

### 1.3-Velocidad.

#### Como se mide la velocidad y dirección del viento.

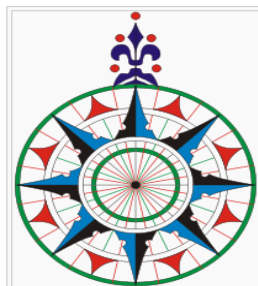
El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad. La dirección del viento y su valoración a lo largo del tiempo conducen a la ejecución de la llamada rosa de los vientos.

NOTA:

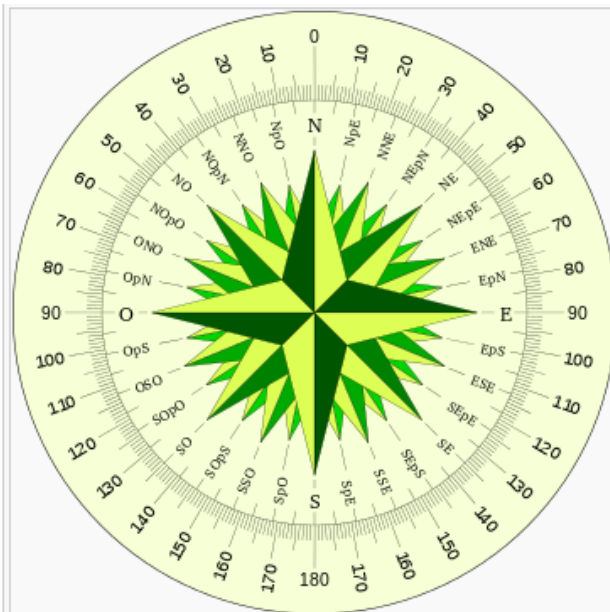
Una rosa de los vientos es un símbolo en forma de círculo que tiene marcados alrededor los rumbos en que se divide la circunferencia del horizonte. Su invención se atribuye a Raimundo Lulio, aunque la descripción pormenorizada que da Plinio el viejo en libro II1 podría haber sido su referencia básica.

En las cartas de navegación se representa por 32 rombos (deformados) unidos por un extremo mientras el otro señala el rumbo sobre el círculo del horizonte. Sobre el mismo se sitúa la flor de lis con la que suelen representar el Norte, que se documenta a partir del siglo XV.

También puede ser un diagrama que representa la intensidad media del viento en diferentes sectores en los que divide el círculo del horizonte.



Copia de la rosa de los vientos de la carta náutica de 1504, del navegante portugués Pedro Reinel. Es la primera rosa de los vientos conocida que representa claramente la flor de lis como símbolo del Norte. Esta práctica fue adoptada en otras cartas náuticas y ha sobrevivido hasta la actualidad.

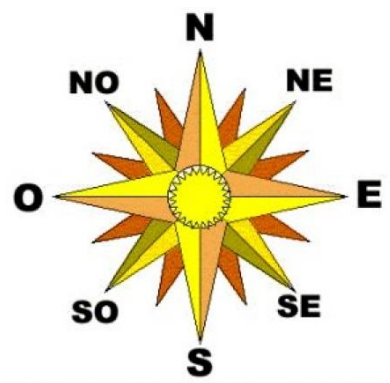
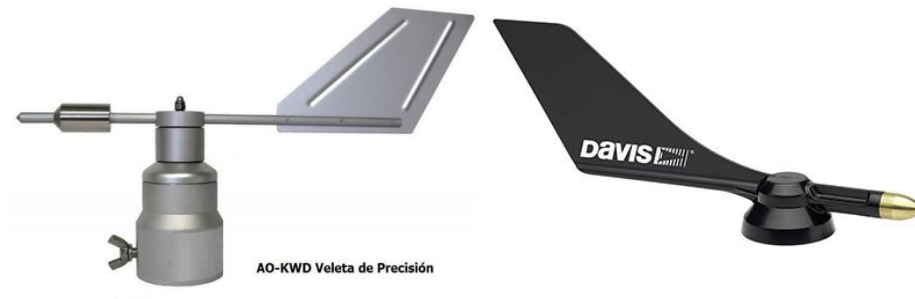


