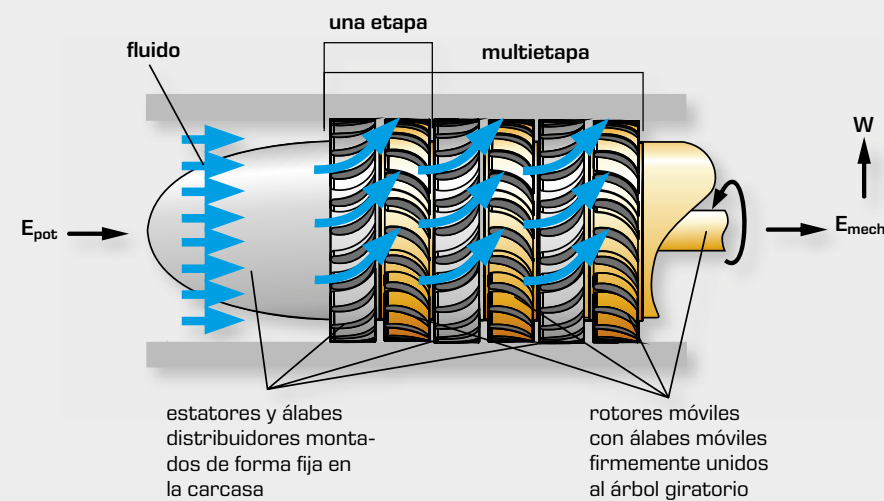


## Conocimientos básicos

### Turbinas

Las turbinas pertenecen al grupo de las turbomáquinas motrices: la energía se extrae del fluido en movimiento y se emite al exterior en forma de trabajo mecánico. Los componentes principales de una turbina son el rotor giratorio y el distribuidor instalado de forma fija. Los dos juntos constituyen una etapa. A

menudo la energía que debe extraerse del fluido es tan grande que no es posible hacerlo en una etapa. En este caso se conectan varias etapas en serie y se obtiene una turbina multietapa. En la práctica esto sucede cuando las diferencias de presión para una etapa son demasiado altas.



$E_{pot}$  energía potencial,  $E_{mech}$  energía mecánica,  $W$  trabajo emitido por la turbina

### Clasificación de turbinas en función de las siguientes características

#### 1. fluido de trabajo

- turbinas hidráulicas
- turbinas de vapor
- turbinas de gas
- turbinas eólicas

#### 2. principio de funcionamiento

- turbinas de acción: turbinas de impulso, turbinas de chorro, turbinas de flujo directo
- turbinas de reacción

#### 3. dirección del flujo

- turbinas axiales
- turbinas radiales
- turbinas diagonales

Las turbinas GUNT también se dividen según estas características.

En la industria también suelen ser comunes las siguientes subdivisiones:

- en función de la construcción exterior: p.ej., según la posición del árbol o la alimentación de agua: turbina Francis, turbina espiral, turbina bulbo, etc.
- en función del modo de funcionamiento: en funcionamiento de turbina exclusivo o en funcionamiento inverso como turbina de bomba
- en función de la regulación: regulación simple solo a través del distribuidor o regulación doble a través del distribuidor y ajustes en el rotor

Debido a las múltiples características se producen coincidencias y las turbinas se pueden asignar tanto a un grupo como a otro.

### Clasificación según el principio de funcionamiento

A pesar de la variedad de características distintivas, se puede realizar una clasificación básica de **turbinas de acción** y de **reacción**. La conversión de la energía resulta fundamental para establecer esta clasificación.

En todas las turbinas, el fluido de trabajo modifica su presión y, por tanto, su energía potencial en el distribuidor. Sin embargo, la turbina de acción se diferencia de la de reacción en los rotores.

