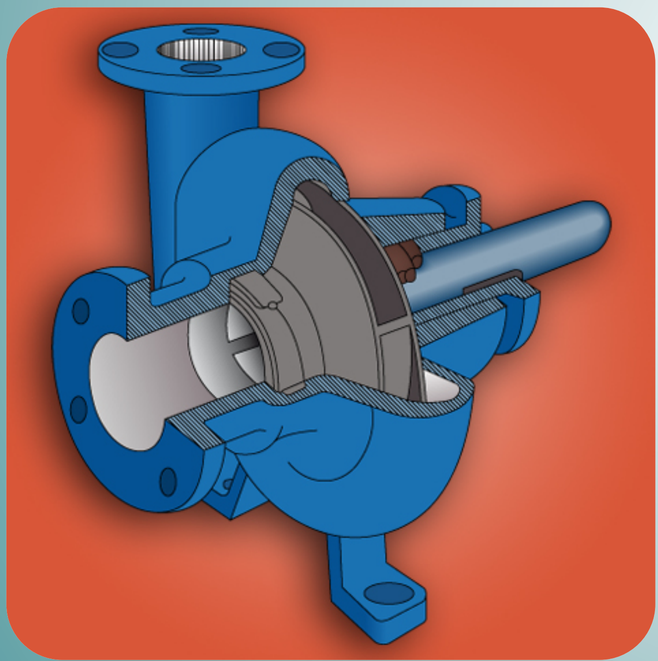
Sistemas y Máquinas Fluido Mecánicas

Bloque I. Tema 1. Introducción a las Máquinas Hidráulicas



Carlos J. Renedo

Inmaculada Fernández Diego

Juan Carcedo Haya

Félix Ortiz Fernández

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

Las trasparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, …) y elaborar sus propios apuntes

En esta presentación se incluye un listado de problemas en el orden en el que se pueden resolver siguiendo el desarrollo de la teoría. Es trabajo del alumno resolverlos y comprobar la solución

Objetivo:

El objetivo de este Bloque es desarrollar el concepto de Máquina Hidráulica y su funcionamiento. Las Máquinas Hidráulicas que se estudian son las Bombas, en especial las centrífugas (ya que son las máquinas más ampliamente utilizadas a nivel industrial), y las Turbinas (su estudio y aplicación pertenece casi en exclusiva al campo de la Ingeniería Industrial)

El tema se completa con tres prácticas de laboratorio:

- En la primera se explican despieces de Máquinas Hidráulicas
- En la segunda se ensayan Bombas Centrífugas y sus acoplamientos en serie y paralelo
- En la tercera se ensayan dos Turbinas Hidráulicas: Pelton y Francis

1.1.- Introducción a las Máquinas Hidráulicas

1.2.- Bombas Hidráulicas

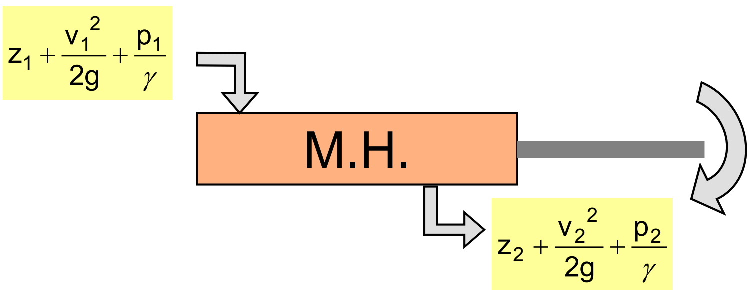
1.3.- Turbinas Hidráulicas

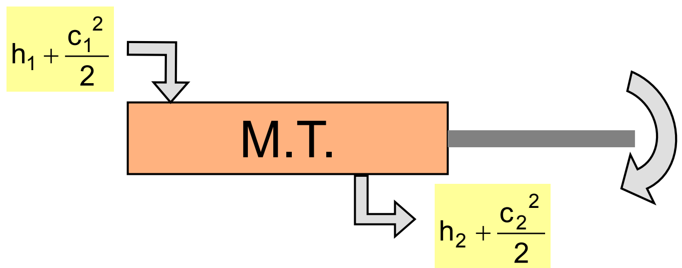
Máquinas de Fluidos:

Son máquinas por las que circula un fluido de trabajo, de forma que los elementos de la máquina permiten que intercambie energía mecánica con el exterior (añadiendo o extrayendo energía al fluido)

Clasificación: (I)

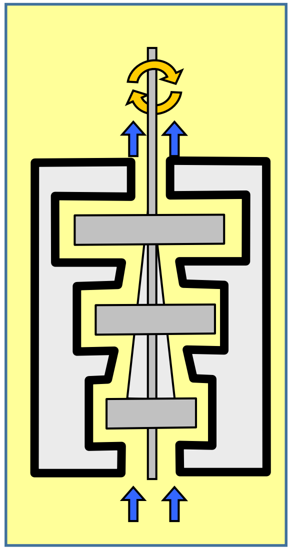
- **Por el fluido de trabajo**
  - ***Máquina Hidráulicas*: no cambian (o casi no) la densidad el fluido**
    ej: bomba centrífuga, ventilador, turbina hidráulica, …
  - ***Máquinas Térmicas:*** se modifica la densidad del fluido a su paso
    ej: motor de combustión interna, turbina de gas, turbina de vapor, compresor alternativo, …





Clasificación: (II)

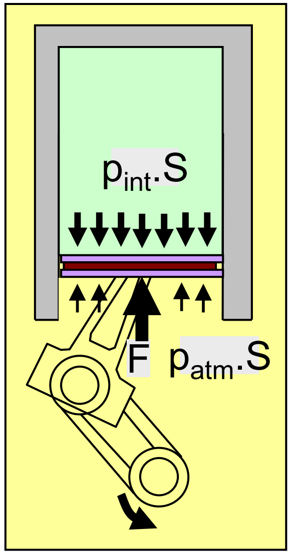
➢ **Por la continuidad de la circulación del fluido de trabajo**



- ***Dinámicas o Turbomáquinas*: circulación continua del fluido, intercambia energía con un rotor**
  ej: bomba centrífuga, ventilador, turbina hidráulica, …

Los cambios de velocidad del fluido (dirección y magnitud) juegan un papel importante

Se estudian con la Ec. De Euler



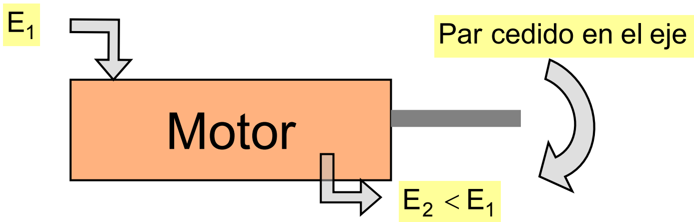
- ***Volumétricas o de Desplazamiento Positivo:*** en cada instante evoluciona una cantidad determinada de fluido, la transferencia de energía se realiza a través de un volumen variable
  ej: bomba alternativa, motor de combustión interna, motor Stirling, compresor alternativo, ….

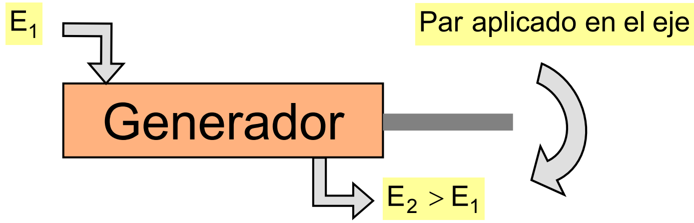
Clasificación: (III)

➢ **Por el aumento/disminución de energía del fluido de trabajo**

- ***Motor:*** absorbe energía de un fluido (de presión o cinética) y la proporciona en el eje
  ej: turbina hidráulica, motor de combustión interna, turbina de vapor, …

- ***Generador:*** absorbe energía en el eje y la proporciona a un fluido
  ej: bomba centrífuga, ventilador, compresor alternativo, …

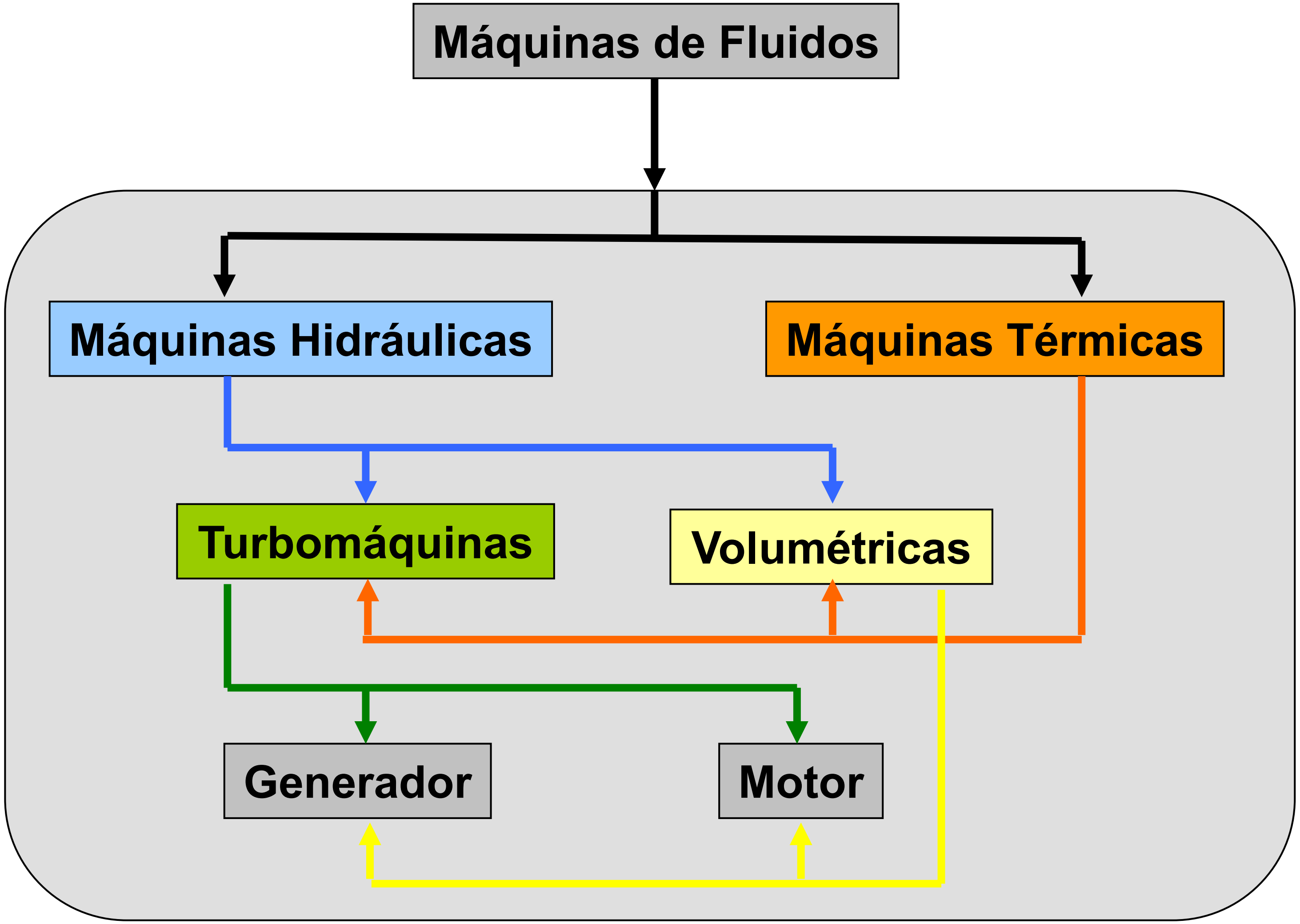




Similar a las máquinas eléctricas:

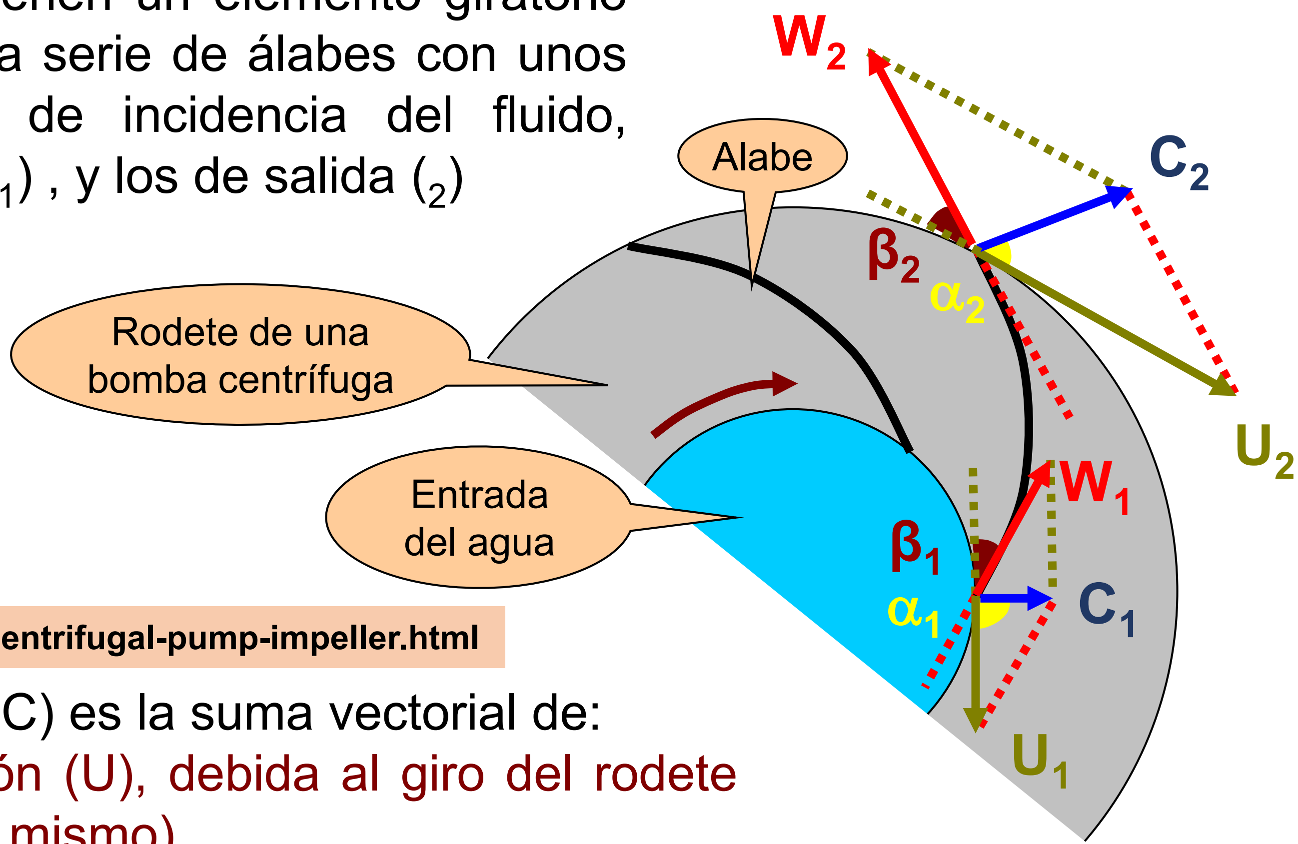
El motor absorbe energía eléctrica
El generador genera energía eléctrica

El generador hidr. genera E. hidr.
El motor hidr. absorbe E. hidr.


Máquinas de Fluidos
Máquinas Hidráulicas
Máquinas Térmicas
Turbomáquinas
Volumétricas
Generador
Motor

Las Turbomáquinas tienen un elemento giratorio (rodete), que posee una serie de álabes con unos determinados ángulos de incidencia del fluido, siendo los de entrada ($_1$) , y los de salida ($_2$)

http://dir.indiamart.com/impcat/centrifugal-pump-impeller.html



La velocidad del fluido (C) es la suma vectorial de:

- Velocidad de rotación (U), debida al giro del rodete (tangente al giro del mismo)
- Velocidad de traslación a lo largo del rodete (W) (sigue la dirección del álabe, tangente a él)

Estas velocidades y los ángulos entre ellas forman los triángulos de velocidades

Para una Bomba Centrífuga:

Aspiración:

El líquido es aspirado por el ojo del rodete

Rodete:

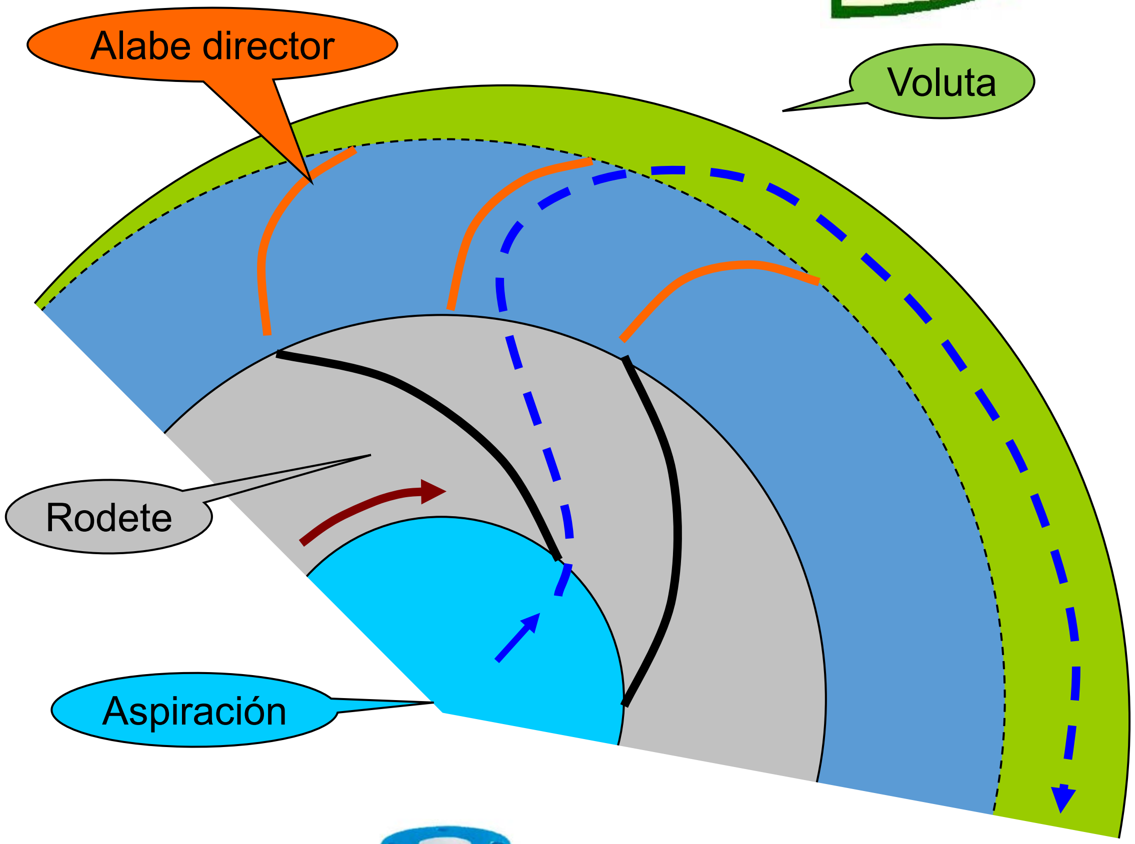
Comunica energía cinética al fluido, el flujo pasa de axial a radial

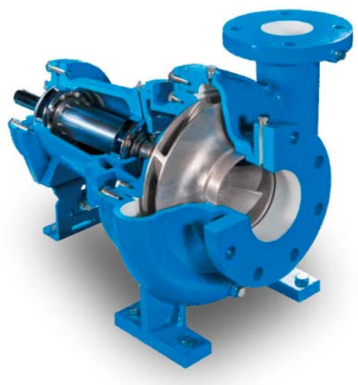
Alabes directores:

Recoger el fluido y lo envía hacia la voluta sin choques ni turbulencias (opcionales)

Voluta:

En ella se transforma la energía cinética del fluido en energía de presión





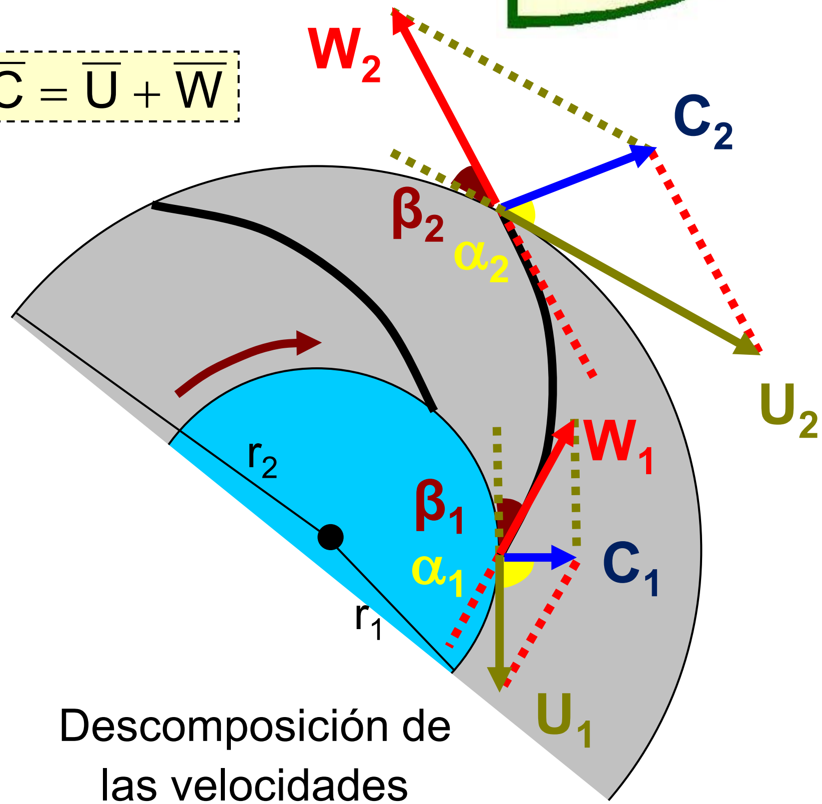
http://www.directindustry.com/prod/aurora-pump/product-30034-377972.html

Ec. De Euler

$$\overline{C} = \overline{U} + \overline{W}$$

	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C} - \overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1 = \left[\overline{C}_1 - \overline{U}_1\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2 = \left[\overline{C}_2 - \overline{U}_2\right]$

Forma del álabe	α	β
	$\left[\overline{C} \wedge \overline{U}\right]$	$\left[\overline{W} \wedge -\overline{U}\right]$

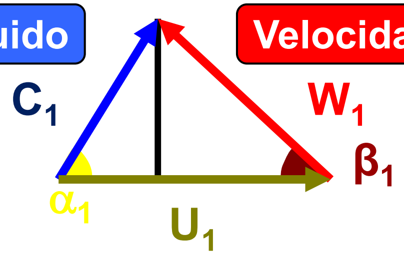


Triángulo de Velocidades

Velocidad del fluido

Velocidad relativa

$$\overline{c}_1 = \overline{u}_1 + \overline{w}_1$$

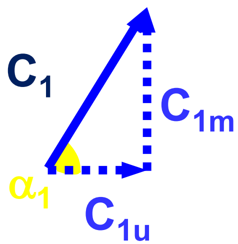


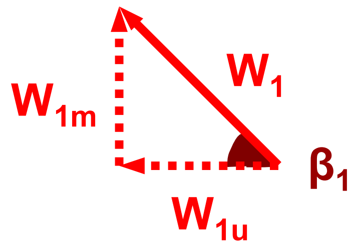
Velocidad periférica del rodete

$$c_{1u} = c_1 \cdot \cos\alpha_1; \qquad c_{1m} = c_1 \cdot \mathrm{sen}\alpha_1; \qquad c_1 = \sqrt{c_{1u}^{\;2} + c_{1m}^{\;2}}$$

$$w_{1u} = w_1 \cdot \cos\beta_1; \qquad w_{1m} = w_1 \cdot \mathrm{sen}\beta_1; \qquad w_1 = \sqrt{w_{1u}^{\;2} + w_{1m}^{\;2}}$$