Un rumbo queda determinado por los puntos cardinales de la rosa de los vientos, cada uno de los cuales tiene establecido un valor numérico o ángulo en función de los siguientes criterios:

1. La dirección NORTE es el ángulo  $0^\circ$  o  $360^\circ$ .
2. En sentido horario, se forma un ángulo tomando de referencia N y que varía desde  $0^\circ$  hasta  $360^\circ$ .
3. En sentido horario, se forma un ángulo tomando de referencia N y que llega hasta S, varía desde  $0^\circ$  hasta  $180^\circ$ .
4. En sentido antihorario, se forma un ángulo tomando de referencia N y que llega hasta S, varía desde  $0^\circ$  hasta  $180^\circ$ .
5. En sentido horario, se divide la rosa de los vientos en 6400 partes, a este rumbo se le denomina indicación en mil angular o en **milesimas** de artillería partiendo de la referencia N como  $0^\circ$ . La división de la circunferencia en 6400 milésimas da lugar a que todos los puntos cardinales son un múltiplo exacto de esta unidad angular, ver la figura.

### VELETA

Es un dispositivo giratorio que consta de una placa que gira libremente, un señalador que indica la dirección del viento.



La velocidad media del viento varía entre 3 y 7 m/seg, según diversas situaciones meteorológicas; es elevada en las costas, más de 6 m/seg, así como en algunos valles más o menos estrechos.

En otras regiones es, en general, de 3 a 4 m/seg, siendo bastante más elevada en las montañas, dependiendo de la altitud y de la topografía.

La velocidad media del viento es más débil durante la noche, variando muy poco, aumenta a partir de la salida del Sol y alcanza un máximo entre las 12 y 16 horas solares. Para realizar la medida

de las velocidades del viento se utilizan los anemómetros; existen muy diversos tipos de estos aparatos, que en un principio se pueden clasificar en anemómetros de rotación y anemómetros de presión.

Del griego, anemos, viento; metron, medida, el anemómetro es un instrumento que mide la velocidad y la dirección del viento se mide con una veleta. Los anemómetros miden la velocidad instantánea del viento, pero las ráfagas (fluctuaciones habituales del viento) se producen con tal frecuencia que restan interés a dicha medición, por lo que se toma siempre un valor medio en intervalos de 10 minutos.

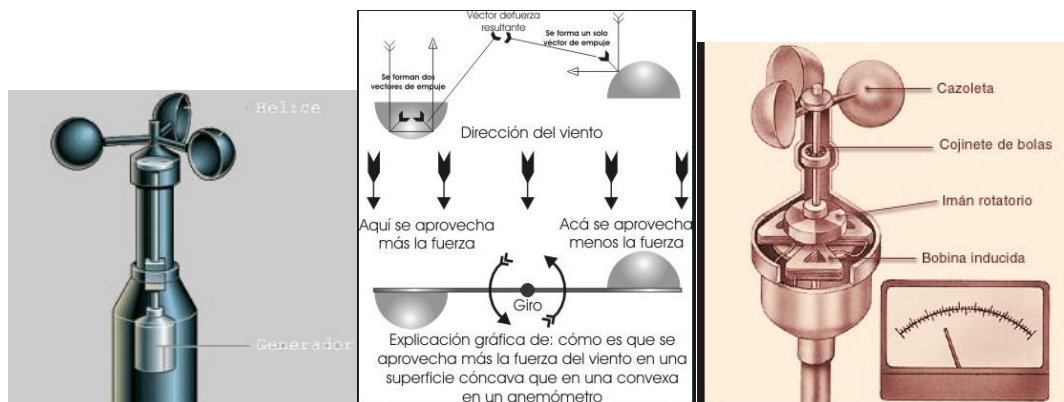
## ANEMÓMETRO DE ROTACIÓN

Las mediciones de las velocidades del viento se realizan normalmente usando un anemómetro de cazoletas, similar al del dibujo de la izquierda. El anemómetro de cazoletas tiene un eje vertical y tres cazoletas que capturan el viento. El número de revoluciones por segundo son registradas electrónicamente.

Normalmente, el anemómetro está provisto de una veleta para detectar la dirección del viento. En lugar de cazoletas el anemómetro puede estar equipado con hélices, aunque no es lo habitual. Otros tipos de anemómetros incluyen ultrasonidos o anemómetros provistos de láser que detectan el desfase del sonido o la luz coherente reflejada por las moléculas de aire. Los anemómetros de hilo electrocalentado detectan la velocidad del viento mediante pequeñas diferencias de temperatura entre los cables situados en el viento y en la sombra del viento (cara a sotavento). La ventaja de los anemómetros no mecánicos es que son menos sensibles a la formación de hielo. Sin embargo en la práctica los anemómetros de cazoletas son ampliamente utilizados, y modelos especiales con ejes y cazoletas eléctricamente calentados pueden ser usados en las zonas árticas.

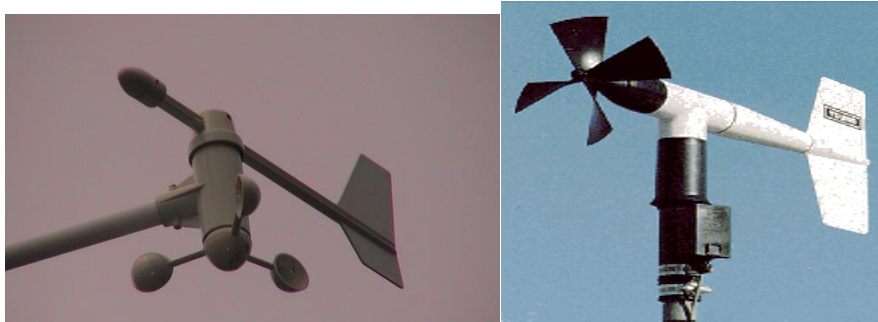
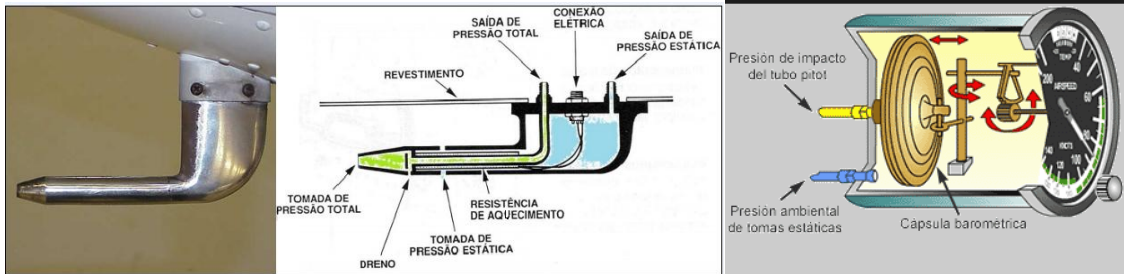
### Existe gran diversidad de anemómetros.

El anemómetro de rotación está dotado de cazoletas (Robinson) o hélices unidas a un eje central cuyo giro, proporcional a la velocidad del viento, es registrado convenientemente; en los anemómetros magnéticos, dicho giro activa un diminuto generador eléctrico que facilita una medida precisa.



## ANEMÓMETRO DE PRESIÓN

El anemómetro de compresión se basa en el tubo de Pitot (un tubo con forma de L, con un extremo abierto hacia la corriente de aire y el otro conectado a un dispositivo medidor de presión), y está formado por dos pequeños tubos, uno de ellos con orificio frontal (que mide la presión dinámica) y lateral (que mide la presión estática), y el otro sólo con un orificio lateral. La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.



Sensor de viento ~ Anemómetro y veleta

## OTROS TIPOS DE ANEMÓMETRO

Sensor de resonancia acústica



Características

- Desarrollado para aplicaciones de control de turbinas
- Tecnología de Resonancia Acústica patentada
- Diseño robusto sin partes móviles
- Detección combinada de la velocidad y la dirección
- Diseño duradero y robusto
- Calefactor de alta potencia para zonas con tendencia a la formación de hielo
- Adecuado para la instalación en tierra y mar
- Montaje sencillo en la turbina
- Interfaz RS485 y 4-20mA opcional
- Diseño y fabricación según ISO9001

Esta tecnología demostrada y premiada utiliza una señal acústica (ultrasónica) que resuena en el interior de una pequeña cavidad para medir la velocidad y la dirección eólica. Entre las ventajas de la Resonancia Acústica destaca lo siguiente:

El efecto de resonancia potencia la relación señal a ruido

- Compensación inherente frente a fluctuaciones de la temperatura atmosférica, la presión y la humedad
- Respuesta lineal frente a la velocidad
- El espaciado del transductor cerrado se traduce en configuraciones de sensor muy compactas y robustas
- La construcción monolítica se traduce en una precisión mejorada

### **Diseñado para aplicaciones de aerogeneradores**

La precisión es de vital importancia en cuanto a la medición de la dirección del viento incidente en la turbina para obtener unos resultados óptimos de producción. El FT702LT proporciona una información de alta precisión para el control de viraje de la turbina (dirección del viento) y la puesta en marcha o parada (velocidad del viento) de la turbina. Sin partes móviles degradables ni partes que sufran desgaste, el FT702LT ayuda a reducir las costosas inspecciones de mantenimiento imprevistas y reduce el tiempo de inactividad de la turbina.

### **Especificaciones técnicas**

#### **CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR**

PRINCIPIO DE MEDICIÓN Resonancia Acústica (compensada frente a variaciones de temperatura, presión y humedad)

#### **MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO**

RANGO: 50m/s

PRECISIÓN: 0,5m/s (0-15m/s),  $\pm$ 4% (>15m/s)

RESOLUCIÓN: 0,1m/s

### **MEDICIÓN DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO**

RANGO: 0 a 360 grados

DATOS: E/S RS485 OPCIONAL

INTERFAZ Digital RS485, aislada galvánicamente de las líneas de alimentación y la carcasa

FORMATO DATOS ASCII, sondeados o modos de salida continua

TASA DE ACTUALIZACIÓN DE DATOS 5 mediciones por segundo

4-20mA OPCIONAL

TIPO DE INTERFAZ 4-20mA, aislada galvánicamente de las líneas de alimentación y carcasa

FORMATO 4-20mA bucle de corriente para la velocidad eólica (véase Información de pedido para los factores de escalamiento disponibles)

4-20mA bucle de corriente para la dirección eólica (4-20mA = de 0 a 360°)

TASA DE ACTUALIZACIÓN DE MEDICIÓN 5 por segundo

PUERTO DE CONFIGURACIÓN RS485 semidúplex, no aislado, relativo a la conexión a tierra

### **REQUISITOS DE ALIMENTACIÓN**

TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN De 20V a 30V CC

CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN (CALEFACTOR OFF) 25mA

CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN (CALEFACTOR ON) 4A (máx) – el calefactor está controlado termostáticamente. La corriente del calefactor dependerá de las condiciones medioambientales dominantes. La potencia del calefactor está limitada a 99W (máx).

### **PERFILES DE VIENTO**

Climas locales del viento se ven influidos por la orografía y la rugosidad del terreno. Por lo general, la velocidad del viento aumenta con la altura sobre el suelo. La fórmula de HELLMANN describe el perfil vertical del viento para terreno plano.

Se utiliza para extrapolar la velocidad del viento medida desde el mástil a la altura del buje de un aerogenerador. A fin de lograr fiable información que se recomienda medir al menos en 3 o 4 niveles y para medir el más cercano posible al cubo de altura.

### **SELECCIÓN DE SENSORES**

La salida de potencia eléctrica de una turbina eólica se puede describir por la siguiente fórmula:

$$P_{el} = \rho / 2 * v^3 * c_p * S$$

$P_{el}$  = salida de energía eléctrica de la turbina eólica

$\rho$  = densidad del aire, depende de la temperatura y presión atmosférica

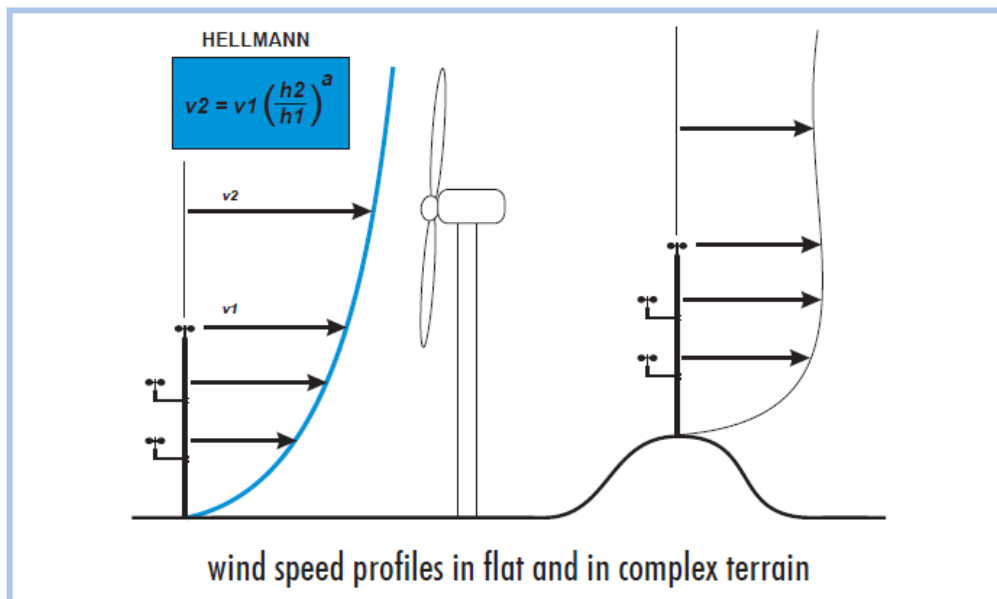
$v$  = velocidad del viento

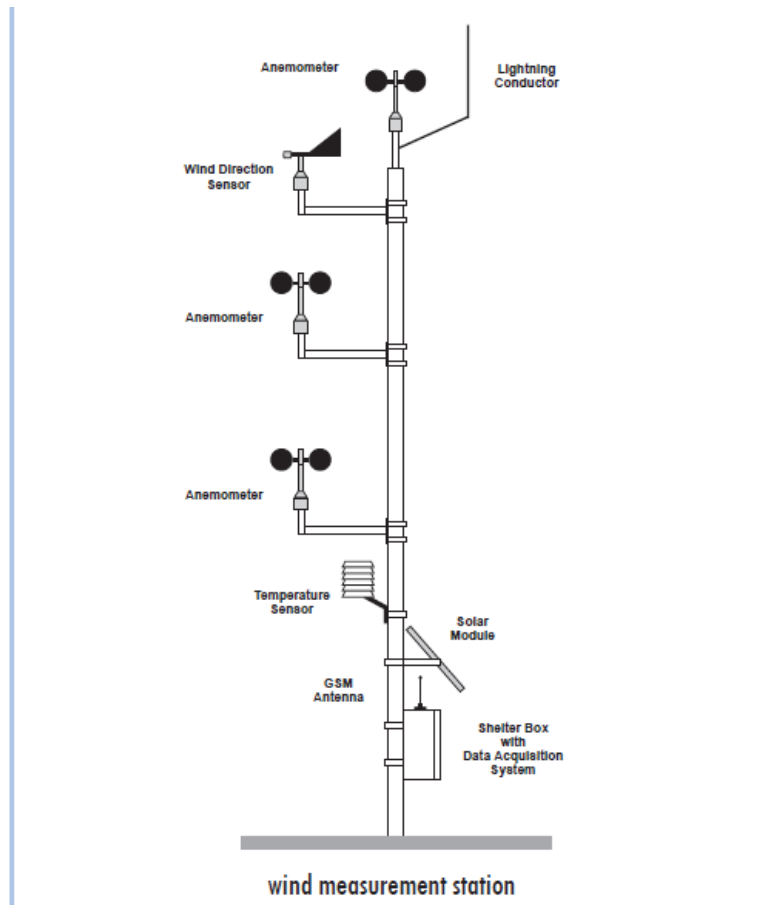
coeficiente  $c_p$  = potencia,  $f(v)$

$S$  = área barrida por el rotor

$$P_{el} = \rho/2 * v^3 * c_p * S$$

- $P_{el}$  = electrical power output of the wind turbine
- $\rho$  = air density, depends on temperature and barometric pressure
- $v$  = wind speed
- $c_p$  = power coefficient,  $f(v)$
- $S$  = swept rotor area

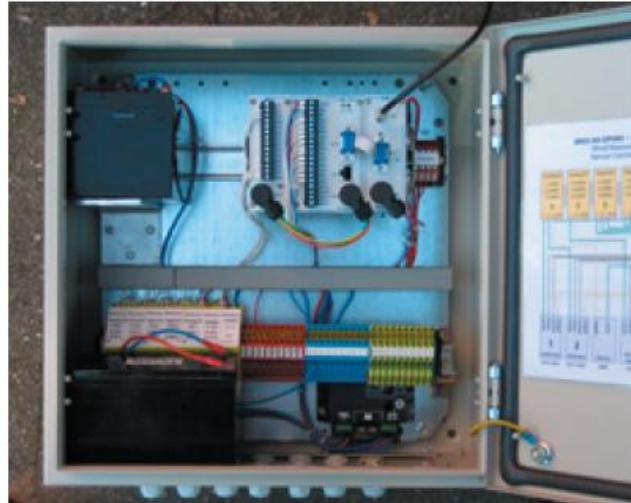




### Data Logger y Transmisión de Datos

El "corazón" de un sistema de medición de viento son los datos registrador. Registra las señales de todos los sensores y datos medidos con series de tiempo. Un módem GSM permite transmisión a distancia de datos medidos. La medición del sistema se suministra por un módulo solar con la copia de seguridad de la batería. Un registrador de datos se encuentra dentro de caja de acero. También se puede utilizar unidades de memoria extraíble como una memoria SD.





shelter box with data logger, GSM modem and solar power supply

### **Distribución de Weibull, descripción de las variaciones del viento**

#### **Modelo general de las variaciones en la velocidad del viento**

Para la industria eólica es muy importante ser capaz de describir la variación de las velocidades del viento. Los proyectistas de turbinas necesitan la información para optimizar el diseño de sus aerogeneradores, así como para minimizar los costes de generación. Los inversores necesitan la información para estimar sus ingresos por producción de electricidad.

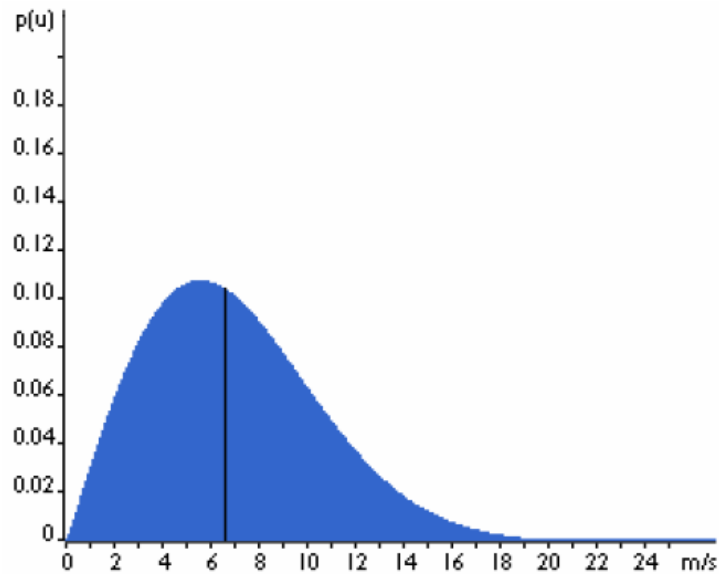
Si mide las velocidades del viento a lo largo de un año observará que en la mayoría de áreas los fuertes vendavales son raros, mientras que los vientos frescos y moderados son bastante comunes. La variación del viento en un emplazamiento típico suele describirse utilizando la llamada Distribución de Weibull, como la mostrada en el dibujo.

Este emplazamiento particular tiene una velocidad media del viento de 7 metros por segundo, y la forma de la curva está determinada por un parámetro de forma de 2.

#### **Descripción estadística de las velocidades del viento**

La gente que esté familiarizada con la estadística se dará cuenta de que el gráfico muestra una distribución de probabilidad. El área bajo la curva siempre vale exactamente 1, ya que la probabilidad de que el viento sople a cualquiera de las velocidades, incluyendo el cero, debe ser del 100 por cien.

La mitad del área azul está a la izquierda de la línea negra vertical a 6,6 metros por segundo. Los 6,6 m/s son la mediana de la distribución. Esto significa que la mitad del tiempo el viento soplará a menos de 6,6 m/s y la otra mitad soplará a más de 6,6 m/s.

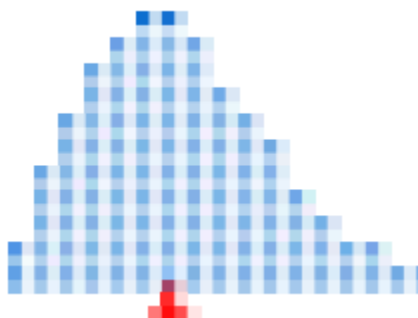


Puede preguntarse porqué decimos entonces que la velocidad del viento media es de 7 m/s. La velocidad del viento media es realmente el promedio de las observaciones de la velocidad del viento que tendremos en ese emplazamiento.

Como podrá observar, la distribución de las velocidades del viento es sesgada, es decir, no es simétrica. A veces tendrá velocidades de viento muy altas, pero son muy raras. Por otro lado, las velocidades del viento de 5,5 m/s son las más comunes. Los 5,5 metros por segundo es el llamado valor modal de la distribución. Si multiplicamos cada diminuto intervalo de la velocidad del viento por la probabilidad de tener esa velocidad particular, y los sumamos todos, obtenemos la velocidad del viento media. La distribución estadística de las velocidades del viento varía de un lugar a otro del globo, dependiendo de las condiciones climáticas locales, del paisaje y de su superficie. Por lo tanto, la Distribución de Weibull puede variar tanto en la forma como en el valor medio.

Si el parámetro de forma es exactamente 2, como en el gráfico de esta página, la distribución es conocida como distribución de Rayleigh. Los fabricantes de aerogeneradores proporcionan gráficas de rendimiento para sus máquinas usando la distribución de Raileigh.

Equilibrado de la distribución de Weibull



Otra forma de obtener la velocidad media del viento es equilibrando el montón de bloques hacia la derecha, que representa exactamente lo mismo que el gráfico de arriba. Cada bloque representa la probabilidad de que el viento sople a esa velocidad durante un 1 por ciento del tiempo durante un año: Las velocidades de 1 m/s están en el montón de más a la izquierda, mientras que las de 17

m/s están en el de más a la derecha. El punto en el que todo el montón se equilibrará exactamente será en el séptimo montón, con lo que la velocidad media del viento será de 7 m/s.

### CIRCUITO ELECTRÓNICO ANEMÓMETRO PROPUESTO

En la Figura se muestra el diagrama general de bloques del sistema diseñado para medir la velocidad del viento. En él se pueden distinguir los siguientes elementos: el sensor o anemómetro de rotación, la base de tiempos, el circuito de control y la unidad de cuenta, registro y visualización. Como se puede observar, se trata del esquema correspondiente a un frecuencímetro digital, donde el contador realiza la cuenta de los ciclos de la señal proporcionada por el anemómetro durante un tiempo establecido por la base de tiempos.

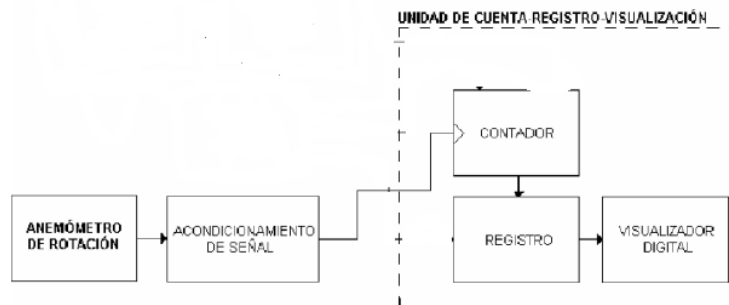


Diagrama general a bloques

### ANEMÓMETRO DE ROTACIÓN

El anemómetro de rotación, está formado por varias cazoletas o hélices unidas a un disco cuyo giro es proporcional a la velocidad del viento. El disco alterna tres zonas blancas y tres negras, uniformemente distribuidas sobre su superficie. A escasa distancia del mismo, un opto acoplador diferenciará dichas zonas produciendo tres pulsos eléctricos o ciclos por cada vuelta o giro del disco. La Ec. 1 muestra, para un disco de radio  $r$ , la relación que existe entre la velocidad del viento, expresada en Km/h, y su frecuencia de giro ( $f_{giro}$ ).

$$V(\text{Km/h}) = W r = 2\pi \cdot \frac{36}{10} f_{giro}$$

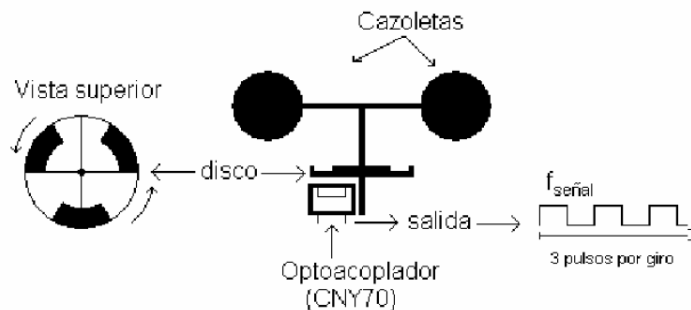


Figura de sensor propuesto.

Teniendo en cuenta que la frecuencia de la señal producida por el anemómetro,  $f_{señal}$ , es tres veces más rápida que la frecuencia de giro del disco, la velocidad del viento se puede expresar en función de la frecuencia de la señal generada por el sensor como:

$$V(\text{Km/h}) = \frac{2\pi r}{3} \frac{36}{10} f_{\text{giro}}$$

### SISTEMA DE MEDIDA

Como se indicó con anterioridad, para determinar la velocidad del viento basta con determinar fseñal. La frecuencia de la señal se puede medir haciendo uso de un contador digital universal configurado de manera que actúe como un frecuencímetro digital . Es decir, si con un contador de impulsos se cuenta el número N de ciclos de la señal proporcionada por el anemómetro durante un tiempo de puerta t, la frecuencia de la señal se podrá expresar como:

$$f_{\text{señal}} = \frac{N}{t}$$

Sustituyendo en la Ec. 2 la expresión obtenida para fseñal, la velocidad del viento en función del número de ciclos se puede expresar como:

$$V(\text{Km/h}) = \frac{2\pi r}{3} \frac{36}{10} \frac{N}{t}$$

### OTRA FORMA

Es omitir el disco rotulado o ranurado y el opto acoplador es por un por un reed switch fijo y el móvil sería un imán de neodimio (pequeño). Otra fórmula de obtener las rpm, es medir el radio del eje y la frecuencia se obtendría con la fórmula clásica de la frecuencia.

Se pueden utilizar varias técnicas para obtener la rpm