

# **Taller: Evaluación de exposición ocupacional a vibraciones**

**Ing. Ana María Salazar Bugueño. PhD**  
**[anasalazar@uchile.cl](mailto:anasalazar@uchile.cl)**

# Agenda

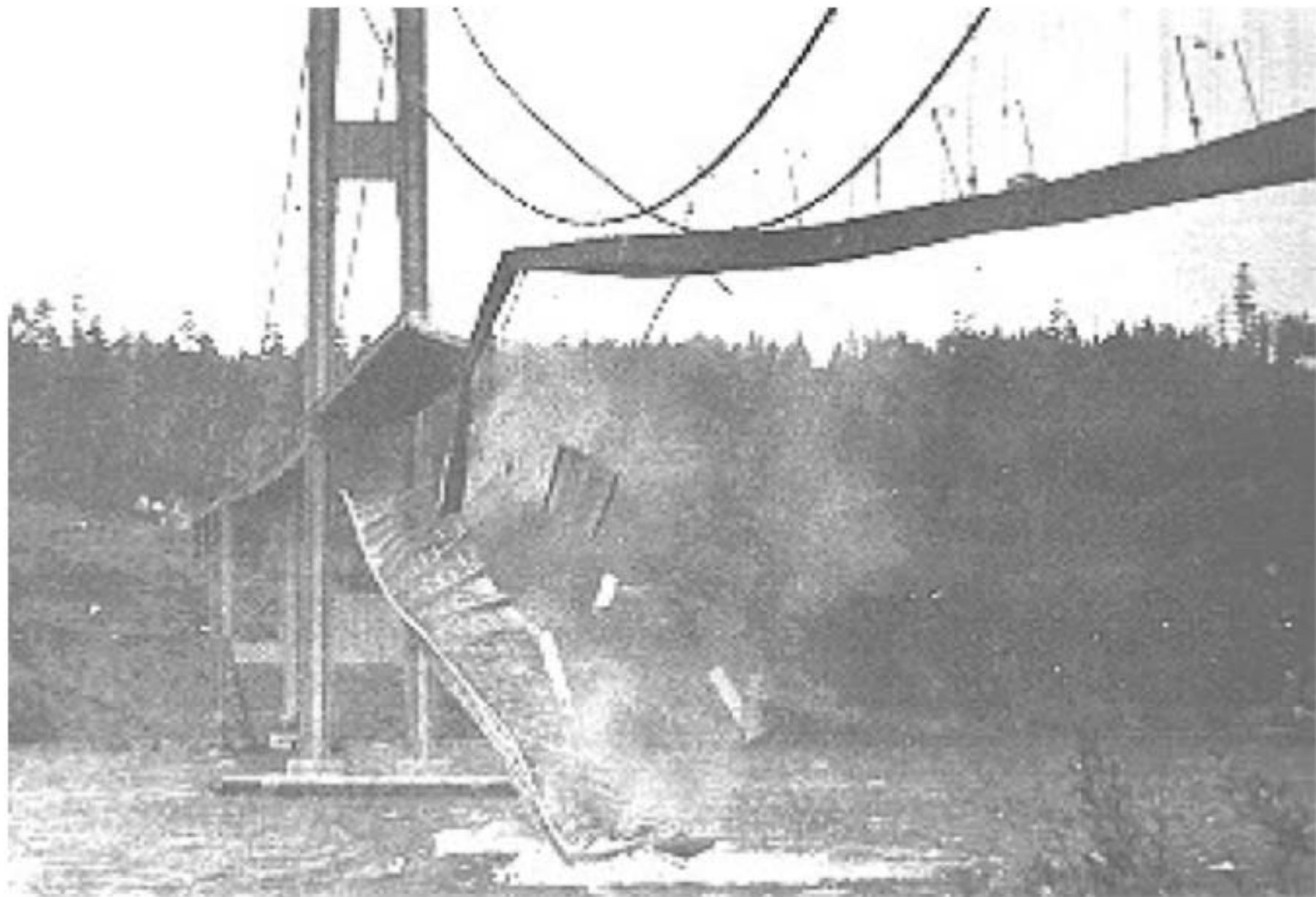
- **Introducción**
- **Conceptos básicos**
- **Exposición a vibraciones mano – brazo**
  - **Sistema de coordenadas**
  - **Biodinámica**
- **Exposición a vibraciones de cuerpo entero**
  - **Sistema de coordenadas**
  - **Biodinámica**
- **Instrumentos de medición**
- **Procedimientos de Medición**
- **Valores Límites**

# Puente Tacoma

- **Objetivo** : Unir Tacoma y Harbour Gigs.
- **Inicio construcción** : 23 - noviembre -1938
- **Largo** : 1.800 m, 2 torres de soporte de 129 m de altura, separadas entre sí 853 m.
- **Inauguración** : 01 - julio - 1940
- **Caída puente** : 07 - noviembre -1940



Velocidad del viento: 61 kilómetros /h  
Frecuencia: 0.2 Hz.



# Puente del Milenio Londres



## Características:

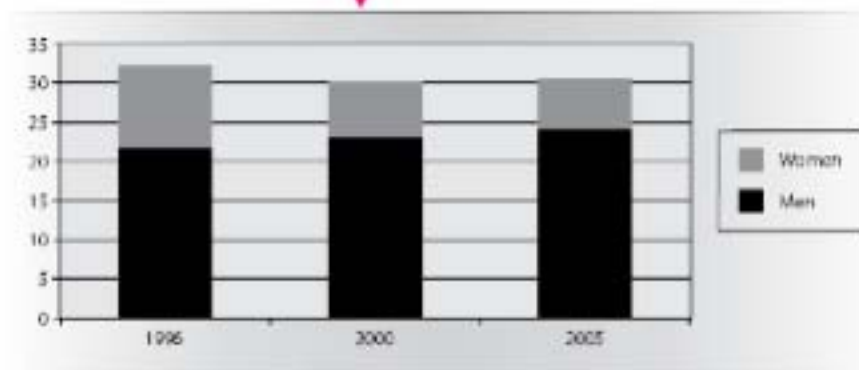
Suspensión lateral de 320 m de largo que une el distrito financiero de Londres con la zona de Bankside.

Inaugurado el 10/06/2000

Reinaugurado año 2002 (91 amortiguadores para absorber las oscilaciones laterales y verticales.)

# Vibraciones





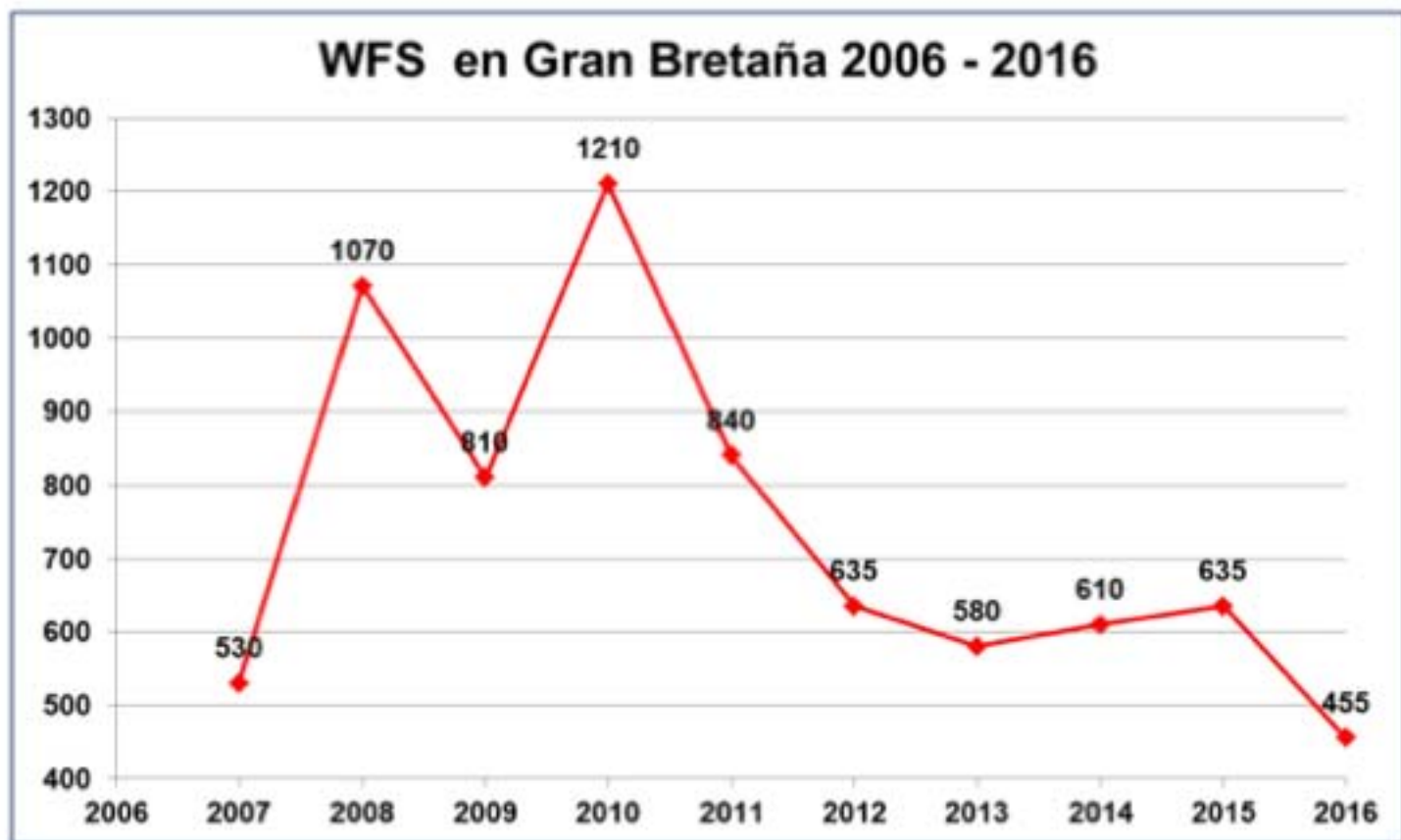
**Alemania: 7.4% hombres; 1% mujeres.**  
**España: 7.8% hombres; 1,8% mujeres**



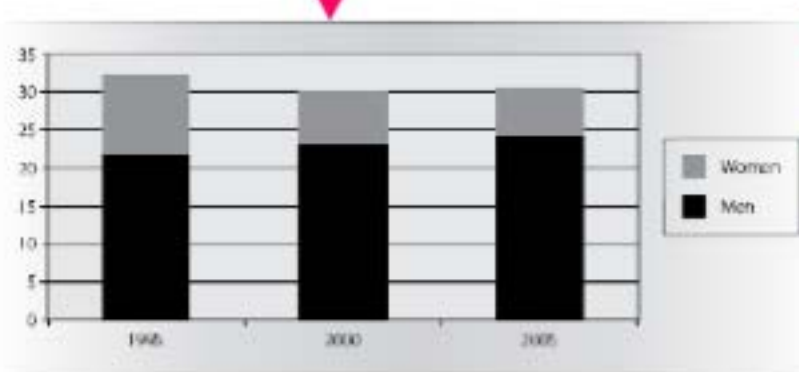
# Vibraciones



**Europa: 5 % - 25 % WBV**  
**5 % - 11 % HAV.**



Fuente: <http://www.hse.gov.uk>



**Alemania: 7.4% hombres; 1% mujeres.**  
**España: 7.8% hombres; 1,8% mujeres**

Fuente: European foundation for the improvement of living and working.2008

# Exposición /T. E./Tipo Fuente

Porcentaje de trabajadores expuestos a vibraciones por país según duración de la exposición.

Duración de la exposición	Bélgica	Alemania	España	Francia	Polonia	Finlandia	EU-27
Todo el tiempo	5.7	4.5	4.6	7.3	10.1	3.5	5.5
Casi todo el tiempo	2.7	4.9	10.0	4.7	4.3	3.5	5.0
Alrededor del 75% del tiempo	2.0	3.9	3.3	1.7	3.4	2.1	2.8
La mitad del tiempo	1.8	6.1	3.8	2.4	4.8	4.2	4.0
Alrededor del 25 % del tiempo	6.5	9.4	5.2	5.7	8.7	8.3	7.0
Casi nunca	13.1	11.6	10.7	10.7	11.0	16.6	11.1
Nunca	68.3	59.6	62.5	67.5	57.8	61.9	64.7

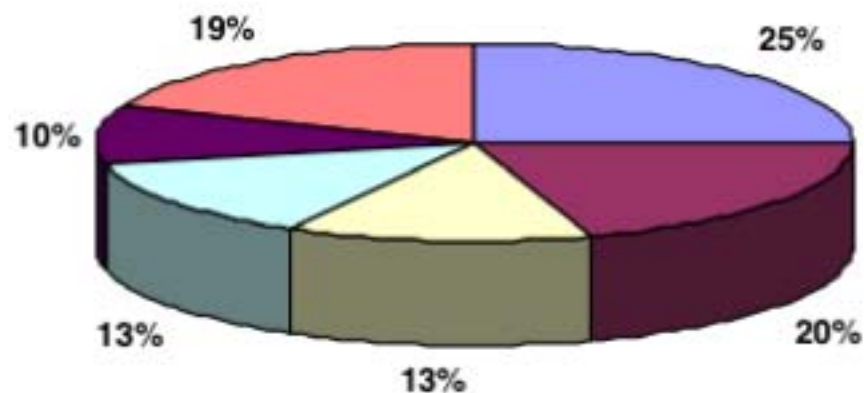
Fuente: European foundation for the improvement of living and working.

Porcentaje de trabajadores expuestos a vibraciones por país según tipo de fuente.

