

# Análisis numérico de una bomba semiaxial

J. Fernández, E. Blanco, J. Fernández Oro, M. T. Stickland<sup>(1)</sup>, T. J. Scanlon<sup>(1)</sup>

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

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

## Resumen

Este artículo presenta el flujo turbulento tridimensional a través de una bomba semiaxial. El rodete tiene 5 álabes montados en un cubo cónico y 9 álabes el estator en un difusor cuya misión es devolver al flujo a la dirección axial en la salida de la bomba. Esta bomba se probó con aire, dando un caudal nominal de 1.01 m<sup>3</sup>/s y 250 Pa a una velocidad de 1200 rpm.

Los resultados obtenidos muestran una razonable concordancia con los datos experimentales, como se detalla en las comparaciones de altura de elevación-caudal y en los campos de flujo numéricos y experimental. Esto permite confirmar que fenómenos transitorios tan complejos pueden ser razonablemente bien recogidos mediante la utilización de códigos CFD comerciales.

**Palabras Clave:** bomba, semiaxial, CFD, cluster

## Abstract

This paper presents the three-dimensional turbulent flow through the impeller passages and surroundings of a mixed-flow pump. The model has five impeller blades mounted on a conical hub and nine stator blades in a diffuser which brings the diagonally outward flow back to the axial direction. This pump was tested with air, giving a nominal flow-rate of 1.01 m<sup>3</sup>/s and 250 Pa at 1200 rpm.

The results show entirely reasonable correlations with published experimental data as detailed in the flow rate-head comparisons and the numerical / experimental flow fields. These outcomes allow us to confirm that such a complex transient phenomenon may be reasonably captured by employing a commercial CFD code.

**Keywords:** pump, mixed-flow, CFD, cluster

## 1. Introducción

El flujo dentro de una turbomáquina es un fenómeno complejo donde el cálculo detallado del flujo en el interior del rodete puede ser muy importante para mejorar las prestaciones de la bomba. El flujo en un rodete suele ser normalmente tridimensional, turbulento y sujeto a las fuerzas centrífugas y de Coriolis debido a la rotación del rodete. El estudio numérico del flujo en el rodete bajo diferentes puntos de operación es por tanto de gran importancia práctica.

Las técnicas CFD son una herramienta muy útil en el análisis de turbomáquinas, ya sea para el propio diseño, o bien para la predicción de las prestaciones. Muchas investigaciones se han llevado a cabo en este campo. Croba y Kueny [3] recopilan una

lista de artículos hasta esa fecha. Denus y Göde [4] proporcionan una bibliografía más extensa pero no tan específica. De todas formas, debido a las dificultades de la tarea, la mayoría de los estudios comienza considerando grandes simplificaciones del problema, bien en la geometría, bien en las características del flujo.

El propósito del presente estudio es el de mostrar un estudio numérico de una bomba semiaxial teniendo en cuenta la totalidad de la geometría tridimensional y la no estacionariedad del flujo, mediante el paquete comercial de software FLUENT 5.

## 2. Descripción de la bomba y modelo computacional

La bomba fue construida en la Universidad de Strathclyde (Escocia). Una completa y detallada explicación del modelo de la bomba, de la investigación llevada a cabo, así como de la instrumentación y métodos de medida empleados se encuentra en Carey [1, 2]. La bomba es una máquina semiaxial con una velocidad específica,  $N_s=2.5$ . En la figura 1 puede verse una imagen completa

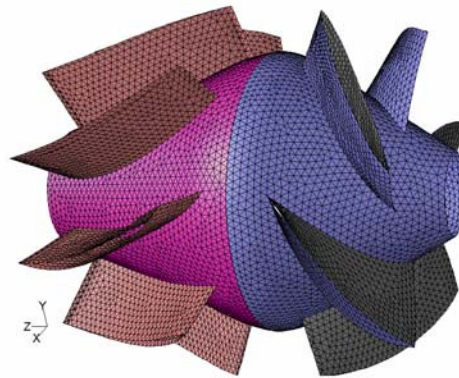


Figura 1. Detalle del mallado de la bomba

de la máquina, que posee 5 álabes en el rodete y 9 álabes en el estator. El diámetro de salida en la mitad de la envergadura del rodete es de 430 mm y el mayor diámetro interno de la carcasa es de 536 mm.

