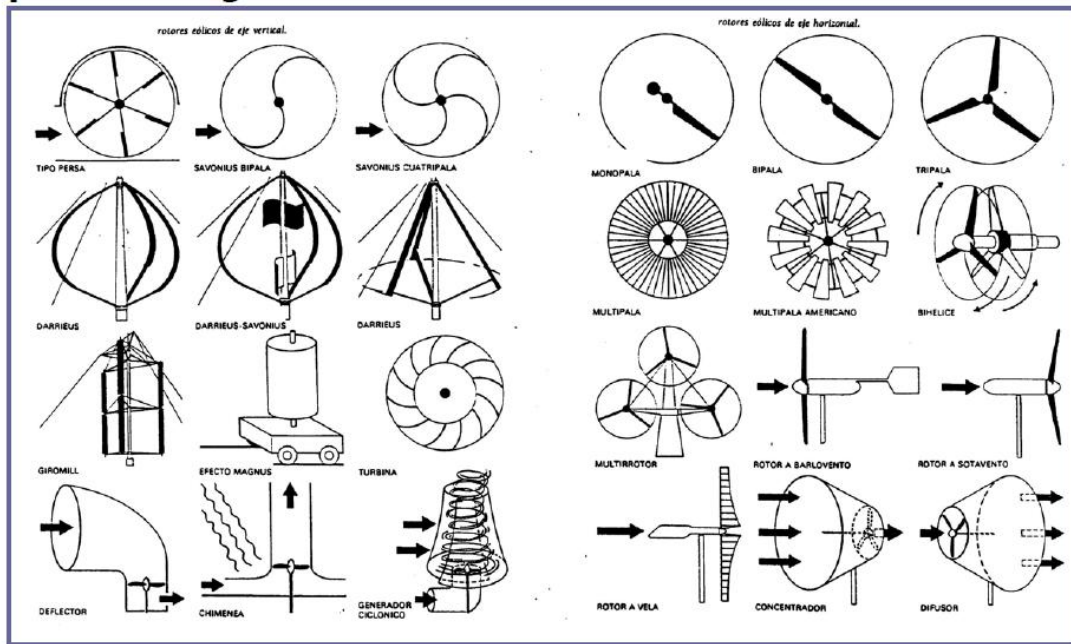
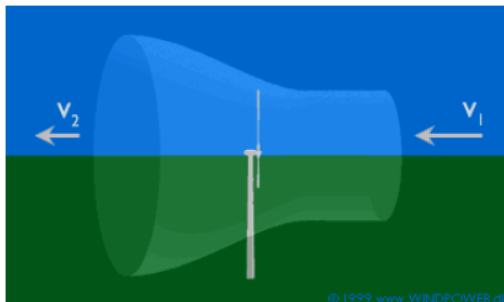


Tipos de aerogeneradores



Principios aerodinámicos. Comportamiento global de la aeroturbina.

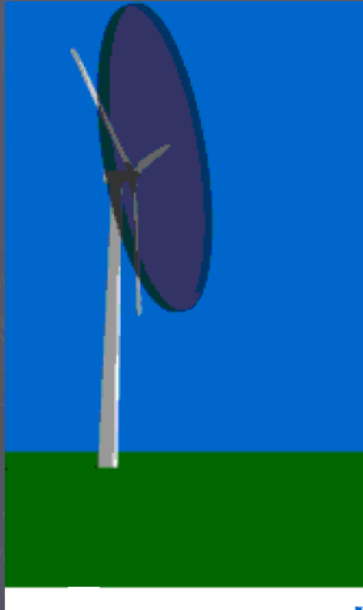


Supongamos un tubo de corriente que encierra el rotor y se extiende aguas arriba y aguas abajo de la corriente hasta regiones alejadas en las que las variables fluidas alcanzan valores constantes.

Para el análisis del problema haremos las siguientes hipótesis:

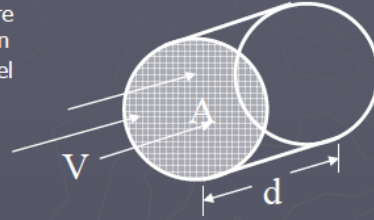
- ✓ Movimiento estacionario.
- ✓ Perfiles de velocidad uniformes.
- ✓ Rotor aislado. Sin efectos colaterales del terreno y obstáculos.
- ✓ Tubo de corriente con simetría axial.
- ✓ Flujo incompresible.
- ✓ No existen efectos de rotación en el aire.