Tipo de fuente	Alemania	España	Francia	Finlandia
Máquinas móviles	5	10	10.6	25
Herramientas manuales	4.6	5.6	10.9	8.3
Máquinas estacionarias	1 - 2	2.6	1.5	NA

Fuente: European foundation for the improvement of living and working.2008

## Exposición a vibraciones por sector económico



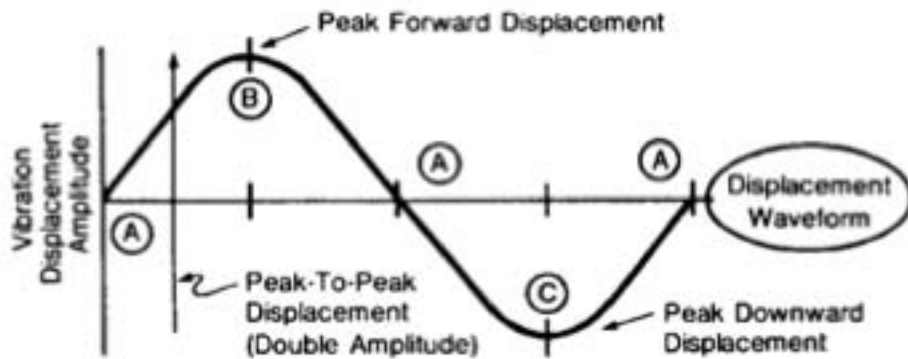
■ construcción      ■ minería      □ agricultura y pesca  
■ alect., agua y gas      ■ transporte y comun.      ■ otros

Fuente: European foundation for the improvement of living and working. 2008

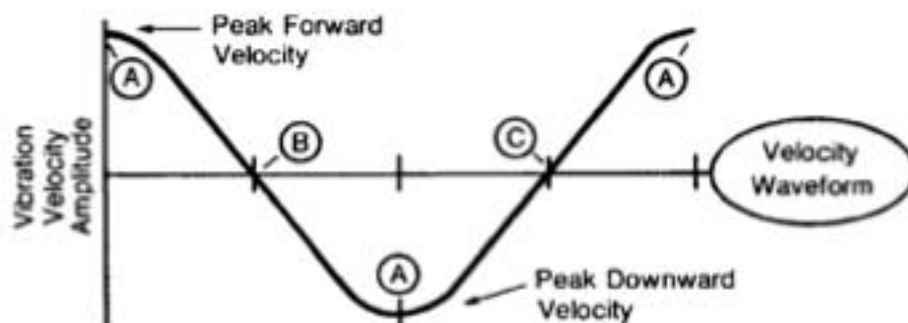
# Conceptos básicos

# Vibración

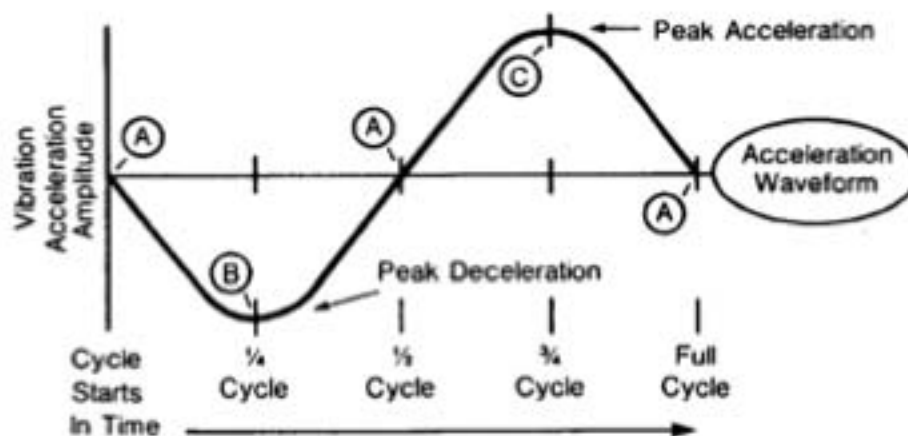
- **Variación en el tiempo de una “magnitud o cantidad” que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico, donde la magnitud toma alternadamente valores más grandes o más pequeños que un valor promedio o valor de referencia. (ISO 2041, Vibration and shock – Vocabulary).**
- **Todo movimiento transmitido al cuerpo humano por estructuras sólidas capaz de producir un efecto nocivo o cualquier tipo de molestia. (OIT).**
- **Movimiento oscilatorio de las partículas de los cuerpos sólidos (ISO 8041 Human – response vibration – Measuring instrumentation ).**



$$\Delta d \text{ (m)}$$



$$\Delta d / \Delta t = v \text{ (m/s)}$$



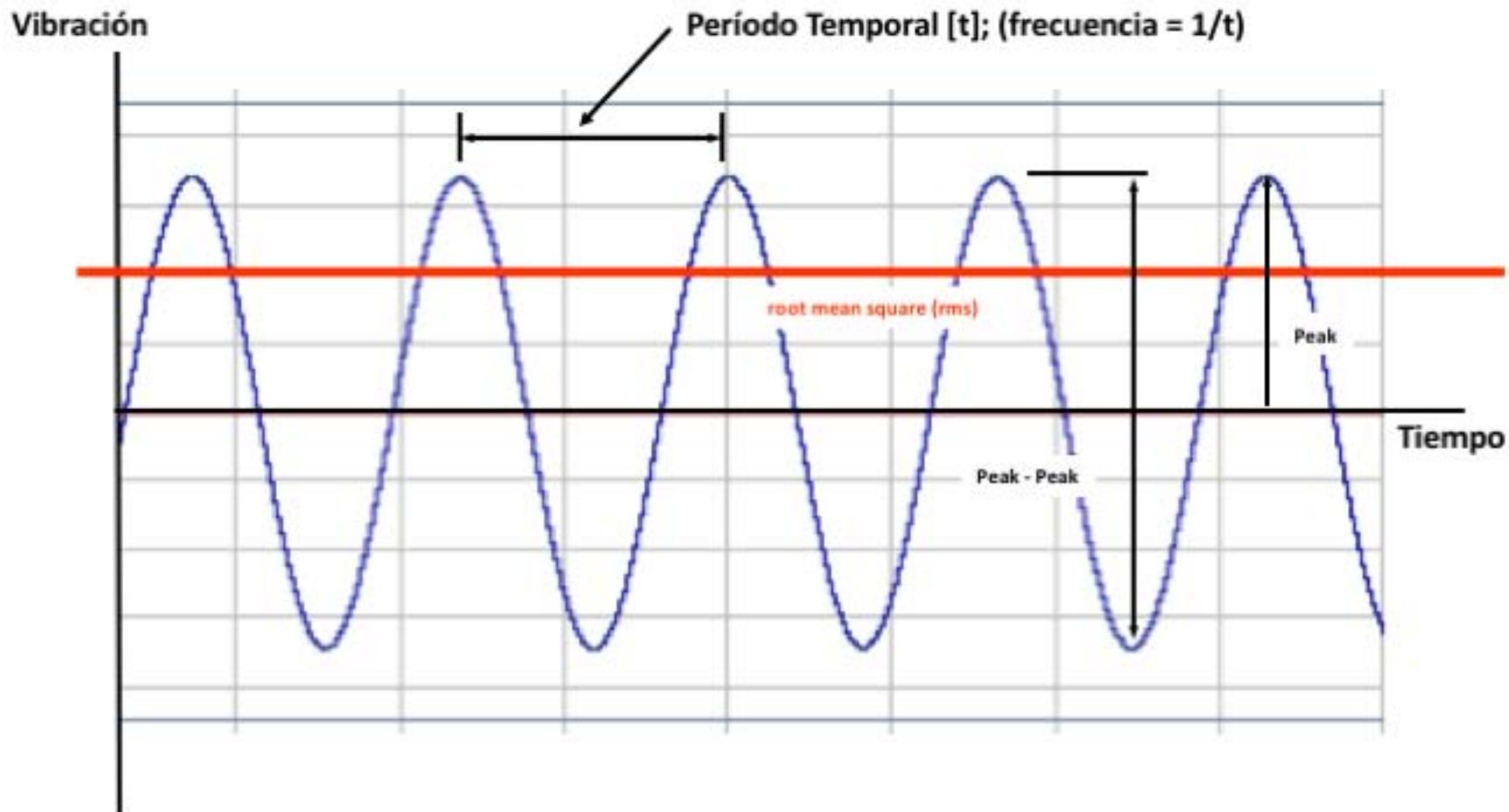
$$\Delta v / \Delta t = a \text{ (m/s}^2\text{)}$$



# Relación entre X, V y A onda sinusoidal

	<b>Desplazamiento, X</b>	<b>Velocidad, V</b>	<b>Aceleración, A</b>
Desplazamiento, X	$X = X$	$X = V / 2 \pi f$	$X = A / (2 \pi f)^2$
Velocidad, V	$V = 2 \pi f X$	$V = V$	$V = A / 2 \pi f$
Aceleración, A	$A = (2 \pi f)^2 X$	$A = 2 \pi f V$	$A = A$

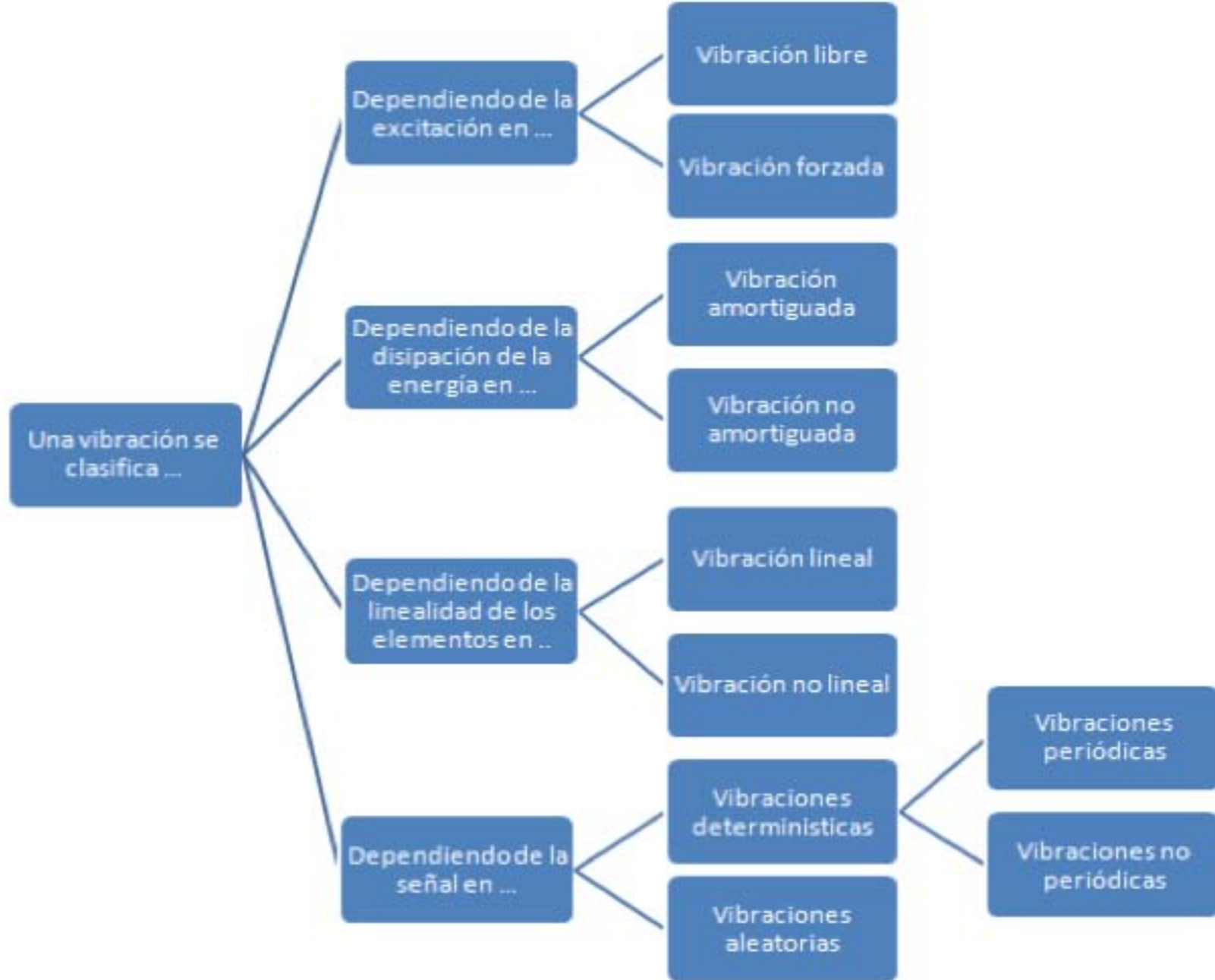
# PARAMETROS DE LA VIBRACION



# Relación entre magnitudes

## Onda sinusoidal

	<b>Peak</b>	<b>Peak-to-peak</b>	<b>r.m.s</b>
Peak	Peak = peak	Peak = peak-to-peak/2	Peak = $\sqrt{2}$ r.m.s.
Peak-to-peak	Peak to peak = 2 peak	Peak to peak = Peak to peak	Peak-to-peak = $2\sqrt{2}$ r.m.s
r.m.s.	r.m.s = Peak/ $\sqrt{2}$	r.m.s. = Peak-to-peak/ $2\sqrt{2}$	r.m.s = r.m.s



**Exposición ocupacional  
a vibraciones**

**Cuerpo entero**



**Sistema mano - brazo**



## Tipos de exposición

- Vibraciones de Cuerpo Entero. Ocurren cuando el cuerpo se apoya en una superficie que está vibrando; por ejemplo, en medios de transporte, tales como trenes y aviones, o bien cuando se está cerca de alguna maquina. **Rango de frecuencias de interés va desde 0.5 hasta 80 Hz.**
- Vibraciones transmitidas a través de las manos. Son causadas por distintos procesos en manufactura, agricultura, minería, construcción y transporte, en los cuales las herramientas vibratorias son sostenidas por manos o dedos. **Rango de frecuencias de interés es de 8 hasta 1000Hz.**



## Vibraciones Segmento mano - brazo



# Vibración sistema mano - brazo

- Vibración (impacto) mecánica directamente aplicada o transmitida al sistema mano – brazo comúnmente a través de la palma de la mano o a través de los dedos que sostienen una herramienta o pieza de trabajo. (*ISO 5805, Mechanical Vibration and Shock – Human exposure – Vocabulary*).
- La vibración mecánica que, cuando se transmite al sistema humano de mano y brazo, supone riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular problemas vasculares, de huesos o de articulaciones, nerviosos o musculares. (*Directiva 2002/44/CE*).