En la misma figura se muestra una parte del mallado no estructurado generado en la máquina, con 180.000 celdas en el rodete y 200.000 en el resto. Las superficies entre la entrada y salida del rodete y sus correspondientes con el resto del dominio definen las interfaces del mallado. La turbulencia fue simulada utilizando 3 modelos diferentes: k-epsilon estándar, RNG y Reynolds Stress. Para tener en cuenta el efecto de la capa límite se han utilizado funciones de pared basadas en leyes logarítmicas. El esquema de discretización empleado para los términos dependientes del tiempo ha sido de segundo orden e implícito. Igualmente, se han utilizado discretizaciones de segundo orden, aguas

arriba para los términos convectivos y diferencias centradas para los términos de difusión. A la entrada, se utiliza una distribución axial, uniforme y estacionaria de velocidad, que impone un determinado caudal de funcionamiento. Para la salida, se elige una condición de presión estática constante.

El mallado numérico se ha dividido en 5 regiones diferentes con el objetivo de poder procesarlas en un cluster en paralelo dotado de 5 CPU's. Cada computador tiene un microprocesador de 800 MHz con 256 Mb de memoria RAM. Aproximadamente, los tiempos de cálculo eran del orden de 2 días para cada uno de los caudales considerados en el estudio. El paso temporal utilizado en la simulación no estacionaria fue de 0.004775 segundos. El movimiento del mallado del rodete está relacionado con este paso temporal y con la velocidad de giro, de forma que una vuelta completa del rodete se ejecutaba cada 100 pasos temporales o, lo que es igual, 20 pasos temporales por cada canal de rodete. Se necesitan unas 7 vueltas completas de rodete para alcanzar la solución periódica no estacionaria.

Más información sobre la simulación se puede consultar en Fernández [5].

### 3. Comparativa con prestaciones experimentales

Se han simulado 6 caudales: el nominal ( $1.010 \text{ m}^3/\text{h}$ ), cuatro inferiores ( $0.743$ ,  $0.593$ ,  $0.460$  y  $0.162 \text{ m}^3/\text{h}$ ) y uno superior ( $1.045 \text{ m}^3/\text{h}$ ). La altura obtenida en puntos cercanos al nominal concuerda con los valores experimentales (figura 2), existiendo mayores diferencias a caudales bajos, en la zona de desprendimiento, debido a la dificultad que los modelos numéricos presentan para capturar estos fenómenos.

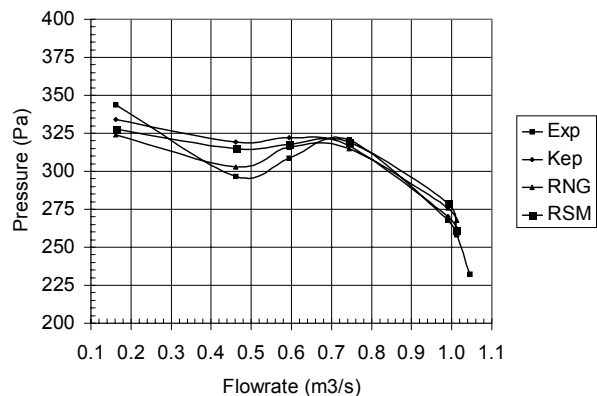


Figura 2: Curvas características de la bomba

#### 4. Análisis de los resultados numéricos

La figura 3 es una imagen del rotor y del estátor, mostrando las superficies en las que los datos numéricos y los experimentales van a compararse. Más detalles acerca de la geometría de estas superficies aparecen en Carey [1, 2].

