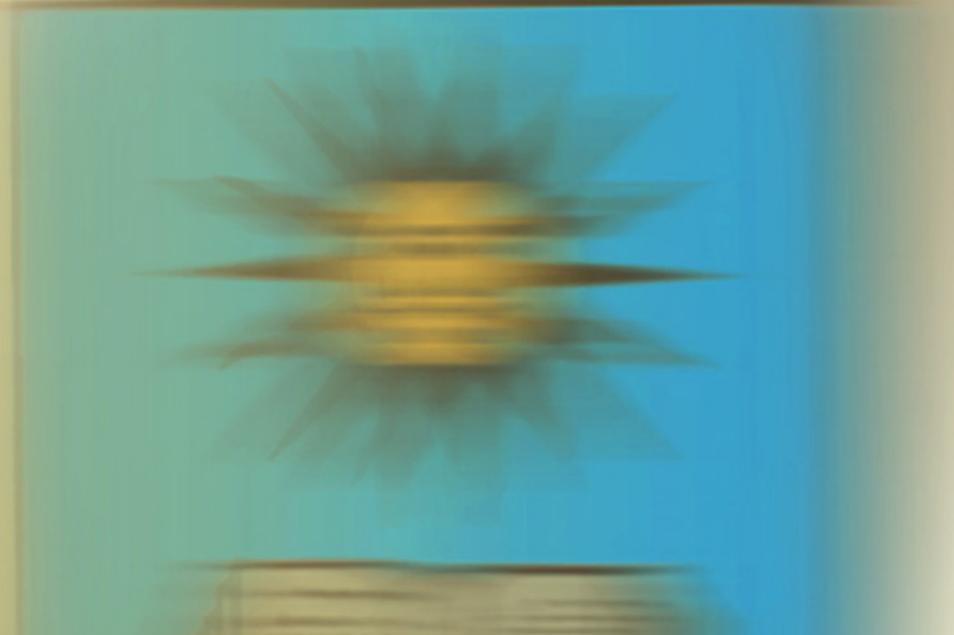


POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

www.upm.es



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**Escuela Universitaria de
Ingeniería Técnica Aeronáutica**

HELICÓPTEROS

*Profesores: Miguel A. Barcala Montejano
Ángel A. Rodríguez Sevillano*

POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**Escuela Universitaria de
Ingeniería Técnica Aeronáutica**

AERODINÁMICA DEL ROTOR

**Teoría de Cantidad de
Movimiento Modificada
Vuelo Vertical Descendente**

POLITÉCNICA





Primeras ideas:

- En el vuelo vertical descendente:
 - La velocidad de vuelo esta dirigida hacia arriba.
 - La velocidad inducida en el plano del disco sigue estando dirigida hacia abajo
 - La velocidad resultante en el plano del disco puede tener los dos sentidos
 - Aplicamos la teoría de la cantidad de movimiento modificada. La teoría no ofrece resultados aceptables.



AERODINÁMICA DEL ROTOR



VUELO VERTICAL DESCENDENTE



TEORÍA DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO MODIFICADA.



Esquema de los distintos regímenes de vuelo.



Teoría de la cantidad de Movimiento Modificada. Potencia Inducida.



Autorrotación vertical.



REGÍMENES DE VUELO

Se proponen seis regímenes característicos de vuelo vertical, manteniendo las hipótesis que se expusieron en el capítulo 2º (Teoría de la cantidad de movimiento en vuelo vertical ascendente), de acuerdo a las siguientes posibilidades:

$$|V_V| \leq v_i \quad ; \quad v_i \leq |V_V| \leq 2v_i \quad ; \quad |V_V| \geq 2v_i$$