La potencia del viento nos da un primer límite para la potencia de un aerogenerador. Para calcularla, evaluamos la energía cinética (E_k) de la masa de aire (m) que atraviesa, por unidad de tiempo, la sección barrida por las palas (A).



$$\text{Potencia} = \text{Trabajo} / t = E_k / t = \frac{1}{2}mV^2 / t$$

Esquema del cilindro de aire que atraviesa el rotor en un tiempo t (disco violeta en el dibujo de la izquierda). El volumen es $\text{Vol} = A \cdot d$:



Como la masa de aire que atraviesa el área A en un tiempo t es $m = \rho A d$, y $d = Vt$ (donde V es la velocidad del viento), tenemos que:

$$\text{Potencia} = \frac{1}{2}(\rho A d)V^2/t = \frac{1}{2}\rho A V^2(d/t) = \frac{1}{2}\rho A V^3$$

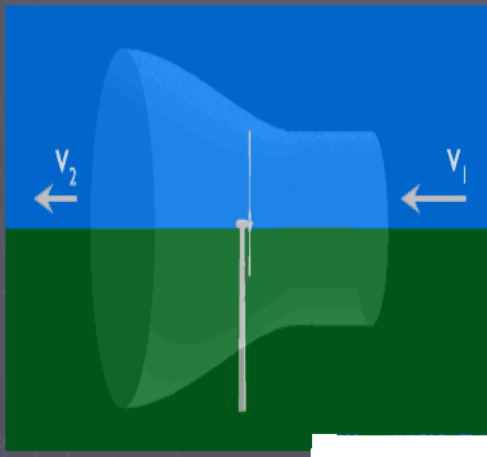
$$\text{Potencia eólica} = \frac{1}{2}\rho A V^3$$

... la potencia depende de la velocidad al CUBO !

Potencia de una turbina: coeficiente de potencia C_p

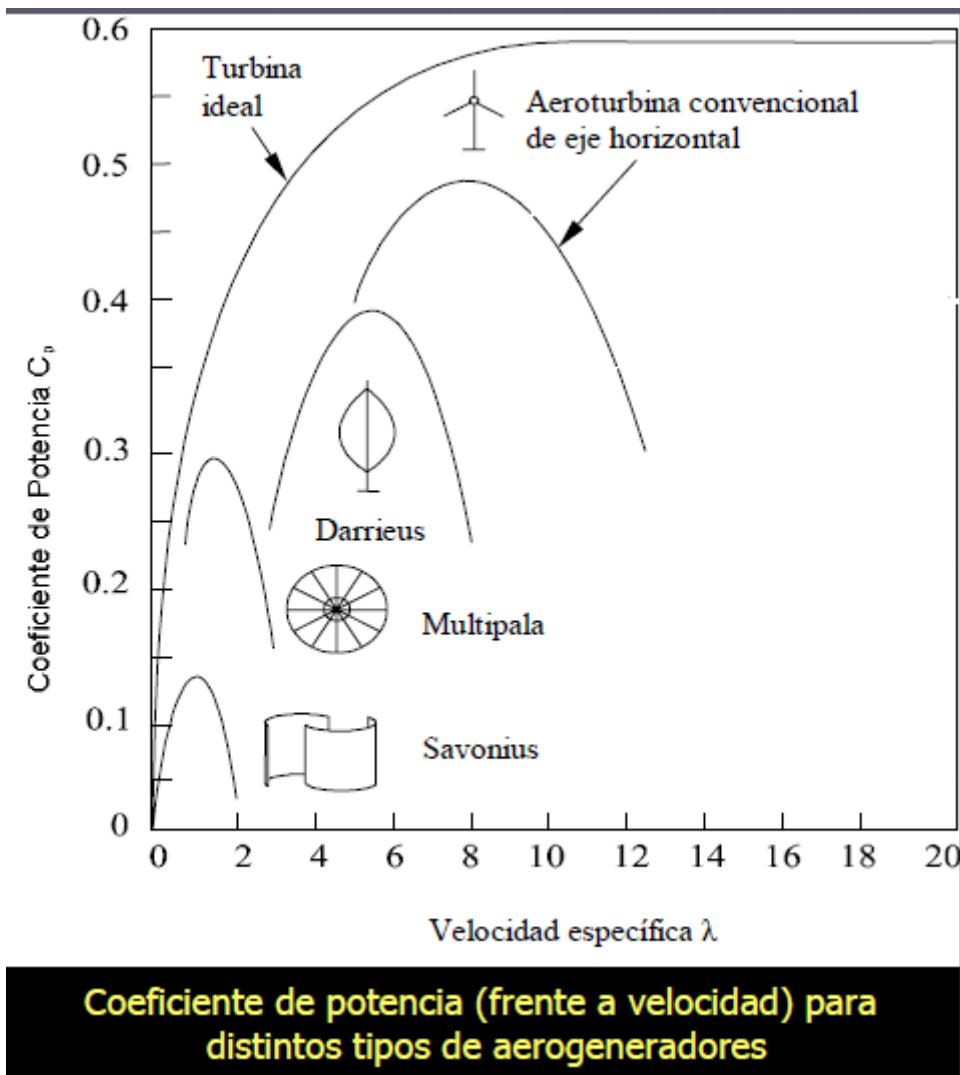
La fracción de la energía del viento que una turbina convierte en la práctica en energía mecánica de rotación se llama "coeficiente de potencia" (C_p) de esa turbina. Así:

$$\text{Potencia de una turbina} = C_p * \text{Potencia del viento} = C_p \frac{1}{2}\rho A V^3$$



Nótese que una turbina nunca puede extraer toda la energía cinética del viento, puesto que el aire no se para al atravesar la turbina (es decir, $C_p < 1$). Su velocidad disminuye de v_1 a v_2 , como muestra la figura. Por conservación de la masa, si la velocidad disminuye, la sección del tubo de corriente considerado aumenta.

En el apartado siguiente calcularemos cuál es el máximo coeficiente de potencia con que puede funcionar una turbina (límite de Betz).



1. El señor Betz, la energía del viento y la potencia de un aerogenerador

La máxima potencia que le **podríamos** extraer al viento, ya sea con un molino de viento quijotesco o un aerogenerador de última generación (en lo siguiente “eólica”), se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = 0,29 \cdot D^2 \cdot v^3$$

- **P** es la potencia expresada en **vatios [W]**
- **D** es el diámetro del rotor en **metros [m]**
- **v** es la velocidad del viento en **metros por segundo [m/s]**.

Esta sencilla fórmula es fruto del señor **Betz**, un sabio alemán que en 1926 publicó el primer tratado sobre la teoría aerodinámica aplicada a las turbinas eólicas. Esta fórmula también es conocida como **límite de Betz**.

Lo primero que salta a la vista es que la potencia aumenta con el cubo de la velocidad del viento, o, expresado de otro modo, a **más** viento, **mucha más** energía.

Sin embargo, en la vida real no será posible alcanzar este valor, ya que todos los componentes de una eólica tienen pérdidas aerodinámicas o mecánicas (el rotor, los cojinetes, el sistema de transmisión, el generador, los cables, la batería para almacenar la electricidad producida, etc.).

De modo que para **estimar** la potencia máxima de una eólica real usaremos la siguiente fórmula (asumiendo un rendimiento global de toda la máquina eólica de aprox. 50%):

$$P = 0,15 \cdot D^2 \cdot v^3$$

Ejemplo:

¿Qué potencia máxima podría generar una eólica cuyo rotor tiene un diámetro de 6 metros?

Si el viento sopla a 10 m/s (= 36 km/h), la potencia del molino será

$$P = 0,15 \cdot 36 \cdot 10^3 = 5400 \text{ [W]} = \mathbf{5,40 \text{ [kW]}}$$
 (1 kW = 1000 W)

Pero si sopla a 20 m/s = 72 km/h (¡un viento “peligroso” para una eólica casera!), la potencia será

$$P = 0,15 \cdot 36 \cdot 20^3 = 43200 \text{ [W]} = \mathbf{43,20 \text{ [kW]}}$$

Conclusión: a doble velocidad del viento, la eólica desarrollará **8 veces** más potencia.