## DAÑOS FÍSICOS POR EXPOSICIÓN A VIBRACIONES

Daño o Afecciones en osteoarticulares	Ostonecrosis del escafoides Necrosis del semilunar Artrosis hiperostósante del codo
Daño o Afecciones neurológicas	Neuropatía periférica de predominio sensitivo
Daño o Afecciones vasculares	Fenómeno de Raynaud Síndrome del martillo hipotenar
Daño o Alteraciones musculares	Dolor Entumecimiento Rigidez Disminución de la fuerza muscular

**Fuente:** Guía Práctica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos Relacionados con las Vibraciones Mecánicas. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo . España. 2005

Exposición segmento  
Mano - brazo

=

HAVS

VWF

CTS

**HAVS:** nombre común dado a lesiones asociadas al uso de herramientas manuales vibrátiles

**VWF:** enfermedad profesional causada por la exposición a vibraciones del segmento mano brazo. Los síntomas incluyen: entumecimiento, hormigueo, color blanco parte distal de los dedos, dolor, etc.

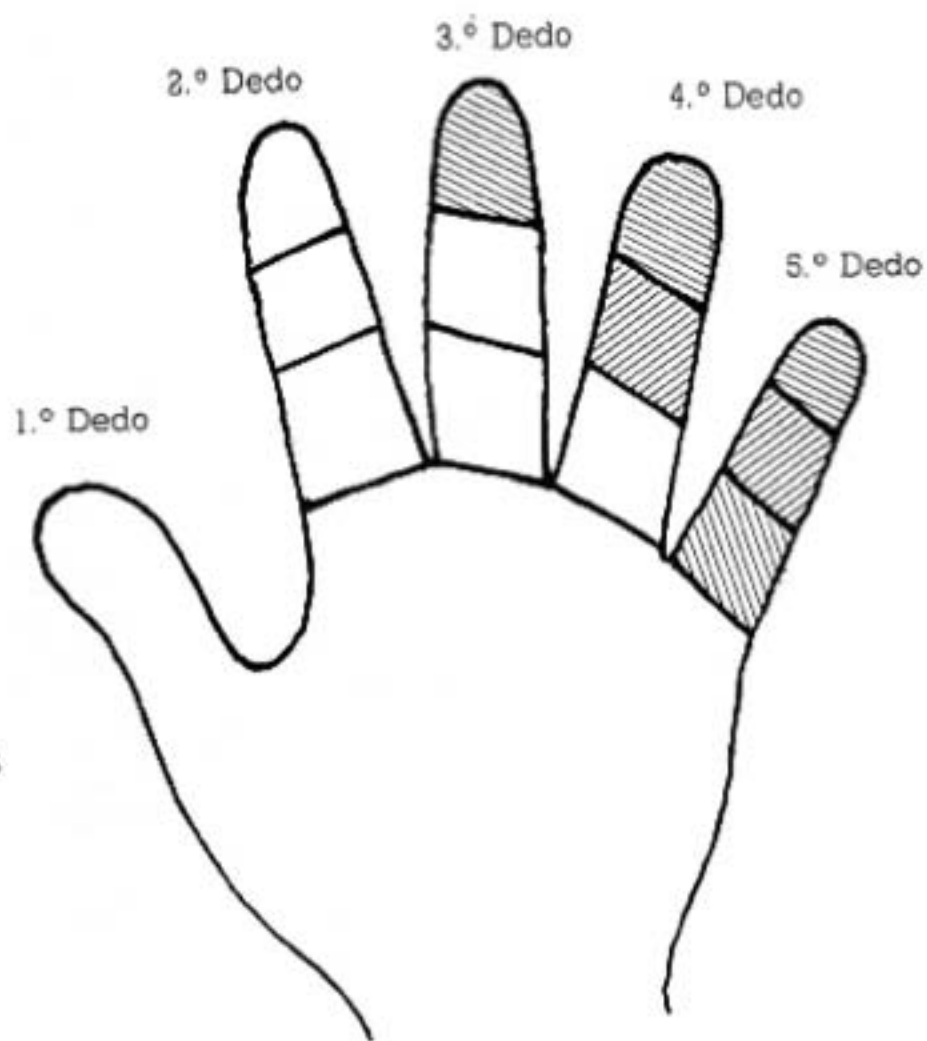
**CTS:** compresión del nervio de la muñeca

## Clasificación del HAVS. Escala de Estocolmo (Evaluación Sensorineural)

<u>Estado</u>	<u>Síntomas</u>
0SN	Expuesto a vibración pero no presenta síntomas
1SN	Entumecimiento intermitente, con o sin hormigueo
2SN	Entumecimiento intermitente o persistente, reduciendo la percepción sensorial
3SN	Entumecimiento intermitente o persistente, reduciendo la discriminación táctil o la destreza en la manipulación

## Clasificación del HAVS. Escala de Estocolmo (Evaluación Vascular)

<u>Estado</u>	<u>Grado</u>	<u>Descripción</u>
0	-----	No hay síntomas
1 <sub>v</sub>	Leve	Síntomas ocasionales, afectando solo uno o más dedos
2 <sub>v</sub>	Moderado	Síntomas ocasionales, afectando las falanges distal y media (raramente la proximal) de uno o más dedos
3 <sub>v</sub>	Severo	Síntomas frecuentes, afectando TODAS las falanges de la mayoría de los dedos
4 <sub>v</sub>	Muy Severo	Como en el estado 3, mas alteraciones tróficas en la piel y en la punta de los dedos



**Forma de afectar  
los distintos dedos  
y evolución**



# ***Síntomas – Estados Tardíos***

- ***Agravados por***
  - *Frío*
  - *Objetos que vibran*
  - *Nicotina*
- ***Casos severos***
  - *Gangrena*
  - *Amputación*



# **Sistemas de coordenadas**



# Sistemas de coordenadas

- **Anatómico:** Están definidos en relación con alguna parte del cuerpo y se utilizan para determinar los efectos e la exposición.
- **Basicéntrico:** Están definidos en relación con superficies que están en contacto con el cuerpo y se utilizan para determinar el nivel de emisión.

## Ejes de vibración: Sistema Anatómico

Sistema anatómico	
Origen	Orientación
Centro de la cabeza del tercer hueso metacarpiano de cada mano	$X_h$ : anterior a través de la palma $Y_h$ : derecha a izquierda $Z_h$ : a lo largo del eje del tercer hueso

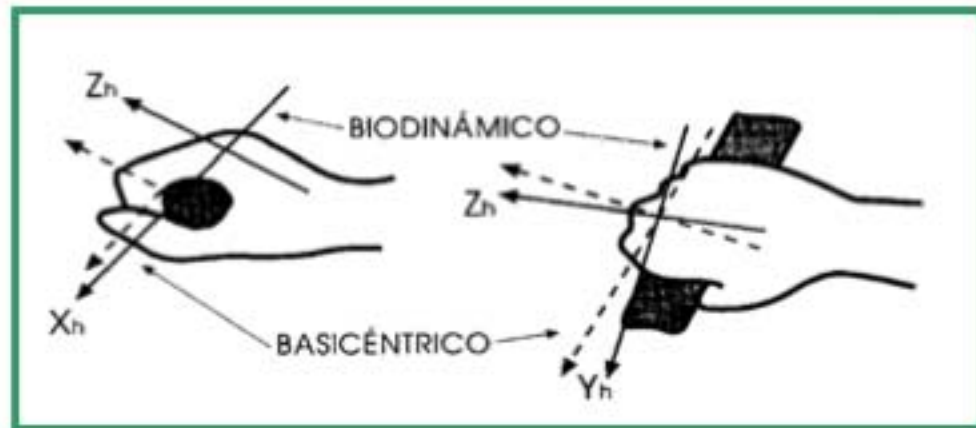
## Ejes de vibración: Sistema Basicéntrico

### Sistema basicéntrico (mango sostenido horizontal)

Origen	Orientación
En la superficie del mango debajo del tercer hueso metacarpiano de cada mano	$X_{hb}$ : vertical $Y_{hb}$ : paralelo a lo largo del eje del mango $Z_{hb}$ : horizontal

## Direcciones de exposición a vibraciones

5349 2001, Mechanical vibration -- Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration



**Eje z:** Dirección del eje longitudinal del 3er hueso metacarpiano.

Sentido positivo: hacia la extremidad distal del dedo.

**Eje x:** Dirección dorso - palma. Sentido positivo: hacia la palma

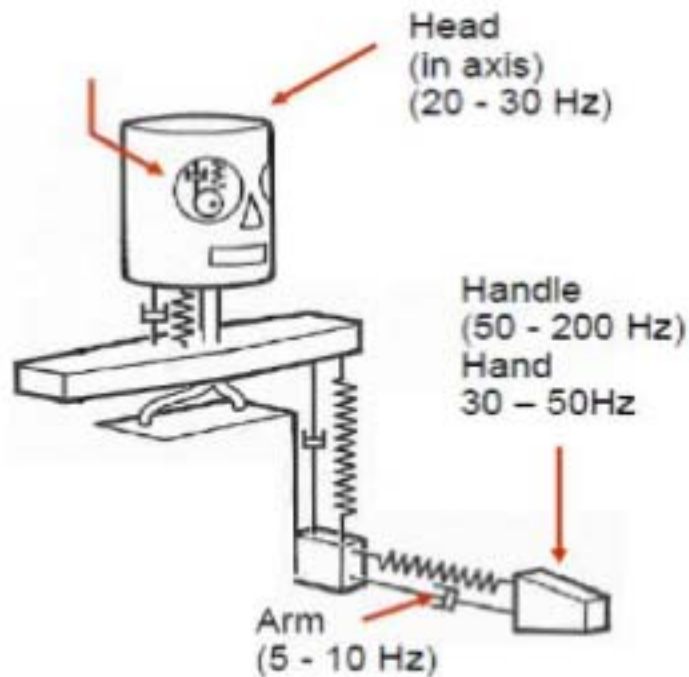
**Eje y:** Dirección perpendicular a los otros dos. Sentido positivo: hacia el pulgar.

# **Biodinámica**

# Cuerpo Humano: modelo mecánico

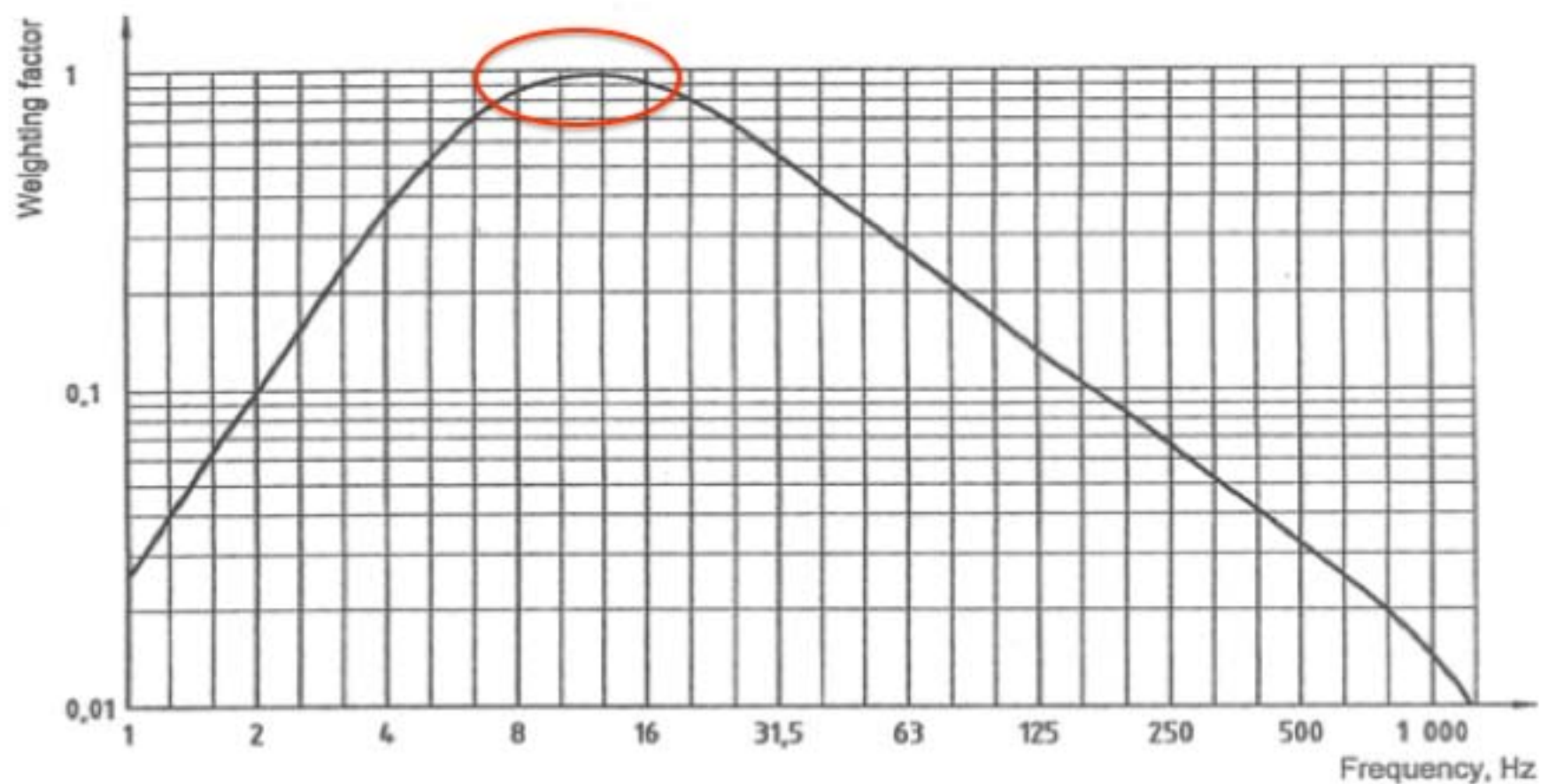
Hand / arm

Eye hole  
(ca. 25 Hz)