REGÍMENES DE VUELO

Vertical Ascendente

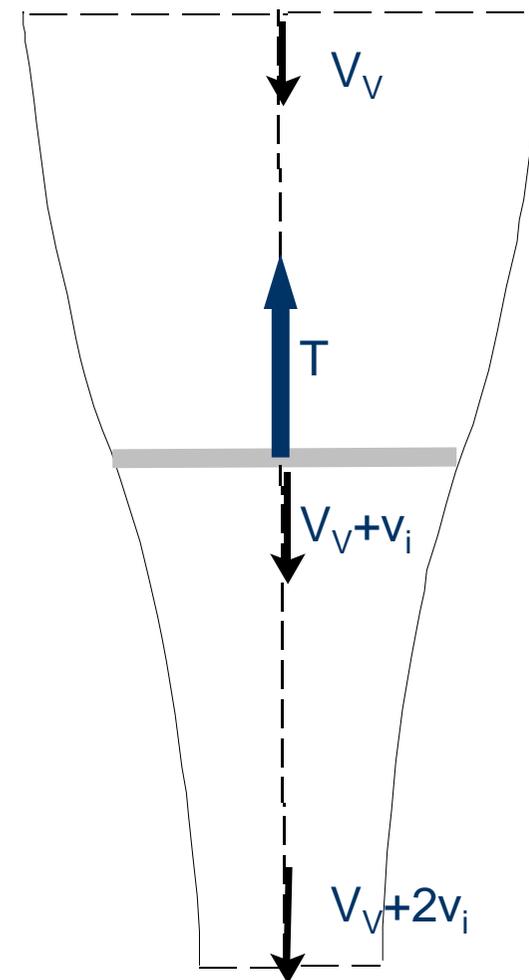
$$V_v > 0$$

$$v_i > 0$$

$$V_v + v_i > 0$$

$$V_v + 2 v_i > 0$$

$$P_i = T (V_v + v_i) > 0$$





REGÍMENES DE VUELO

Punto Fijo

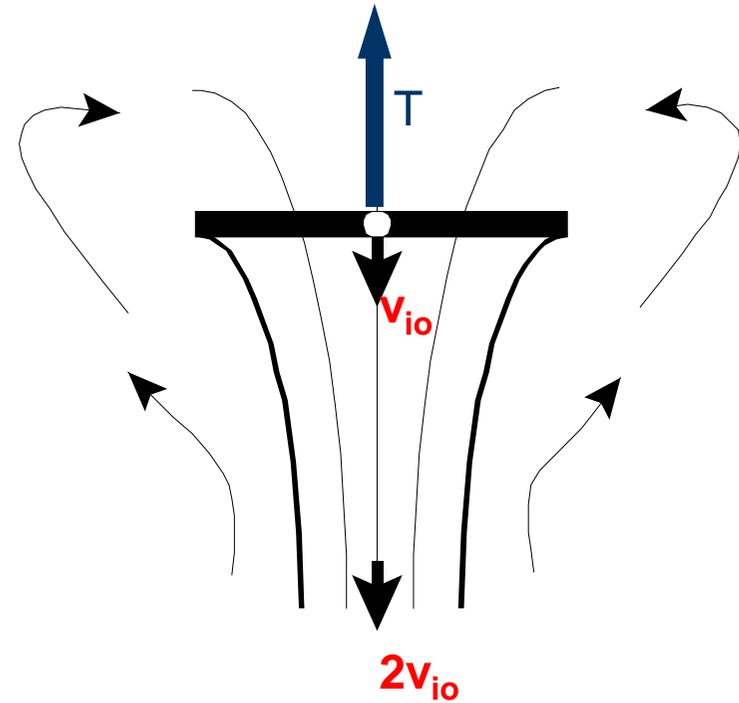
$$V_v = 0$$

$$v_i = v_{io} > 0$$

$$V_v + v_i = v_{io} > 0$$

$$V_v + 2 v_i = 2 v_{io} > 0$$

$$P_i = P_{io} = T \quad v_{io}$$





REGÍMENES DE VUELO