Descomposición de las velocidades





$$\overline{c}_1 = \overline{c}_{1u} + \overline{c}_{1m}$$

$$\overline{w}_1 = \overline{w}_{1u} + \overline{w}_{1m}$$

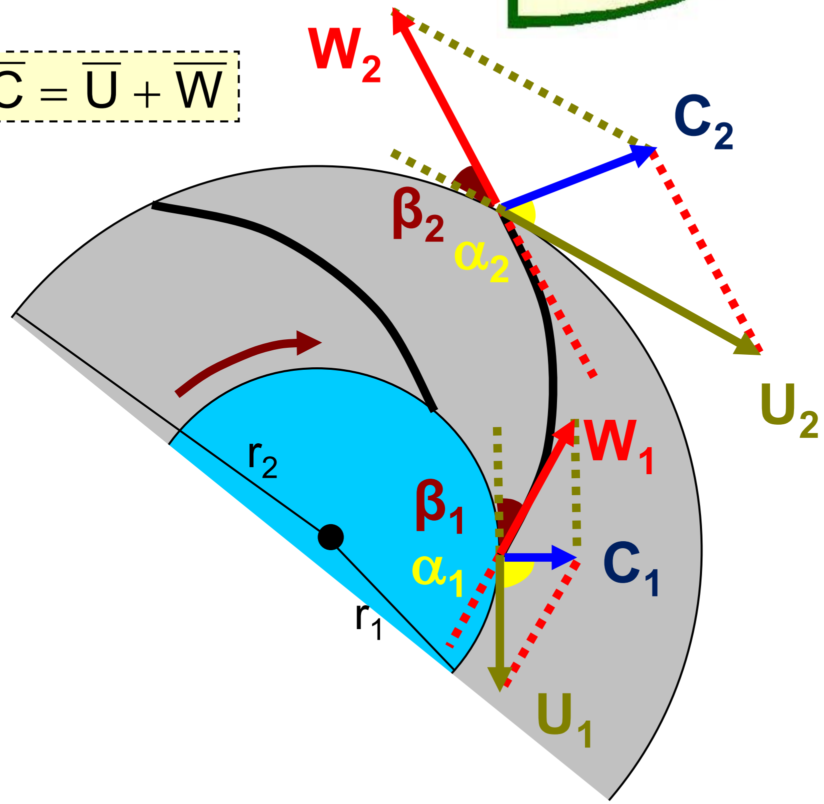
Tangencial

Radial

BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.1.- Introducción a las Máquinas Hidráulicas
1.1.2.- Introducción a las Turbomáquinas: Ecuación de Euler

	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1=\left[\overline{C}_1-\overline{U}_1\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2=\left[\overline{C}_2-\overline{U}_2\right]$

$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$



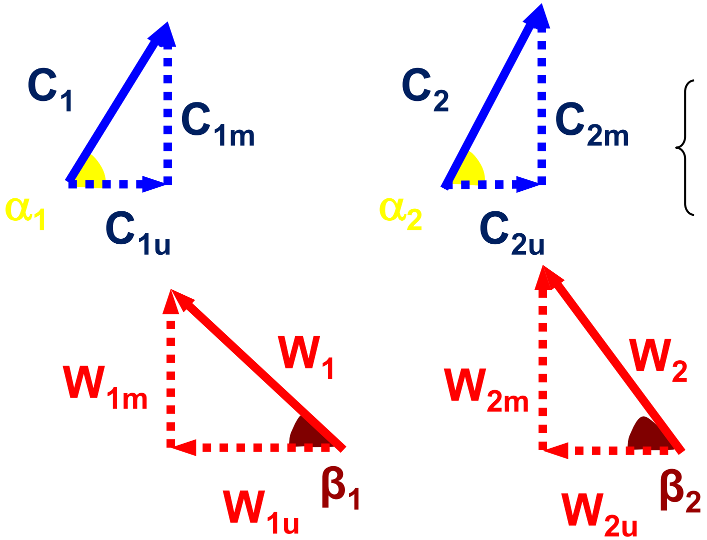
Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$

$$U_1=\frac{2\cdot\pi\cdot r_1\cdot n}{60}\ (m/s)$$

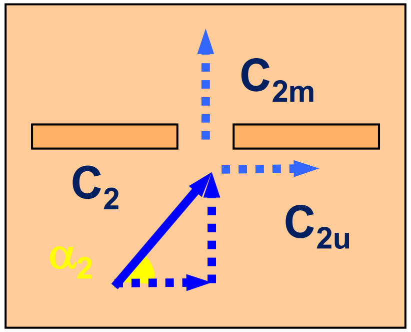
$$U_2=\frac{2\cdot\pi\cdot r_2\cdot n}{60}\ (m/s)$$

n velocidad de giro (rpm)



C_{1u} y C_{2u} "hacen girar el agua en el rodete"

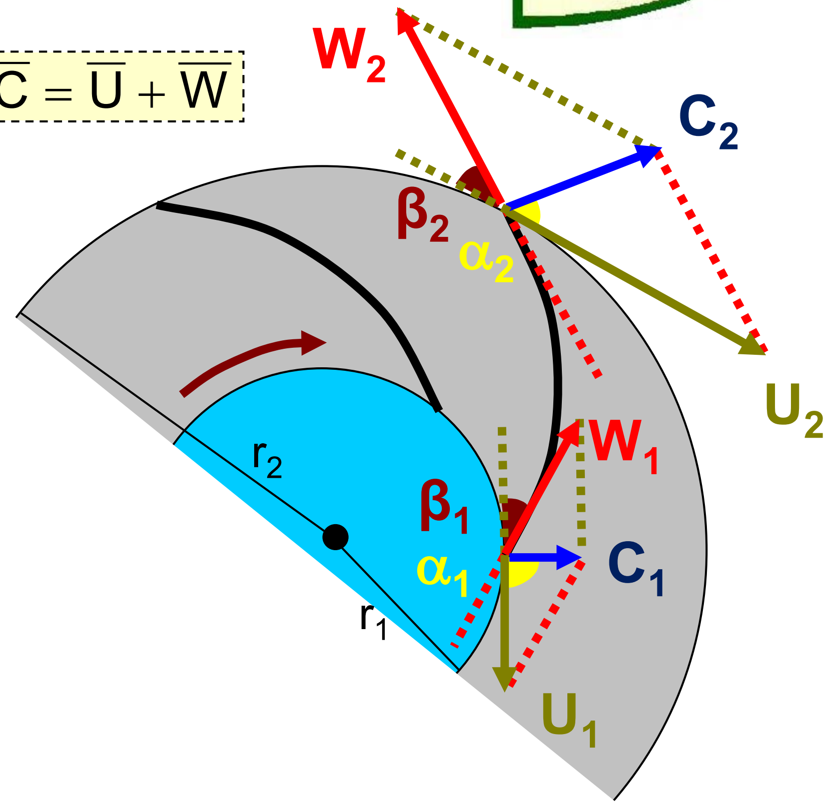
C_{1m} y C_{2m} "hacen entrar/salir el agua del rodete"



1.1.2.- Introducción a las Turbomáquinas: Ecuación de Euler

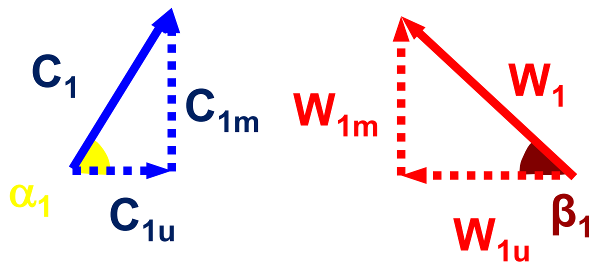
	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1=\left[\overline{C}_1-\overline{U}_1\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2=\left[\overline{C}_2-\overline{U}_2\right]$

$$\boxed{\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}}$$



Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$



$$\begin{cases} C_{1m}=W_{1m} \\ C_{2m}=W_{2m} \end{cases}$$

$$C_{1m}=W_{1m}\Rightarrow C_1\cdot \text{sen }\alpha_1=W_1\cdot \text{sen }\beta_1\Rightarrow W_1=\frac{C_1\cdot \text{sen }\alpha_1}{\text{sen }\beta_1}$$

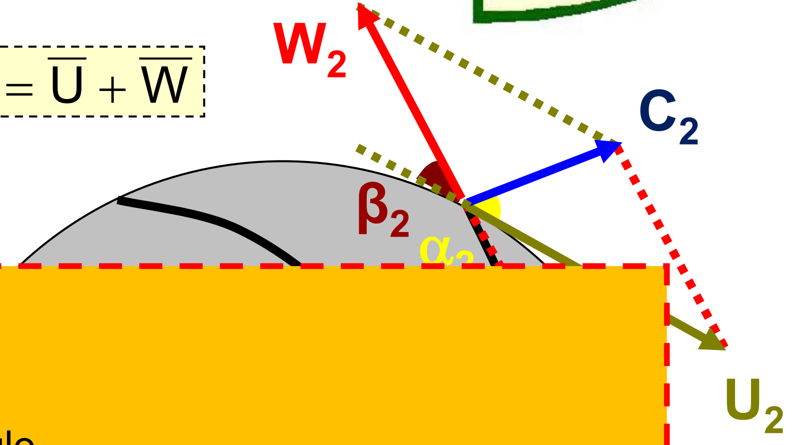
$$U_1=C_{1u}+W_{1u}\Rightarrow U_1=C_1\cdot\cos\alpha_1+W_1\cdot\cos\beta_1\Rightarrow U_1=C_1\cdot\left(\cos\alpha_1+\frac{\text{sen }\alpha_1}{\text{tg }\beta_1}\right)$$

$$C_1=\frac{U_1}{\left(\cos\alpha_1+\dfrac{\text{sen }\alpha_1}{\text{tg }\beta_1}\right)}$$

En las bombas centrífugas es típico que la entrada del líquido en el rodete sea radial $\Rightarrow \begin{cases}\alpha_1=90^\circ \\ c_{1u}=0\end{cases}$ $\Rightarrow C_1=U_1\cdot \text{tg}\beta_1\ (m/s)$

	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1=\left[\overline{C}_1-\overline{U}_1\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2=\left[\overline{C}_2-\overline{U}_2\right]$

$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$

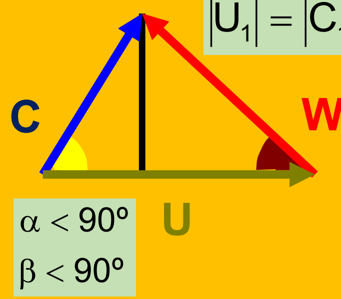


OJO, esto es cierto "a medias"

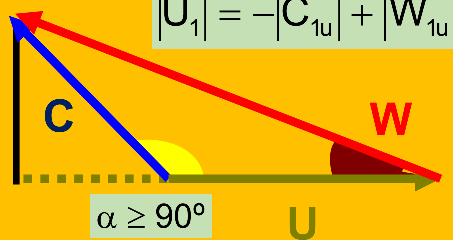
Las velocidades son magnitudes vectoriales

Esta afirmación considera el módulo y la forma del triángulo

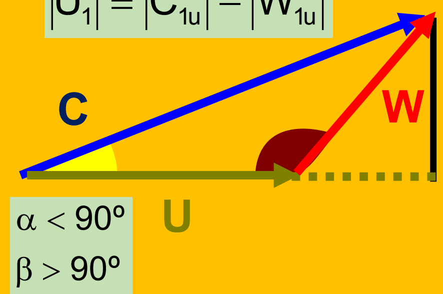
$$\left|U_1\right|=\left|C_{1u}\right|+\left|W_{1u}\right|$$



$$\left|U_1\right|=-\left|C_{1u}\right|+\left|W_{1u}\right|$$



$$\left|U_1\right|=\left|C_{1u}\right|-\left|W_{1u}\right|$$



C_1

C_{1m} ... $\text{sen}\,\beta_1$

$$U_1=C_{1u}+W_{1u}\Rightarrow U_1=C_1\cdot\cos\alpha_1+W_1\cdot\cos\beta_1\Rightarrow U_1=C_1\cdot\left(\cos\alpha_1+\frac{\text{sen}\,\alpha_1}{\text{tg}\,\beta_1}\right)$$

$$C_1=\frac{U_1}{\left(\cos\alpha_1+\dfrac{\text{sen}\,\alpha_1}{\text{tg}\,\beta_1}\right)}$$

