Hojas técnicas

Ventiladores: Las vibraciones

1. Oscilaciones

Si se experimenta alguna vez con una masa colgada de un muelle o una goma elástica, según la fig.1, y llevamos "m" a la posición A y la dejamos suelta veremos que adquirirá un movimiento rectilíneo vertical hacia el punto B, para luego retroceder de nuevo hacia A, repitiéndose sucesivamente estos movimientos. Decimos entonces que la masa "m" tiene un movimiento oscilatorio.

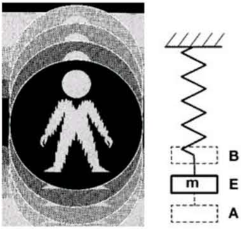


Fig. 1. Movimiento oscilatorio

Veamos las magnitudes que caracterizan este tipo de movimientos:

- **Período T:**
  Es el tiempo que tarda la masa "m" en ir desde A hasta B y volver a A. Es decir el tiempo que tarda en dar una oscilación completa.
  La unidad es el segundo (s).

- **Frecuencia f:**
  Es el número de oscilaciones que da en 1 segundo. La unidad es el Herzio (Hz) que equivale a 1/s.
  La relación entre el período T y la frecuencia es muy simple: f = 1/T.

- **Pulsación w:**
  Es el producto de la frecuencia por 2 p. Asi:

$$\omega = 2 \pi f = 2 \pi / T$$

- Aunque la unidad es 1/s suele indicarse en rad/seg para distinguirla de la frecuencia.

- **Elongación X:**

  A partir del momento en que abandonamos la masa en la posición A, la situación de la misma irá variando en cada instante. Para determinarla, podemos medir la distancia que hay entre "m" y la posición de equilibrio E. A esta distancia la llamamos elongación. Naturalmente se medirá en m, mm, µm...

  En la fig. 2 vemos la gráfica de la elongación en función del tiempo transcurrido desde el instante en que hemos soltado la masa en A.

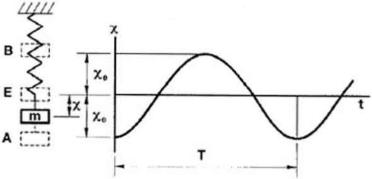


Fig. 2. Elongación en función del tiempo desde A

- **Amplitud X0:**
  Es el valor mayor que alcanza la elongación. Sería en nuestro caso la distancia de E hasta A, o de E hasta B. Algunas veces se utiliza el doble de X0, es decir la distancia de A a B. Entonces se le llama "peak-to-peak". Para no confundir la amplitud X0 con el valor anterior, aquél se identifica con 0-p y éste con p-p.

- **Velocidad v:**
  En su movimiento oscilatorio la masa va adquiriendo distintas velocidades con el tiempo. Así en las posiciones A y B, la velocidad es nula, mientras que cuando pasa por el equilibrio E, es máxima. La representación gráfica de la velocidad en función del tiempo será la de la fig. 3.

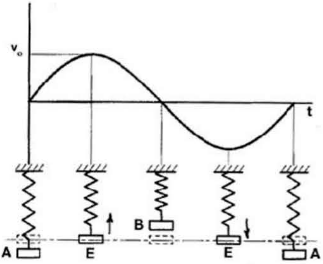


Fig. 3. Representación de la velocidad en función del tiempo

El valor máximo de la velocidad v0, podría usarse como una de las magnitudes características para definir el movimiento, sin embargo suele utilizarse más a menudo el valor eficaz, vef, ya que en casos más complejos lo define mejor.

La relación entre ellas es:

$$v_{ef} = v_0 / \sqrt{2}$$

- Las unidades son el m/s y el mm/s.

- **Aceleración a** Como la velocidad de la masa oscilante varía continuamente, hay aceleración. Ésta tampoco es constante y con el tiempo sigue el gráfico de la fig. 4.

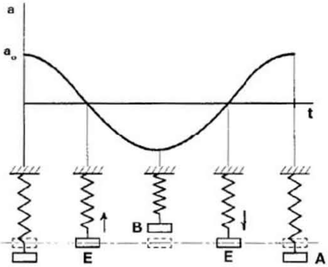


Fig. 4. Gráfica de la velocidad de la masa oscilante

También podemos definir la aceleración máxima y la eficaz ambas relacionadas por:

La unidad es el m/s²

$$v_{ef} = v_0 / \sqrt{2}$$

2. Movimiento oscilatorio simple

Si el movimiento de nuestro ejemplo se mantuviera indefinidamente, sería un movimiento armónico simple. Las ecuaciones matemáticas que lo rigen son las siguientes:

$$\chi = -\chi_0 \cos \omega t$$

$$v = +v_0 \operatorname{sen} \omega t$$

$$a = a_0 \cos \omega t$$

Asimismo, v, a, están relacionadas entre sí por las expresiones:

$$v_0 = \chi\,\omega\ ;\ a_0 = \chi_0\,\omega^2;$$

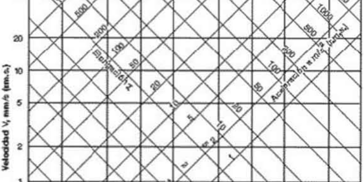
siendo

$$\omega = 2\,\pi\,f = 2\,\pi\,/\,T$$

En la fig. 5 están resueltas gráficamente estas expresiones. Podemos observar que con dos parámetros

$$a_0, f \text{ ó } v_0, f \text{ ó } \chi_0,$$

podemos definir este tipo de movimiento.



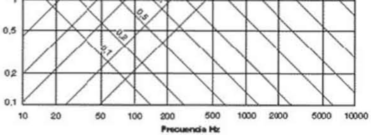


Fig. 5. Gráfica del movimiento oscilatorio simple

3. Movimientos no armónicos

No siempre los movimientos oscilatorios son tan simples como el descrito hasta ahora. Algunas veces la representación gráfica elongación-tiempo tiene otras formas. Son como las de las figuras 6 y 7.

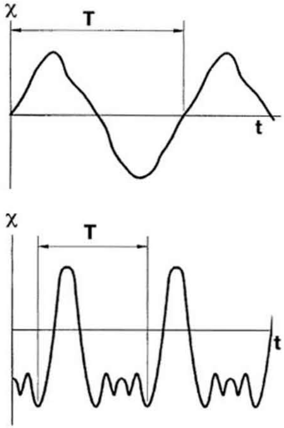


Fig. 6. y 7. Representaciones gráficas elongación-tiempo

En estos movimientos también puede definirse la velocidad máxima y eficaz así como las aceleraciones correspondientes, pero estos valores no lo describen íntegramente. Es por ello que se utiliza la transformación de Fourier que permite descomponer cualquier movimiento oscilatorio en suma de movimientos armónicos simples. Así tendremos:

$$x_0 = x_1 \operatorname{sen} \omega_1 t + x_2 \operatorname{sen} \omega_2 t + \ldots$$

$$v = v_1 \operatorname{sen} \omega_1 t + v_2 \operatorname{sen} \omega_2 t + \ldots$$

$$a = a_1 \operatorname{sen} \omega_1 t + a_2 \operatorname{sen} \omega_2 t + \ldots$$

Luego cada uno de los sumandos queda caracterizado por dos parámetros como X0 f2, v2, f2, a1 f2, que representados gráficamente nos dan una disposición como la fig. 8, llamada espectro de frecuencia. En el caso de movimientos periódicos, el espectro es como el de esta figura formado por líneas situadas a 2, 3, 4... n veces la frecuencia f1, llamada fundamental e igual a la inversa del periodo T. Las demás frecuencias se llaman armónicas.

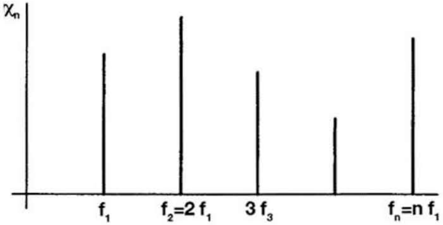


Fig. 8. Espectro de frecuencia

Si el movimiento no es periódico el espectro es continuo, fig. 9.

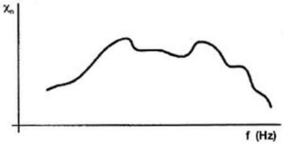


Fig. 9. Espectro continuo

El caso general es una mezcla de los dos anteriores como el espectro mostrado en la fig. 10.

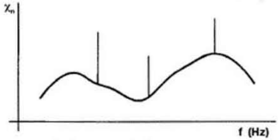
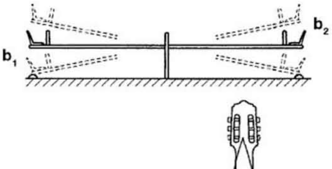


Fig. 10. Mezcla de espectro de frecuencia y espectro continuo

4. Vibraciones

Los distintos puntos de una cuerda de guitarra o los distintos puntos de la membrana de un tambor o los del columpio de la fig. 11, tienen un movimiento oscilatorio semejante al descrito anteriormente. Cuando sucede esto decimos que el cuerpo correspondiente vibra.



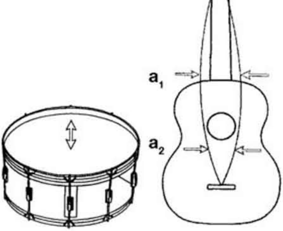


Fig. 11. Cuerpos que vibran

Evidentemente no todos los puntos tienen la misma velocidad o elongación o aceleración. Así el punto a1 de la cuerda de guitarra se mueve más rápidamente que el a2. Tampoco tiene porque desplazarse en el mismo sentido y al mismo tiempo. En efecto el punto b1 del columpio se mueve igual que el b2, pero mientras uno sube el otro baja. Decimos entonces que no tienen la misma fase; para ser más exactos, que oscilan a contrafase o que tienen un desfase de 180º. De un modo similar decimos que los puntos a1 y a2 están en fase.

En resumen un cuerpo vibrante está caracterizado por el hecho de que diferentes puntos del mismo oscilan en general a velocidades y en fases distintas.

5. Caracterización de un cuerpo vibrante

Es evidente que sabríamos exactamente cómo vibra un cuerpo si conociéramos el espectro de frecuencia y la fase de cada uno de sus puntos.

Esto en la práctica no suele hacerse así, sino que se busca la vibración de los puntos que oscilan con mayor severidad.

Así la norma ISO 10816-1 para máquinas en general o el borrador ISO CD 14694 para ventiladores en particular, limitan la velocidad eficaz máxima que puede encontrarse en sus órganos fijos. Véanse tablas A y B.

En la tabla A, las clases I a IV quedan definidas por el tipo de máquina y su potencia. Las zonas A, B, C y D dependen de la aplicación, siendo la A la más exigente y la D una indicación de que la máquina no puede aceptarse en cuanto a vibración.

Las categorías señaladas de la tabla B, BV1 a BV5, quedan definidas en la tabla C.

6. Causas de las vibraciones

Conocida por sus siglas V.M.C. es un sistema peculiar que se utiliza para controlar el ambiente de toda una vivienda, local comercial e incluso un edicificio de pisos, permitiendo introducir recursos para el ahorro de energía. Trataremos este caso de forma monográfica en una Hoja Técnica específica.

Describiremos a continuación las causas más importantes de vibración en los ventiladores.

Desequilibrio

Es quizás la fuente de vibración más común. Se produce cuando el eje de giro de un elemento rotativo (hélice o rodete) no pasa por su centro de masas **c.d.m.**, (desequilibrio estático) o si pasando por el **c.d.m.**, no coincide con un eje principal de inercia del rotor (desequilibrio dinámico). Tanto un caso como otro pueden interpretarse fácilmente, considerando que el rotor tiene unos excesos de masa **"m"**, fuera del eje de rotación, tal como se indica en la fig. 12.

Límites de vibración para máquinas en general (ISO 10816-1)				
R.m.s. velocidad de la vibración	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B			
1,8		B		
2,8	C		B	
4,5		C		B
7,1	D		C	
11,2		D		C
18			D	
28				D
45				

Tabla A

Límites de vibración para ventiladores (ISO CD 14694)				
Aplicación y Categoría	Montaje rigido mm/s		Montaje flexible mm/s	
	máximo	r.m.s.	máximo	r.m.s.
BV-1	12,7	9,0	15,2	11,2
BV-2	5,1	3,5	7,6	5,6
BV-3	3,8	2,8	5,1	3,5
BV-4	2,5	1,8	3,8	2,8
BV-5	2,0	1,4	2,5	1,8

Tabla B

Categoría de ventiladores según su aplicación (ISO CD 14694)			
Aplicación	Ejemplos	Potencia motor Kw	Categoría de la aplicación
RESIDENCIAL	Ventiladores de techo, de tejado y acond. de ventana	≤ 0,15 > 0,15	BV-1 BV-2
ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y AGRÍCOLA	Ventilación de edificios, aire acond. y sistemas comerciales	≤ 3,7 > 3,7	BV-2 BV-3
PROCESOS INDUSTRIALES GENERACIÓN DE ENERGÍA	Ventiladores de filtros húmedos, ensacadoras, transporte neumático, de minas, quemadores, control de la polución, túneles aerodinámicos	≤ 300 > 500	BV-3 BV-4
TRANSPORTE Y MARINA	Locomotoras, camiones y automóviles	≤ 15 > 15	BV-3 BV-4
TRÁFICO EN TÚNELES	Ventilación de energia en metros, ventiladores de túnel, de garages y ventiladores circuladores de túnel	≤ 75 > 75 ANY	BV-3 BV-4 BV-4
PROCESOS PETROQUÍMICOS	Gases tóxicos y ventilación de procesos	≤ 37 > 37	BV-3 BV-4
FABRICACIÓN DE CHIPS PARA ORDENADORES	Habitaciones limpias	CUALQUIERA	BV-5

Tabla C

Si por el contrario el ventilador descarga en un conducto, el comportamiento del sistema ventilador-compuerta queda muy influenciado si el aire choca o no contra las paredes del conducto de descarga. Fig. 11. Así, el tipo con lamas opuesta es mejor que el tipo de lamas paralelas, ver Fig. 10, F y H.

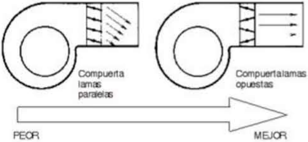


Fig. 11. Sistema ventilador-compuerta

Entre los tipos de lamas se presentan dos elecciones, una que las laminas sean perpendiculares al eje del ventilador o que sean paralelas al mismo. La experiencia muestra que es mejor utilizar compuertas con lamas perpendiculares, Fig. 10, E y F.

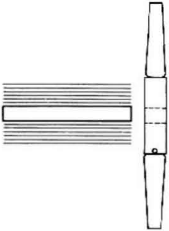


Fig. 12a. Desequilibrio estático

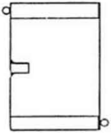


Fig. 12b. Masas de compensación

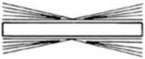


Fig. 12c. Desequilibrio dinámico

La vibración producida por el desequilibrio se caracteriza porque su frecuencia es igual a la velocidad de rotación en **rev/s**. Así, por ejemplo, si en un ventilador encontramos una vibración de 22 Hz y vemos que gira a 22 x 60 = 1.320 rev/min, casi podremos asegurar que tal vibración es producida por un desequilibrio, sobre todo si la hélice está directamente acoplada al motor.

Copyright © 2015 **SOLER PALAU**. Todos los derechos reservados.