Rango frecuencia de interés: 8 a 1000 Hz

## Ponderaciones de Frecuencia SMB ISO 5349



Exposición mano brazo. (Fuente: ISO 5349)

Ponderación $W_h^{1z}$			
Frecuencia en Hz	Factor de ponderación	Frecuencia en Hz	Factor de ponderación
5	0,545	100	0,1602
6,3	0,7272	125	0,127
8	0,8731	160	0,1007
10	0,9514	200	0,07988
12,5	0,9576	250	0,06338
16	0,8958	315	0,05026
20	0,782	400	0,0398
25	0,6471	500	0,03137
31,5	0,5192	630	0,02447
40	0,4111	800	0,01862
50	0,3244	1000	0,01346
63	0,256	1250	0,00894
80	0,2024		





## Vibraciones cuerpo entero



## Vibración de cuerpo entero

- ❖ Vibración (impacto) mecánica transmitida al cuerpo como un todo, usualmente a través de partes de éste (por ejemplo: glúteos, plantas de los pies, espalda) que están en contacto con una superficie portadora (superficie vibrante) que vibra, o es sometida a un movimiento de impacto (*ISO 5805 Mechanical Vibration and Shock – Human exposure – Vocabulary*).
- ❖ La vibración mecánica que, cuando se transmite a todo el cuerpo, conlleva riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular, lumbalgias y lesiones de la columna vertebral. (*Directiva 2002/44/CE*).

## Efectos Biológicos Exposición de cuerpo entero

Afecciones columna  
vertebral

Discopatías dorso lumbares  
Lumbalgias  
Ciática

Otras alteraciones

Digestivas  
Vasculares periféricas  
(várices, hemorroides)  
Esfera reproductiva (abortos  
espontáneos, desórdenes  
menstruales)



**Vibración  
Cuerpo entero**

=

**Dolor bajo de  
Espalda ,LBP**

- Mala postura
- Conducción prolongada
- Manejo manual carga
- WBV



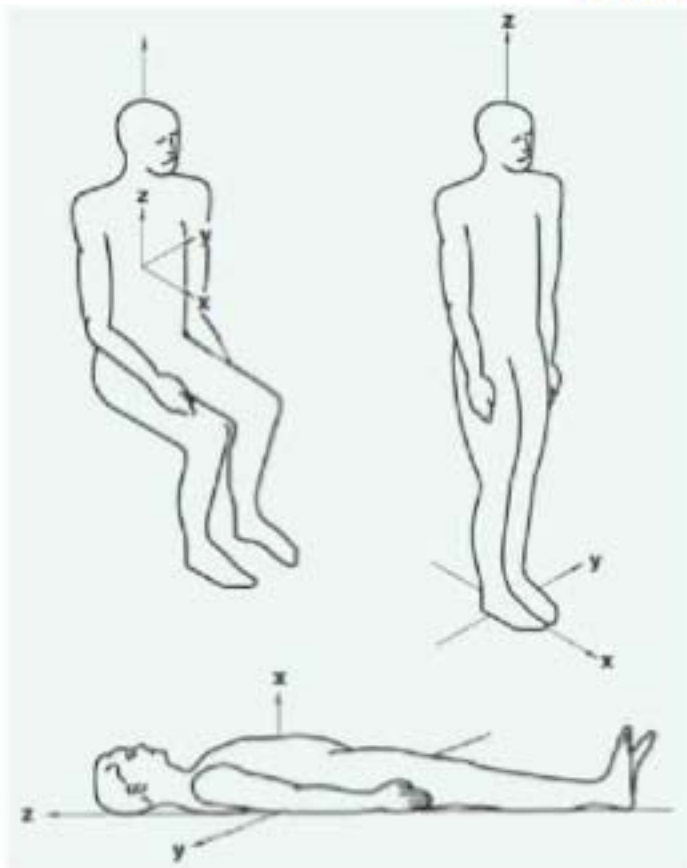
**85% trabajadores**



# **Sistemas de coordenadas**

# Direcciones de exposición a vibraciones

ISO 2631



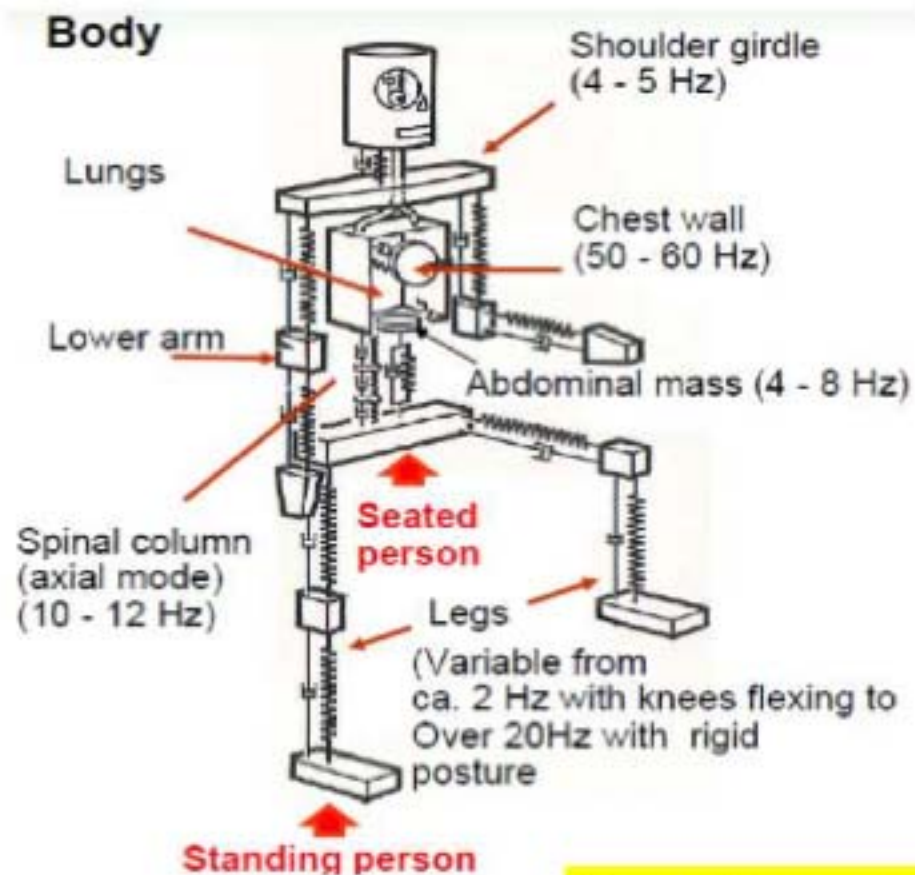
**Eje X : frontal (de la espalda hacia el pecho)**

**Eje y: lateral (costado derecho a izquierdo)**

**Eje z: vertical (de los pies a la cabeza)**

# **Biodinámica**

## *Cuerpo Humano: modelo mecánico*



**Rango frecuencia de interés: 0.5 a 80 Hz**

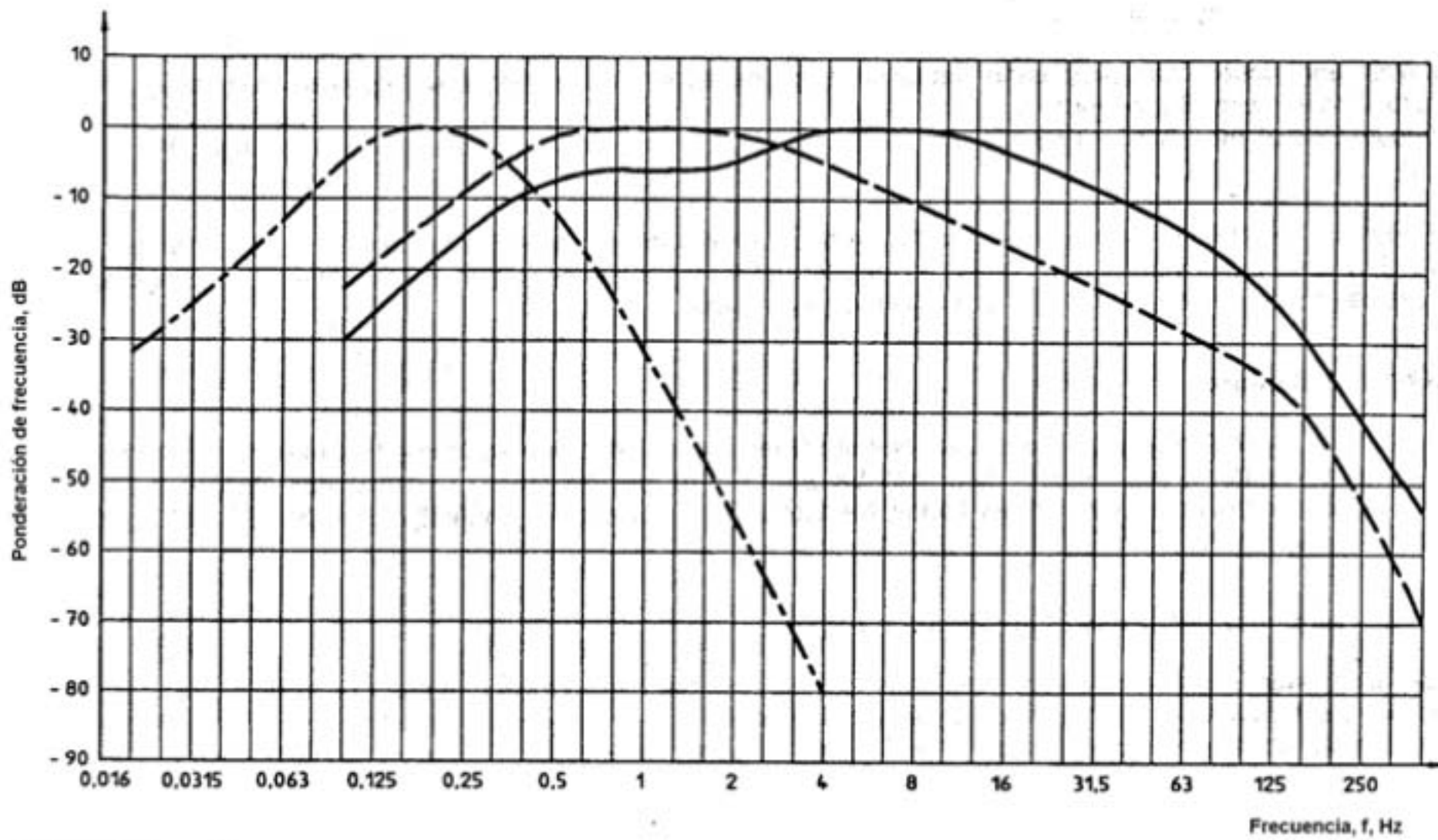


# Ponderaciones de Frecuencia VCE ISO 2631

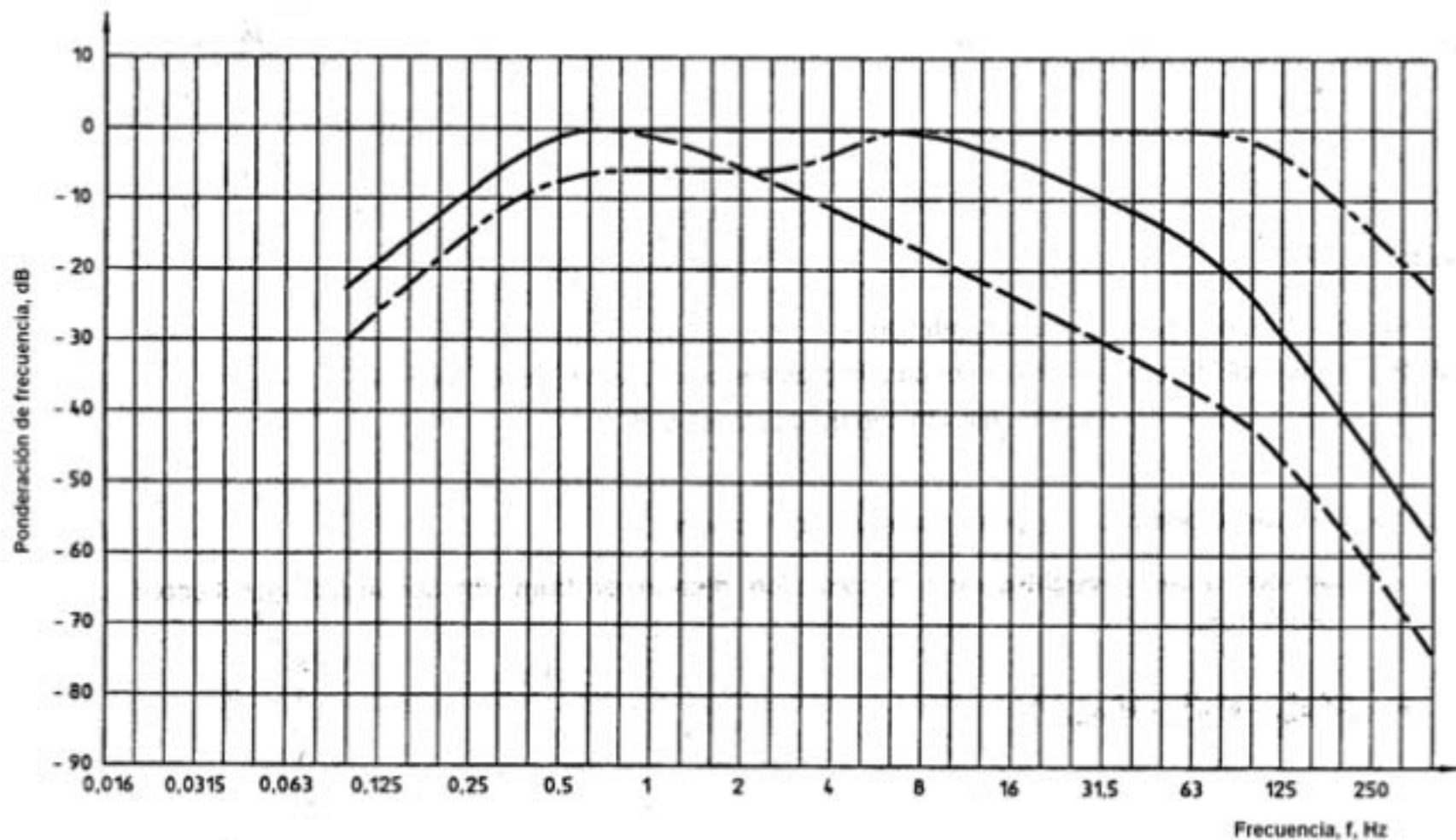
Ponderación en Frecuencia	Salud	Confort	PERCEPCION	Mareo
$W_k$	eje z, asiento	eje z, asiento eje z, de pié Vertical recostado (excepto cabeza) eje x, y, z, pie (sentado)	eje z, asiento eje z, de pié vertical recostado (excepto cabeza)	—
$W_d$	eje x, asiento eje y, asiento	eje x, asiento eje y, asiento eje x, y, de pié horizontal recostado eje y, z, respaldo del ASIENTO	eje x, asiento eje y, asiento eje x, y, de pié horizontal recostado	—
$W_f$	—	—	—	Vertical