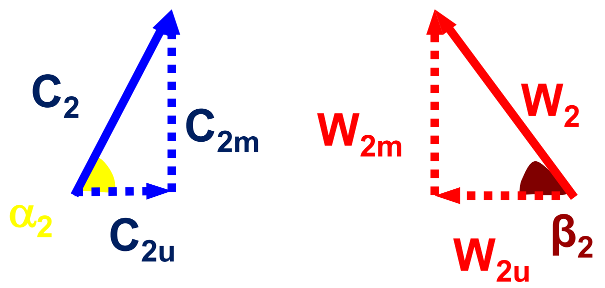
En las bombas centrífugas es típico que la entrada del líquido en el rodete sea radial $\Rightarrow\begin{cases}\alpha_1=90º\\ c_{1u}=0\end{cases}\Rightarrow C_1=U_1\cdot\text{tg}\beta_1\ (m/s)$

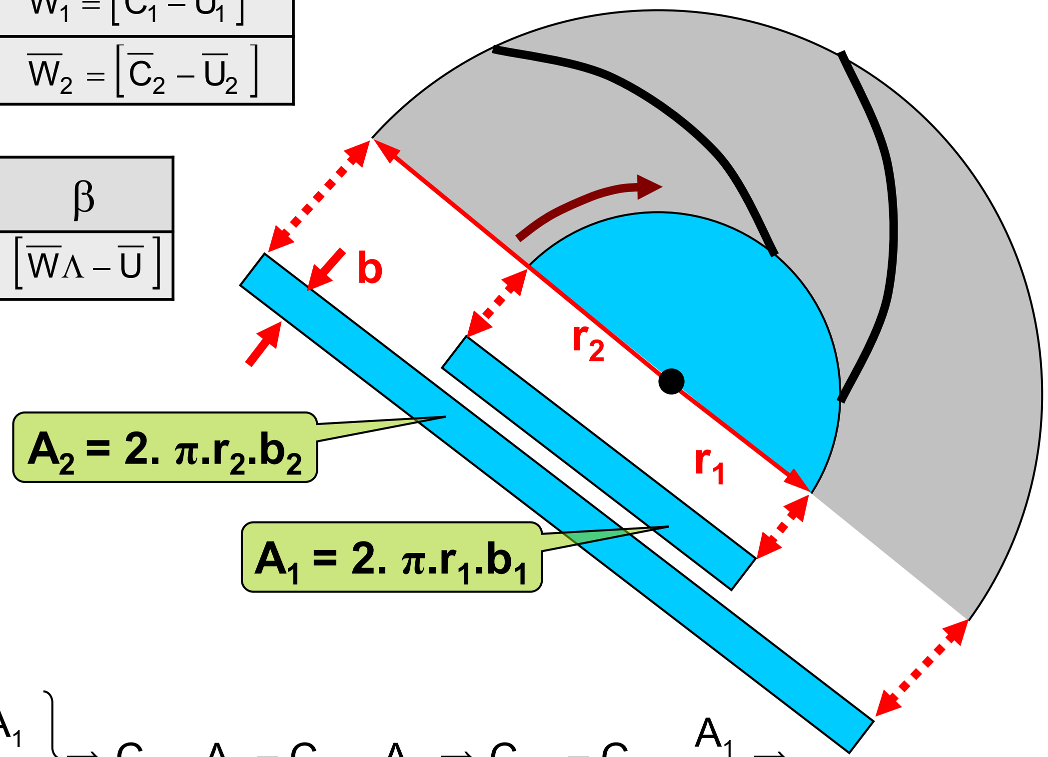
	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1=\left[\overline{C}_1-\overline{U}_1\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2=\left[\overline{C}_2-\overline{U}_2\right]$

$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$

Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$





$$\text{Caudal}_1=\text{Caudal}_2 \quad \left\{\begin{array}{l}\text{Caudal}_1=C_{1m}\cdot A_1\\ \text{Caudal}_2=C_{2m}\cdot A_2\end{array}\right\}\Rightarrow C_{1m}\cdot A_1=C_{2m}\cdot A_2\Rightarrow C_{2m}=C_{1m}\cdot\frac{A_1}{A_2}\Rightarrow$$

$$b_1=\text{ó}\neq b_2$$

$$C_{2m}=C_{1m}\frac{2\cdot\pi\cdot r_1\cdot \text{Ancho}_{\text{rodete1}}}{2\cdot\pi\cdot r_2\cdot \text{Ancho}_{\text{rodete2}}}\Bigg|_{\text{Si}\ b_1=b_2}\approx\frac{C_{1m}\cdot r_1}{r_2}$$

$$\text{Si}\ \alpha_1=90^{o}\Rightarrow C_{1m}=C_1$$

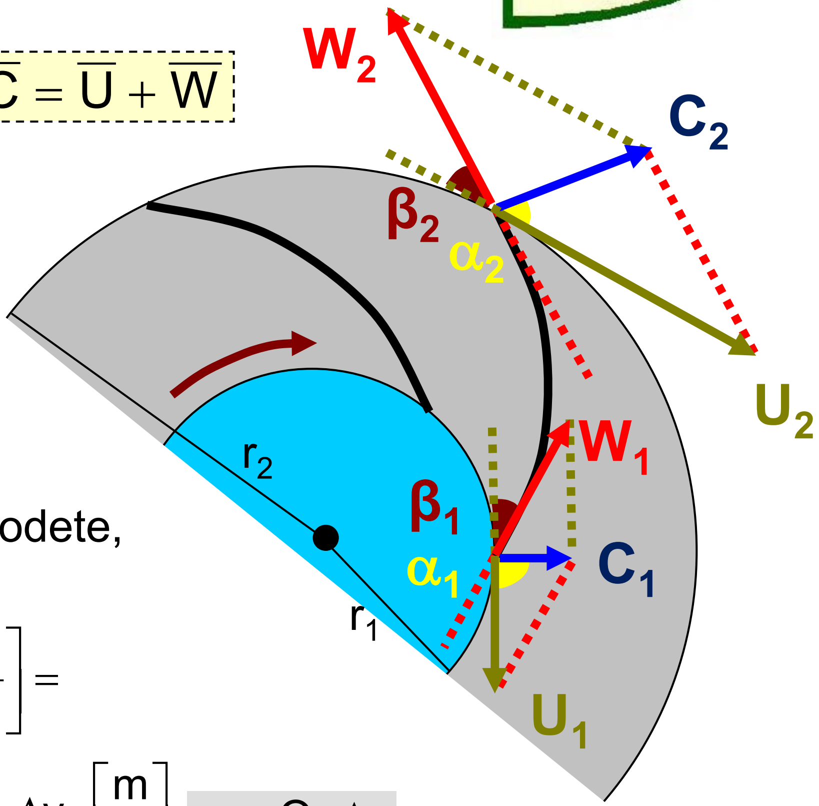
1.1.2.- Introducción a las Turbomáquinas: Ecuación de Euler

	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1=\left[\overline{C}_1-\overline{U}_1\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2=\left[\overline{C}_2-\overline{U}_2\right]$

$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$

Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$



El fluido sufre un cambio de velocidad al paso por el rodete, por lo que la Fuerza implicada en ello es:

$$F=\ m\,[kg]\cdot a\,[m/s^2]=m\,[kg]\cdot\frac{\Delta v\,[m/s]}{t\,[s]}=\frac{m\,[kg]}{t\,[s]}\cdot\Delta v\left[\frac{m}{s}\right]=$$

$$=\left(\rho\left[\frac{kg}{m^3}\right]\cdot Q\left[\frac{m^3}{s}\right]\right)\cdot\Delta v\left[\frac{m}{s}\right]=\rho\cdot Q\cdot\Delta v$$

$$\overline{F}=\rho\cdot Q\cdot\Delta\overline{v}\Rightarrow\qquad\overline{F}=\rho\cdot Q\cdot\Delta\overline{c}\Rightarrow\qquad\overline{F}=\rho\cdot Q\cdot\left(\overline{c}_2-\overline{c}_1\right)$$

Y tomando momentos con relación al eje del rodete:

$$M=F\cdot d\Rightarrow\qquad M=\rho\cdot Q\left(c_{2u}\cdot r_2-c_{1u}\cdot r_1\right)\Rightarrow\qquad M=Q\cdot\rho\cdot\left(r_2\cdot c_2\cdot\cos\alpha_2-r_1\cdot c_1\cdot\cos\alpha_1\right)$$

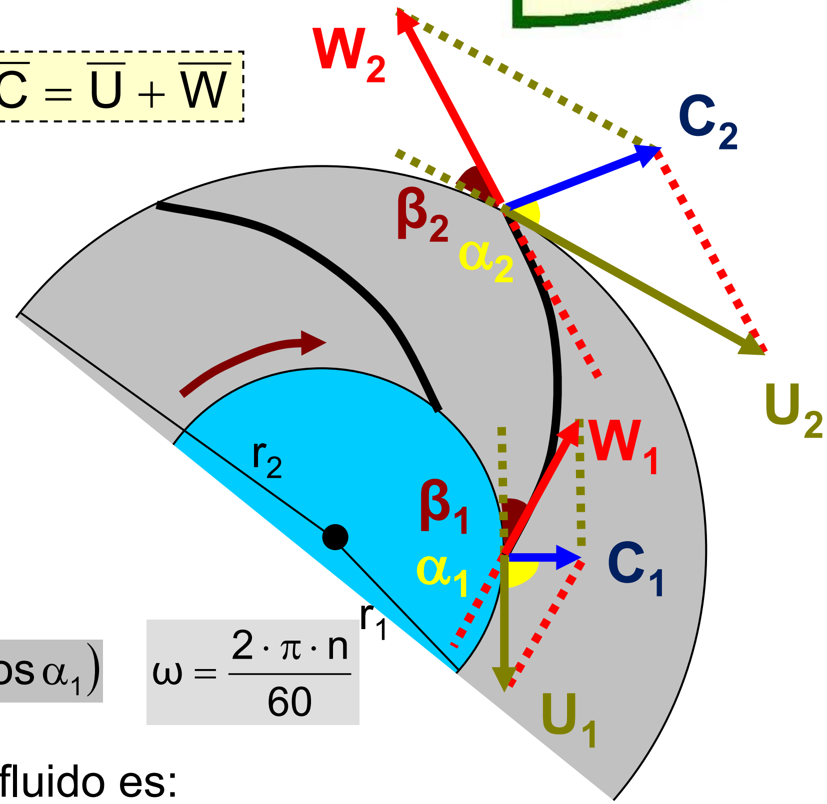
M lo crea la componente tangencial de la velocidad del fluido, c_u

La componente radial, C_m, no crea

1.1.2.- Introducción a las Turbomáquinas: Ecuación de Euler

	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1=\left[\overline{C}_1-\overline{U}_1\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2=\left[\overline{C}_2-\overline{U}_2\right]$

$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$



Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$

$$M=Q\cdot\rho\cdot\left(r_2\cdot c_2\cdot\cos\alpha_2-r_1\cdot c_1\cdot\cos\alpha_1\right)$$

Y la potencia desarrollada será:

$$Pot=M\cdot\omega\Rightarrow\qquad Pot=Q\cdot\rho\cdot\omega\cdot\left(r_2\cdot c_2\cdot\cos\alpha_2-r_1\cdot c_1\cdot\cos\alpha_1\right)\qquad \omega=\frac{2\cdot\pi\cdot n}{60}$$

Por otro lado la potencia desarrollada por un flujo de fluido es:

$$Pot=\gamma\cdot Q\cdot H\qquad\left[\frac{N}{m^3}\cdot\frac{m^3}{s}\cdot m=\frac{N\cdot m}{s}=\frac{J}{s}=W\right]$$

$$Q\cdot\rho\cdot\omega\left(r_2\cdot c_2\cdot\cos\alpha_2-r_1\cdot c_1\cdot\cos\alpha_1\right)=\gamma\cdot Q\cdot H\Rightarrow H=\frac{\rho\cdot\omega\cdot\left(r_2\cdot c_2\cdot\cos\alpha_2-r_1\cdot c_1\cdot\cos\alpha_1\right)}{\gamma}\qquad\left\{\begin{array}{l}\omega\cdot r=u\\ c\cdot\cos\alpha=c_u\\ \gamma=\rho\cdot g\end{array}\right.$$