2. Velocidad de giro de una eólica

La velocidad de giro de una eólica se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$n = (60 \cdot \lambda \cdot v) / (\pi \cdot D)$$

- **n** es el **número de revoluciones por minuto [rpm]**
- **λ** se llama velocidad específica. Este factor depende del tipo de eólica (rápida o lenta). Puede tener un valor comprendido entre aprox. 0,9 y 14. En la eólica que vamos a construir, este factor será de aprox. 4.
- **v** es la velocidad del viento en **metros por segundo [m/s]**.
- **D** es el diámetro de la eólica en **metros [m]**

La velocidad específica λ se define del siguiente modo:

$$\lambda = u_o / v$$

donde u_o es la velocidad (tangencial) de las puntas de las palas del rotor y **v** la velocidad del viento, ambas expresadas en [m/s] (Fig. 2.2.-1)

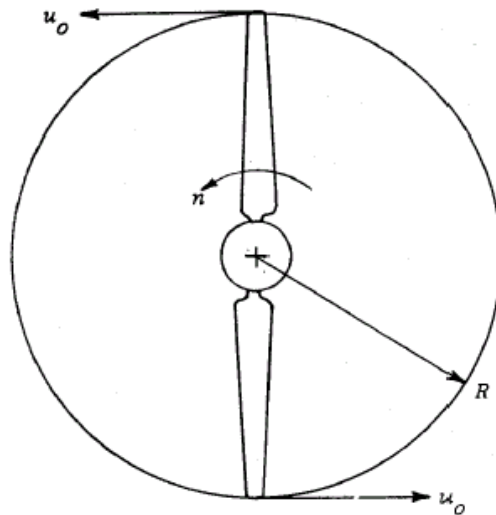


Fig. 2-1 Velocidad u_0 de las puntas de las palas de una eólica

Para hacerse una idea:

En un aerogenerador moderno de 20 metros de diámetro (los que se utilizan en los controvertidos parques eólicos), la velocidad específica es del orden de $\lambda = 8$.

Calculemos con esta fórmula su velocidad de giro bajo un viento de 10 m/s (= 36 km/h):

$$n = (60 \cdot 8 \cdot 10) / (\pi \cdot 20) = 76,4 \text{ rpm}$$

No parece mucho, pero las puntas de las palas giran a **288 km/h**

Reglas generales:

- a más diámetro, menor velocidad de giro
- un mayor número de palas no aumenta necesariamente la velocidad de giro, pero sí el rendimiento de la eólica.

3. Un poco de aerodinámica

Las palas de un eólica no son otra cosa que alas de avión girando alrededor de un eje.

Al despegar, el motor empuja el avión hacia delante y las alas comienzan a “cortar” el aire. Al estar perfiladas y ligeramente inclinadas (ángulo de ataque), la circulación del aire alrededor de las alas crea una sobrepresión en la parte inferior de las mismas. Esta presión “empuja” las alas hacia arriba y, por consiguiente, el avión “vuela”.

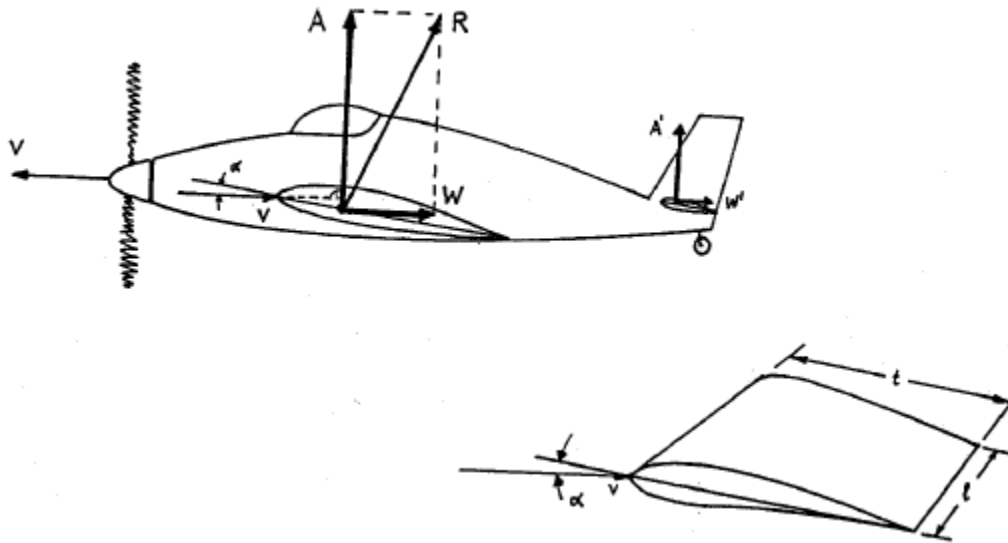


Fig. 3.1 **A** fuerza de sustentación, **W** fuerza de resistencia del ala (**R** resultante).

Las alas no son ideales: ofrecen resistencia al aire, a costa del consumo de combustible del avión. La hélice del avión también tiene unas alas más pequeñas, que giran alrededor del eje del motor, “enroscándose” en el aire como un sacacorchos.

La sección de un ala moderna tiene un perfil en forma de gota alargada. Esta forma aumenta el empuje y disminuye la resistencia. Las alas largas, estrechas y delgadas tienen un rendimiento mucho más elevado que las cortas, anchas y gruesas.

La ventaja de las eólicas (pequeñas) es que gracias a que el viento es (sigue siendo) gratuito, las palas no necesitan ser tan sofisticadas. ¡Las aspas de los viejos molinos a menudo eran simples tablas inclinadas de madera! El menor rendimiento de las palas más sencillas puede ser compensado aumentando ligeramente el diámetro del rotor.

PROPUESTA DE AEROGENERADOR EJE HORIZONTAL



PERFIL DE ALUMINIO INDUSTRIAL CLASE 6490 CUADRADO ACANALADO



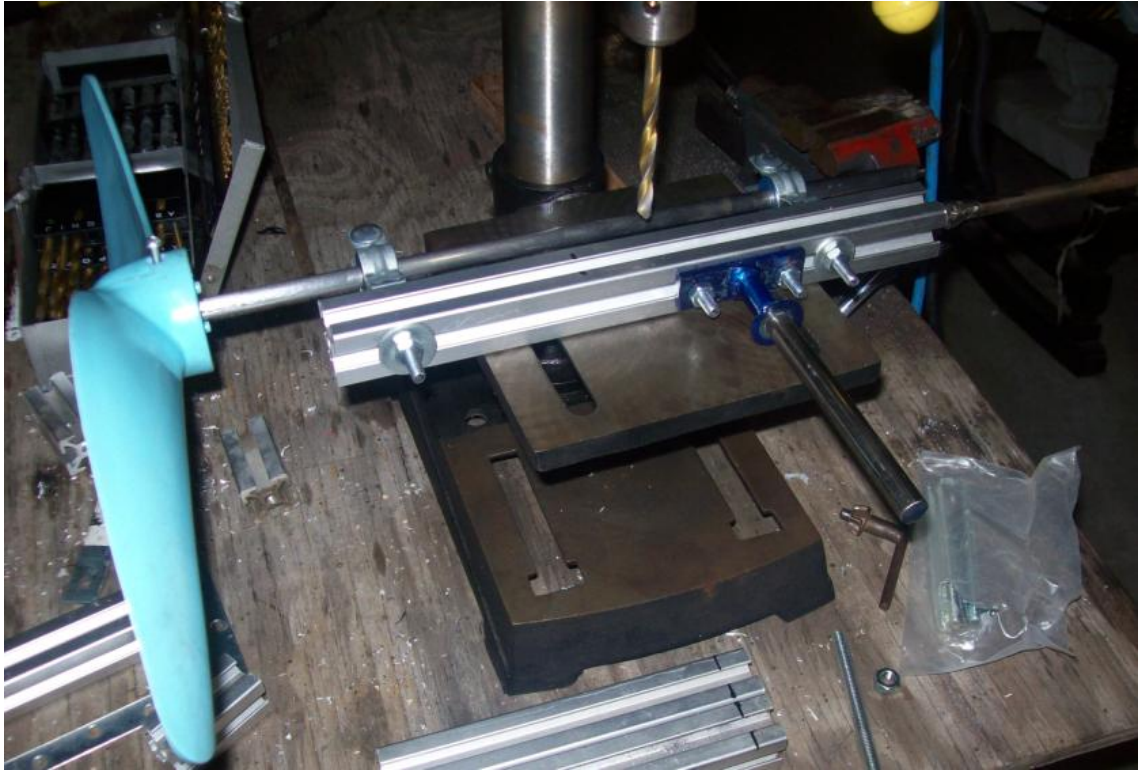
EJE RECICLADO DE IMPRESORA DE 5\16" CON VALEROS DE MISMA MEDIDA



MONTAJE DEL EJE SOBRE EL PERFIL DE ALUMINIO, YA BARRENADO PARA FIJAR SOPORTES DE VALEROS.



MONTAJE DE VELETA, QUE CONSTA DE UNA VARRILLA RECICLADA DE IMPRESORA, Y LA LAMINA DE UNA TAPA DE VIDEOCASSETERA.



MONTAJE DE EJE VERTICAL PARA LA BASE, HELICE Y AJUSTE DE VELETA.