# Ponderaciones de Frecuencia VCE ISO 2631

Ponderación en Frecuencia	Salud	Confort	PERCEPCION	Mareo
$W_c$	eje x, respaldo del asiento	eje x, respaldo del asiento	eje x, respaldo del asiento	—
$W_o$	—	eje $r_x, r_y, r_z$ , asiento	eje $r_x, r_y, r_z$ , asiento	—
$W_i$	—	Vertical recostado (cabeza)	Vertical recostado (cabeza)	—



—————  $W_k$   
 - - - - -  $W_d$   
 - · - · -  $W_t$



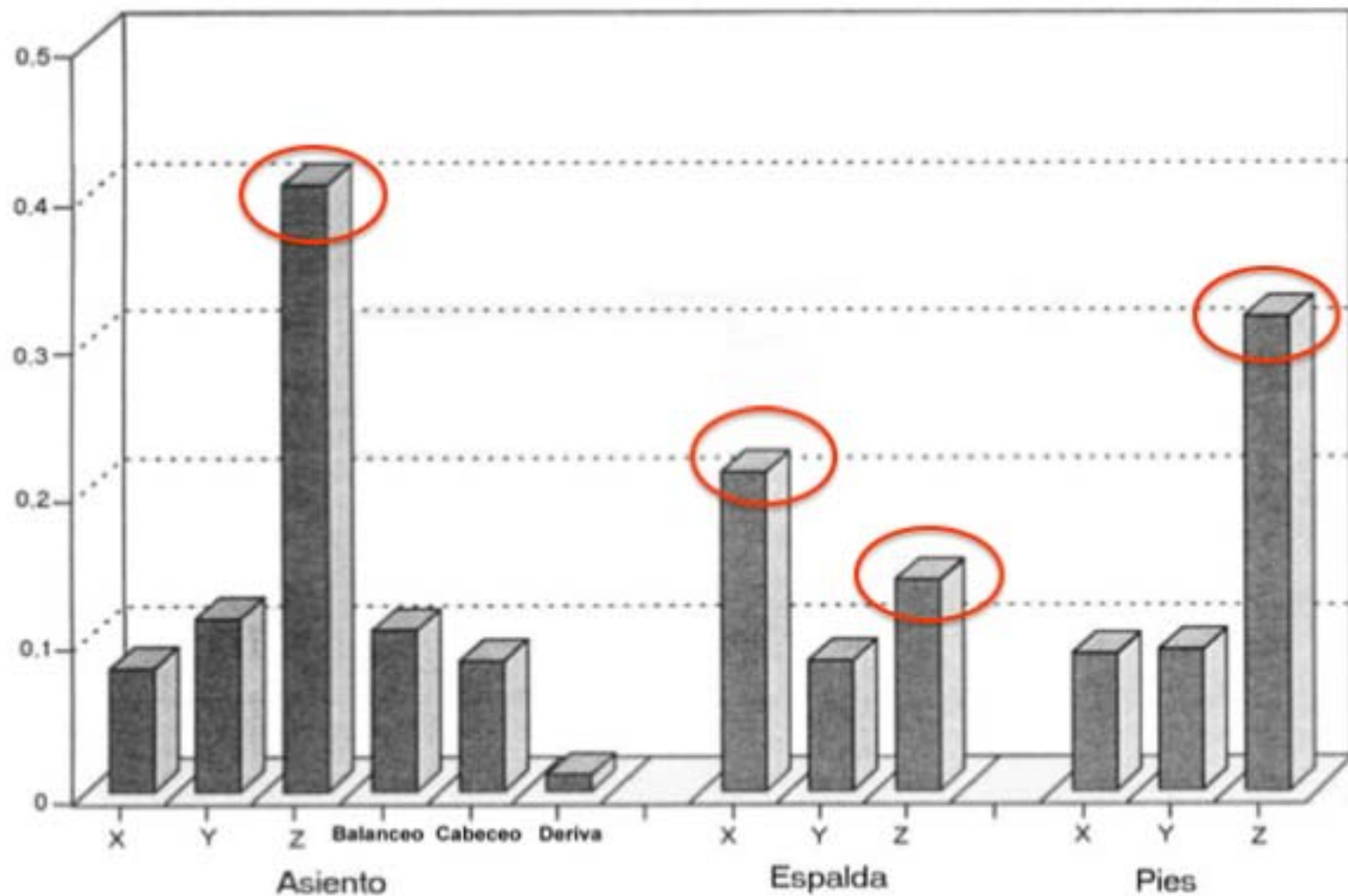
—————  $W_c$   
 - - - - -  $W_e$   
 - · - · -  $W_j$

Frecuencia en Hz	Factor de ponderación <sup>1c</sup>		
	Wk	Wd	Wc
1	0.4825	1.011	0.991
1,25	0.4846	1.007	1.000
1,6	0.4935	0.9707	1.006
2	0.5308	0.8913	1.012
2,5	0.6335	0.7733	1.017
3,15	0.8071	0.6398	1.023
4	0.9648	0.5143	1.024
5	1.039	0.4081	1.013
6,3	1.054	0.3226	0.9739
8	1.037	0.255	0.8941
10	0.9884	0.2017	0.7762
12,5	0.8989	0.1597	0.6425
16	0.7743	0.1266	0.5166
20	0.6373	0.1004	0.4098
25	0.5103	0.07958	0.3236
31,5	0.4031	0.06299	0.2549
40	0.316	0.04965	0.2002
50	0.2451	0.03872	0.1557
63	0.1857	0.02946	0.1182
80	0.1339	0.0213	0.08538

**Exposición de cuerpo  
Entero.**  
(Fuente:ISO 2631)

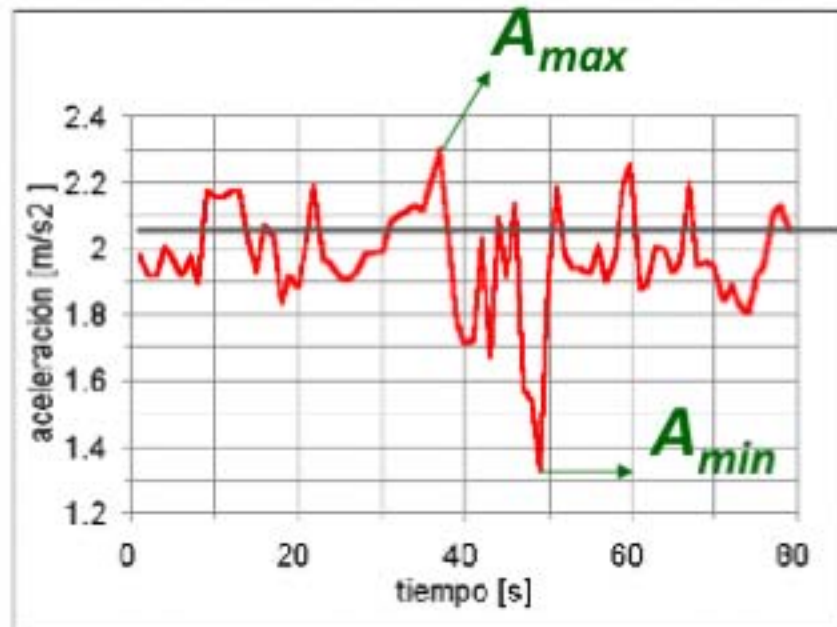
Wk: eje z sentado  
Wd: ejes x e y sentado  
Wc: eje x sentado, acelerómetro  
en zona dorsal

Aceleración Ponderada ( $m/s^2$  rms)



# **Instrumentos de Medición**

# Índice de Medición



$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$a_w$

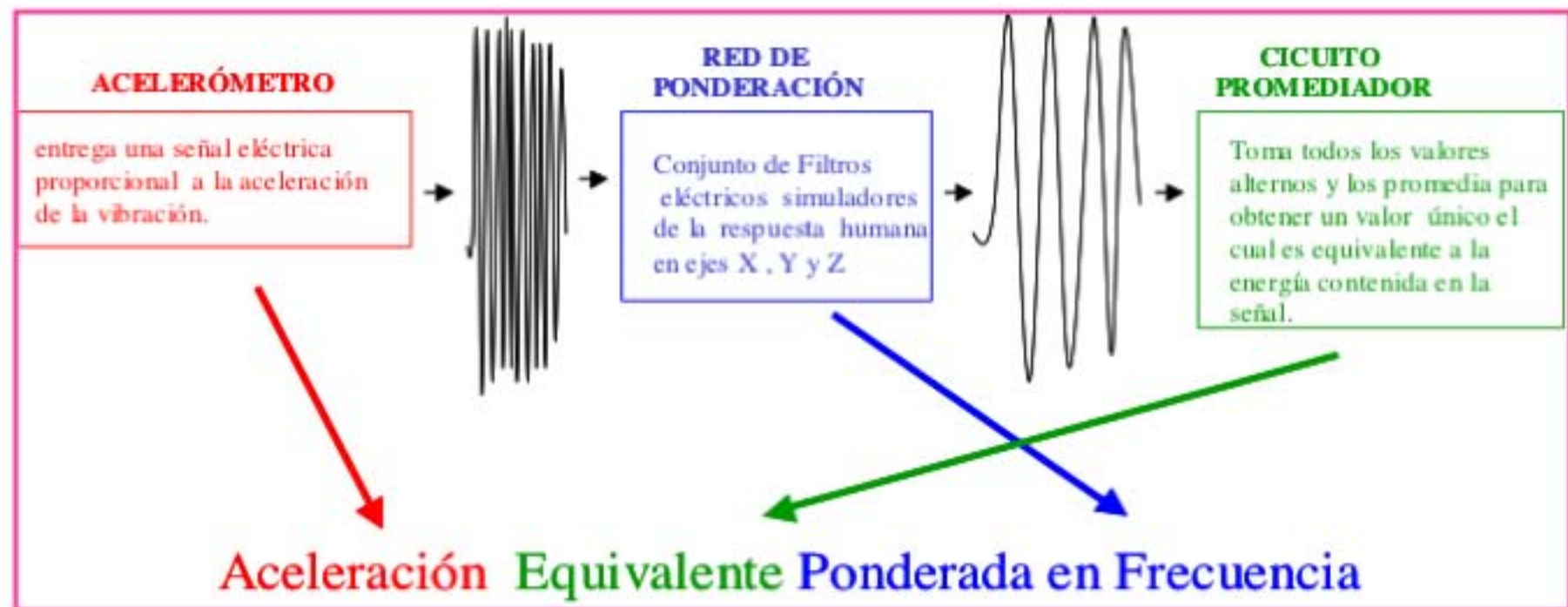


$a_{wx}, a_{wy}, a_{wz}$

**Aceleración equivalente ponderada en frecuencia**



# Medidor de Vibración Humana.



# EQUIPOS DE MEDICIÓN



# Cómo obtengo $a_w$ ?

- Lectura directa para cada eje.
- A partir de un análisis de frecuencia

$$a_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i w_i)^2} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

Donde:

- $a_i$  : Aceleración rms i-ésima para la banda de frecuencia correspondiente.  
 $w_i$  : Factor de ponderación i-esimo para la banda de frecuencia correspondiente.  
 $N$  : Cantidad de bandas de frecuencia.

## Factores de Ponderación por frecuencia según eje

Fc (Hz)	Eje z	Ejes x e y
1	0,50	1,00
1,25	0,56	1,00
1,6	0,63	1,00
2	0,71	1,00
2,5	0,80	0,80
3,15	0,90	0,63
4	1,00	0,50
5	1,00	0,40
6,3	1,00	0,315
8	1,00	0,25
10	0,80	0,20
12,5	0,63	0,16
16	0,50	0,125
20	0,40	0,10
25	0,315	0,08
31,5	0,25	0,063
40	0,20	0,05
50	0,16	0,04
63	0,125	0,0315
80	0,10	0,025

# Procedimiento de Medición



# Reconocimiento

La información que debe recabarse es la siguiente:

- Presencia de vibraciones y trabajadores expuestos a ellas.
- Número total de trabajadores expuestos a vibraciones.
- Uso de más de una herramienta.
- Forma de utilización ( ej: taladro con o sin percutor)
- Tiempo de exposición.