1ª Ec. EULER

G. Hid. $\Rightarrow\quad H_{G.H.}=\dfrac{u_2\cdot c_{2u}-u_1\cdot c_{1u}}{g}$

Mot. Hid. $\Rightarrow\quad H_{M.H.}=\dfrac{u_1\cdot c_{1u}-u_2\cdot c_{2u}}{g}$

La Energía necesaria para elevar una masa “m” de líquido a una altura “H_t” es equivalente al trabajo que se debe realizar CONTRA la gravedad

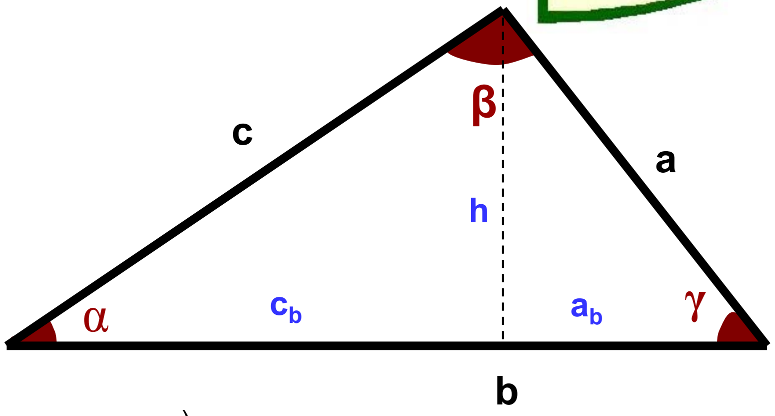
El Trabajo que desarrolla dicha fuerza para desplazar la masa “m”:

$$W = F \cdot l = F \cdot H_t = \left| F = m \cdot g \right| = m \cdot g \cdot H_t = \left| m = \rho \cdot V \right| = \rho \cdot V \cdot g \cdot H_t$$

Por lo tanto, la Potencia necesaria para elevar el fluido es:

$$Pot = \frac{W}{t} = \frac{\rho \cdot g \cdot V \cdot H_t}{t} = \left| \begin{array}{l} \rho \cdot g = \gamma \\ \frac{V}{t} = Q \end{array} \right| = \gamma \cdot Q \cdot H_t$$

Similar sería la potencia desarrollada por el fluido en una turbina



Teorema del Coseno:

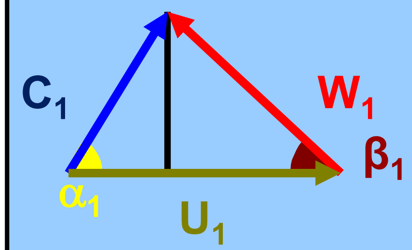
dado un triángulo de lados a, b y c, siendo α, β, γ, los ángulos opuestos a ellos, entonces:

$$c^2 = {c_b}^2 + h^2$$

$$h^2 = a^2 - {a_b}^2 = a^2 - (b - c_b)^2 = a^2 - \left(b^2 - 2 \cdot b \cdot c_b + {c_b}^2\right)$$

$$\left.\begin{array}{l} c^2 = {c_b}^2 + \left(a^2 - b^2 + 2 \cdot b \cdot c_b - {c_b}^2\right) = a^2 - b^2 + 2 \cdot b \cdot c_b \\ \\ \cos\gamma = \dfrac{a_b}{a} = \dfrac{b - c_b}{a} \Rightarrow c_b = b - a \cdot \cos\gamma \end{array}\right\} \begin{array}{l} c^2 = a^2 - b^2 + 2 \cdot b \cdot [b - a \cdot \cos\gamma] = \\ = a^2 - b^2 + 2 \cdot b^2 - a \cdot b \cdot \cos\gamma \end{array}$$

$$\boxed{c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos\gamma}$$

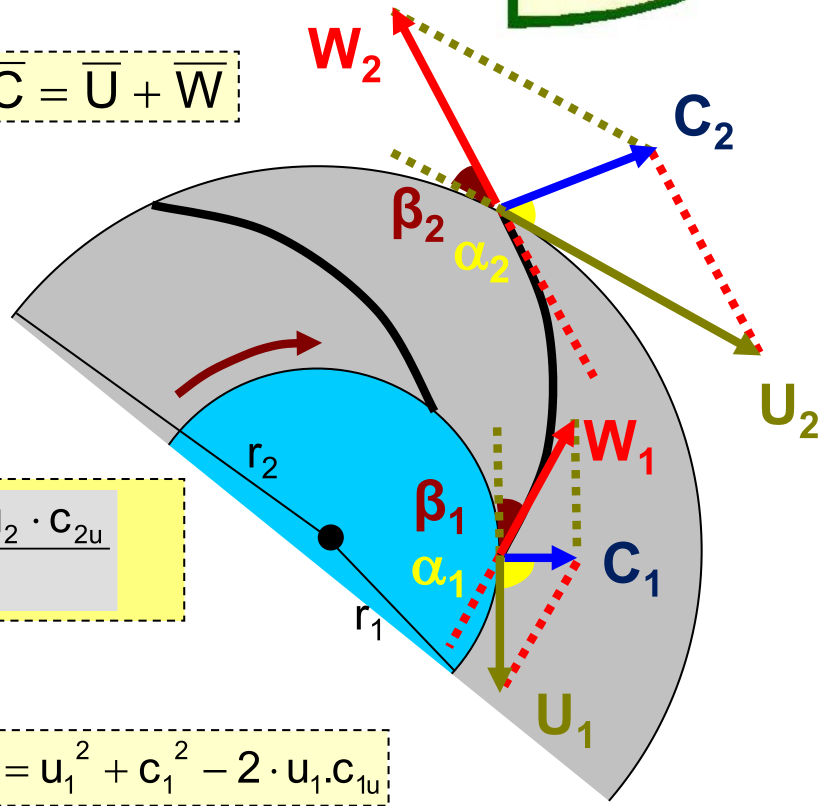


$$\boxed{w^2 = u^2 + c^2 - 2 \cdot u \cdot c \cdot \cos\alpha}$$

1.1.2.- Introducción a las Turbomáquinas: Ecuación de Euler

	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $[\overline{C}-\overline{U}]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1=[\overline{C}_1-\overline{U}_1]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2=[\overline{C}_2-\overline{U}_2]$

$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$

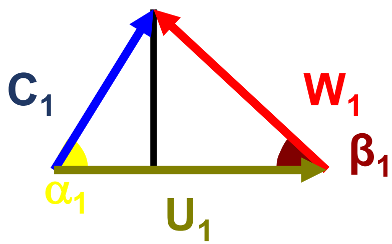


Forma del álabe

α	β
$[\overline{C}\wedge\overline{U}]$	$[\overline{W}\wedge-\overline{U}]$

1ª Ec. EULER

$$H_{G.H.}=\frac{u_2\cdot c_{2u}-u_1\cdot c_{1u}}{g} \qquad H_{M.H.}=\frac{u_1\cdot c_{1u}-u_2\cdot c_{2u}}{g}$$



$$w_1^2=u_1^2+c_1^2-2\cdot u_1\cdot c_1\cdot\cos\alpha_1=u_1^2+c_1^2-2\cdot u_1.c_{1u}$$

$$u_1\cdot c_{1u}=\frac{u_1^2+c_1^2-w_1^2}{2} \qquad u_2\cdot c_{2u}=\frac{u_2^2+c_2^2-w_2^2}{2}$$

2ª Ec. EULER

$$H_{G.H.}=\frac{u_2^2-u_1^2}{2\cdot g}+\frac{c_2^2-c_1^2}{2\cdot g}-\frac{w_2^2-w_1^2}{2\cdot g} \qquad H_{M.H.}=\frac{u_1^2-u_2^2}{2\cdot g}+\frac{c_1^2-c_2^2}{2\cdot g}-\frac{w_1^2-w_2^2}{2\cdot g}$$

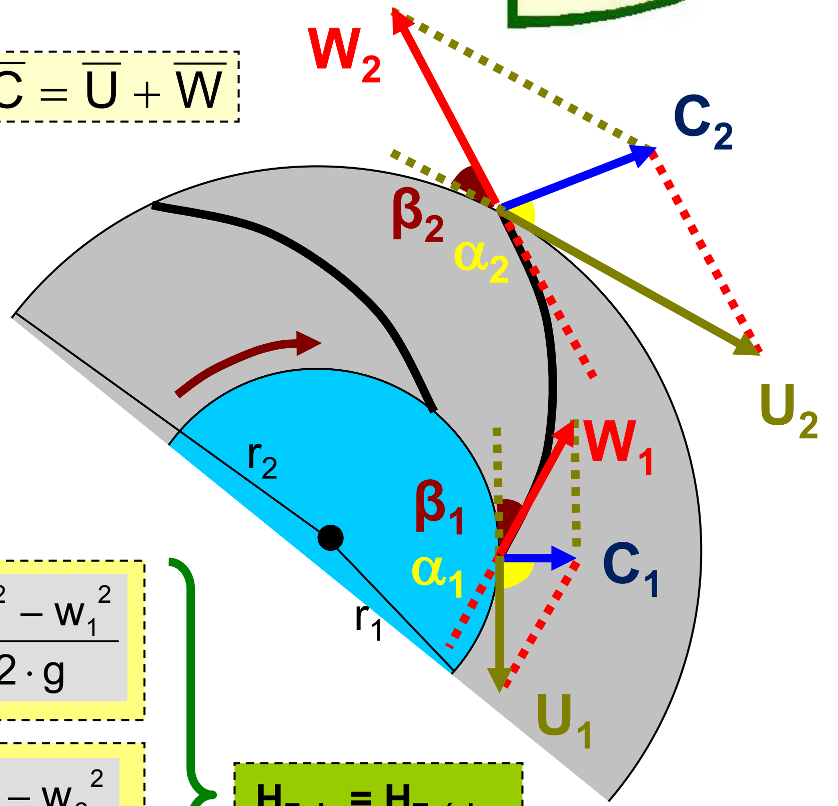
1.1.2.- Introducción a las Turbomáquinas: Ecuación de Euler

	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1=\left[\overline{C}_1-\overline{U}_1\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2=\left[\overline{C}_2-\overline{U}_2\right]$

$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$

Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$



1ª Ec. EULER

2ª Ec. EULER

$$H_{G.H.}=\frac{u_2\cdot c_{2u}-u_1\cdot c_{1u}}{g}$$

$$H_{G.H.}=\frac{u_2^{\ 2}-u_1^{\ 2}}{2\cdot g}+\frac{c_2^{\ 2}-c_1^{\ 2}}{2\cdot g}-\frac{w_2^{\ 2}-w_1^{\ 2}}{2\cdot g}$$

$$H_{M.H.}=\frac{u_1\cdot c_{1u}-u_2\cdot c_{2u}}{g}$$

$$H_{M.H.}=\frac{u_1^{\ 2}-u_2^{\ 2}}{2\cdot g}+\frac{c_1^{\ 2}-c_2^{\ 2}}{2\cdot g}-\frac{w_1^{\ 2}-w_2^{\ 2}}{2\cdot g}$$

$$\boxed{H_{Euler}=H_{Teórica}}$$

La ecuación de Euler describe el funcionamiento una turbomáquina ideal en la que no hay ningún tipo de pérdida y todas las partículas del líquido siguen las mismas líneas de corriente (Teoría unidimensional).