Anillos Turbillonarios

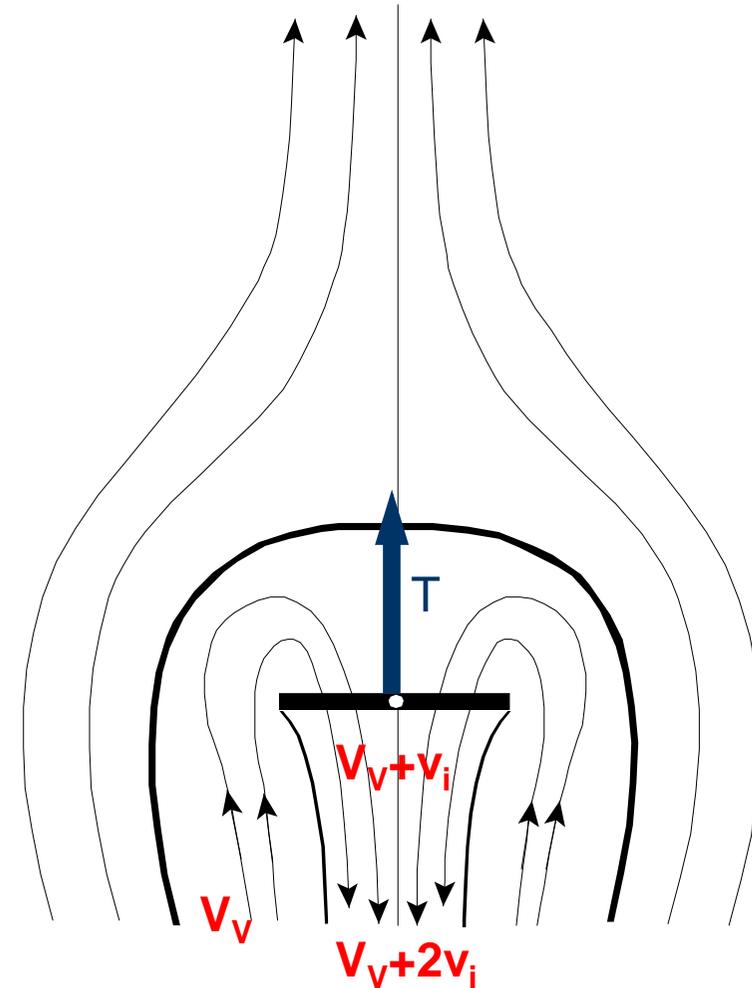
$$V_v < 0 \quad (|V_v| < v_i)$$

$$v_i > 0$$

$$V_v + v_i > 0$$

$$V_v + 2 v_i > 0$$

$$P_i = T (V_v + v_i) > 0$$





REGÍMENES DE VUELO

Autorrotación

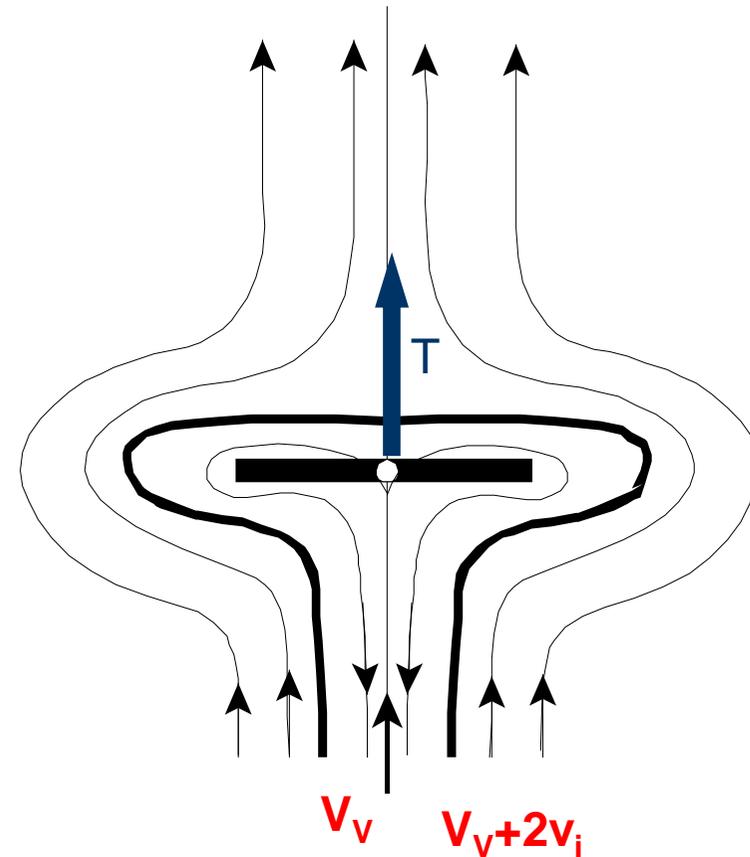
$$V_v < 0 \quad (|V_v| = v_i)$$

$$v_i > 0$$

$$V_v + v_i = 0$$

$$V_v + 2 v_i = v_i > 0$$

$$P_i = T (V_v + v_i) = 0$$





REGÍMENES DE VUELO

Estela Turbillonaria