**ESTABLECER METODOLOGIA DE MEDICION**

# Instrumentación

- Las mediciones de vibraciones del, se efectuarán con un **medidor de vibración humana**, es decir que cumpla con las exigencias establecidas en la norma **ISO 8041**.



**Calibration Certificate**

Model No: Keithley 2002 DMM  
 Serial No: 1104832  
 Temperature: 22.58 °C  
 Relative Humidity: 34 %

Calibration Date: 25 March 2008  
 Certificate No: 1194832-1206420630  
 Procedure: MS-1801 REV. E

**Customer information:** RAEN INGENIERIA Y SISTEMAS  
 2 ORIENTE 119  
 CASILLA 9044  
 VINA DEL MAR  
 CL

**Initial Condition (As Received):**  
 In Tolerance  
 Out of Tolerance  
 Repairs Needed  
 Not Applicable (New Product)

**Final Condition (As Shipped):**  
 In Tolerance

- Keithley Instruments, Inc. certifies that the above instrument meets or exceeds all specifications as stated in the referenced procedure (unless otherwise noted). It has been calibrated using measurement standards traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST), or other national standards, and meets the technical requirements of ANSI/ISO, Z540-1-1994.
- The quality system used by Keithley Instruments, Inc. is registered to ISO 9001:2000
- This calibration is a direct comparison of the unit under test to the listed reference standards and did not involve any sampling plans to complete. No allowance has been made for the instability of the test device due to use, time, etc. Such allowances would be made by the customer as needed.
- This calibration certificate shall not be reproduced except in full without the written approval of Keithley Instruments, Inc.

**Calibration Standards Used**

Manufacturer	Model Number	Control Number	Cal Date	Exp Date
Keithley	775	4863	10/4/2007	10/4/2008
Keithley	3836A	7192	5/14/2007	5/14/2008
Fluke	5790A	7444	12/28/2007	3/28/2008
Fluke	5725A	7985	12/28/2007	3/28/2008
Keithley	2001-758	8856	1/28/2008	4/27/2008

Technician: D. Raber

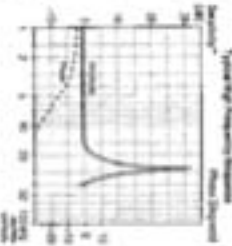
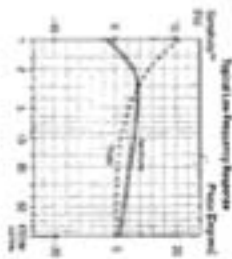
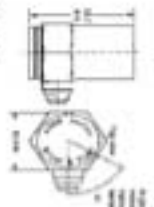
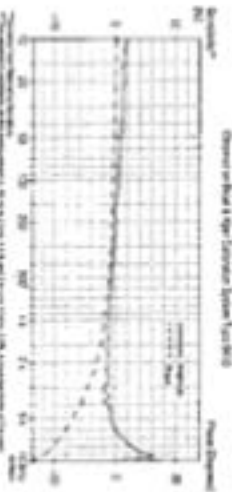
Approved By: Heiga A. Alexander

Heiga A. Alexander  
 Metrology Team Leader

**Calibration Chart for DeltaTron® Accelerometer Type 439E**

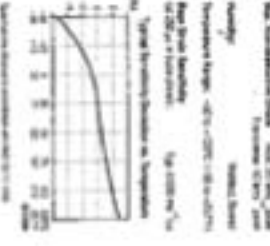
Serial No: 273512

Reference Standard: 9.74 g  
 at 100Hz ± 0.001%  
 Frequency Range: 10 Hz  
 Measurement Uncertainty: ± 0.001%  
 Frequency Range: 10 Hz  
 Measurement Uncertainty: ± 0.001%  
 Frequency Range: 10 Hz  
 Measurement Uncertainty: ± 0.001%  
 Frequency Range: 10 Hz  
 Measurement Uncertainty: ± 0.001%



Output resolution: 0.0001 g  
 Full Scale: ± 20 g  
 Input Impedance: 100 kΩ  
 Power Supply: 5 VDC  
 Operating Temperature: 0 to 50 °C  
 Storage Temperature: -40 to 100 °C  
 Shock: 100 g  
 Vibration: 10 g

Physical  
 Reference Standard: 9.74 g  
 at 100Hz ± 0.001%  
 Frequency Range: 10 Hz  
 Measurement Uncertainty: ± 0.001%  
 Frequency Range: 10 Hz  
 Measurement Uncertainty: ± 0.001%  
 Frequency Range: 10 Hz  
 Measurement Uncertainty: ± 0.001%



**DeltaTron® Accelerometer Type 439E**

Serial No.: 273515

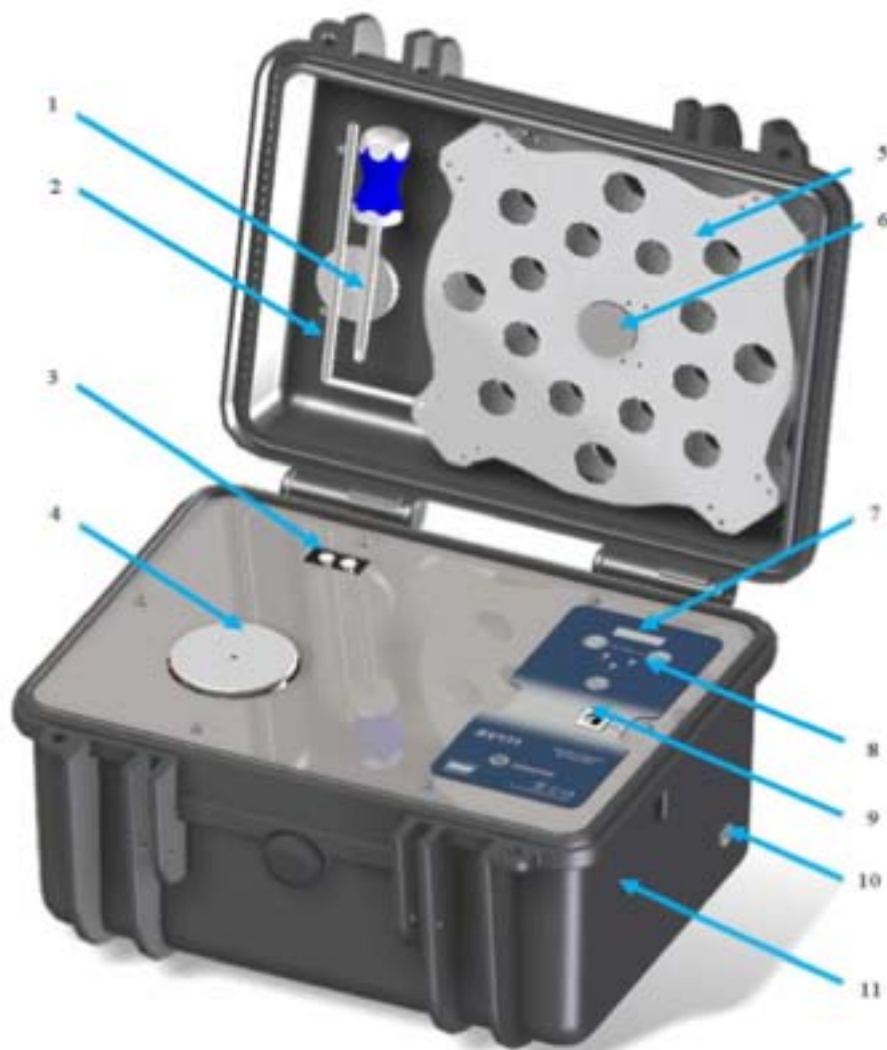
# Calibración

- **De la Verificación de las Baterías :**
  - Las baterías del instrumento, deberán ser verificadas antes de cada medición.
- **De la Calibración en Terreno del Instrumento:**
  - Se deberá realizar una Calibración en Terreno al medidor de vibración humana pre y post medición, según las instrucciones entregadas por el fabricante (manual del equipo).

# Calibración

## SV 111

1. Screwdriver
2. Hex wrench
3. Screws
4. Shaker
5. Support
6. Support's nut
7. Display
8. Keyboard
9. USB port
10. EXT\_DC supply socket
11. Case



## Calibración eje Z



**Magneto de  
fijación**



**SA 105  
adaptador para  
calibración**



**SV 111**

## Calibración ejes X, Y

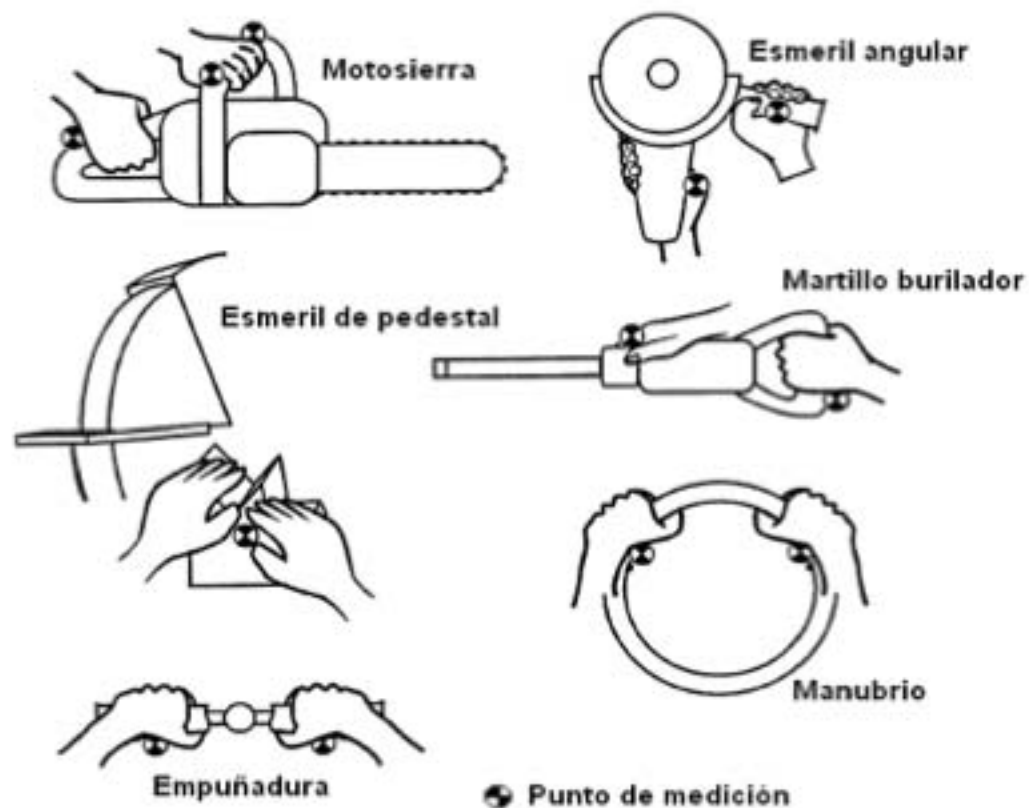


## GES: Cuántos trabajadores muestrear?

N	≤ 6	7-8	9-11	12-14	15-18	19-26	27-43	44-50	> 50
n	N	6	7	8	9	10	11	12	14

**Tabla, asegura con un 95% de confianza que al menos 1 trabajador del 20% del grupo de mayor exposición, formará parte del grupo evaluado.**

# Donde medir?



Fuente: ISO 5349: 2001 Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand – transmitted vibration.





## ***Tiempo medición????***



Fuente: ISO 5349: Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand – transmitted vibration.

# Recomendaciones: Jornada normal de trabajo

- Una medición debe ser un promedio durante un período que es representativo del uso típico de una herramienta eléctrica, máquina o proceso.
- El período de medición debe comenzar cuando las manos del trabajador se ponen en contacto por primera vez con la superficie vibratoria, y debe terminar cuando el contacto se rompe.
- Se deben tomar una serie de mediciones (muestras) en diferentes momentos del día, y promediar, con el fin de considerar las variaciones en la vibración a lo largo del día.

$$a_{hw} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{j=1}^N a_{hwj}^2 t_j}$$

Donde:

$A_{hwj}$  = aceleración vibratoria muestra j

$T_j$  = tiempo de muestreo muestra j

T = tiempo total de muestreo

# Recomendaciones: Jornada normal de trabajo

- Las exposiciones a menudo son por períodos cortos, que se repiten muchas veces durante un día laboral. A pesar de que las mediciones pueden promediarse durante ciclos completos de operación (incluidos los períodos en que la fuente de vibración está apagada), normalmente solo es posible promediar durante el corto período, en que la mano está en contacto con el superficie vibratoria.
- El tiempo total de medición (es decir, el número de muestras multiplicado por la duración por medición) debe ser como mínimo de 1 min.
- Se deben tomar varias muestras de menor duración en lugar de una sola larga medida de la duración.
- Para cada operación, se deben tomar al menos tres muestras.