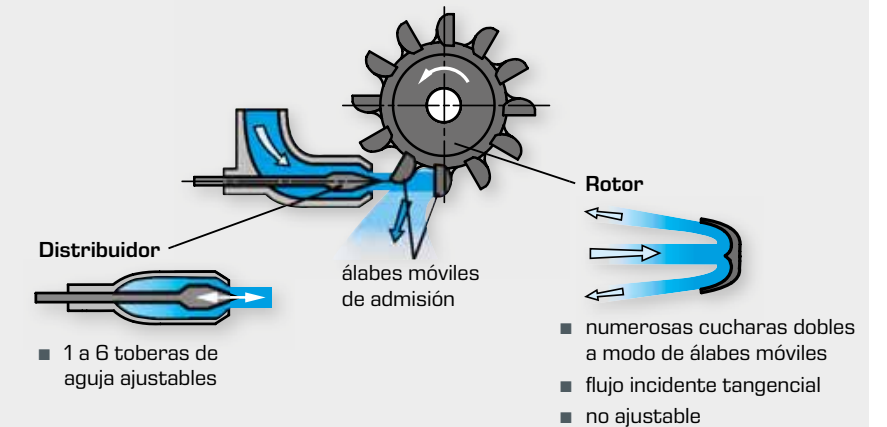
#### Turbinas de acción

En las turbinas de acción la energía de presión potencial se convierte completamente en el distribuidor en energía cinética. El flujo atraviesa el rotor sin presión y con admisión parcial. La admisión parcial significa que el chorro solo incide en algunos

de los álabes móviles al mismo tiempo. Un ejemplo típico de una turbina de acción es la **turbina Pelton**.



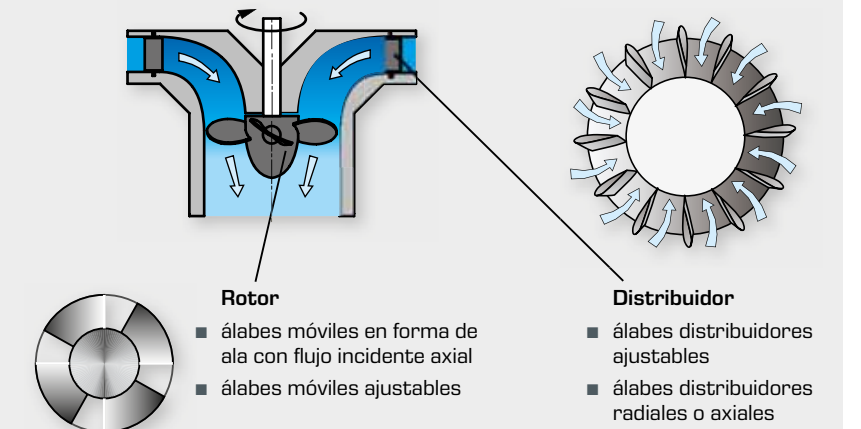
Rotor con cucharas dobles a modo de álabes móviles y toberas de aguja



#### Turbinas de reacción

La presión en las turbinas de reacción es mayor a la entrada del rotor que a la salida. La conversión de la energía de presión potencial se produce en el distribuidor y en el rotor. La energía cinética se convierte en el rotor en trabajo

mecánico. El flujo atraviesa el rotor con admisión total. Por admisión total se entiende que el fluido de trabajo fluye por todo el perímetro de los rotores. Un ejemplo típico de una turbina de reacción es la **turbina Kaplan**.

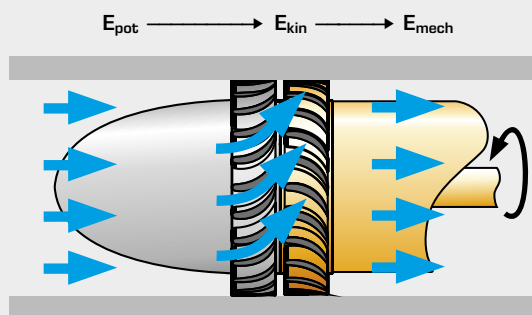


## Conocimientos básicos Turbinas

### Introducción a la teoría de las turbinas con el ejemplo de una turbina axial de una etapa

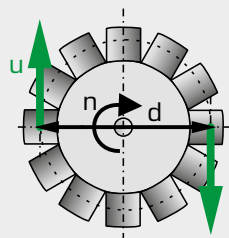
Las turbinas axiales son excelentes para explicar las leyes fundamentales. Estas pueden diseñarse como turbinas de acción o como turbinas de reacción.

Además, el fluido de trabajo en las turbinas axiales también es muy variado: pueden accionarse con agua, vapor o gas. Toda la información que se indica a continuación se refiere a turbinas axiales.



#### Energía

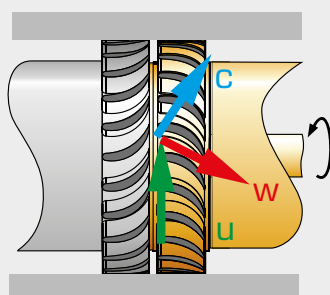
Dentro de la turbina se produce una conversión de energía, cuya finalidad es obtener un porcentaje de energía utilizable en forma de trabajo mecánico a partir de la energía del fluido fluyente. El fluido contiene tanto energía potencial (presión) como energía cinética (velocidad). En el primer paso, la energía potencial también se convierte en energía cinética del fluido. En el segundo paso, la energía cinética del fluido se convierte en energía mecánica que puede utilizarse.