De acuerdo a esta ecuación, la altura es independiente del líquido bombeado.

$$\boxed{\text{En una bomba (G.H.) si } \alpha_1=90^{\circ} \Rightarrow c_{1u}=0 \Rightarrow H_{max}}$$

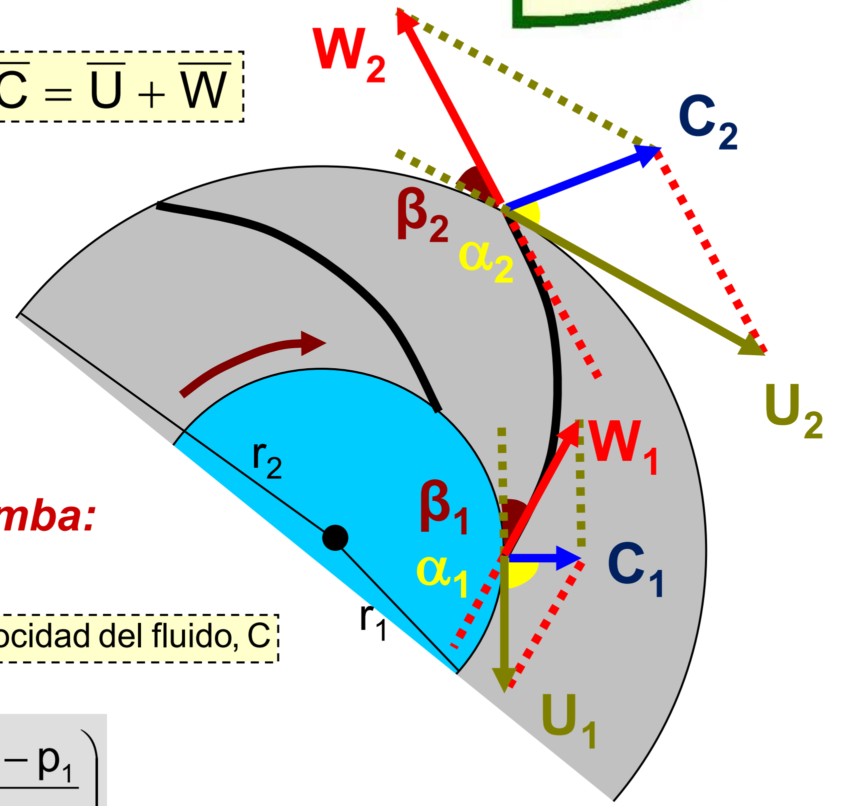
1.1.2.- Introducción a las Turbomáquinas: Ecuación de Euler

	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W_1}=\left[\overline{C_1}-\overline{U_1}\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W_2}=\left[\overline{C_2}-\overline{U_2}\right]$

$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$

Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$



Aplicando la Ec. de Bernouilli en el rodete de una ***bomba:***

$$\left(z_1+\frac{v_1^2}{2\cdot g}+\frac{p_1}{\gamma}\right)+H_{aña}-H_{ext}-H_{per}=\left(z_2+\frac{v_2^2}{2\cdot g}+\frac{p_2}{\gamma}\right)$$

V = velocidad del fluido, C

$$H_u=\left(z_2-z_1\right)+\left(\frac{c_2^2-c_1^2}{2\cdot g}\right)+\left(\frac{p_2-p_1}{\gamma}\right)$$

La altura dinámica del rodete es:

$$H_{d\,G.H.}=\left(\frac{c_2^2-c_1^2}{2\cdot g}\right)$$

Despreciando la diferencia de cota en el rodete (z_2-$z_1\approx0$), y considerando la 2ª Ec Euler:

$$H_{G.H.}=\frac{u_2^2-u_1^2}{2\cdot g}+\frac{c_2^2-c_1^2}{2\cdot g}-\frac{w_2^2-w_1^2}{2\cdot g}$$

La altura de presión del rodete es:

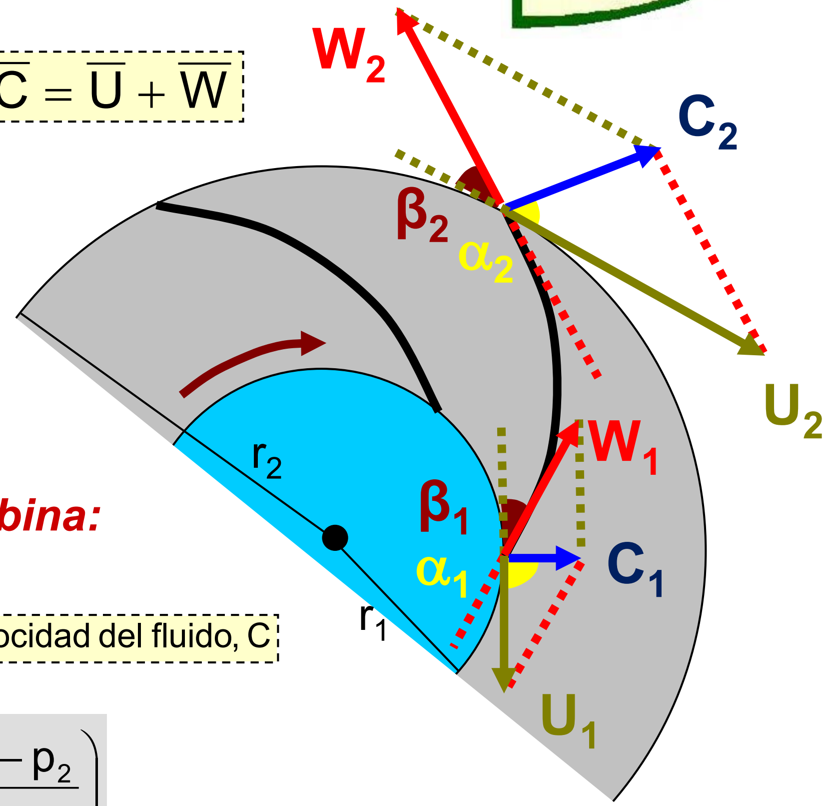
$$H_{p\,G.H.}=\left(\frac{p_2-p_1}{\gamma}\right)$$

$$H_{p\,G.H.}=\left(\frac{u_2^2-u_1^2}{2\cdot g}\right)-\left(\frac{w_2^2-w_1^2}{2\cdot g}\right)$$

BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.1.- Introducción a las Máquinas Hidráulicas
1.1.2.- Introducción a las Turbomáquinas: Ecuación de Euler

	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W_1}=\left[\overline{C_1}-\overline{U_1}\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W_2}=\left[\overline{C_2}-\overline{U_2}\right]$

$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$



Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$

Aplicando la Ec. de Bernouilli en el rodete de una ***turbina:***

$$\left(z_1+\frac{v_1^{\,2}}{2\cdot g}+\frac{p_1}{\gamma}\right)+H_{aña}-H_{ext}-H_{per}=\left(z_2+\frac{v_2^{\,2}}{2\cdot g}+\frac{p_2}{\gamma}\right)$$

V = velocidad del fluido, C

$$H_u=\left(z_1-z_2\right)+\left(\frac{c_1^{\,2}-c_2^{\,2}}{2\cdot g}\right)+\left(\frac{p_1-p_2}{\gamma}\right)$$

La altura dinámica del rodete es:

$$H_{d\,G.H.}=\left(\frac{c_1^{\,2}-c_2^{\,2}}{2\cdot g}\right)$$

Despreciando la diferencia de cota en el rodete (z_2-z_1≈0), y considerando la 2ª Ec Euler:

$$H_{G.H.}=\frac{u_1^{\,2}-u_2^{\,2}}{2\cdot g}+\frac{c_1^{\,2}-c_2^{\,2}}{2\cdot g}-\frac{w_1^{\,2}-w_2^{\,2}}{2\cdot g}$$

La altura de presión del rodete es:

$$H_{p\,G.H.}=\left(\frac{p_1-p_2}{\gamma}\right)$$

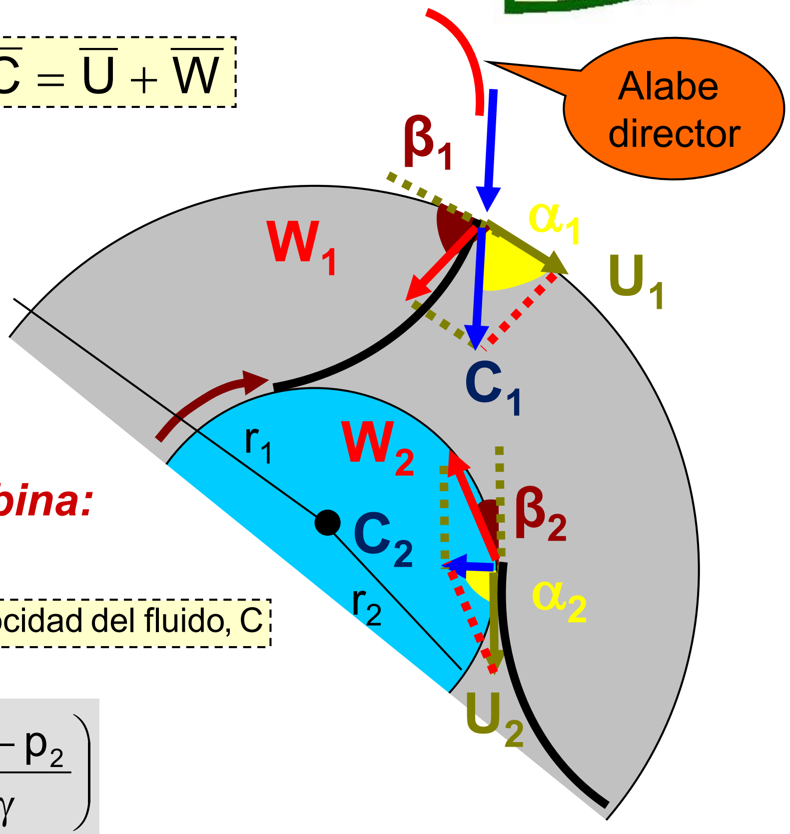
$$H_{p\,G.H.}=\left(\frac{u_1^{\,2}-u_2^{\,2}}{2\cdot g}\right)-\left(\frac{w_1^{\,2}-w_2^{\,2}}{2\cdot g}\right)$$

	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W_1}=\left[\overline{C_1}-\overline{U_1}\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W_2}=\left[\overline{C_2}-\overline{U_2}\right]$

$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$

Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$



Aplicando la Ec. de Bernouilli en el rodete de una ***turbina:***

$$\left(z_1+\frac{v_1^2}{2\cdot g}+\frac{p_1}{\gamma}\right)+H_{aña}-H_{ext}-H_{per}=\left(z_2+\frac{v_2^2}{2\cdot g}+\frac{p_2}{\gamma}\right)$$

V = velocidad del fluido, C

$$H_u=(z_1-z_2)+\left(\frac{c_1^2-c_2^2}{2\cdot g}\right)+\left(\frac{p_1-p_2}{\gamma}\right)$$

La altura dinámica del rodete es:

$$H_{d\,G.H.}=\left(\frac{c_1^2-c_2^2}{2\cdot g}\right)$$

Despreciando la diferencia de cota en el rodete (z_2-$z_1\approx 0$), y considerando la 2ª Ec Euler:

$$H_{G.H.}=\frac{u_1^2-u_2^2}{2\cdot g}+\frac{c_1^2-c_2^2}{2\cdot g}-\frac{w_1^2-w_2^2}{2\cdot g}$$

La altura de presión del rodete es:

$$H_{p\,G.H.}=\left(\frac{p_1-p_2}{\gamma}\right)$$

$$H_{p\,G.H.}=\left(\frac{u_1^2-u_2^2}{2\cdot g}\right)-\left(\frac{w_1^2-w_2^2}{2\cdot g}\right)$$

