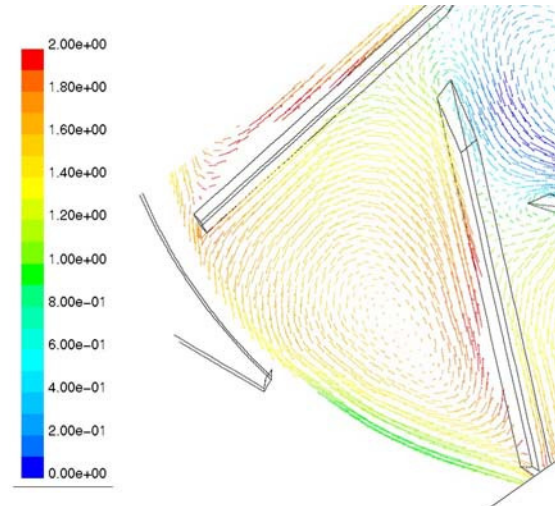


Figura 8. Magnitud CFD de la velocidad, 135°

5. Conclusiones

Se ha llevado a cabo un sistema de giro de imágenes, con el empleo de una cámara de video de alta velocidad y la utilización de una técnica PIV para estudiar el patrón de flujo en el interior de un canal de un rodete centrífugo. Los resultados obtenidos concuerdan razonablemente bien con los generados mediante simulación numérica CFD. En trabajos futuros, los autores tratarán de extender este trabajo hacia caudales y velocidades de giro mayores, así como el empleo de diferentes configuraciones de rodete.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida de la Dirección General de Investigación del Ministerio de Ciencia y Tecnología a través del proyecto DPI2000-072-C02-01 titulado “Modelado del comportamiento del flujo no estacionario subsónico en la interacción entre haces fijos y móviles de turbomáquinas axiales”.

Referencias

1. Adkins, D.R. and Brennen, C.E., 1988, “Analysis of Hydrodynamic Radial Forces on Centrifugal Pump Impellers”, ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 110, pp.20-28.
2. Dong, R., Chu, S. and Katz, J., 1997, “Effect of Modification to Tongue and Impeller Geometry on Unsteady Flow, Pressure Fluctuations and Noise in a Centrifugal Pump”, ASME Journal of Turbomachinery, Vol. 119, pp. 506-515.
3. Fernández, J et al, 1998, “Modelización numérica del flujo en una bomba centrífuga con acoplamiento entre el rodete y la voluta”, Anales de Ingeniería Mecánica, Vol.2 , N° 12, ISSN: 0212-5072.
4. Shepherd, I.C., Lafontaine, R.F., 1993, “Mapping the velocity field in a centrifugal fan using particle image velocimetry,” Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 50 373-382
5. M Stickland, T Scanlon, J Fernandez, E Blanco, P Waddell ; “Mapping The Velocity Field In A Pump Impeller Using High Speed Digital Video, Image Derotation And Particle Image Velocimetry”. Laser Anemometry Advances and Applications, European Association for Laser Anemometry, pp. 255-266, 2001.
6. Stickland M, Hooker A, Mair L, T, Waddell P, 1996, “Mapping the Velocity Field in a Pump Impeller Using Particle Image Velocimetry and Image Derotation.” Optical Methods and Data Processing in Heat and Fluid Flow, Conference, City University, London, I.Mech.E., April 18-19.