#### Velocidades

El rotor con el diámetro  $d$  gira con el número de revoluciones  $n$  para que se ajuste la velocidad circunferencial  $u$  en el centro del álabe móvil. La dirección de  $u$  es siempre perpendicular al eje pivotante. Esta dirección se denomina dirección circunferencial.

$u$  velocidad circunferencial,  
 $n$  número de revoluciones,  
 $d$  diámetro

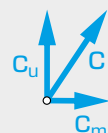


$c$  velocidad absoluta,  
 $w$  velocidad relativa,  
 $u$  velocidad circunferencial

La **velocidad circunferencial**  $u$  se refiere al rotor. Es igual a la entrada y a la salida del rotor.

La **velocidad relativa**  $w$  se corresponde con la velocidad del flujo con respecto al rotor giratorio.

La **velocidad absoluta**  $c$  es la velocidad de flujo con respecto al ambiente estable. Ofrece información sobre la energía cinética del fluido. La velocidad absoluta se puede descomponer en sus dos elementos,  $c_u$  en dirección circunferencial y  $c_m$  en dirección axial.

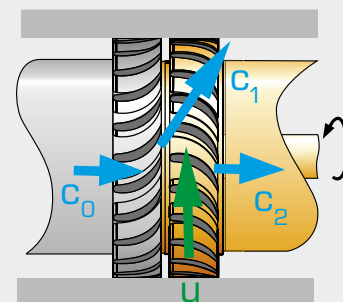


La relación matemática de las tres velocidades es la siguiente:

$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w}$$

Todas las velocidades son variables vectoriales y se pueden descomponer en sus elementos en dirección circunferencial así como en dirección radial y axial.

### El modo de utilizar la energía: ¿Cómo se convierte dentro la turbina la energía que contiene el fluido?



el índice 0 indica la entrada al estator,  
el índice 1 señala la salida del estator o la entrada del rotor,  
el índice 2 es la salida del rotor

El fluido fluye con la velocidad  $c_0$  en el estator. A través de la geometría de los álabes distribuidores, el fluido se acelera e incide con la velocidad  $c_1$  en el álabe móvil. El álabe móvil desvía el fluido de trabajo. La desviación genera una fuerza en el álabe móvil para que el rotor gire con la velocidad circunferencial  $u$ .

La velocidad absoluta del fluido se reduce de  $c_1$  a  $c_2$  al atravesar el rotor debido a la emisión de energía al rotor.

El trabajo emitido del fluido a la turbina se puede calcular a partir de la fuerza en el álabe móvil. Como el trabajo transmitido dentro de la turbina se puede relacionar con la masa del fluido, se habla de **trabajo específico**. En la bibliografía también se utilizan denominaciones como **energía específica del álabe** o **energía hidráulica específica**.

### Ecuación fundamental de Euler para turbomáquinas

$$Y = \Delta (u \cdot c_u)$$

$Y$  trabajo específico,  $u$  velocidad circunferencial,  $c_u$  componente de la velocidad absoluta en dirección circunferencial

El trabajo específico es un indicador de la pendiente de energía entre la entrada y la salida, y se corresponde con el porcentaje de energía útil. El trabajo específico se calcula mediante la **ecuación fundamental de Euler para turbomáquinas**.

### Para las turbinas se aplica:

$$Y = u_1 \cdot c_{1u} - u_2 \cdot c_{2u}$$

En las turbinas, las velocidades en la entrada del rotor tienen un efecto propulsor en el rotor y las velocidades a la salida del rotor tienen un efecto de frenado. Por ello se restan.

La **producción de energía o el trabajo específico total surge de la caída de velocidad de  $c_1$  a  $c_2$  en la dirección de circulación**.

La caída de velocidad o la producción de energía se pueden reconocer claramente en los triángulos de velocidades.