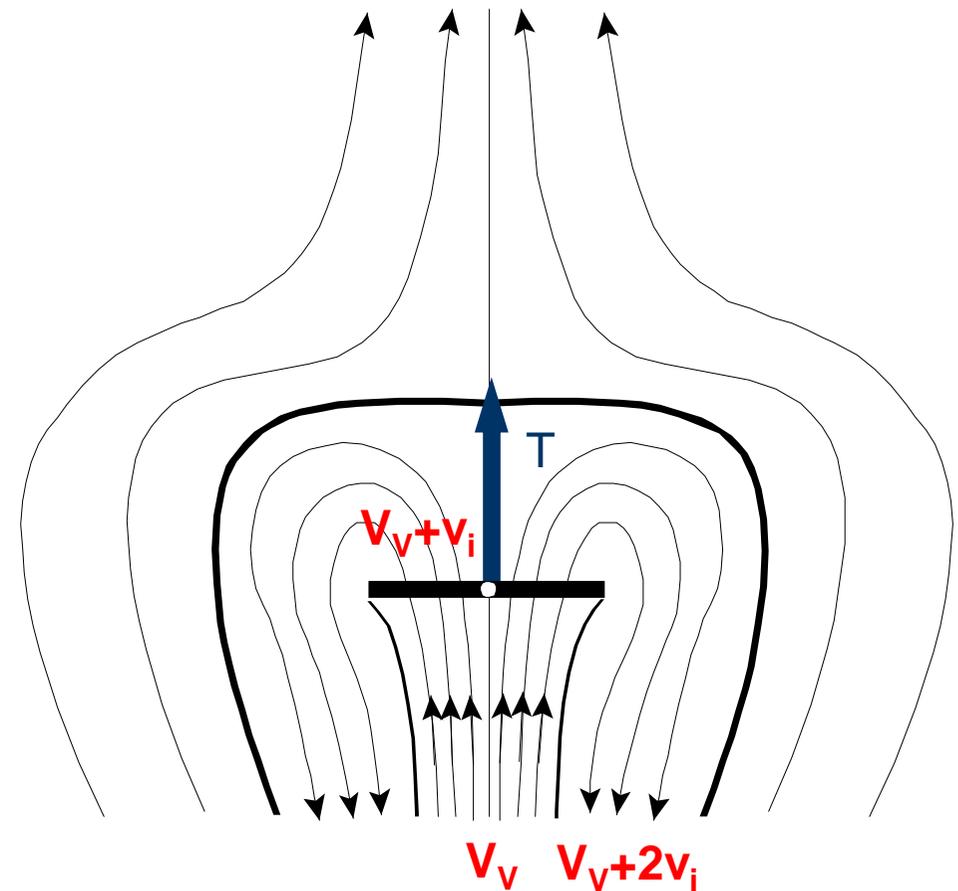
$$V_v < 0 \quad (v_i < |V_v| < 2 v_i)$$

$$v_i > 0$$

$$V_v + v_i < 0$$

$$V_v + 2 v_i > 0$$

$$P_i = T (V_v + v_i) < 0$$





REGÍMENES DE VUELO

Molinete Frenante

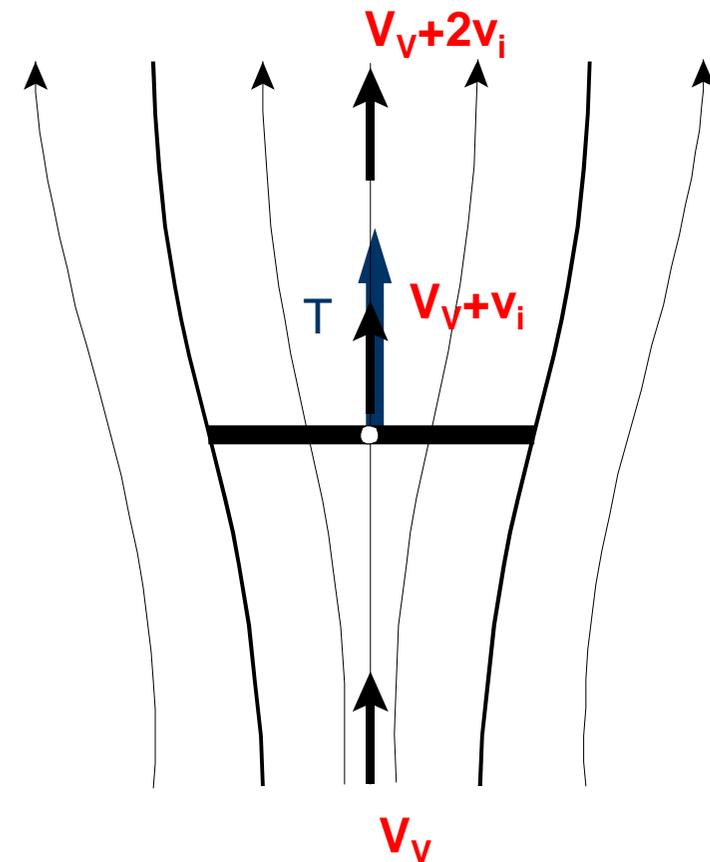
$$V_v < 0 \quad (|V_v| > 2 v_i)$$

$$v_i > 0$$

$$V_v + v_i < 0$$

$$V_v + 2 v_i < 0$$

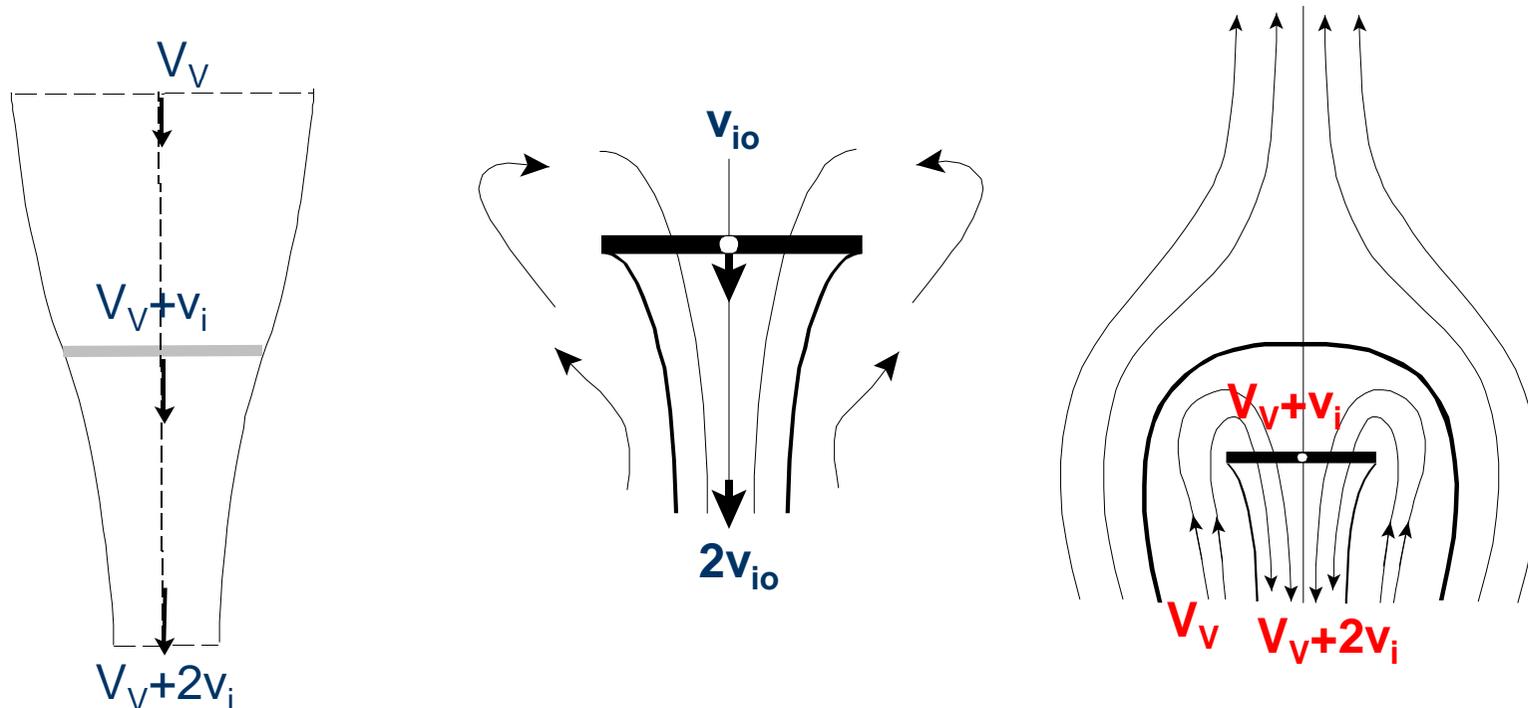
$$P_i = T (V_v + v_i) < 0$$





Ideas nuevas:

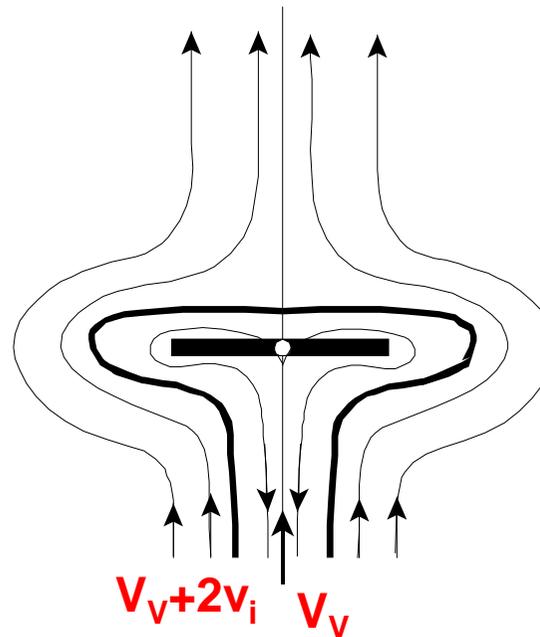
- En los tres primeros regímenes es necesario suministrar potencia para que el rotor gire





Ideas nuevas:

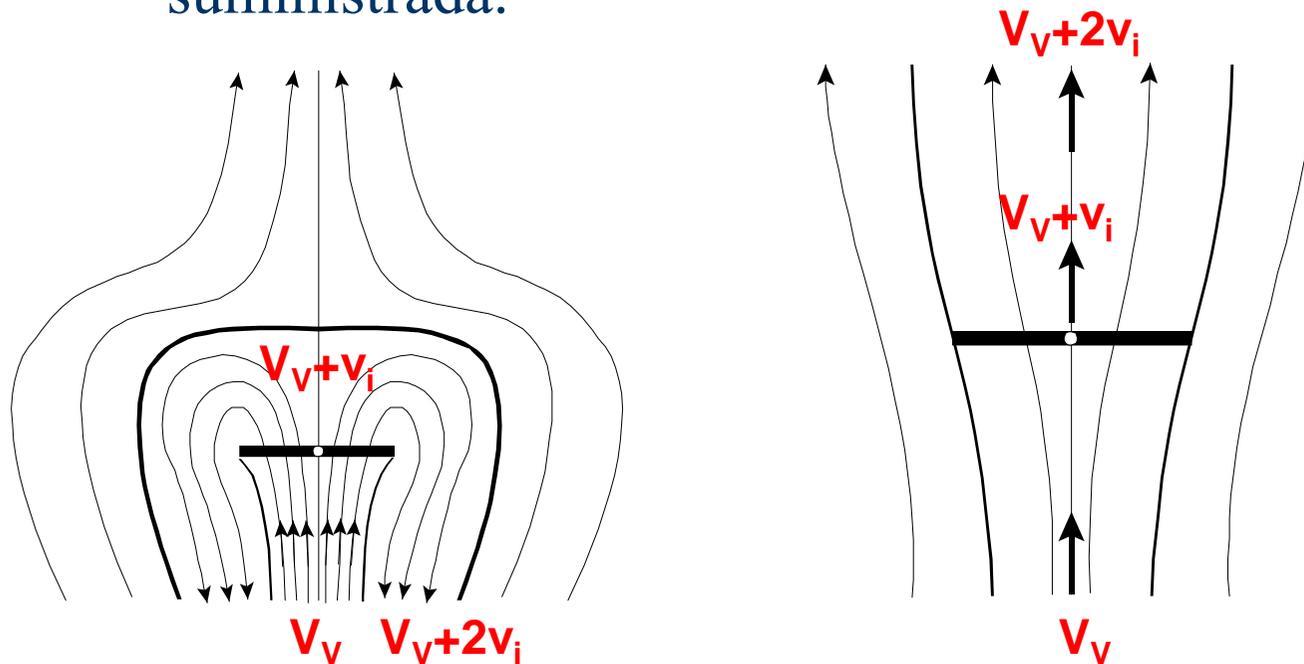
- En el régimen representado en cuarto lugar el rotor gira sin absorber ni suministrar potencia





Ideas nuevas:

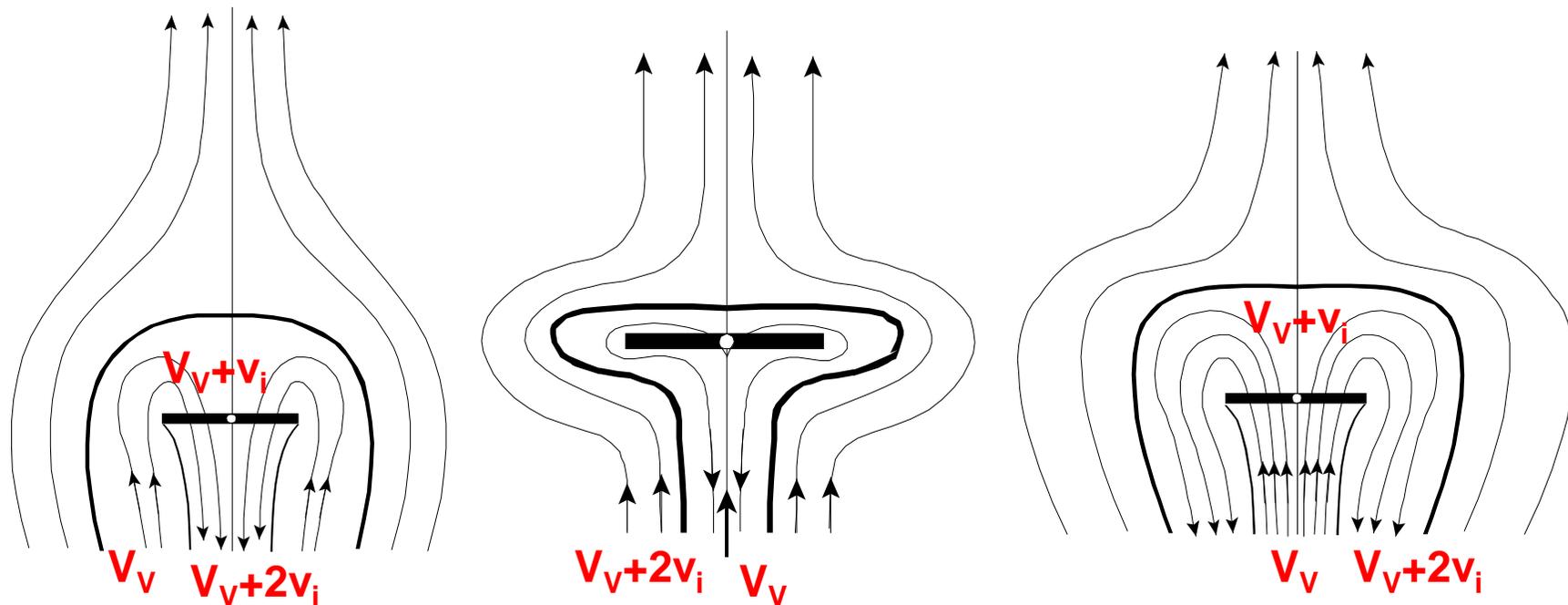
- En los dos últimos regímenes el rotor gira sin necesidad de que exista una potencia suministrada.

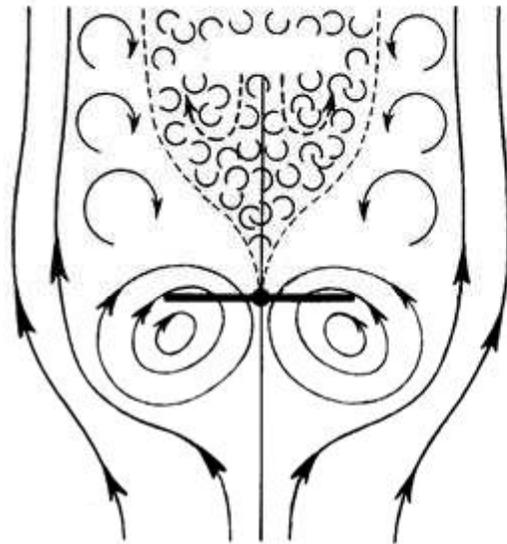




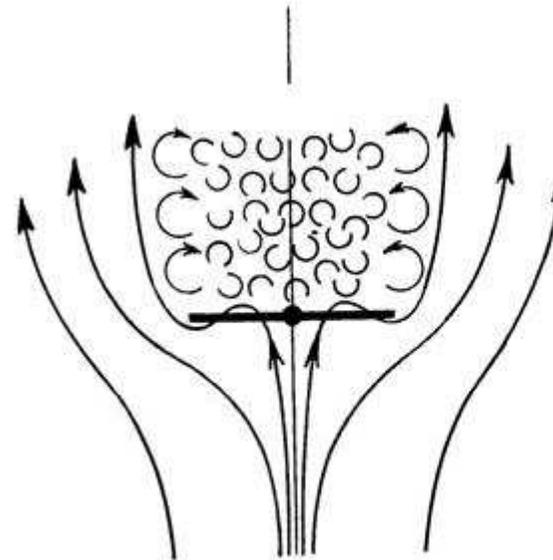
Ideas nuevas:

- En los regímenes intermedios la configuración de las líneas de corriente es claramente absurda.

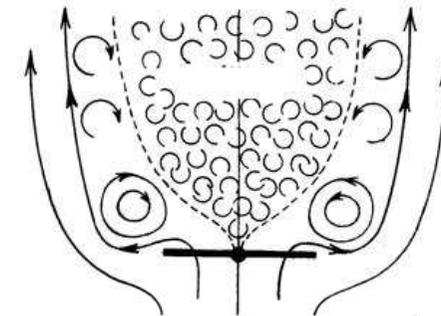




Anillos turbillonarios



Autorrotación



Estela turbillonaria

Ideas nuevas:

- La aplicación de la Teoría de Cantidad de Movimiento no es aplicable.



CÁLCULO DE LA POTENCIA INDUCIDA

- El objetivo de este apartado es aplicar la ecuación de la cantidad de movimiento a los regímenes correspondientes a $V_v \geq 0$ y de molinete frenante, y describir unas funciones empíricas, que adaptándose a los regímenes anteriores, cumplan con lo que ocurre en los regímenes de anillos turbillonarios, autorrotación y estela turbillonaria.
- Se utilizan las siguientes expresiones

$$\frac{V_v}{V_{io}} = \overline{V_v}; \quad \frac{v_i}{V_{io}} = \overline{v_i}; \quad \frac{V_v + v_i}{V_{io}} = \overline{U_p}$$



CÁLCULO DE LA POTENCIA INDUCIDA

Vuelo ascendente, vuelo a punto fijo.

$$\frac{V_v + v_i}{v_{io}} \bullet \frac{v_i}{v_{io}} = 1 \quad \left\{ \begin{array}{l} \bar{V}_V = \frac{1}{\bar{v}_i} - \bar{v}_i \\ \bar{V}_V = \bar{U}_P - \frac{1}{\bar{U}_P} \end{array} \right\} \quad \bar{V}_v = \bar{U}_p - \frac{1.2}{\bar{U}_p}$$

$$\bar{P}_i = \frac{1}{2} \bar{V}_v + \sqrt{1.2 + \frac{1}{4} \bar{V}_v^2}$$



CÁLCULO DE LA POTENCIA INDUCIDA

Régimen de anillos turbillonarios

$$0 < \overline{U}_p < 1,1 \quad \text{y} \quad -1,7 < \overline{V}_v < 0$$

$$0 < \overline{U}_p < 0.8 \quad \underline{\quad}$$

$$\overline{V}_v (\overline{V}_v + 1.18) = 0.812 + 0.072 \overline{U}_p - 1.75 \overline{U}_p^2$$

$$0.8 < \overline{U}_p < 1.1 \quad \underline{\quad}$$

$$\overline{V}_v = 3.726 - 0.693 \overline{U}_p - \frac{3.26}{\overline{U}_p}$$



CÁLCULO DE LA POTENCIA INDUCIDA

Régimen de estela turbillonaria

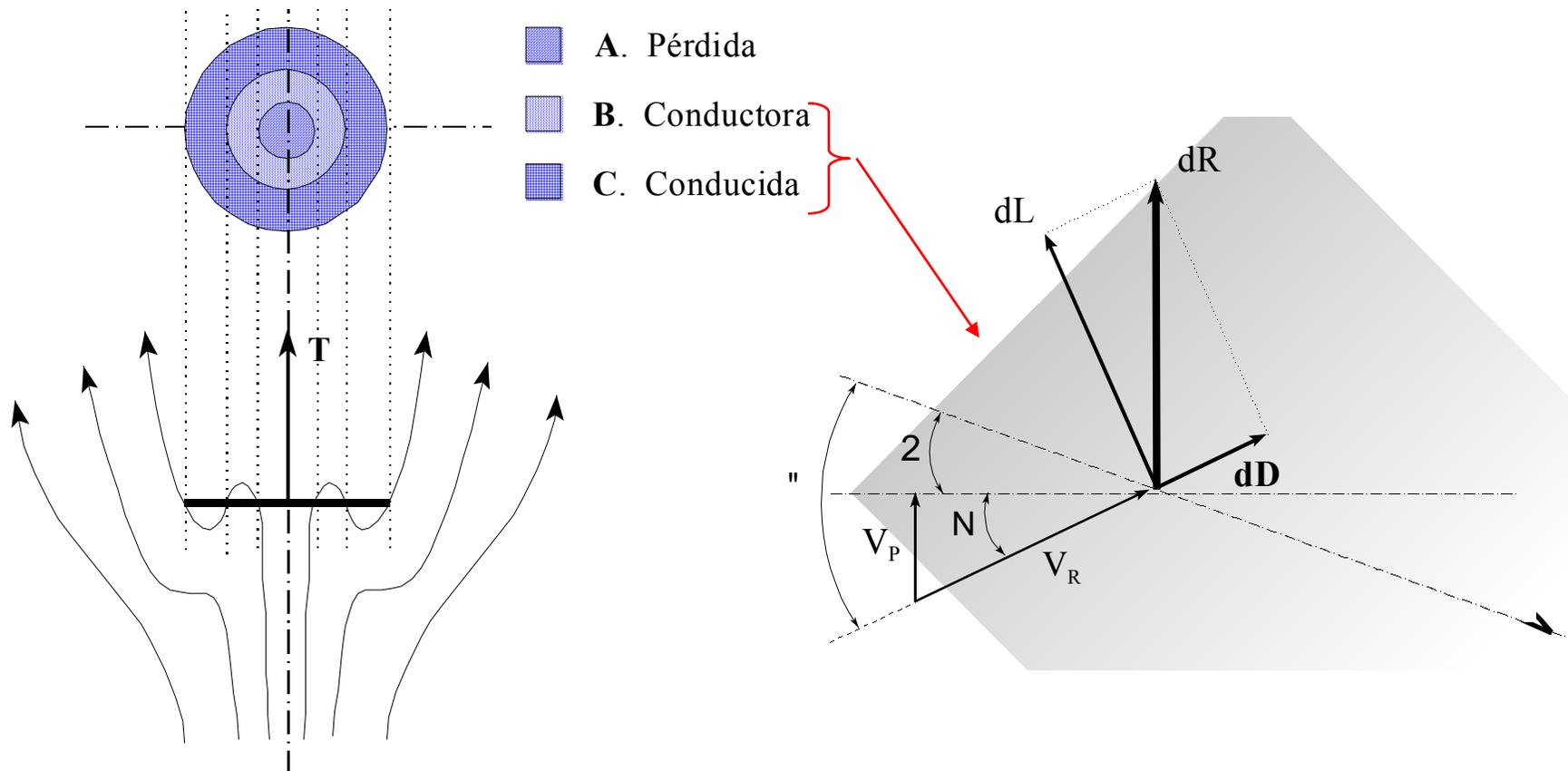
$$-1 < \overline{U}_P < 0 \quad y \quad -2 < \overline{V}_V < -1,7 \quad \overline{V}_V = -1.7 + 0.3\overline{U}_P$$

