



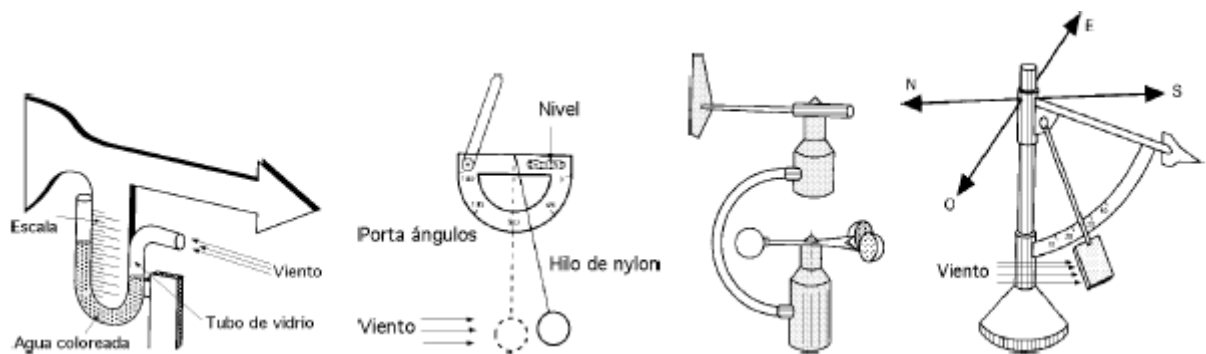
Universidad
de Oviedo
1608-2008

E.P.S. Ingeniería de Gijón
Ingenieros Industriales 3^{er} curso

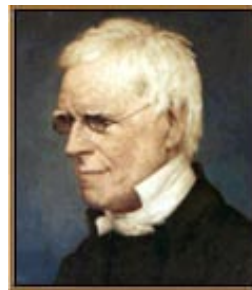
Curso 2007-2008

SEMINARIOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS

S7: ANEMÓMETRO



Francis Beaufort (1774 – 1857)



John T. R. Robinson (1792-1882)

Diseño, cálculo y construcción de un anemómetro de Robinson.

1. Introducción.
2. Anemómetro de Robinson.
3. Cálculos.
4. Construcción.

El seminario 7: “Anemómetro”, es una práctica de campo, que consiste en el diseño, cálculo y construcción de un anemómetro de Robinson.

Cada grupo de alumnos debe hacer a la hora de su “actuación”, del día 11 de enero de 2008 (en los soportales del edificio de Energía):

1. Presentar el prototipo de su anemómetro.
2. Entregar la memoria justificativa con:
 - 2.1. Planos del anemómetro y fotografía del prototipo.
 - 2.2. Cálculos¹:
 - 2.2.1. Deducción del polinomio: $av^2 + bv + c = 0$ Ec. [1]
 - 2.2.2. Valor de la constante de proporcionalidad “k”: $v = k\omega$ Ec. [2] y Ec. [3]
 - 2.3. Calibración²:
 - 2.3.1. Si se utiliza un medidor de pulsos magnéticos: valor del desarrollo utilizado.
 - 2.3.2. Si se utiliza un medidor por dinamo: valor de la resistencia de calibración.
3. Realizar la medición de la velocidad del viento en la zona de pruebas.

1. INTRODUCCIÓN.

Un anemómetro es un aparato destinado a medir la velocidad relativa del viento que incide sobre él. Si el anemómetro está fijo colocado en tierra, entonces medirá la velocidad del viento reinante, pero si está colocado en un objeto en movimiento, puede servir para apreciar la velocidad de movimiento relativo del objeto con respecto al viento en calma.

Para medir la velocidad relativa del viento es necesario utilizar algún proceso físico cuya magnitud varíe con respecto a la variación de esa velocidad. En la práctica entre otros se usan:

1. La velocidad de giro de un rotor sometido al viento.
2. La fuerza que se obtiene al enfrentar una superficie al viento.
3. La diferencia de temperatura entre dos filamentos calientes, uno sometido al viento y otro al aire en calma.
4. La presión dinámica producida en una superficie enfrentada al viento.
5. El Efecto Doppler (variación de frecuencia de una fuente para un observador en movimiento).

Dando lugar a los correspondientes anemómetros:

1. El anemómetro de rotación, está dotado de cazoletas (tipo Robinson³) unidas a un eje de giro vertical, o de una hélice con un eje horizontal. La velocidad de giro es proporcional a la velocidad del viento.
2. El anemómetro de empuje, tiene una esfera hueca (tipo Daloz) o una pala (Wild), cuya posición respecto a un punto de suspensión varía con la velocidad del viento.
3. El anemómetro de presión dinámica, se basa en el tubo de Pitot, y está formado por dos tubos, uno de ellos con un orificio frontal (en la dirección del viento), mide la presión total (dinámica + estática) y otro con un orificio lateral, que mide la presión estática.
4. El anemómetro de hilo caliente, detectan la velocidad del viento mediante pequeñas diferencias de temperatura entre un hilo enfrentado al viento y otro a sotavento.
5. El anemómetro de efecto Doppler, detectan el desfase del sonido (anemómetro de ultrasonidos) o de la luz coherente (anemómetro laser) reflejados por las moléculas de aire.

¹ Para más información ver el punto 3. CÁLCULOS, que aunque se han desarrollado para 3 cazoletas, son todavía más fáciles para 2 ó 4 cazoletas.

² Ver punto 4. CONSTRUCCIÓN.

³ **John T. R. Robinson** (1792-1882)

La velocidad del viento, medida en nudos o en km/h, marca el tipo de viento, utilizándose universalmente la escala BEAUFORT

F	DEFINICIÓN	NUDOS	Km / h	OBSERVACIONES EN LA MAR (M) Y EN LA TIERRA (T)
0	CALMA	< 1	< 1	M: La mar está como un espejo. T: El humo sube verticalmente.
1	VENTOLINA	1-3	1-5	M: Rizos sin espuma. T: La dirección del viento se define por la del humo, pero no por las veletas y banderas.
2	FLOJITO (Brisa muy débil)	4-6	6-11	M: Olas pequeñas que no llegan a romper. T: El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, veletas y banderas.
3	FLOJO (Brisa débil)	7-10	12-19	M: Olas algo mayores cuyas crestas comienzan a romper. Borreguillos dispersos. T: Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se despliegan las banderas.
4	BONANCIBLE (Brisa moderada)	11-16	20-28	M: Las olas se hacen más largas. Borreguillos numerosos. T: El viento levanta los árboles pequeños. En los estanques se forman olas pequeñas.
5	FRESQUITO (Brisa fresca)	17-21	29-38	M: Olas moderadas alargadas. Gran abundancia de borreguillos, eventualmente algunos rociones. T: Se mueven los árboles pequeños. En los estanques se forman olas pequeñas.
6	FRESCO (Brisa fuerte)	22-27	39-49	M: Se comienzan a formar olas grandes. Las crestas de espuma blanca se extienden por todas partes. Aumentan los rociones. T: Se mueven las ramas grandes de los árboles. Silban los hilos del telégrafo. Se utilizan con dificultad los paraguas.
7	FRESCACHON (Viento fuerte)	28-33	50-61	M: La mar engruesa. La espuma de las crestas empieza a ser arrastrada por el viento, formando nubecillas. T: Todos los árboles se mueven. Es difícil andar contra el viento.
8	TEMPORAL (Duro)	34-40	62-74	M: Olas de altura media y más alargadas. De las crestas se desprenden algunos rociones en forma de torbellinos, la espuma es arrastrada en nubes blancas. T: Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento.
9	TEMPORAL FUERTE (Muy duro)	41-47	75-88	M: Olas gruesas: la espuma es arrastrada en capas espesas. Las crestas de las olas comienzan a romper. Los rociones dificultan la visibilidad. T: Ocurren desperfectos en las partes salientes de los edificios, cayendo chimeneas y levantando tejados.
10	TEMPORAL DURO (Temporal)	48-55	89-102	M: Olas muy gruesas con crestas empenachadas. La espuma se aglomera en grandes bancos, siendo arrastrada por el viento en forma de espesas estelas blancas. En su conjunto la superficie del mar parece blanca. La visibilidad se reduce. T: Se observa rara vez. Arranca árboles y ocasiona daños de consideración en los edificios.
11	TEMPORAL MUY DURO (Borrasca)	56-63	103-117	M: Olas excepcionalmente grandes (los buques de pequeño y mediano tonelaje pueden perderse de vista). La mar está completamente cubierta de bancos de espuma blanca extendidas en la dirección del viento. Se reduce aún más la visibilidad. T: Observada muy rara vez. Ocasiona destrozos en todas partes.
12	TIEMPO HURACANADO (Huracán)	64-71	118-133	M: El aire está lleno de espuma y de rociones. La mar está completamente blanca debido a los bancos de espuma. La visibilidad es muy reducida. T: SIN COMENTARIOS.
13		72-80	134-149	Las nuevas tecnologías permiten cuantificar nuevas escalas (13 a 17) en las cuales deseamos que nadie se vea envuelto.
14		81-89	150-166	
15		90-99	167-183	
16		100-108	184-201	
17		109-118	202-220	

La velocidad del viento se suele expresar en km/h (en tierra) y en nudos (en la mar):

$$v \text{ (km/h)} = 3,6 \cdot v \text{ (m/s)}$$

$$v \text{ (m/s)} = v \text{ (km/h)} / 3,6$$

$$v \text{ (nudos)} = 1,9438 \cdot v \text{ (m/s)}$$

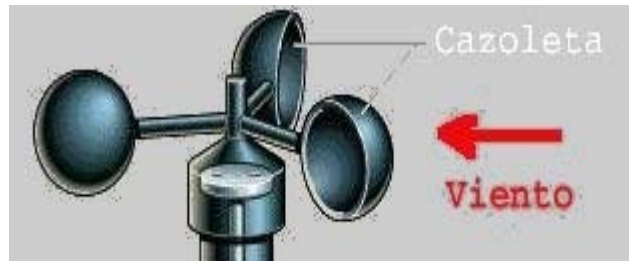
$$v \text{ (m/s)} = 0,5144 \cdot v \text{ (nudos)}$$

$$v \text{ (nudos)} = 1,852 \cdot v \text{ (km/h)}$$

$$v \text{ (km/h)} = v \text{ (nudos)} / 1,852$$

2. ANEMÓMETRO DE ROBINSON.

Son los más utilizados por su simplicidad y suficiente exactitud para la mayor parte de las necesidades de medición así como por la relativa facilidad de permitir la medición a distancia, destacando que no es necesario mecanismo alguno para orientarlo al viento y que su construcción puede ser robusta para soportar grandes velocidades del viento.

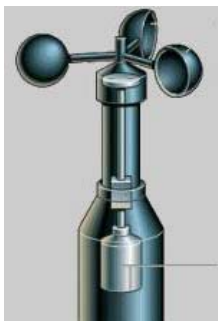


Debido a que la resistencia aerodinámica de la cazoleta es diferente entre la parte cóncava y convexa, el viento provoca un momento sobre el eje, que lo hace girar a una determinada velocidad angular, que es proporcional a la velocidad del viento. La medida de la velocidad de giro, se puede hacer por métodos mecánicos, eléctricos o magnéticos.



Uno de los métodos mecánicos, es la utilización de un dispositivo centrífugo tipo Watt, en donde la fuerza centrífuga, hace que se desplace hacia arriba el anillo marcador de la parte inferior del mecanismo, cuando la velocidad de la hélice crece, y a través de un resorte recuperador se produzca el efecto contrario cuando disminuye. Una escala apropiada marcada en el soporte central calibrada a velocidad de viento, servirá para indicarla en todo momento.

En los anemómetros eléctricos, el eje es el de un generador eléctrico de corriente continua (dinamo), cuyo voltaje generado es proporcional a la velocidad de rotación y con ello a la del viento. Este voltaje se mide en un voltímetro cuya escala ha sido calibrada a velocidad del viento.

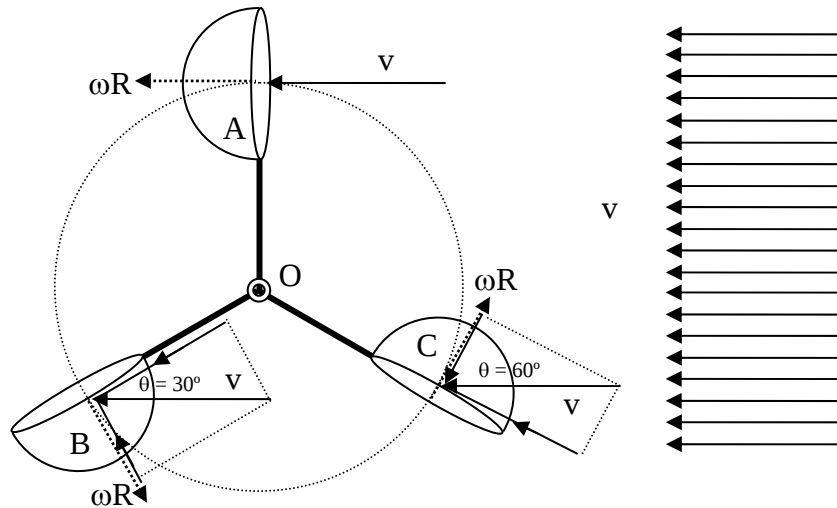


En los anemómetros magnéticos, los pulsos generados por un imán (solidario con el eje de giro) al pasar por una bobina, en un proceso de conteo, dan la velocidad de giro.

3. CÁLCULOS.

Vamos a presentar los cálculos para el caso de 3 cazoletas:

Nomenclatura: v = velocidad de viento
 ρ = densidad del aire ($= 1,2 \text{ kg/m}^3$)
 R = radio del centro de la cazoleta.
 ω = velocidad de giro del anemómetro
 A = área recta de la cazoleta (proyección plano perpendicular a la varilla)
 C_{Da} = coeficiente de arrastre de la cazoleta en la parte cóncava
 C_{Db} = coeficiente de arrastre de la cazoleta en la parte convexa
 M_R = par resistente del eje de giro.



$$\sum M_O = M_A - M_B - M_C - M_R$$

$$\sum M_O = C_{Da} \frac{1}{2} \rho (v - \omega R)^2 A \cdot R - C_{Db} \frac{1}{2} \rho (v \sin 30^\circ + \omega R)^2 A \cdot R - C_{Db} \frac{1}{2} \rho (v \cos 60^\circ + \omega R)^2 A \cdot R - M_R$$

$$\dots \quad \sum M_O = \frac{1}{2} \rho A R \left[v^2 \left(C_{Da} - \frac{1}{2} C_{Db} \right) - v (2\omega R (C_{Da} + C_{Db})) + \omega^2 R^2 (C_{Da} - 2C_{Db}) \right] - M_R$$

A velocidad de giro constante, hay equilibrio de momentos, y la suma es nula; obteniéndose el **polinomio** de 2º grado, que da la velocidad del viento en función de la velocidad de giro:

$$\boxed{v^2 \left(C_{Da} - \frac{1}{2} C_{Db} \right) - v [2\omega R (C_{Da} + C_{Db})] + \left[\omega^2 R^2 (C_{Da} - 2C_{Db}) - \frac{2M_R}{\rho A R} \right] = 0} \quad [1]$$

Considerando que el momento de rozamiento es despreciable, se tiene que la relación v vs ω es:

$$\boxed{v = \omega R \frac{2(C_{Da} + C_{Db}) \pm 3\sqrt{2} \sqrt{C_{Da} C_{Cb}}}{2C_{Da} - C_{Db}}} \quad [2]$$

Con lo que finalmente:

$$\boxed{v = k\omega} \quad [3]$$

Considere, como valores de los coeficientes de arrastre para las cazoletas:

$$\begin{aligned} C_{Da} &= 1,4 \\ C_{Db} &= 0,4 \end{aligned}$$

4. CONSTRUCCIÓN.

1. Diámetro de las cazoletas ≤ 50 mm

2. Número de cazoletas: 2, 3 ó 4; tipo semiesfera: a partir de una pelota de ping-pong, una bola de adorno de Navidad, un huevo Kinder,...

3. Medidor de velocidad de giro: pulsos magnéticos o dinamo.

3.1. Pulsos magnéticos: Como instrumento de medida se utiliza un cuenta-kilómetros digital de bicicleta, que convenientemente programado (valor del desarrollo o la longitud recorrida en una vuelta de la rueda), da la velocidad del viento en km/h.

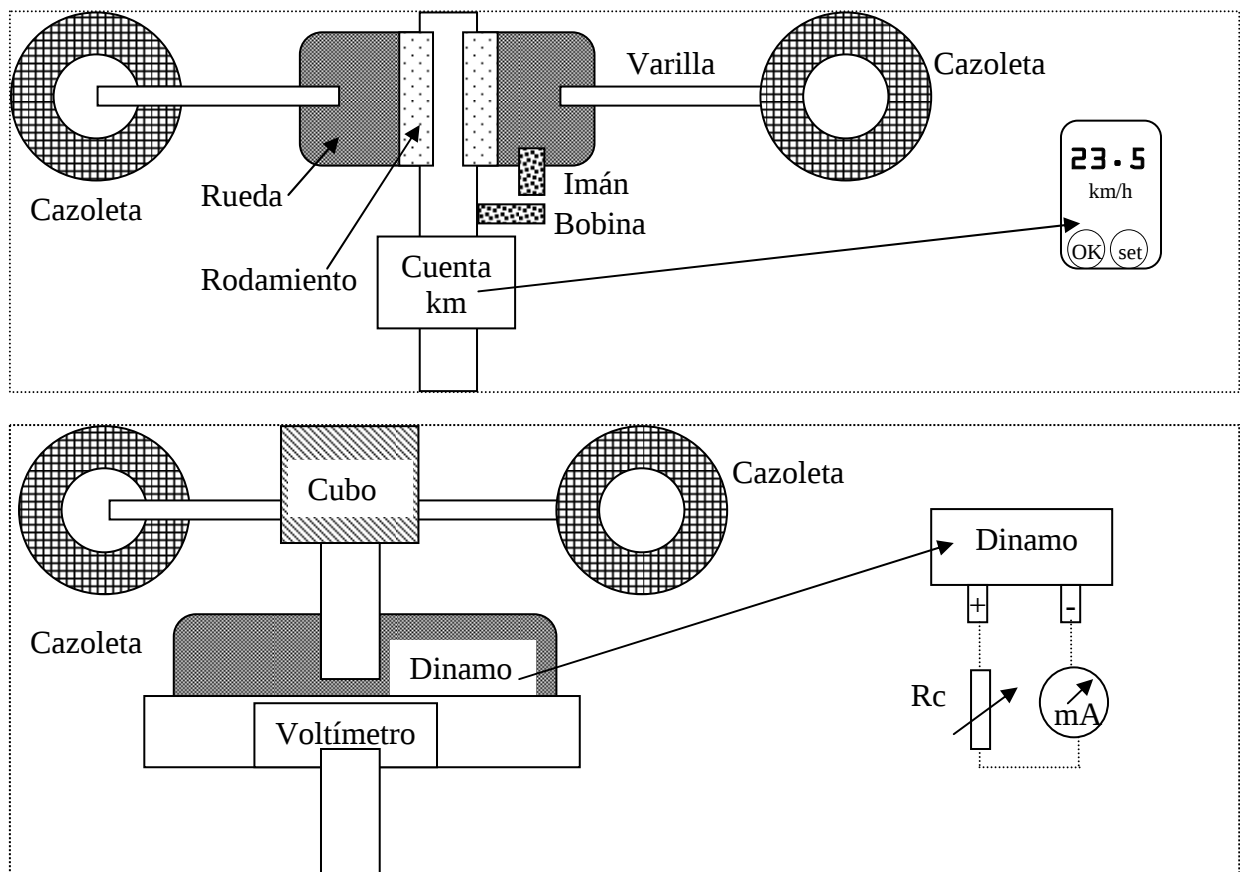
Para la construcción del rotor, se puede utilizar una rueda con rodamientos (tipo patines en línea), sobre el material de rodadura se sujetan las varillas (sobre las que a su vez se han unido las cazoletas). Se posiciona el imán en una de las varillas y en el eje vertical se localiza el sensor de paso del imán y el propio cuenta-kilómetros. En función de la longitud de la circunferencia descrita por el imán, se programa el cuenta-km con el **desarrollo** (ver instrucciones de cada cuenta-km) adecuado para que la velocidad marcada sea la del viento. Finalmente, se puede **calibrar**⁴ modificando el desarrollo programado, para que la indicación coincida con la de un anemómetro de calibración.

3.2. Dinamo: Como instrumento de medida se utiliza un voltímetro digital de bricolaje, que midiendo la intensidad a través de un potenciómetro, da la velocidad del viento en km/h.

Para la construcción se puede utilizar cualquier motor eléctrico de corriente continua de algún juguete, que se sujeta sobre una base y se le une un vástago inferior para su sujeción. Sobre el eje, se sitúa un cubo que alojara las varillas de las cazoletas. Los terminales del motor eléctrico se pasan por un potenciómetro y se cierra el circuito por el propio polímetro en posición de medida de intensidad. Se ajusta el potenciómetro (**resistencia de calibración**) para que la indicación de amperímetro (mA) sea directamente la correspondiente velocidad del viento en km/h, marcada por un anemómetro de calibración.

En función de las características del motor eléctrico: tensión nominal (V_N) y potencia nominal (W_N), el potenciómetro debe tener una resistencia algo mayor de V_N^2/W_N y soportar una potencia mayor que W_N .

BOCETOS BÁSICOS:



⁴ Para la calibración se dispondrá un anemómetro en los soportales del edificio de Energía, con indicación de la velocidad del viento.