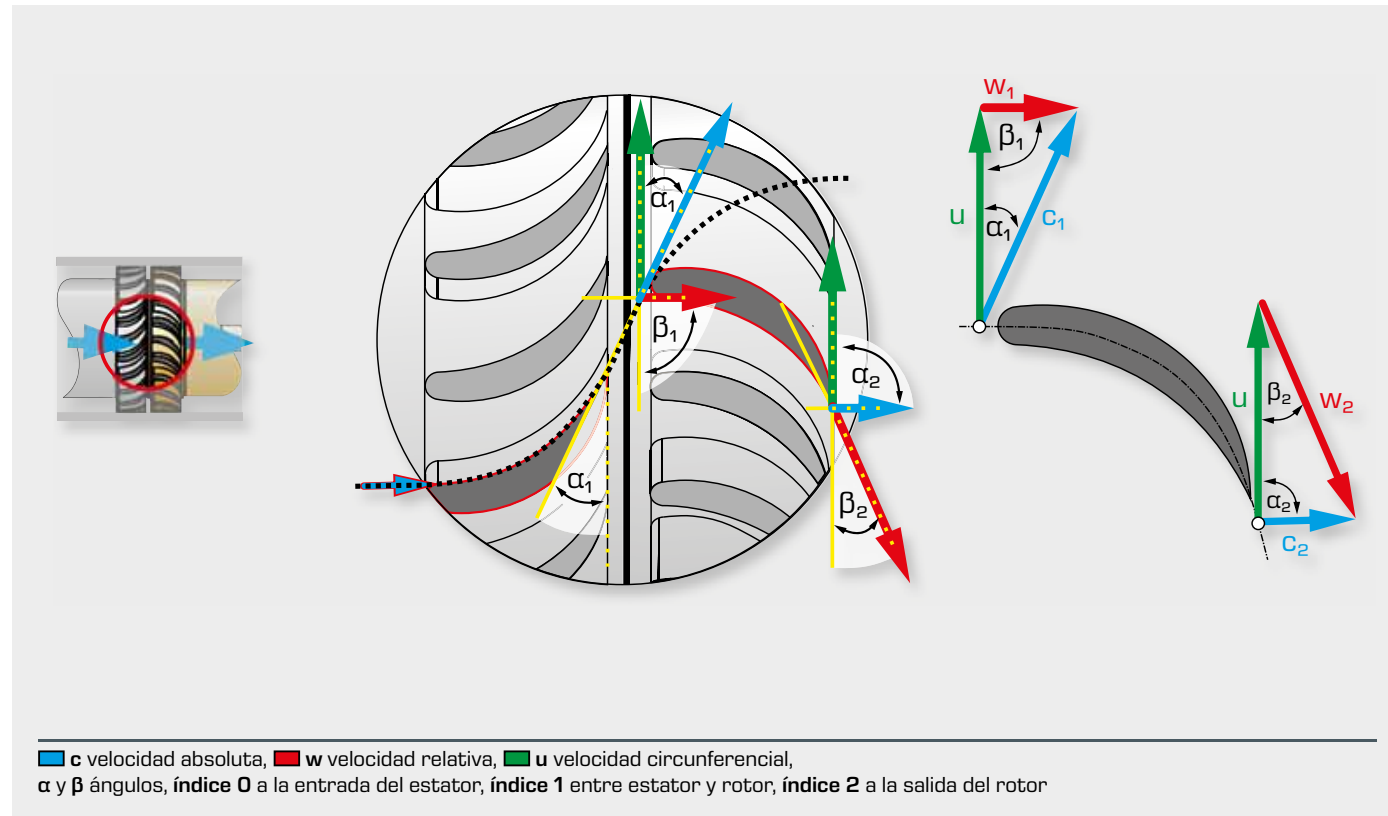
## Conocimientos básicos

### Turbinas

#### Triángulo de velocidades

Los triángulos de velocidades sirven para visualizar las condiciones de flujo. Las velocidades de flujo caracterizan el estado correspondiente de un flujo. Para averiguar cuáles son los cambios de la energía cinética, se calculan las velocidades de flujo en relación al valor y la dirección con la ayuda de los triángulos de velocidades.

A la hora de diseñar una turbina, los triángulos de velocidades desempeñan un papel fundamental para determinar el porcentaje de energía útil máximo. Al modificar los parámetros de diseño, los efectos pueden representarse claramente con ayuda de triángulos de velocidades.



La **velocidad absoluta  $c$**  es la velocidad de flujo con respecto al ambiente estable. La dirección de  $c_1$  se corresponde con la tangente de la curvatura del álabe distribuidor (el ángulo  $\alpha_1$ ) a la salida del estator.

A la entrada del estator, la velocidad absoluta  $c_0$  y la velocidad relativa  $w_0$  son iguales.

La **velocidad relativa  $w$**  se corresponde con la velocidad del flujo con respecto al rotor giratorio. La dirección de  $w$  se corresponde con la tangente de la curvatura del álabe móvil (los ángulos  $\beta_1/\beta_2$ ) en el punto considerado.

La **velocidad circunferencial  $u$**  se refiere al rotor. Es igual a la entrada y a la salida del rotor.

La línea negra de puntos corresponde a la línea de corriente de una partícula de fluido que atraviesa la turbina. En el álabe móvil puede trazarse el triángulo de velocidades correspondiente para cada punto a lo largo de la línea de corriente a partir de las tres velocidades en relación a la cantidad y la dirección.

En el gráfico se representan la entrada y la salida del rotor. Las líneas amarillas son líneas auxiliares para representar las tangentes de la curvatura del álabe y determinar los ángulos.

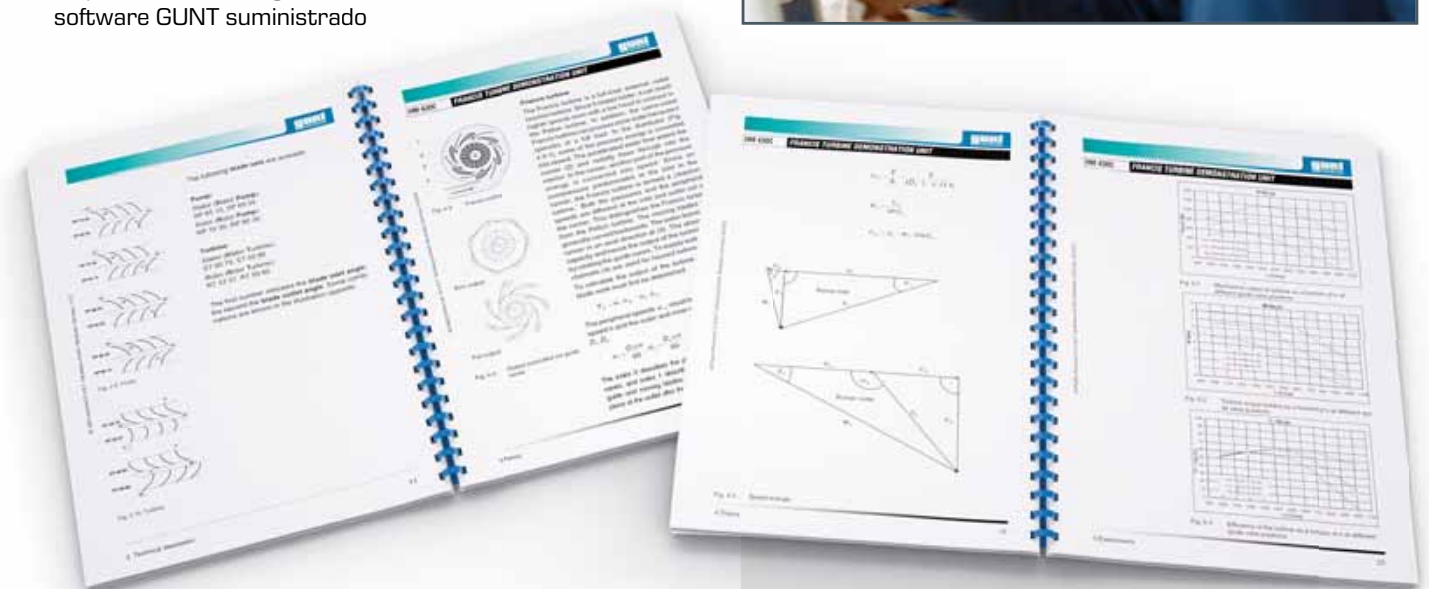
Toda la información de los ángulos sobre las velocidades se aplica al funcionamiento en el punto de referencia con flujo incidente óptimo en la zona considerada.

#### El material didáctico adjunto

Todos los equipos de ensayo de GUNT incluyen material didáctico. Este material es mucho más que un simple manual de instrucciones del equipo.

Con el material didáctico se suministra lo siguiente:

- una descripción detallada del equipo con instrucciones de uso completas
- teoría con conocimientos básicos
- ensayos de referencia seleccionados
- material de ensayo como tablas y diagramas preparados
- sugerencias para la evaluación de los ensayos e interpretación de los resultados del ensayo; en parte en forma digital a través del software GUNT suministrado



En las máquinas fluidomecánicas del programa de GUNT se explican los elementos de los diagramas de velocidad. El trazado de los triángulos de velocidades también se describe en detalle. Se señalan las diferencias entre triángulos de velocidades de máquinas generatrices y máquinas motrices.