## Recomendaciones: Jornada normal de trabajo

- En aquellos casos, donde las medidas de muy corta duración son inevitables (por ejemplo, ciertos tipos de molienda de pedestal para los cuales los tiempos de contacto pueden ser muy cortos), es aconsejable tomar más de tres muestras, para garantizar un tiempo de muestra total superior a 1 min
- Es poco probable que, las mediciones de muy corta duración (por ejemplo, menos de 8 s) sean confiables, particularmente en la evaluación de componentes de baja frecuencia, y deben evitarse, siempre que sea posible

# Recomendaciones: Simulación del Trabajo

- Donde las mediciones no son posibles o difíciles, durante el funcionamiento normal de la herramienta, entonces los procedimientos simulados de trabajo se puede usar para simplificar el proceso de medición.
- El uso principal de los procedimientos de trabajo simulado es lograr mediciones durante períodos más largos que los permitidos durante el trabajo de producción normal. Por ejemplo, el rectificado en pedestal de fundiciones pequeñas solo puede durar unos segundos por fundición; en lugar de intentar medir duraciones cortas en muchas piezas fundidas, es posible simular el rectificado en una pequeña cantidad de piezas fundidas, utilizando cada pieza fundida varias veces.
- Levantar, colocar o reemplazar la herramienta eléctrica puede alterar la medición.
- Las dificultades también pueden evitarse, midiendo durante procedimientos de trabajo simulados que pueden diseñarse para evitar cualquier interrupción entre operaciones.



# Estudio previo

La información que debe recabarse es la siguiente:

- **Presencia de vibraciones y trabajadores expuestos a ellas.**
- **Número total de trabajadores expuestos a vibraciones.**
- **Uso de más de un equipo.**
- **Condiciones de las superficies de desplazamiento**
- **Condiciones de asiento y sistemas de aislación de vibraciones.**
- **Tiempo de exposición.**

# Instrumentación

- Las mediciones de vibraciones del, se efectuarán con un **medidor de vibración humana**, es decir que cumpla con las exigencias establecidas en la norma **ISO 8041**.



#### Performance:

Number of axis .....	3
Sensitivity ( $\pm 5\%$ ) .....	0.662 mV/(m/s <sup>2</sup> ) at 79.58 Hz
Measurement range .....	2000 ms <sup>-2</sup> PEAK
Frequency response ( $\pm 3$ dB) .....	1 Hz + 1200 Hz
Resonant frequency .....	16.5 kHz (MEMS transducer)
Electrical noise .....	< 72 $\mu$ V RMS, Wh weighting
	< 0.662 mV RMS, HP1 weighting



**Calibration Certificate**

Model No: Keithley 2002 DMM  
 Serial No: 1104832  
 Temperature: 22.58 °C  
 Relative Humidity: 34 %

Calibration Date: 25 March 2008  
 Certificate No: 1194832-1206420630  
 Procedure: MS-1801 REV. E

**Customer information:** RAIN INGENIERIA Y SISTEMAS  
 2 ORIENTE 119  
 CASILLA 9044  
 VINA DEL MAR  
 CL

**Initial Condition (As Received):**  
 In Tolerance  
 Out of Tolerance  
 Repairs Needed  
 Not Applicable (New Product)

**Final Condition (As Shipped):**  
 In Tolerance

- Keithley Instruments, Inc. certifies that the above instrument meets or exceeds all specifications as stated in the referenced procedure (unless otherwise noted). It has been calibrated using measurement standards traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST), or other national standards, and meets the technical requirements of ANSI/ISO, Z540-1-1994.
- The quality system used by Keithley Instruments, Inc. is registered to ISO 9001:2000
- This calibration is a direct comparison of the unit under test to the listed reference standards and did not involve any sampling plans to complete. No allowance has been made for the instability of the test device due to use, time, etc. Such allowances would be made by the customer as needed.
- This calibration certificate shall not be reproduced except in full without the written approval of Keithley Instruments, Inc.

**Calibration Standards Used**

Manufacturer	Model Number	Control Number	Cal Date	Exp Date
Keithley	775	4863	10/4/2007	10/4/2008
Keithley	3836A	7192	5/14/2007	5/14/2008
Fluke	5790A	7444	12/28/2007	3/28/2008
Fluke	5725A	7985	12/28/2007	3/28/2008
Keithley	2001-758	8856	1/28/2008	4/27/2008

Technician: D. Raber

Approved By: Heiga A. Alexander

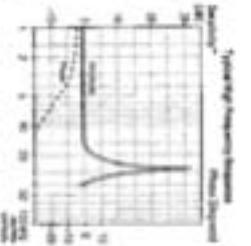
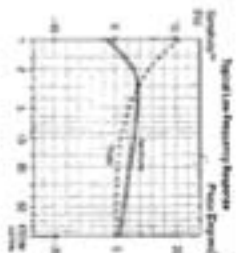
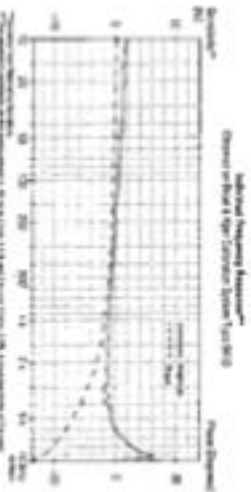
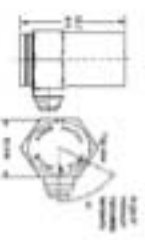
Heiga A. Alexander  
 Metrology Team Leader

**Calibration Chart for DeltaTron® Accelerometer Type 439E**

Serial No: 273512

Reference Standard: 9.74 g  
 at 100Hz ± 0.001%  
 Frequency Range: 10 Hz  
 Measurement Uncertainty: ± 0.001%  
 Reference Temperature: 22.58 °C  
 Reference Humidity: 34.00 %  
 Actual Humidity: 34.00 %  
 Actual Temperature: 22.58 °C

Standard Type: 1000 g  
 Output resolution: 1.000  
 Rate Output: ± 27.1237 g/s  
 Peak Output: ± 487.9 g/s  
 Zero Point: ± 0.000 g  
 Linearity: ± 0.000 g  
 Nonlinearity: ± 0.000 g  
 Hysteresis: ± 0.000 g  
 Resolution: ± 0.000 g  
 Noise: ± 0.000 g  
 Drift: ± 0.000 g  
 Temperature Coefficient: ± 0.000 g/°C  
 Humidity Coefficient: ± 0.000 g/%RH



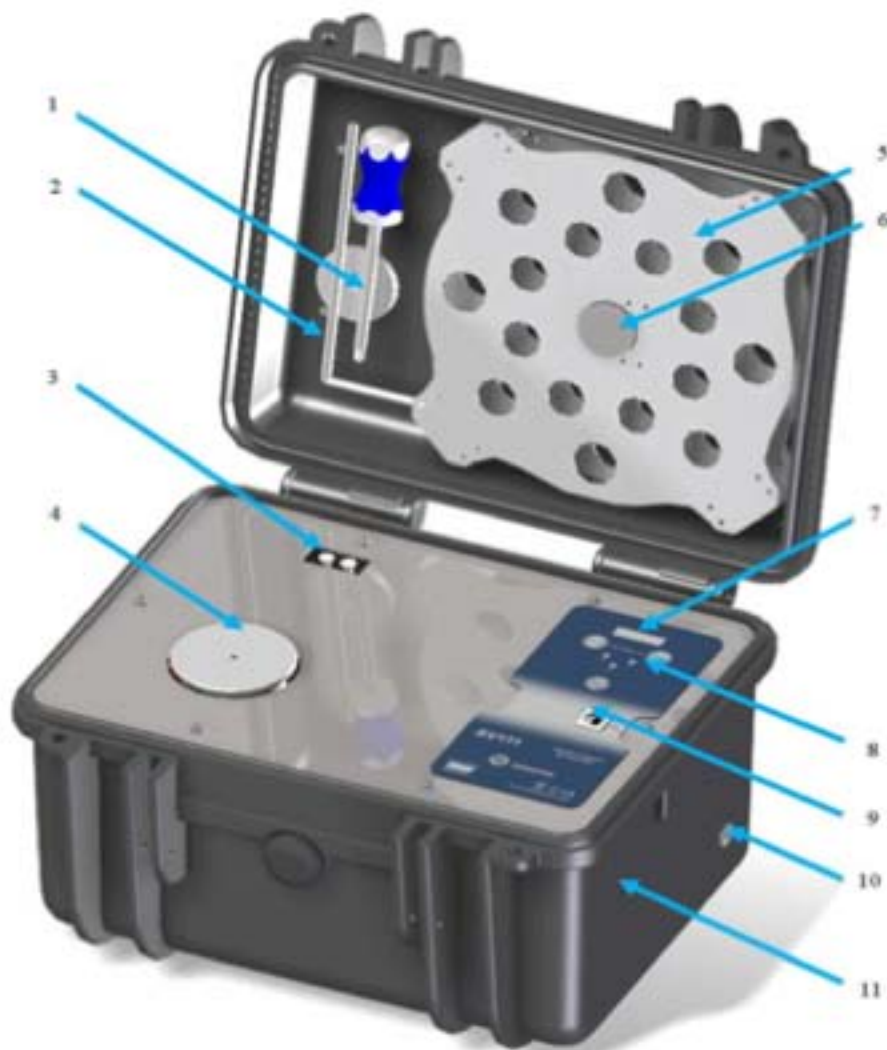
**DeltaTron® Accelerometer Type 439E**

Serial No.: 273515

# Calibración

## SV 111

1. Screwdriver
2. Hex wrench
3. Screws
4. Shaker
5. Support
6. Support's nut
7. Display
8. Keyboard
9. USB port
10. EXT\_DC supply socket
11. Case





Vertical installation for calibration in X, Y axes

**F calibración: 15.92Hz**

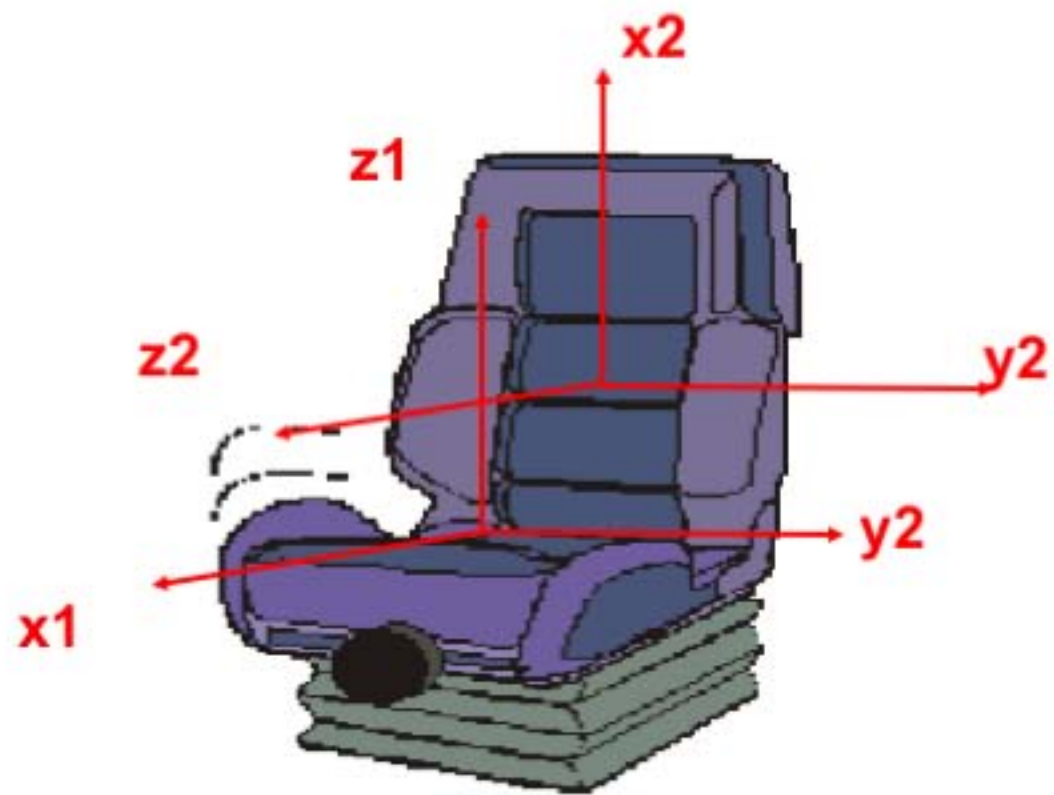


Horizontal installation for calibration in Z axis



**SV38V**





# De la ubicación del acelerómetro

- **Posición fija:** interface entre el cuerpo del trabajador y la superficie vibrante, o tan cerca como sea posible del área a través de la cual la vibración es transmitida al cuerpo (sentado o de pie, respecto de la superficie vibrante).



## GES: Cuántos trabajadores muestrear?

N	≤ 6	7-8	9-11	12-14	15-18	19-26	27-43	44-50	> 50
n	N	6	7	8	9	10	11	12	14

**Tabla, asegura con un 95% de confianza que al menos 1 trabajador del 20% del grupo de mayor exposición, formará parte del grupo evaluado.**



## Ejemplos para la localización acelerómetro



# De la ubicación del acelerómetro

- **Trabajador se desplaza** por superficies vibrantes (plataformas), sin permanecer en un punto fijo (como por ejemplo: zonas de tránsito, zona de inspección de maquinaria, etc.), se deberá instalar el acelerómetro en los puntos representativos (donde el trabajador se desplace o permanezca más tiempo) de las posiciones donde éste se movilice.

# De la medición

- Se deberá efectuar la medición en forma simultánea para cada eje coordenado, obteniéndose el valor de aceleración equivalente ponderada para cada eje ( $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  y  $a_{wz}$ ), .

