



## **Práctica 1. Arquitectura y morfología de las turbomáquinas.**

Profs. Antonio Lecuona y J. I. Nogueira, Dpto. de Ingeniería Térmica y de Fluidos

### **Descripción**

Los alumnos por grupos examinarán turbomáquinas, identificarán sus componentes y tratarán de justificar su forma a la luz de la función que desempeñan.

**Duración:** 2 horas.

**Entregables:** No es necesario entregar informe.

**Objetivos:** Obtener una experiencia directa al observar turbomáquinas sencillas y elementos de ellas, fundamentalmente coronas y álabes sueltos de tipo axial. Aplicar el concepto de que la fuerza del flujo sobre el álabe por la velocidad de giro del rotor  $U$  da potencia en el eje. Si ambos tienen el mismo sentido se trata de una turbina (se extrae potencia en el eje) y si tienen sentido contrario se tiene un compresor (se aplica potencia al flujo a través del eje). Para obtener una idea de la fuerza sobre el álabe se aplicarán las leyes de Newton, conocidas por el alumno de asignaturas anteriores.

### **Introducción teórica**

#### **Conceptos cinemáticos**

El primer concepto a adquirir es que la corriente incidente a los álabes ha de hacerlo con la generación mínima de turbulencia, por lo que ha de hacerlo tangente a la dirección marcada por su borde de entrada.

El siguiente concepto es que el conjunto de los álabes guía la corriente entre ellos y marca aproximadamente la dirección de salida por lo que marca el borde de salida.

Finalmente, si se trata de un rotor es necesario considerar la velocidad relativa  $W$ , siendo ésta la absoluta  $V$  menos la de arrastre  $U$ , la cual es la debida al giro. La resta es vectorial.

Con estos tres conceptos se dilucidará, observando el rotor de un ventilador axial, cual ha de ser su sentido de giro para obtener la tangencia del flujo a su entrada y su salida. Para ello se habrá de indicar al alumno que la corriente es axial a la entrada.

Para aposentar estos conceptos se tomará un álabe de turbina axial y se realizará el mismo ejercicio. Esto comporta la dificultad de tener que aceptar que corriente arriba del rotor hay un estator que deflecta la corriente, generalmente inclinándola un ángulo grande con respecto a la dirección axial, del orden de  $70^\circ$  y en la dirección del giro. Alternativamente, se puede usar una fotografía de una turbina eólica, las cuales no disponen de estator.



Se le pedirá a uno de los componentes del grupo que con la colaboración de los demás dibuje el perfil del álabe y la composición de velocidades a su entrada y a su salida, de forma aproximada. Para ello el tutor les auxiliará. Para conseguirlo correctamente, resulta crucial que observen la orientación del perfil del álabe con respecto a su eje de giro.

### **Conceptos dinámicos**

Si sobre un flujo dominado por las fuerzas de inercia no se le aplican fuerzas sobre su contorno o sobre el propio fluido (p. e. la gravedad) continuará en su movimiento rectilíneo y uniforme.

Si la vena fluida entre el intradós de un álabe y el extradós del vecino (espacio inter-álabe) sufre un cambio de dirección a causa de la dirección marcada por ambas superficies, será a consecuencia de la fuerza que esas superficies ejercen sobre ella. Esta fuerza se manifiesta por presión ejercida sobre el flujo. La reacción del flujo es una fuerza igual y contraria sobre la superficie a causa de la distribución de presiones sobre ella. En un álabe se suma la fuerza de su intradós y extradós.

Estamos interesados en la deflexión tangencial; es decir, en si logramos aumentar o disminuir la componente tangencial de la velocidad media de la vena fluida. Esto se debe a que el cambio de esta componente será debida a una fuerza tangencial, capaz de dar par en el eje y con ello transmitir potencia mecánica.

Se comprende que el intradós ha de aumentar la presión y el extradós disminuirla, pues el flujo va de las altas hacia las bajas presiones. Ello justifica la deflexión de la vena fluida.

Usando los diagramas obtenidos previamente analizando los conceptos cinemáticos, el grupo de alumnos determinará la fuerza tangencial que el álabe ejerce sobre el flujo para deflectarlo y su reacción. El sentido de la reacción se comparará con el sentido del giro ( $U$ ) y de ello se comprobará si efectivamente se trata de un compresor o de una turbina.

### **Operativa**

Tras la entrega de las coronas y álabes a los alumnos y tras realizar los dos ejercicios anteriores, se llamará la atención simultánea de todos los grupos y se enseñarán los distintos álabes repartidos por grupos para homogeneizar el avance realizado y haciendo uso de una pizarra o proyector se realizará uno de los ejercicios para disipar dudas y erradicar posibles confusiones.

Una vez lograda la homogenización se procederá a añadir detalles, como el espesor de los álabes, su material, etc.

El siguiente paso consiste en expresar a los alumnos que en las turbomáquinas radiales el concepto es el mismo, el guiado por los álabes, solo que la velocidad de arrastre  $U$  es distinta a distintos radios, de lo que se tomará ventaja. Se aprovechará para enseñar rotores de bombas centrífugas y de turbocompresores de motores de automóvil. Se insistirá en la tangencia de la corriente al álabe. A continuación se repartirán estas piezas para que los alumnos las observen y las pasen de grupo en grupo. El tutor atenderá las preguntas de los alumnos.



Si se logra un avance suficiente en su conjunto viene la ocasión de un avance ulterior. Se analizará la orientación de la corriente a la salida del ventilador anteriormente analizado y ante la ausencia de estator se verificará que la corriente saliente incorpora una componente tangencial (por otra parte necesaria para que se comunique trabajo). Se les indicará que esa componente es inútil en la corriente pues introduce un movimiento espiral. De ahí surge la conveniencia de añadir un estator corriente abajo del rotor del ventilador que enderece la corriente convirtiendo esa componente tangencial en axial, contribuyendo al impulso tomado por el flujo.

En ese momento el alumno queda preparado para entender físicamente el efecto resultante de agregar trabajo en el ventilador, que es el aumento de presión impreso a la corriente. Este aumento de presión es necesario para permitir que la corriente transite fuera de la máquina.

Para entender que tanto a través del rotor como a través del posible estator, corriente abajo de él, ocurre un aumento de presión, es necesario invocar la ecuación de Bernoulli y rogar a los alumnos que acepten que en ejes relativos es aplicable también. La validez de esta hipótesis se explicará en teoría más adelante.

$$\text{Flujo absoluto: } P + \frac{1}{2} \rho V^2 = cte.$$

$$\text{Flujo relativo: } P + \frac{1}{2} \rho W^2 = cte.$$

Se pedirá al alumno que observe que el espacio entre álabes es tal que el área de salida es mayor que el área de entrada y por lo tanto la velocidad relativa es menor ( $W = \frac{\dot{m}}{\rho A}$  y  $\dot{m} r = cte.$ ) y como consecuencia, el flujo relativo aumentará su presión. Rogando de nuevo a los alumnos que acepten que la presión (estática) es continua entre ejes relativos y absolutos, eso dará lugar a que la presión a la salida del rotor sea superior que a su entrada. Repitiendo el mismo argumento, pero ahora con velocidades absolutas, se comprobará que la presión en un hipotético estator corriente abajo del rotor ha de aumentar. Se argumentará que este estator logra un aumento de presión generalmente pequeño en ventiladores y por eso a menudo no se usa, pues su coste no justifica la ganancia lograda.