Régimen de molinete frenante

$$\frac{V_v + v_i}{v_{io}} \bullet \frac{v_i}{v_{io}} = -1 \quad \left\{ \begin{array}{l} -\overline{V}_V = \frac{1}{\overline{v}_i} + \overline{v}_i \\ \overline{U}_P = -\frac{1}{\overline{v}_i} \end{array} \right\} \quad \overline{V}_V = \overline{U}_P + \frac{1}{\overline{U}_P}$$

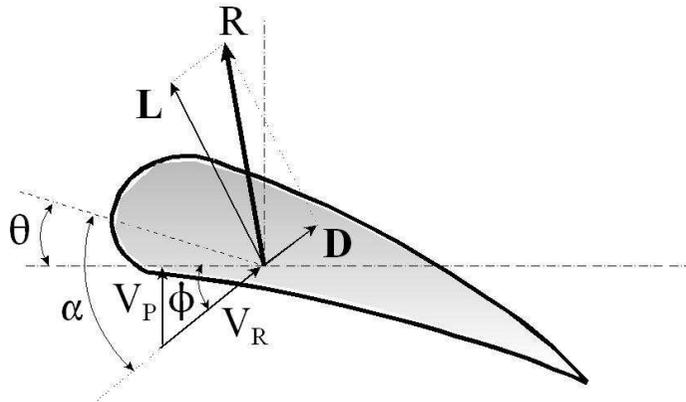


AUTORROTACIÓN

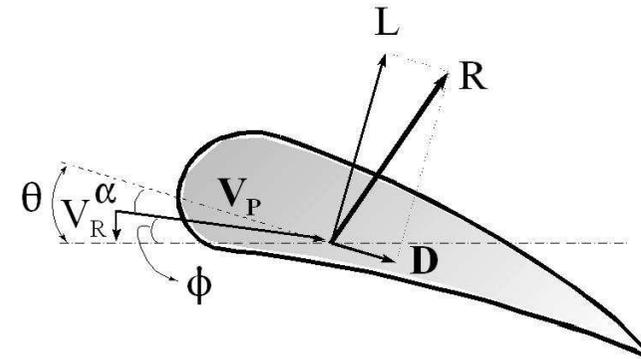




AUTORROTACIÓN



CONDUCTORA



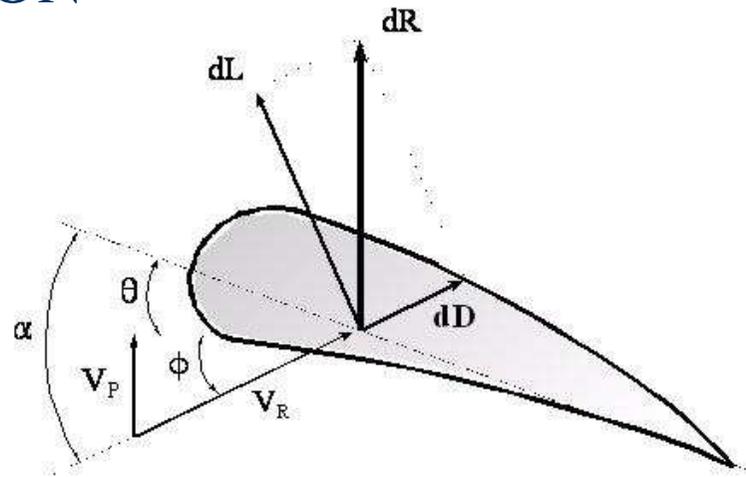
CONDUCTIDA

PAR ZONA CONDUCTORA = PAR ZONA CONDUCTIDA



AUTORROTACIÓN

estabilidad



$$dQ_a = dQ_i = r \sin \Phi dL$$
$$dQ_d = dQ_o = r \cos \Phi dD$$

$$dQ_a = dQ_d \quad y \quad \tan|\phi| = \frac{dD}{dL} = \frac{C_L}{C_D}$$