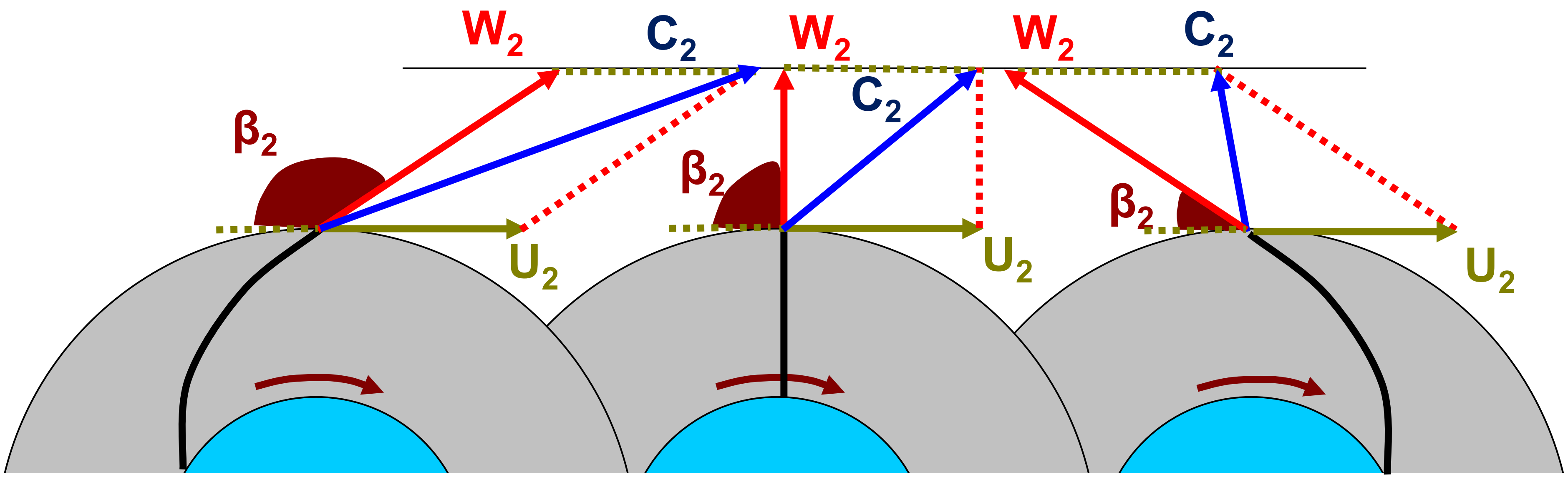
	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1=\left[\overline{C}_1-\overline{U}_1\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2=\left[\overline{C}_2-\overline{U}_2\right]$

$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$

Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$

La geometría de los álabes tiene gran influencia en el comportamiento de la máquina



Alabes curvados hacia delante

Alabes rectos

Alabes curvados hacia atrás

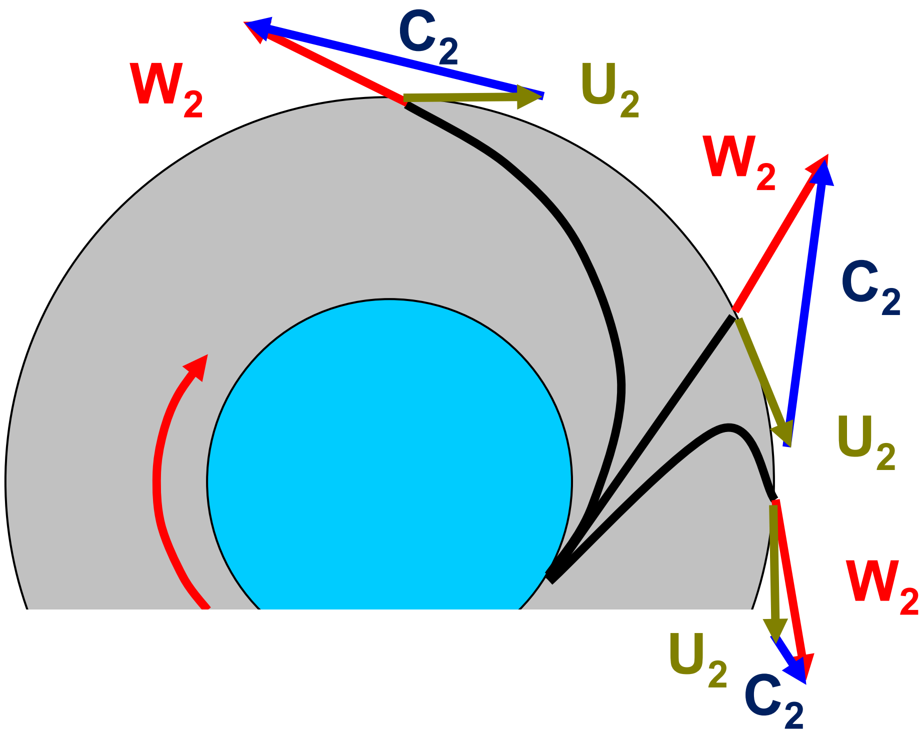
	Fluido (C)	Rotor (U)	Relativa $\left[\overline{C}-\overline{U}\right]$
Entrada	C_1	U_1	$\overline{W}_1=\left[\overline{C}_1-\overline{U}_1\right]$
Salida	C_2	U_2	$\overline{W}_2=\left[\overline{C}_2-\overline{U}_2\right]$

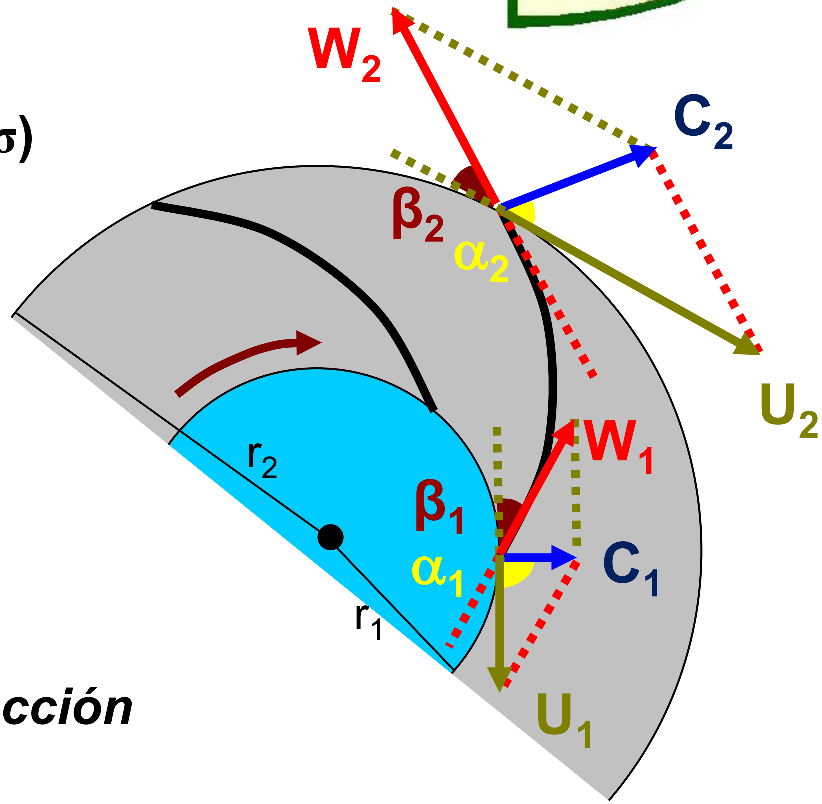
$$\overline{C}=\overline{U}+\overline{W}$$

Forma del álabe

α	β
$\left[\overline{C}\wedge\overline{U}\right]$	$\left[\overline{W}\wedge-\overline{U}\right]$

La geometría de los álabes tiene gran influencia en el comportamiento de la máquina





Grado de Reacción de una Turbomáquina (σ)

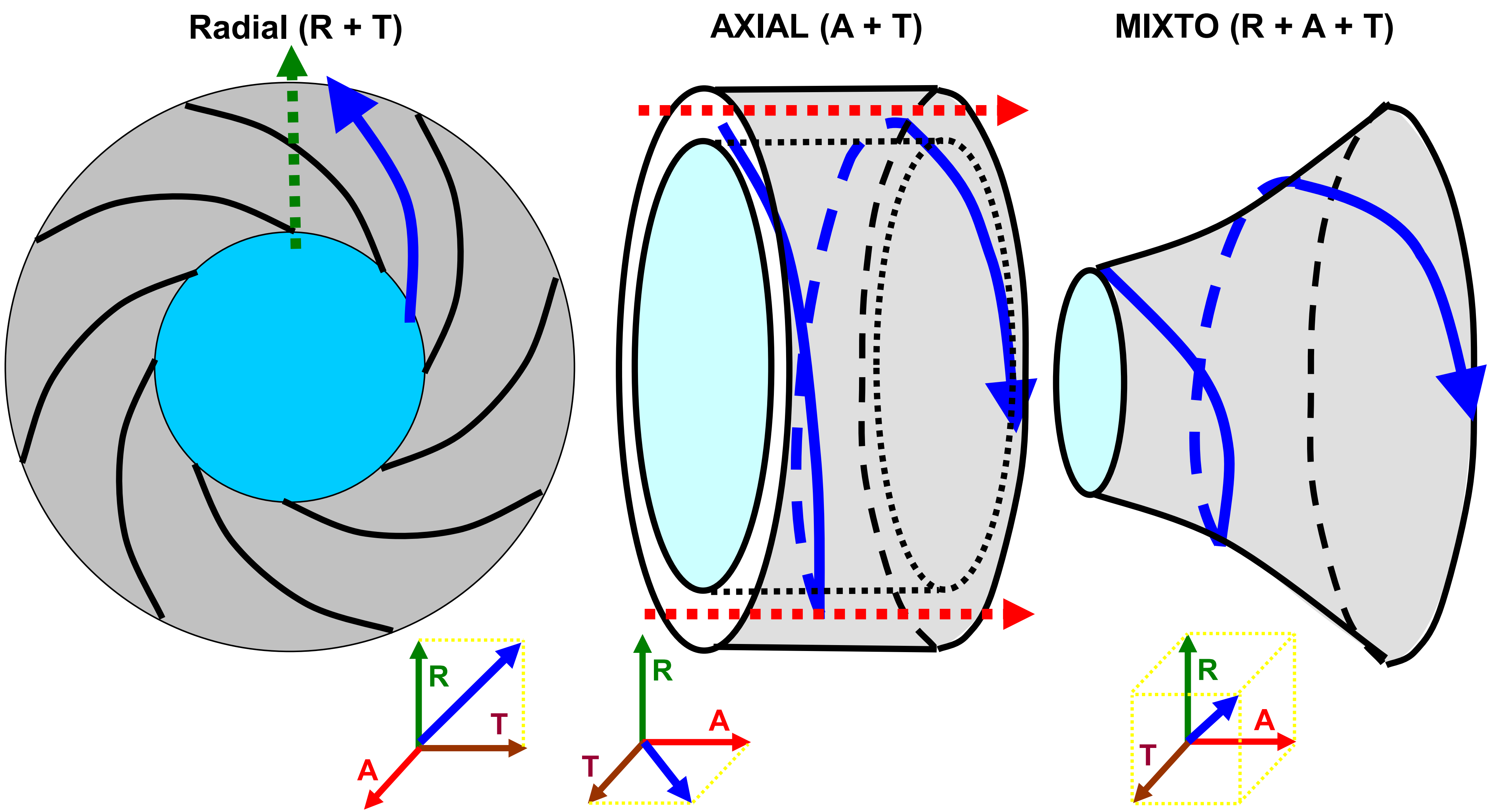
Hace referencia al modo de trabajo del rodete

