

¿CÓMO EVALUAR LAS VIBRACIONES MECÁNICAS? R.D. 1311/2005

Instrumentación y medición en campo

Ainhoa Suso Mendizabal
José M^a Pérez Lacorzana

AAC Centro de Acústica Aplicada SL

MADRID, 15 DE FEBRERO DE 2011

Instrumentación y medición en campo

- La norma de referencia es:

UNE EN ISO 8041 de 2006.

“Respuesta humana a las vibraciones.”

“Instrumentos de medida.”

Anula y sustituye a UNE ENV 28041 de 1994 y su anexo de 2002.

Instrumentación y medición en campo

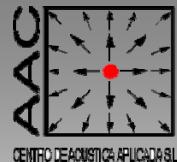
■ Abarca:

- Vibraciones al cuerpo entero.
ISO 2631,1,2 y 4.
- Vibraciones al sistema mano - brazo.
ISO 5349.
- Vibraciones de baja frecuencia.
ISO 2631,1.

Instrumentación y medición en campo

■ Especifica ensayos de la instrumentación:

- Evaluación patrón. Homologación de producto.
- Verificaciones periódicas.
- Comprobaciones en campo.



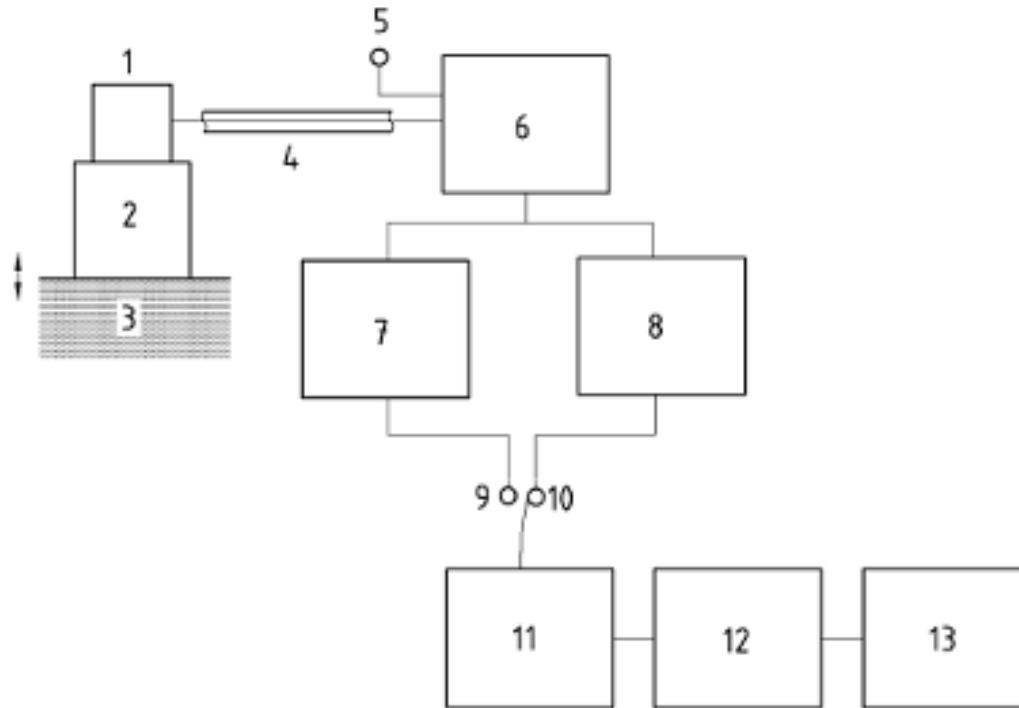
CENTRO DE ACÚSTICA APLICADA SL



Tabla 13
Resumen de las características de prestación y requisitos de ensayo

Especificaciones		Tipo de ensayo		Capítulo de ensayo		
Capítulo	Característica	Eléctrico	Mecánico	Evaluación patrón	Ensayos de verificación	Comprobaciones <i>in situ</i>
5.1	Características generales			12.5	13.5	14.2
5.2	Visualización de la magnitud de señal			12.5	13.5	
5.3	Salida eléctrica	*		12.17		
5.4	Sensibilidad de la vibración		*	12.7	13.7	14.3
5.5	Precisión de la indicación en la frecuencia de referencia bajo condiciones de referencia	*		12.7	13.7	
5.6	Respuestas ponderadas en frecuencia y en frecuencia	*	*	12.11 Anexo H	13.10 Anexo H	
5.7	Linealidad en la amplitud	*	*	12.10	13.9	
5.8	Ruido del instrumento		*	12.12	13.11	
5.9	Respuesta del pulso de señal	*		12.13	13.12	
5.10	Indicación de sobrecarga	*	*	12.10, 12.14	13.9, 13.12	
5.11	Indicación de bajo- rango	*	*	12.10	13.9	
5.12	Promedio temporal	*		12.13	12.12	
5.13	Aceleración r.m.s. móvil	*		12.13	13.12	
5.14	Reiniciar			12.15	13.14	
5.15	Facilidades Temporales			12.18		
5.16	Disturbio eléctrico (cross-talk)	*		12.8	13.8	
5.2	Salidas de ejes combinadas	*		12.16		
5.17 (Anexo E)	Características del transductor de vibraciones		*	12.9		
5.18	Suministro eléctrico			12.19		
6	Montaje			Anexo F		
7	Criterio medioambiental y electromagnético			12.20		
8	Suministro para el uso con dispositivos auxiliares	*		12.5, 12.17	13.5	
9	Marcado del Instrumento			12.4	13.4	
10	Documentación del instrumento			12.4	13.4	

Instrumentación y medición en campo



Leyenda

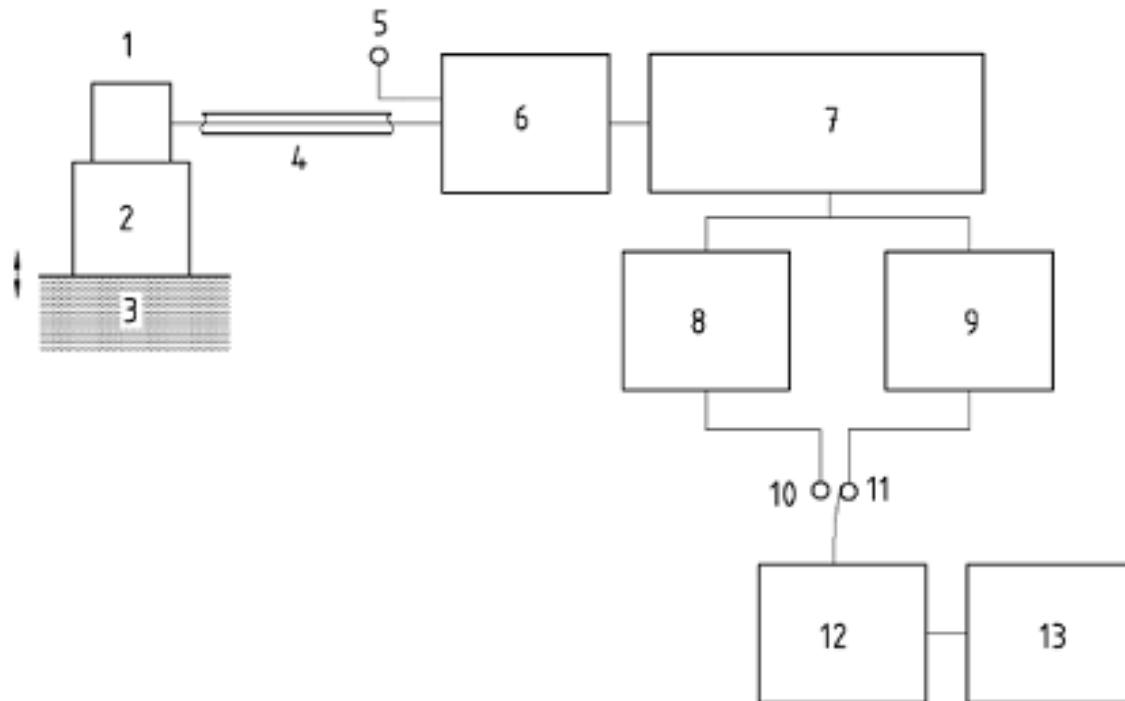
- 1 transductor
- 2 sistema de montaje
- 3 superficie vibrante
- 4 cable
- 5 entrada eléctrica
- 6 condicionamiento de la señal
- 7 banda limitante

- 8 ponderación en frecuencias (incluida la banda limitante)
- 9 salida de banda-limite
- 10 salida ponderada en frecuencias
- 11 promediado temporal
- 12 procesado adicional
- 13 pantalla

a) procesado de señal en el dominio de tiempo

Fig. 1 – Visión general de la salida de flujo funcional básico de un instrumento de medición de vibraciones o sistema de medida

Instrumentación y medición en campo



Leyenda

- 1 transductor
- 2 sistema de montaje
- 3 superficie vibrante
- 4 cable
- 5 entrada eléctrica
- 6 condicionamiento de la señal
- 7 análisis de frecuencia
ponderación temporal
promedio temporal

- 8 banda limitante (cálculo)
- 9 ponderación en frecuencia- incluida la banda limitante (cálculo)
- 10 salida banda-límite
- 11 salida ponderada en frecuencias
- 12 acumulación de bandas de frecuencia
- 13 pantalla

b) procesado de señal en el dominio de frecuencias (no se aplica al procesado del valor de dosis de vibración VDV)

Fig. 1 – Visión general de la salida de flujo funcional básico de un instrumento de medición de vibraciones o sistema de medida (*continuación*)

Instrumentación y medición en campo

EQUIPO DE MEDIDA.

1) Equipo especializado.

Acelerómetro (3 y sus preamplificadores) →
ponderación en frecuencia → detector → medida.

2) Analizador multicanal.

Acelerómetro (3 + preamp.) → analizador en frecuencia y
detector, registro de los datos.

Ponderación → suma energética de bandas → valor.

Instrumentación y medición en campo



Instrumentación y medición en campo



Instrumentación y medición en campo

■ La Norma también incluye:

- Montaje del transductor, filtros mecánicos.
- Marcado del equipo.
- Uso de equipos auxiliares.
- Documentación.

Instrumentación y medición en campo

- **Acelerómetro:** Masa, sensibilidad, respuesta en frecuencia.
- **Punto de medida:** representativo de dónde penetra la vibración a la mano.
- Uso de **adaptadores.** (?? AAC)
- **Fijación** del acelerómetro. Lo mas rígida posible.
- **Medidas triaxiales simultáneas** sobre un eje de coordenadas basicéntrico. (Si no son posibles, aplicar un factor entre 1.7 y 1.1 a la medida sobre el eje dominante)

Instrumentación y medición en campo

■ Anexos de la Norma:

- Especificaciones del calibrador (frecuencia, amplitud, carga, distorsión, etc.)
- Ponderaciones en frecuencia.
- Transductor de vibraciones.
- Ensayo del sistema de montaje.

Instrumentación y medición en campo

Tabla A.1
Valores preferentes y límites de error para el calibrador de campo mecánico

Característica	Tipo de medición			
	Mano-brazo	Cuerpo-entero	Cuerpo-entero de baja-frecuencia	
Frecuencia	500 rad/s \pm 0,5% (79,577 Hz)	1 000 rad/s \pm 0,5% (159,155 Hz)	100 rad/s \pm 0,5% (15,915 Hz)	2,5 rad/s \pm 0,5% ^a (0,3979 Hz)
Raíz cuadrática media de la aceleración (r.m.s.)	10 m/s ² \pm 3%	10 m/s ² \pm 3%	1 m/s ² \pm 3%	0,1 m/s ² \pm 5%

^a Se reconoce que los calibradores de campo no están disponibles actualmente a tales bajas frecuencias, y que las normas de calibración escogidas de la vibración actualmente no proporcionan métodos de calibración validados a estas frecuencias. Desde luego, para realizar mediciones reales de vibraciones cuerpo-entero en baja-frecuencia es deseable realizar comprobaciones de la calibración a una frecuencia dentro del rango de frecuencia de la medición. Hay dos alternativas, realizar comprobaciones a una aceleración estática (por ejemplo, una inversión del transductor proporcionando un cambio de 2g en la aceleración) o ensayar a frecuencias mucho más mayores que el rango de medición: ninguna de estas opciones es la ideal.



Ins

Tabla B.6
Ponderación en frecuencia W_b para la vibración mano-brazo, todas las direcciones, basada en la Norma ISO 5349-1

n	Frecuencia Hz		Banda limitante			Ponderación W_b			Tolerancia		
	Nominal	Verdadero	Factor	dB	Fase en grados	Factor	dB	Fase en grados	%	dB	$\Delta\phi_b$ grados
-1	0,8	0,794 3	0,015 85	-36,00	169,7	0,015 86	-36,00	168,1	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
0	1	1	0,025 11	-32,00	167	0,025 14	-31,99	165	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
1	1,25	1,259	0,039 78	-28,01	163,5	0,039 85	-27,99	161	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
2	1,6	1,585	0,062 97	-24,02	159,1	0,063 14	-23,99	155,9	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
3	2	1,995	0,099 5	-20,04	153,4	0,099 92	-20,01	149,3	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
4	2,5	2,512	0,156 5	-16,11	146,1	0,157 6	-16,05	140,8	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
5	3,15	3,162	0,243 6	-12,27	136,4	0,246 1	-12,18	129,7	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
6	4	3,981	0,369 9	-8,64	123,7	0,375 4	-8,51	115,2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
7	5	5,012	0,533 6	-5,46	107,9	0,545	-5,27	96,7	+26/-21	+2/-2	+12/-12
8	6,3	6,31	0,707 1	-3,01	89,59	0,727 2	-2,77	74,91	+26/-21	+2/-2	+12/-12
9	8	7,943	0,845 7	-1,46	71,3	0,873 1	-1,18	51,74	+26/-21	+2/-2	+12/-12
10	10	10	0,929 1	-0,64	55,36	0,951 4	-0,43	29,15	+12/-11	+1/-1	+6/-6
11	12,5	12,59	0,969 9	-0,27	42,62	0,957 6	-0,38	7,81	+12/-11	+1/-1	+6/-6
12	16	15,85	0,987 7	-0,11	32,76	0,895 8	-0,96	-12,05	+12/-11	+1/-1	+6/-6
13	20	19,95	0,995	-0,04	25,14	0,782	-2,14	-29,71	+12/-11	+1/-1	+6/-6
14	25	25,12	0,998	-0,02	19,15	0,6471	-3,78	-44,37	+12/-11	+1/-1	+6/-6
15	31,5	31,62	0,999 2	-0,01	14,34	0,519 2	-5,69	-55,89	+12/-11	+1/-1	+6/-6
16	40	39,81	0,999 7	0,00	10,38	0,411 1	-7,72	-64,78	+12/-11	+1/-1	+6/-6
17	50	50,12	0,999 9	0,00	7,027	0,324 4	-9,78	-71,7	+12/-11	+1/-1	+6/-6
18	63	63,1	0,999 9	0,00	4,065	0,256	-11,83	-77,27	+12/-11	+1/-1	+6/-6
19	80	79,43	1	0,00	1,33	0,202 4	-13,88	-81,94	+12/-11	+1/-1	+6/-6
20	100	100	1	0,00	-1,33	0,160 2	-15,91	-86,06	+12/-11	+1/-1	+6/-6
21	125	125,9	0,999 9	0,00	-4,065	0,127	-17,93	-89,92	+12/-11	+1/-1	+6/-6
22	160	158,5	0,999 9	0,00	-7,027	0,100 7	-19,94	-93,75	+12/-11	+1/-1	+6/-6
23	200	199,5	0,999 7	0,00	-10,38	0,079 88	-21,95	-97,8	+12/-11	+1/-1	+6/-6
24	250	251,2	0,999 2	-0,01	-14,34	0,063 38	-23,96	-102,3	+12/-11	+1/-1	+6/-6
25	315	316,2	0,998	-0,02	-19,15	0,050 26	-25,97	-107,5	+12/-11	+1/-1	+6/-6
26	400	398,1	0,995	-0,04	-25,14	0,039 8	-28,00	-113,8	+12/-11	+1/-1	+6/-6
27	500	501,2	0,987 7	-0,11	-32,76	0,031 37	-30,07	-121,7	+12/-11	+1/-1	+6/-6
28	630	631	0,969 9	-0,27	-42,62	0,024 47	-32,23	-131,8	+12/-11	+1/-1	+6/-6
29	800	794,3	0,929 1	-0,64	-55,36	0,018 62	-34,60	-144,7	+12/-11	+1/-1	+6/-6
30	1 000	1 000	0,845 7	-1,46	-71,3	0,013 46	-37,42	-160,8	+26/-21	+2/-2	+12/-12
31	1 250	1 259	0,707 1	-3,01	-89,59	0,008 94	-40,97	-179,2	+26/-21	+2/-2	+12/-12
32	1 600	1 585	0,533 6	-5,46	-107,9	0,005 359	-45,42	-197,5	+26/-21	+2/-2	+12/-12
33	2 000	1 995	0,369 9	-8,64	-123,7	0,002 95	-50,60	-213,5	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
34	2 500	2 512	0,243 6	-12,27	-136,4	0,001 544	-56,23	-226,2	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
35	3 150	3 162	0,156 5	-16,11	-146,1	0,000 787 8	-62,07	-235,9	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞
36	4 000	3 981	0,099 5	-20,04	-153,4	0,000 397 8	-68,01	-243,3	+26/-100	+2/-∞	+∞/-∞



Ins

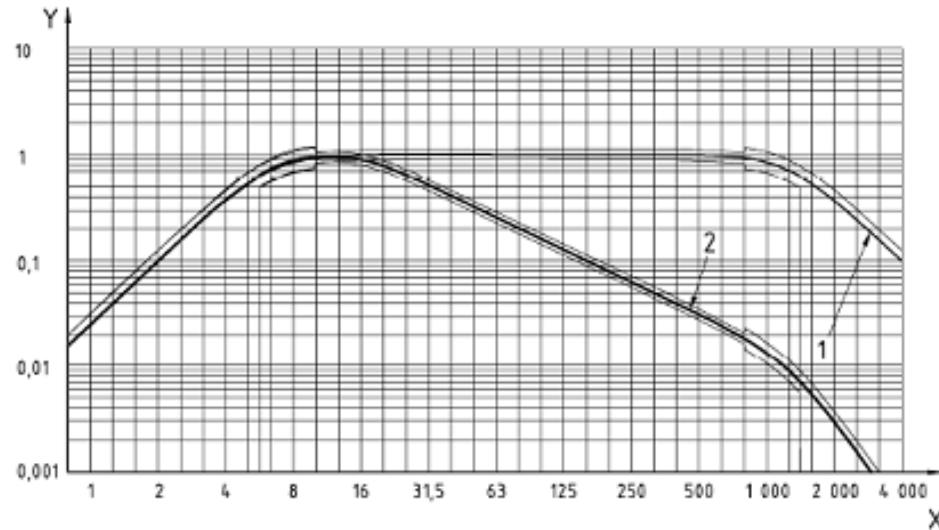


Fig. B.11 – Magnitud de la ponderación en frecuencia W_b para la vibración mano-brazo, todas las direcciones, basada en la Norma ISO 5349-1

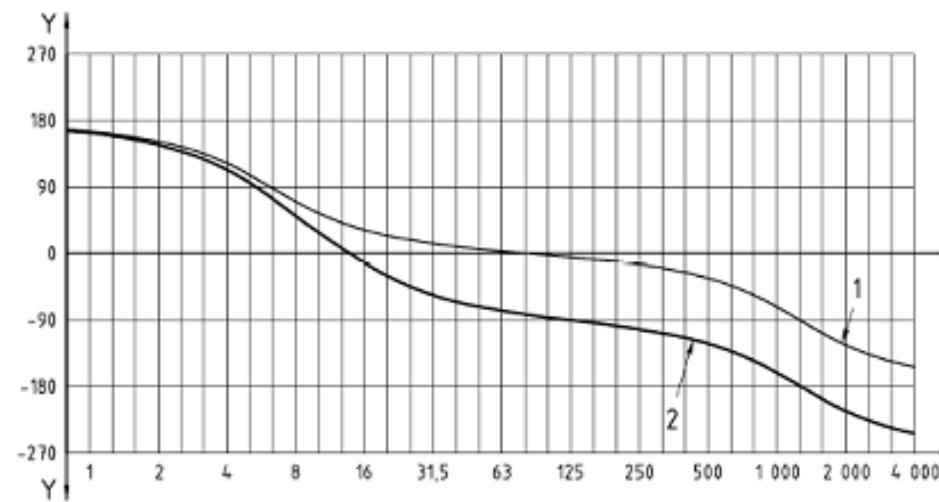


Fig. B.12 – Fase de la ponderación en frecuencia W_b para la vibración mano-brazo, todas las direcciones, basada en la Norma ISO 5349-1

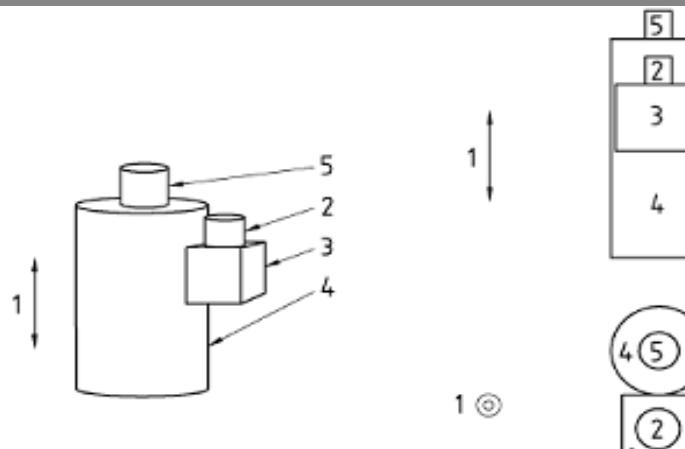


CENTRO DE ACÚSTICA APLICADA SL

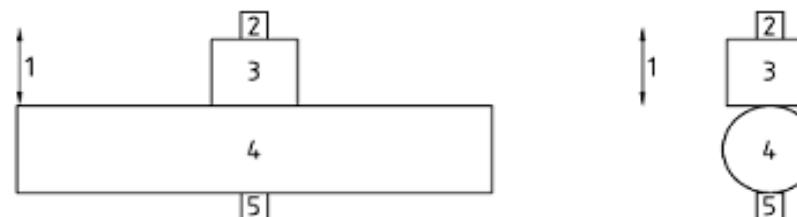
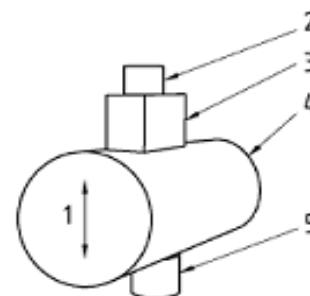


Inst

ambo



b) eje y



Leyenda
1 ejes de vibración de entrada
2 transductor de ensayo
3 sistema de montaje de ensayo

4 empuñadura
5 transductor de referencia

c) eje z

Fig. F.1 – Configuraciones de ensayo (continuación)

Instrumentación y medición en campo

■ Antes de empezar a medir...

- Seleccionar los puestos susceptibles de presentar riesgos por exposición a vibraciones mecánicas
- Determinar las operaciones que realiza y el tiempo asociado a cada una de ellas
- Decidir una estrategia de medida adecuada para cada caso
 - Medida de ciclos completos (incluyendo descansos)
 - Medida de cada tarea por separado
 - ...

Instrumentación y medición en campo

■ ¿Cómo determinar el tiempo de exposición?

- Medida directa sobre uno o varios ciclos de trabajo.
- Información sobre la evolución del trabajo (nº de piezas).
- Indicadores específicos sobre la herramienta motorizada.

Instrumentación y medición en campo

■ Ejemplo: CARRETILLERO

- Trabajo cíclico:

Carga y circulación por el exterior, entrada al taller, descarga, retorno descargado y espera para cargar.

- Dos opciones:

- Medida del ciclo completo (incluyendo todas las tareas)

- Medida de cada operación por separado:

- permite establecer un plan de control de vibraciones, centrándonos en la operación mayor exposición parcial

Instrumentación y medición en campo

Operaciones a medir y regímenes de trabajo

Operación	Máquina	Modo funcionamiento	Condiciones	Tiempo exp. (min)
A	Tractor	Ensilando	6 km/h	240
B	Tractor	Circulando lleno	30 km/h	120
C	Tractor	Circulando vacío	30 km/h	120
D				
E				
F				
G				
H				
I				
J				
K				
L				
Descanso (vibración de fondo)				0

Instrumentación y medición en campo

■ ¿Dónde colocar el acelerómetro?

■ Cuerpo entero:

entre la superficie vibrante
y el cuerpo



■ Sistema mano - brazo:

sobre la superficie
vibrante, tan cerca como
sea posible del agarre



Instrumentación y medición en campo

■ Puntos de medida de emisión de vibraciones, ISO 8662.

Tabla A.1 (Continuación)

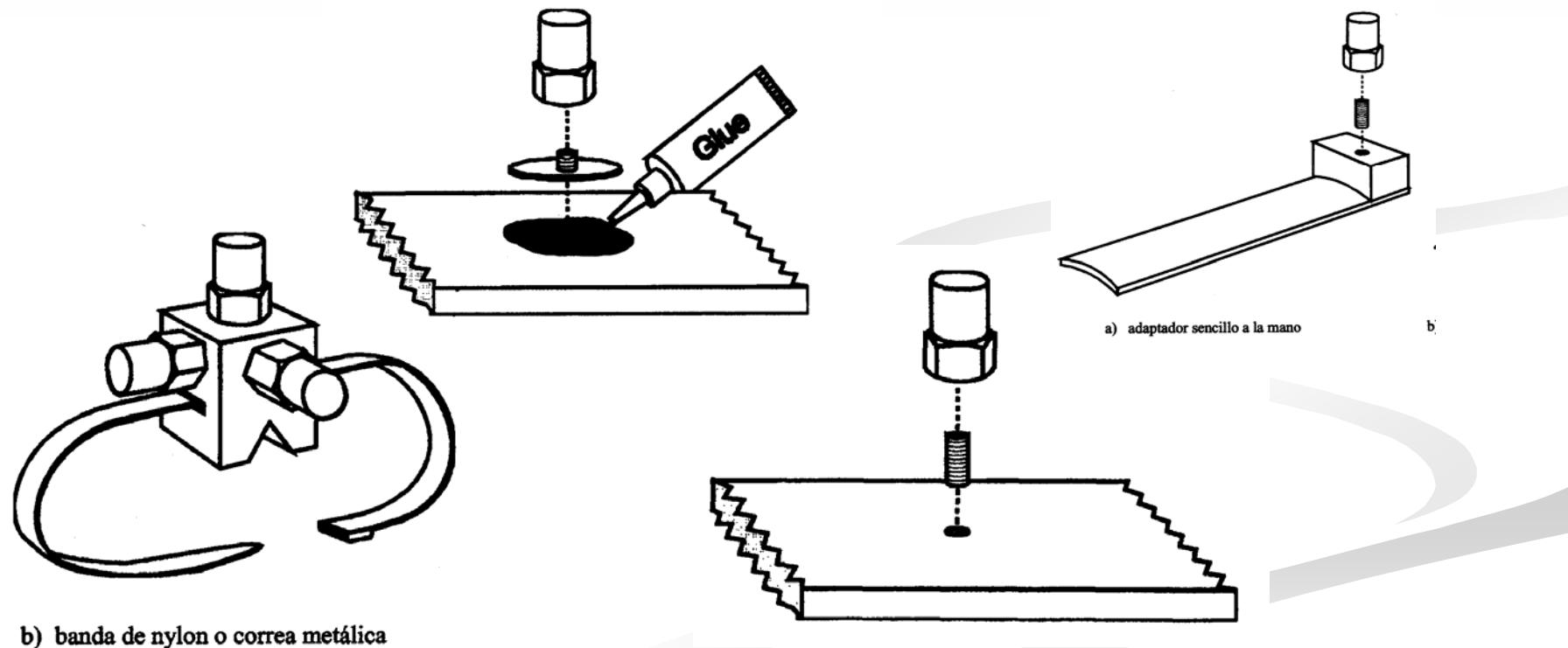
Norma ISO	Tipo de herramienta motorizada	Localización del montaje		Detalles de los requisitos para cada tipo de ensayo
8662-4	Pulidoras	Pulidora angular pequeña	Pulidora angular grande	  <p>Las medidas deben desarrollarse sobre ambas empuñaduras, empleando dos transductores. Las posiciones de los transductores deben ser preferiblemente sobre los lados inferiores de las empuñaduras y estar montados simétricamente respecto a la posición de la empuñadura donde el operador coloca su mano (60 mm del extremo de la mano).</p> <p>Los transductores deben montarse perpendicularmente a la superficie de la mano.</p>
8662-7	Llaves Destornilladores Buriladores	Herramienta motorizada recta	Herramienta motorizada angular	  <p>Las medidas deben efectuarse sobre las empuñaduras en las localizaciones ilustradas en las figuras por donde normalmente el operador coge la herramienta. La posición normal del transductor debe ser en la mitad de la longitud de la empuñadura. Si la localización del gatillo hace esto imposible el transductor debe colocarse tan cerca como sea posible de esta posición.</p> <p>Para herramientas rectas, el transductor debe colocarse de tal forma que permita medir la aceleración de la superficie de la herramienta motorizada en una dirección tangencial relativa al eje del motor. El transductor debe estar localizado tan cerca como sea posible de la superficie de la herramienta motorizada.</p>

(Continúa)

Instrumentación y medición en campo

■ ¿Cómo colocar los acelerómetros?

- Mano - brazo: el montaje debe ser lo más rígido posible



Instrumentación y medición en campo

PEGADO



BRIDAS



ADAPTADORES



Instrumentación y medición en campo

■ Problemas del uso de adaptadores:

- No es un contacto rígido
- Se mueve
- Incómodo para accionar la herramienta



Instrumentación y medición en campo

■ Comparación

- Medida en la empuñadura de una desbrozadora



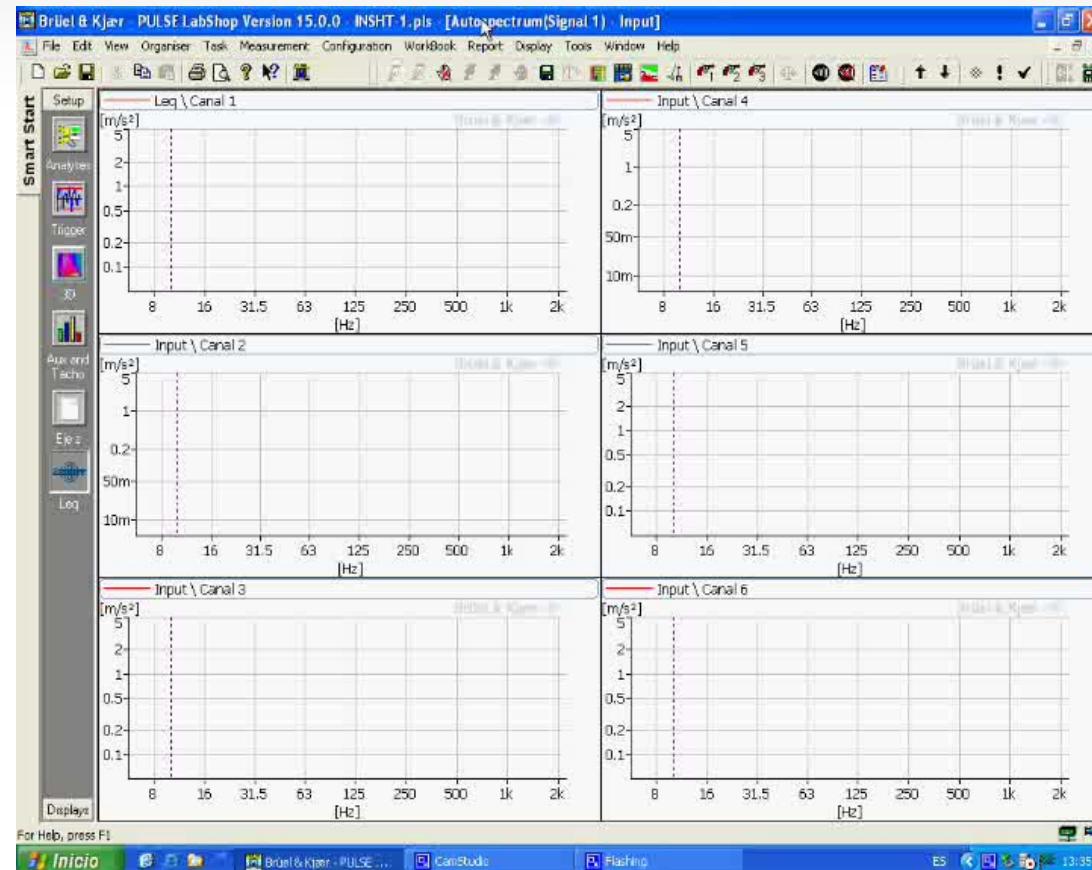
Instrumentación y medición en campo

■ Comparación



Instrumentación y medición en campo

■ Resultados



Instrumentación y medición en campo

■ Resultados

	Adaptador	Brida
Condición 1	4.7 m/s ²	5.0 m/s ²
Condición 2	4.0 m/s ²	4.5 m/s ²
Ralentí	3.0 m/s ²	3.4 m/s ²

Instrumentación y medición en campo

■ Duración de la medida

■ Cuerpo entero:

- medidas más largas (frecuencia baja)
- Para medidas desde 1 Hz, mín: 108 s (aleatorias)

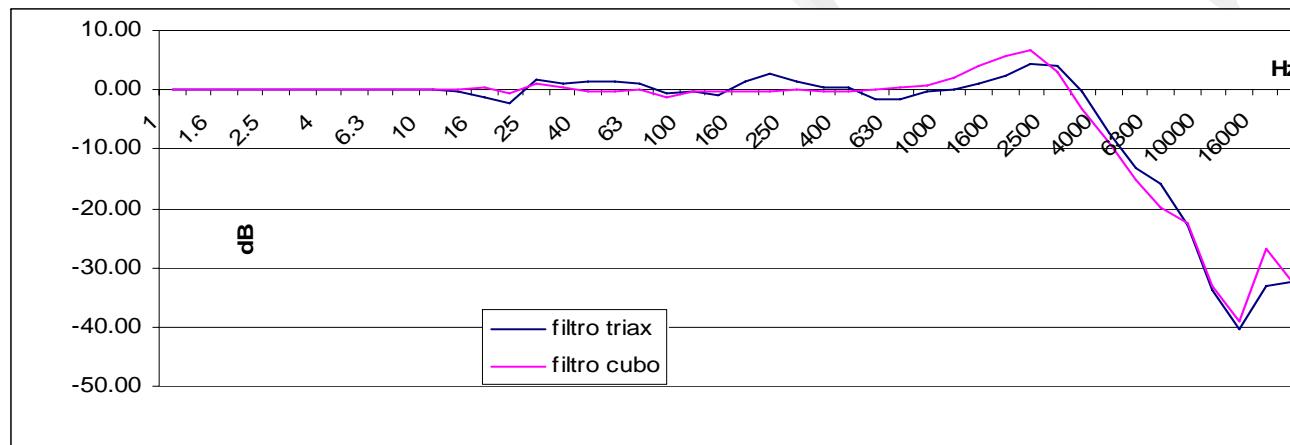
■ Mano - brazo:

- Menos de 8 segundos NO son fiables
- Tiempo total de las muestras \geq 1 min.
- Preferible más muestras cortas, que una larga

Instrumentación y medición en campo

■ Posibles problemas:

- Selección de acelerómetro.
- Cable de conexión (terminales, blindaje al aire, movimiento, etc.)
- Interferencias electromagnéticas (masa, blindajes defectuosos, cables inadecuados, cables de red próximos, etc.)
- Utilización de filtros mecánicos (desplazamiento por CC)



Instrumentación y medición en campo

■ Comienzo de la medida

- Esperar tras la colocación del acelerómetro para que desaparezca la baja frecuencia



Instrumentación y medición en campo

■ Resultados

- A partir de los **resultados** obtenidos y teniendo en cuenta los **tiempos asociados** a cada operación
- Se obtiene el **A(8)** y su **incertidumbre** asociada

Condiciones de trabajo	1,4*eje x (m/s ²)	1,4*eje y (m/s ²)	eje z (m/s ²)	Resultado (m/s ²)	Incrt (m/s ²)	Tiempo exp	A(8) parcial (m/s ²)	Incrt (m/s ²)
<u>Ensilando</u>	0,53	0,45	0,29	0,53	0,12	4 h	0,37	0,08
<u>Circulando con remolque lleno</u>	0,73	0,71	0,47	0,73	0,24	2 h	0,37	0,12
<u>Circulando con remolque vacío</u>	0,94	0,82	0,86	0,94	0,32	2 h	0,47	0,16
TOTAL	0,70	0,63	0,53	0,70	0,22			

Instrumentación y medición en campo

■ Incertidumbres

- Precisión y calibración de la instrumentación.
- Interferencias eléctricas.
- Masa y montaje de los acelerómetros.
- Selección del punto de medida.
- Cambios en el funcionamiento normal de la herramienta.
- Modificación del método de trabajo.
- Cambios en las condiciones de la máquina (herramienta).
- Cambios en la posición y fuerzas aplicadas.
- Diferencia de materiales trabajados.
- Incertidumbre del tiempo de exposición.