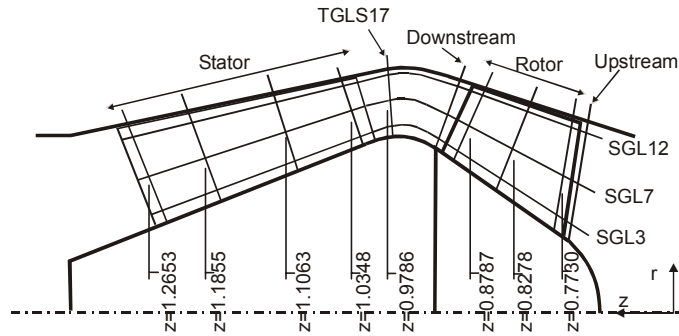


Figura 3: Secciones de medida

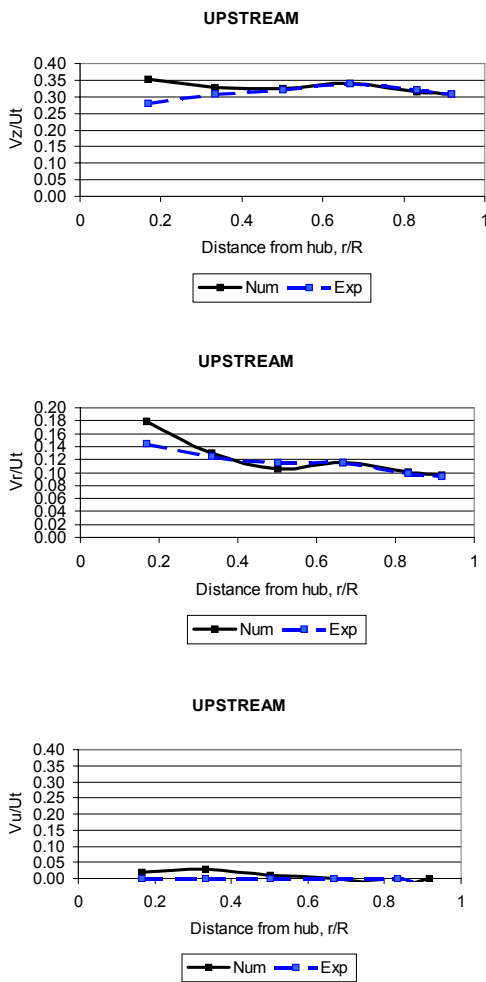


Figura 4: Componentes axial  $v_z$ , radial  $v_r$  y tangencial  $v_u$  de la velocidad en el plano Upstream

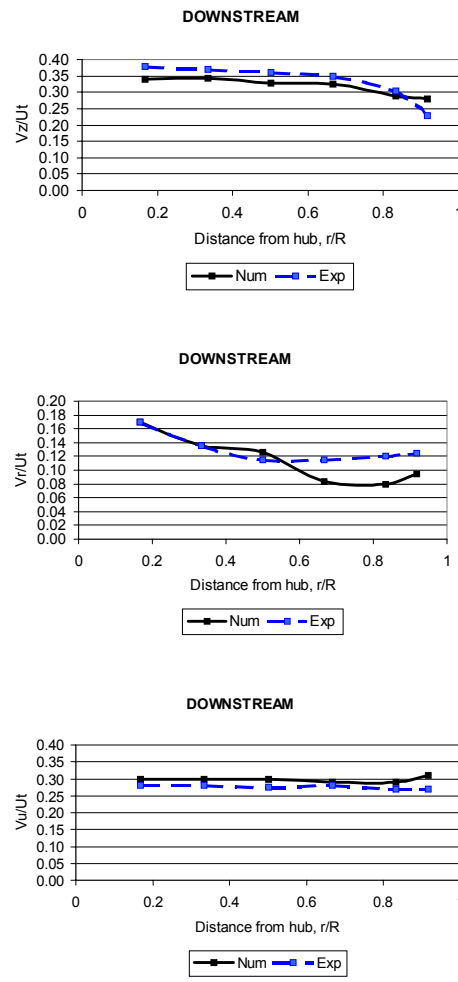


Figura 5: Componentes axial  $v_z$ , radial  $v_r$  y tangencial  $v_u$  de la velocidad en el plano Downstream

Las figuras 4 y 5 muestran la variación desde el cubo hasta la carcasa de las componentes axial  $v_z$ , radial  $v_r$  y tangencial  $v_u$  de la velocidad promediadas circunferencialmente para dos posiciones distintas, una aguas arriba del rodete, a 16 mm del borde de ataque de los álabes, y otra aguas abajo, a 5 mm del borde de salida de los álabes. Estas velocidades han sido normalizadas con la velocidad del álabe en el punto medio del borde de ataque, de valor 27 m/s para 1200 rpm.

Aguas arriba del borde de ataque, figura 4, el flujo no presenta prerrotación, a excepción de la región de la capa límite junto al cubo, donde, debido a su presencia, el flujo debe cambiar de dirección, aumentando la componente radial de la velocidad, reduciendo su valor conforme se aleja del cubo y se acerca hacia la carcasa. La componente axial de la velocidad presenta una tendencia similar, aunque menos acusada, debido a la contracción del flujo a la entrada del rodete.

Aguas abajo del borde de salida de los álabes, figura 5, el flujo sufre una postrotación debido al efecto de los álabes del rodete. La tendencia de las otras dos componentes es más o menos similar a la que se observa en el borde de ataque, aunque en este caso, sí se observan diferencias entre los resultados numéricos y los experimentales. El motivo es la dificultad que presentan los modelos numéricos para captar los efectos de la estela del rodete. Sería necesario refinar el mallado en esa zona concreta.

Cerca del estator, estas diferencias son suavizadas en cierto modo, como se puede apreciar en la figura 6 (en este caso se utiliza  $\vec{v}_p$  cuyo valor es  $\vec{v}_z + \vec{v}_r$ ).

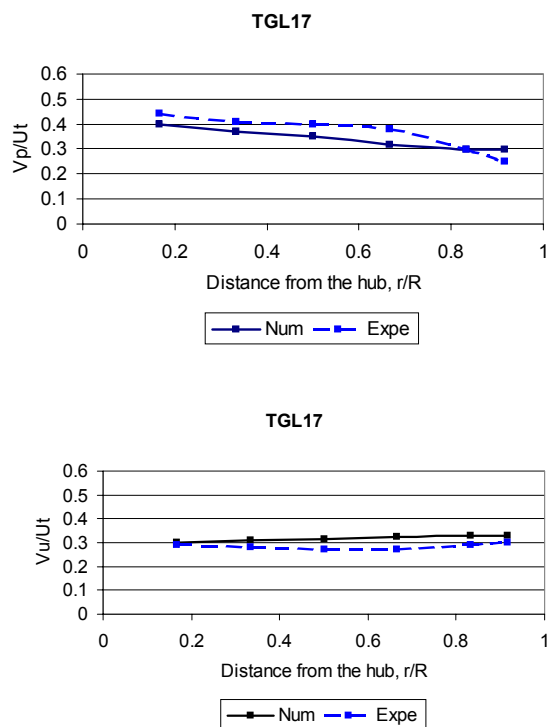


Figura 6: Velocidad absoluta  $v_p$  y componente tangencial  $v_u$  en el plano TGL17.

## **5. Conclusiones**

Los resultados muestran claramente la existencia de una fuerte relación con los datos experimentales, como se ve de forma detallada en las comparativas altura de elevación-caudal y en la comparación entre campos del flujo numérico y experimentales. Esto lleva a confirmar que el uso de paquetes comerciales CFD permite capturar razonablemente bien complejos fenómenos transitorios en el interior de turbomáquinas.

El cálculo no estacionario combinado con la técnica de mallados deslizantes ha demostrado ser una buena herramienta para la investigación de la interacción rodete-estator.

Agradecimientos

## **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. Carey, C., 1984, “A study of flow of air in the rotor of a model mixed-flow pump using laser Doppler anemometry”. PhD thesis, University of Strathclyde, Glasgow.
2. Carey, C., Fraser, S. M., Shamsolohi, S., 1988, “Flow analysis and part-loaded performance of model mixed-flow pumps”. ImechE Conference on Part-load pumping operation, control and behaviour, paper C339/88, pp. 83-88.
3. Croba, D. and Kueny, J.L., 1996, “Numerical Calculation of 2D, Unsteady Flow in Centrifugal Pumps: Impeller and Volute Interaction”, International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 22, pp. 467-481.
4. Denus, C.K. and Göde, E., 1999 “A Study in Design and CFD Analysis of a Mixed-Flow Pump Impeller”, ASME-FEDSM-99-6858.
5. 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.