$$\sigma = \frac{H_p}{H_u}$$

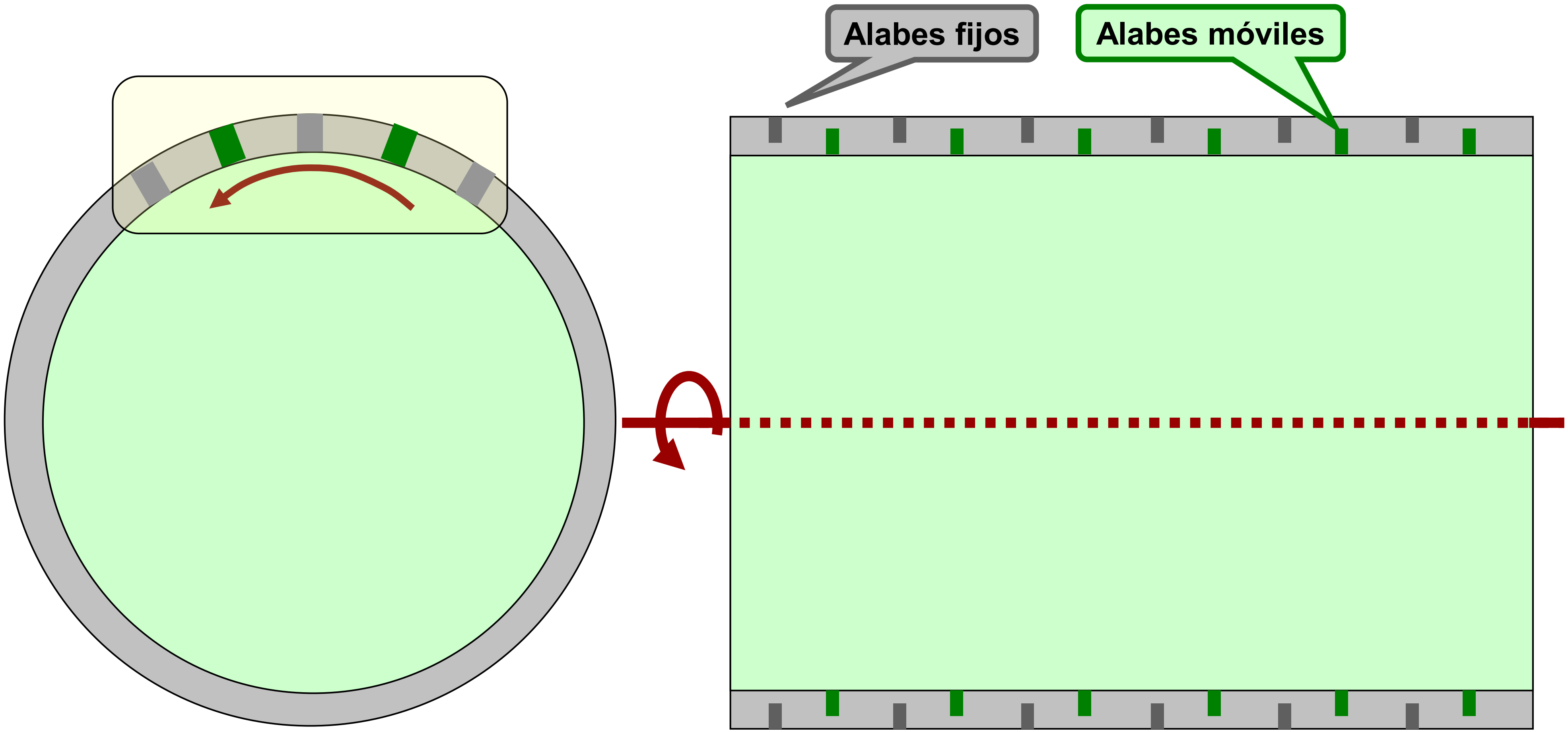
$$\left.\begin{array}{l} H_u > 0 \\ H_p <,=,> 0 \end{array}\right\} \sigma <,=,> 0$$

Clasificación de Turbomáquinas por la dirección del flujo en el rodete

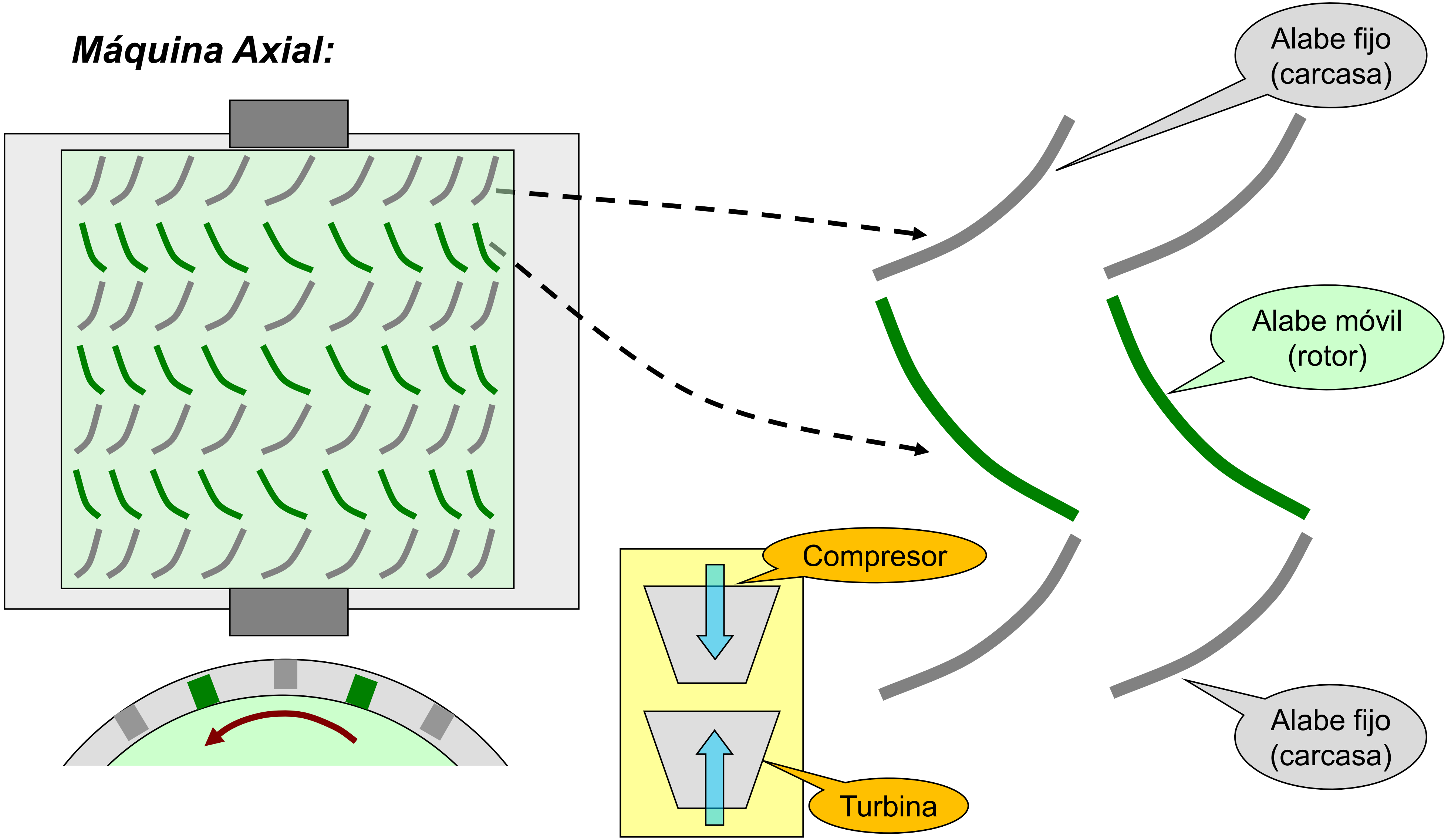
- Máquina radial
- Máquina axial
- Máquina radio axial, mixta o semi axial


Radial (R + T)
AXIAL (A + T)
MIXTO (R + A + T)
R
T
A
R
A
T
R
A
T

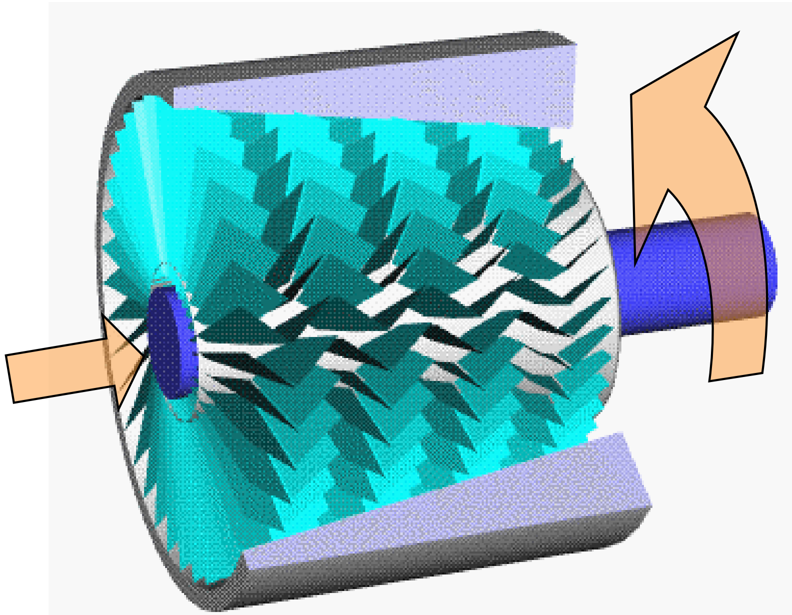
Máquina Axial:



Máquina Axial:

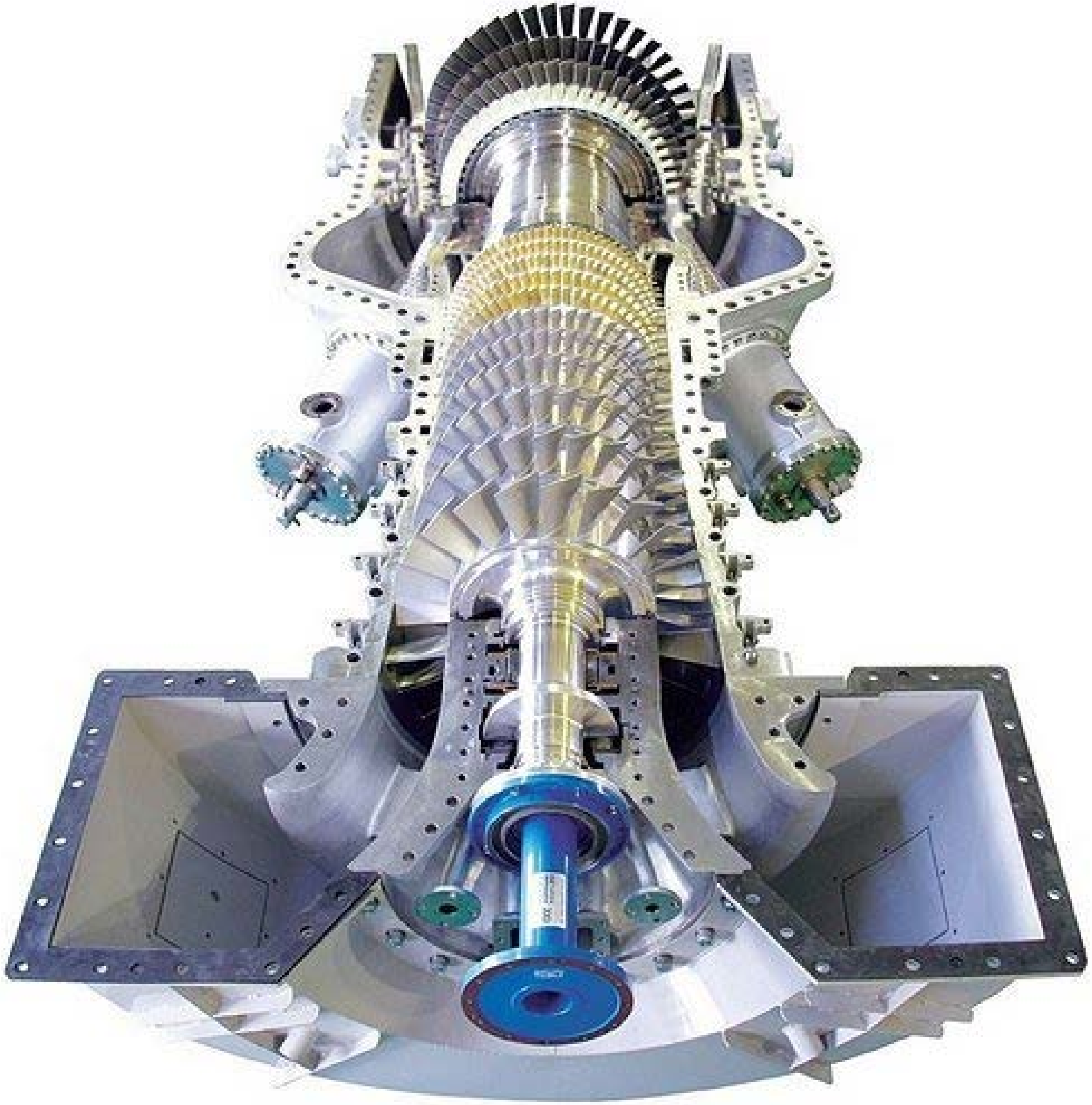


Máquina Axial:



Compresor

https://es.wikipedia.org/wiki/Compresor_axial



http://dim.usal.es/eps/mmt/?p=1030

Máquina Axial: