

## ESTUDIO DE LA RESPUESTA DE UN ANEMOMETRO EN FUNCION DEL RITMO DE MEDIDA

J. L. Casanova y R. Vitoria.

### Introducción

En épocas pretéritas era corriente el uso de la «banda del anemo» para conocer la velocidad del viento e incluso, en los anemocinemógrafos, su recorrido. La señal registrada era una señal analógica que se pasaba a valores numéricos mediante la correspondiente escala y, en base a algunos cálculos, sencillos se obtenían los valores medios a lo largo de ciertos intervalos de tiempo.

En la actualidad, con el rápido desarrollo de la informática es cada vez más frecuente que los instrumentos meteorológicos vayan unidos a sistemas de toma de datos, que constan básicamente de un convertidor analógico-digital que digitaliza la señal del sensor, y de un microprocesador que la recibe y que puede elaborar con ella cálculos sencillos, o incluso incorporarla a la CPU de cualquier ordenador, con todas las posibilidades de cálculo que ello conlleva.

Este sistema de toma y tratamiento de datos puede actuar casi tan rápidamente como se desee, es decir, puede tener un elevado ritmo de muestreo, y tomar valores en intervalos de tiempo  $\Delta t$  inferiores incluso al segundo, lo que representa una cantidad enorme de números. Obviamente hay una primera complicación, que consiste en la limitada capacidad de almacenamiento de datos de los equipos. Sin embargo, la memoria de éstos es uno de los elementos que más rápido desarrollo ha experimentado y en la actualidad cualquier dispositivo, por muy elemental que sea, es capaz de almacenar miles de números en su memoria.

Por otra parte, cabe preguntarse si un elevado ritmo de muestreo no alterará el resultado final, ya que cualquier instrumento de medida tiene un tiempo de respuesta que, en los instrumentos meteorológicos convencionales, puede ser de varios segundos. El propósito de este artículo ha sido precisamente el análisis del valor medio, la desviación típica y los momentos tercero y cuarto de un anemómetro para diferentes ritmos de muestreo y para diferentes velocidades.

### Desarrollo

El comportamiento dinámico de un anemómetro se conoce a partir de las ecuaciones de su movimiento bajo la acción del viento. Con bastante aproximación, se tiene (*Jeliner, 1876, Mac-Credy and Jex, 1964*) que:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{u(\delta u - n)}{d} \quad [1]$$

donde  $n$  es el número de revoluciones por segundo,  $t$  el tiempo,  $u$  la velocidad del viento,  $d$  la Constante de distancia del instrumento y  $\delta$  el factor de calibración ( $n = \delta \cdot u$  en el equilibrio). Si el viento pasa instantáneamente, en  $t = 0$ , de un valor nulo a un valor  $u$ , la solución de (1) para  $t \geq 0$  es: (*Monna y Driedonks, 1978*).

$$n = \delta u (1 - e^{-ut/d}) \quad [2]$$

que también puede expresarse como:

$$n = \delta u (1 - e^{-t/T}) \quad [3]$$

siendo  $T = d/u$  la *Constante de tiempo*, que es función de la velocidad.  $T$  representa el tiempo necesario para que  $n$  alcance el 63,12 por ciento de su valor final. La ecuación (3) tiene la forma de la figura (1) y está claro que sólo se tendrá un va-

Dpto. Física Aplicada I.  
Universidad de Valladolid.

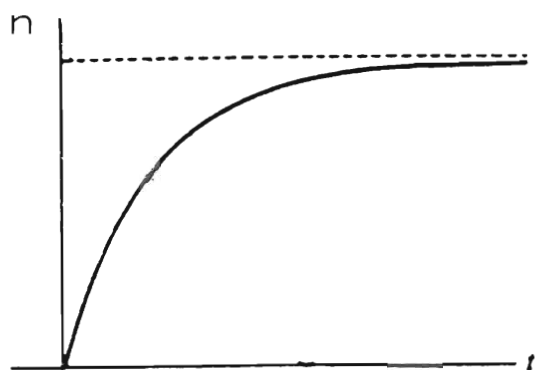


Figura 1.—Evolución de la respuesta de un anemómetro ante un impulso escalón.

lor exacto de la velocidad del viento cuando  $n$  alcance su valor máximo.

Sin embargo, en la atmósfera libre las cosas no son tan sencillas. En ella se superponen al régimen general de vientos, múltiples remolinos de dimensiones muy variadas, y ello hace que la figura (1) no se parezca en nada al registro característico de un anemógrafo. Por ello no parece que los conceptos de constante de tiempo o constante de distancia puedan ser aplicadas, sin más, a una situación con viento real.

Para analizar la influencia del ritmo de muestreo analizamos los resultados obtenidos de un anemómetro MRI modelo 1074-2 que tiene una constante de distancia  $d = 5,28$  m. Este es uno de los anemómetros instalados en la torre meteorológica del CIBA (Centro de Investigaciones de la Baja Atmósfera en la Mudarra), y durante la experiencia fue el único que se mantuvo unido a la Central de Toma de Datos, constituida por un convertidor AD Analogic y un ordenador NOVA-IV. De esta forma se conseguía un ritmo de toma de muestras de 1 segundo.

Obviamente, para que los resultados obtenidos fueran comparables, debían corresponder a una misma muestra. Lo que se hizo entonces fue realizar series de 2.000 datos, tomadas con un intervalo  $\Delta t$  de un segundo, es decir, con una duración total de 33 m 19 s. Sobre esta serie se obtuvieron la media, la desviación típica y el tercer y cuarto momentos:

$$X_m = \frac{\sum X_i}{N}$$

$$M3 = \frac{\sum |X_m - X_i|^3}{N}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum |X_m - X_i|^2}{N} \quad [4]$$

$$M4 = \frac{\sum |X_m - X_i|^4}{N}$$

Después, sobre la misma serie de datos, se tomaron puntos con intervalos  $\Delta t = 2$  segundos, es decir, se extrajo una subserie de 1.000 puntos. Esto es lo que se hubiese obtenido si, el mismo viento se hubiese muestreado a ese ritmo de 2 s, y se calcularon los mismos parámetros estadísticos. El proceso se repitió para intervalos de muestreo de 5 s, 100 s y 200 s, quedando las sucesivas subseries reducidas a 400, 200, 100, 40, 20 y 10 puntos respectivamente.

Los resultados obtenidos para diferentes velocidades de viento, aparecen en las tablas 1-8, junto con la constante de tiempo para cada caso. Hay que señalar que en estas tablas se presentan datos con dos decimales, aun cuando la precisión del aparato alcanza solamente a la primera cifra decimal. Esto lo hemos hecho porque en el CIBA se almacenan los datos con los decimales, ya que aunque el segundo no es exacto, por lo menos puede indicar la tendencia del aparato. Es en ese mismo sentido en el que hemos presentado resultados con dos decimales.

Por último debemos indicar que ésta es sólo una pequeña muestra de las casi doscientas series que se obtuvieron, y en todas ellas el resultado fue similar, aun cuando correspondían tanto al día como a la noche y a todo tipo de condiciones de estabilidad.

$\Delta t$	$\bar{X}$	$\sigma$	$M3^{1/3}$	$M4^{1/4}$
1	0,35	0,50	0,56	0,63
2	0,35	0,50	0,56	0,63
5	0,35	0,50	0,56	0,63
10	0,34	0,50	0,55	0,62
20	0,34	0,50	0,55	0,62
50	0,32	0,46	0,50	0,52
100	0,30	0,45	0,49	0,52
200	0,39	0,47	0,49	0,52
				0,50

$T = 15,1$  s  
Tabla 1

$\Delta t$	$\bar{X}$	$\sigma$	$M^{1/3}$	$M^{1/4}$
1	1,42	0,67	0,75	0,85
2	1,42	0,67	0,76	0,85
5	1,43	0,66	0,75	0,84
10	1,41	0,65	0,73	0,82
20	1,44	0,64	0,72	0,81
50	1,40	0,63	0,70	0,78
100	1,49	0,60	0,67	0,75
200	1,39	0,50	0,52	0,53

T = 3,7 s.  
Tabla 2.

$\Delta t$	$\bar{X}$	$\sigma$	$M^{3/3}$	$M^{4/4}$
1	2,25	1,04	1,20	1,34
2	2,25	1,04	1,20	1,34
5	2,24	1,04	1,20	1,33
10	2,24	1,03	1,20	1,33
20	2,25	1,04	1,21	1,36
50	2,27	1,01	1,14	1,25
100	2,20	1,09	1,24	1,35
200	2,19	1,00	1,10	1,18

T = 2,3 s.  
Tabla 3.

t	$\bar{X}$	$\sigma$	$M^{3/3}$	$M^{4/4}$
1	2,91	0,89	1,02	1,13
2	2,91	0,89	1,02	1,13
5	2,92	0,89	1,03	1,14
10	2,93	0,89	1,03	1,14
20	2,89	0,92	1,05	1,17
50	2,80	0,99	1,14	1,27
100	2,64	0,98	1,14	1,28
200	2,49	0,95	1,07	1,16

T = 1,8 s.  
Tabla 4.

t	$\bar{X}$	$\sigma$	$M^{3/3}$	$M^{4/4}$
1	3,63	0,77	0,87	0,96
2	3,63	0,77	0,87	0,97
5	3,62	0,77	0,87	0,98
10	3,60	0,78	0,89	1,01
20	3,60	0,81	0,94	1,08
50	3,62	0,90	1,06	1,23
100	3,60	0,99	1,19	1,39
200	3,59	1,15	1,39	1,59

T = 1,5 s.  
Tabla 5.

$\bar{X}$	$\sigma$	$M^{3/3}$	$M^{4/4}$
6,56	0,59	0,71	0,95
6,56	0,60	0,76	1,07
6,55	0,64	0,90	1,31
6,53	0,71	1,06	1,53
6,51	0,80	1,27	1,80
6,37	1,01	1,63	2,20
6,14	1,31	1,97	2,51
5,89	1,74	2,37	2,84

T = 0,80  
Tabla 6.

$\bar{X}$	$\sigma$	$M^{3/3}$	$M^{4/4}$
8,08	0,73	0,90	1,19
8,08	0,75	0,97	1,35
8,06	0,79	1,14	1,65
8,05	0,86	1,34	1,94
8,00	1,00	1,62	2,28
7,82	1,32	2,09	2,78
7,64	1,74	2,56	2,23
7,29	2,24	3,03	3,63

T = 0,65  
Tabla 7.

$\bar{X}$	$\sigma$	$M^{3/3}$	$M^{4/4}$
7,28	0,59	0,76	1,05
7,28	0,61	0,83	1,20
7,26	0,66	0,99	1,47
7,27	0,73	1,18	1,73
7,23	0,88	1,44	2,03
7,02	1,13	1,84	2,46
6,74	1,48	2,20	2,79
6,39	1,90	2,60	3,12

T = 0,13  
Tabla 8.

Valor de los cuatro primeros momentos de la velocidad para diferentes tiempos de muestreo y diferentes constantes de tiempo.

### Conclusiones

Como puede verse, los resultados obtenidos muestran una alta estabilidad en las medidas, es decir, una independencia clara del tiempo de muestreo, y únicamente cuando éste es de 100 ó 200 s, hay unas ciertas discrepancias. En gene-

ral, puede decirse que éstas sólo aparecían cuando  $\Delta t \leq T$ , es evidente que los resultados que se obtienen son completamente estables, pero aun cuando  $\Delta t$  sea diez o incluso veinte veces superior a  $T$ , la validez de la medida está garantizada.

### **Bibliografía**

- JELINER, C. (1876): "Veber die theorie des schalen-anemometers und die bestimmung seiner constanten". 2. Oesterr. Ges. Meteor. 11, 259-260, 273-282.
- MAC CREADY, P. B., y JEX, H. R. (1964): "Response characteristics and meteorological utilization of propeller and vane wind sensors". J. Appl. Meteor., 3, 182-193.
- MONNA, W. A. y DRIEDONKS, A. G. (1979): "Experimental data on the dynamic properties of several propeller vanes". J. Appl. Meteor. 18, 699-702.