# Qué se mide?

- **El valor eficaz de la magnitud de la vibración:** *representa la aceleración media durante un periodo de medición. Para evaluar la exposición se utiliza el mayor de los valores en tres direcciones ortogonales ( $1,4a_{wx}$ ,  $1,4a_{wy}$  o  $a_{wz}$ ), en metros por segundo al cuadrado ( $m/s^2$ ).*
- **El valor de la dosis de vibración (VDV):** *es una medida alternativa de la exposición a las vibraciones que se desarrolló para obtener una mejor indicación de los riesgos de las vibraciones que presenytan choques. La unidad del VDV es el metro por segundo a la potencia 1,75 ( $m/s^{1,75}$ ), el VDV es acumulativo y, por lo tanto, aumenta con el tiempo de medición*

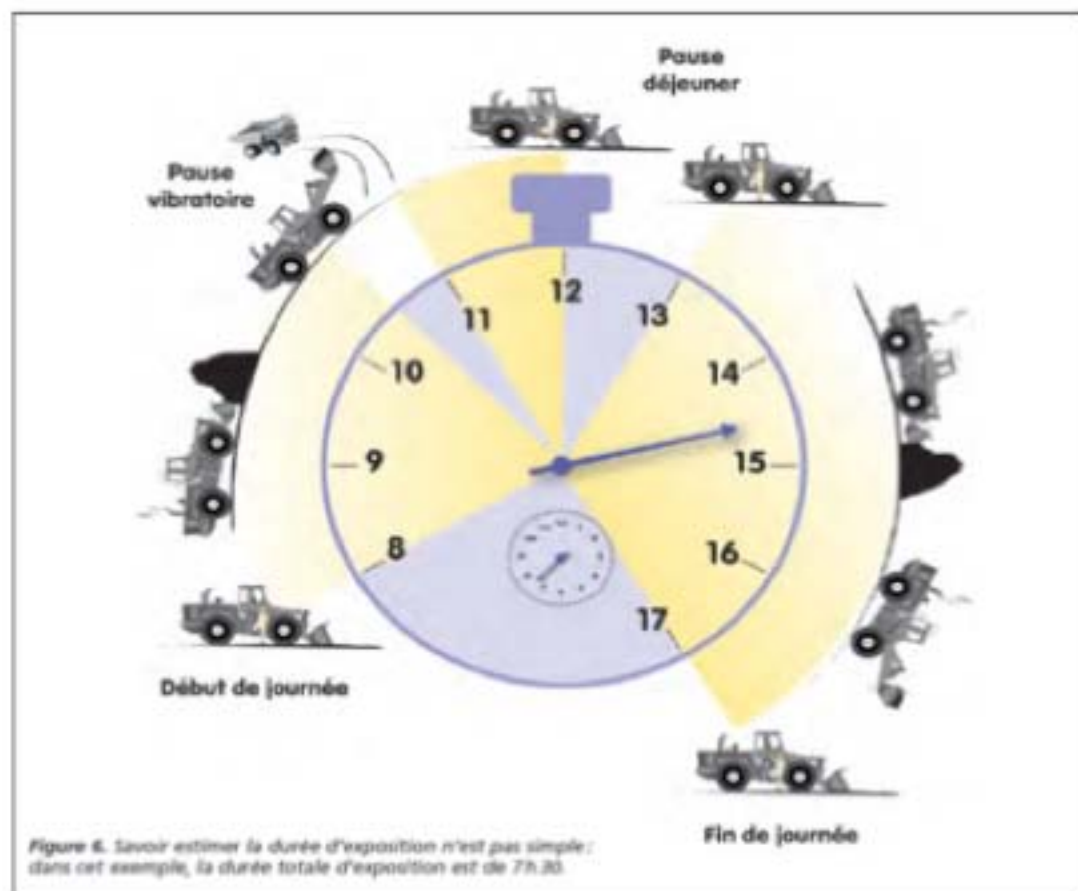
# Cuanto tiempo medir?

- **Períodos de al menos veinte minutos.**
- **Mediciones más cortas, éstas sean de al menos tres minutos y, se repitan hasta alcanzar un tiempo de medición global superior a veinte minutos.**
- **Preferentemente realizar mediciones largas, de dos horas o más (a veces es posible efectuar mediciones de media jornada de trabajo o una jornada completa).**

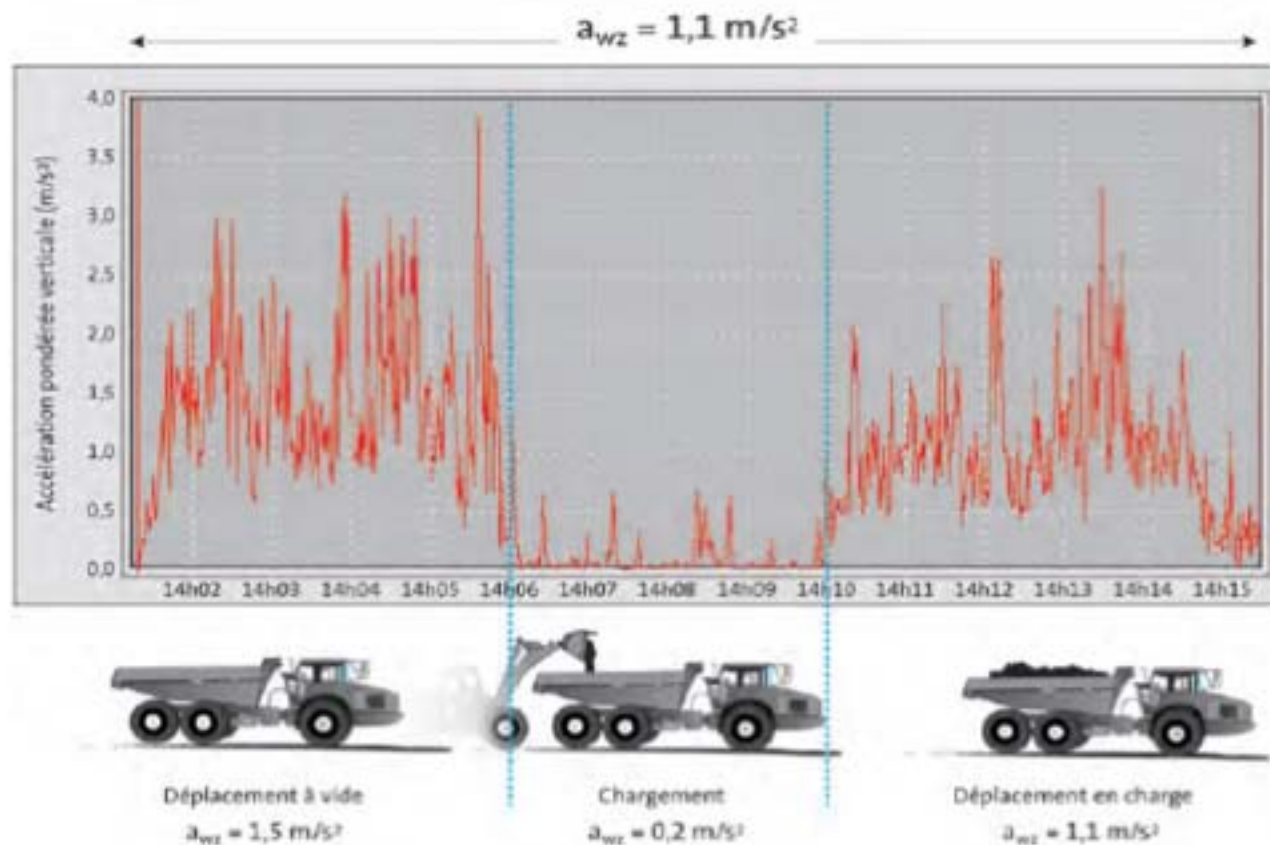
# Fuentes de incertidumbre en la medición

- **La incertidumbre ligada al instrumento / la calibración;**
- **Variabilidad entre usuarios de la máquina (por ejemplo, la experiencia o las velocidades o estilos de conducción);**
- **Variabilidad de las vías de circulación**
- **La capacidad del trabajador de reproducir el trabajo típico durante las mediciones;**
- **La repetibilidad de la tarea.**

# Tiempo de exposición?



# Variabilidad de la aceleración?



*Figure 3 bis.*  
Pour un engin,  
l'amplitude de  
la vibration est  
fonction de la  
tâche à  
effectuer.



# Valores Límites



## **Directiva 2002/44/CE**

- **La Directiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones).**

# Exposición segmento mano - brazo

Tiempo exposición (h)	Valor límite (m/s <sup>2</sup> )	Nivel de acción (m/s <sup>2</sup> )
8	5	2,5

Fuente: Directiva 2002/44/CE. 2002

## Exposición segmento mano brazo

Tiempo exposición (hrs)	Valor Límite (m/s <sup>2</sup> )
8	5,0

Fuente: TLVs ACGIG, 2016

## Exposición segmento mano brazo

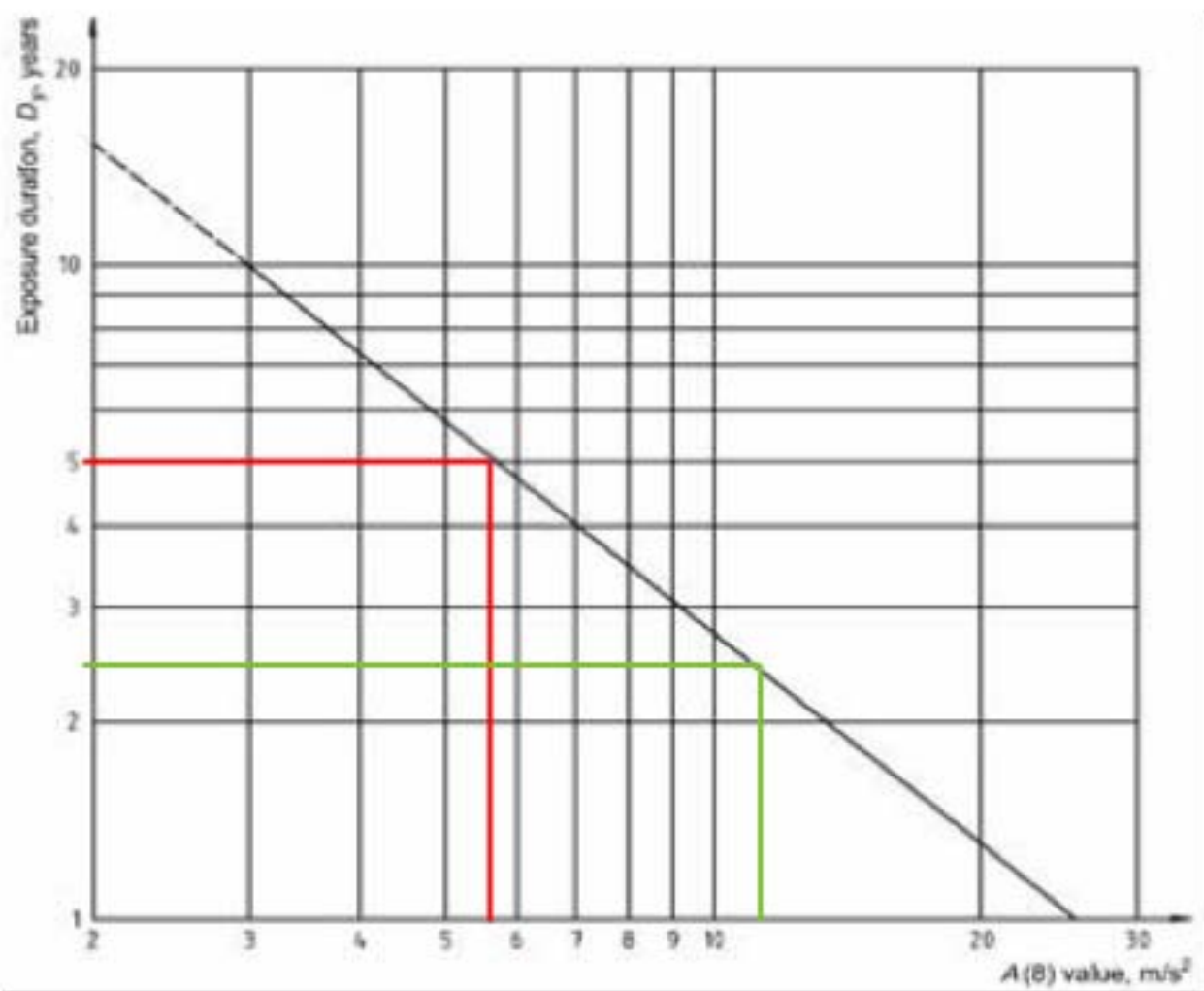
Tiempo exposición (hrs)	Valor Límite <sup>(1, 2)</sup> (m/s <sup>2</sup> )
4 - < 8	4
2 - < 4	6
1 - < 2	8
< 1	12

(1): Resolución 295/2003. Argentina

(2). Decreto Supremo 594 Chile

## Valore Límites ISO 5349

- **ISO 5349 no especifica ningún límite, pero da un modelo para la predicción del riesgo de trastornos vasculares (fenómeno del síndrome del dedo blanco Raynaud)**



$$D_y = 31,8 (A_8)^{-1,06}$$



## Exposición de cuerpo entero

Tiempo exposición (h)	Valor límite (m/s <sup>2</sup> )	Nivel de acción (m/s <sup>2</sup> )
8	1.15	0.5

Fuente: Directiva 2002/44/CE. 2002

# Valores Límites

## ISO 2631 y ACGIH 2016

Tiempo exposición (hrs)	Valor Límite (m/s <sup>2</sup> )	Valor Límite (m/s <sup>2</sup> )
0,1667	6,0000	3,0000
0,5000	3,4644	1,7322
1,0000	2,4497	1,2249
2,0000	1,7322	0,8661
4,0000	1,2249	0,6124
8,0000	0,8661	0,4331
24,0000	0,5000	0,2500

## Estimación del Riesgo ISO 2631-1, A(8) (eje vertical o eje z)

- $< 0.5 \text{ m/s}^2$  = los efectos sobre la salud no han sido claramente documentados y/o observados objetivamente
- $0.5 \text{ m/s}^2$  y  $0.8 \text{ m/s}^2$  = riesgos potenciales sobre la salud , tomar precauciones.
- $> 0.8 \text{ m/s}^2$  = riesgos para la salud probables.

# LMP Argentina Eje Z. Resolución 295/2003

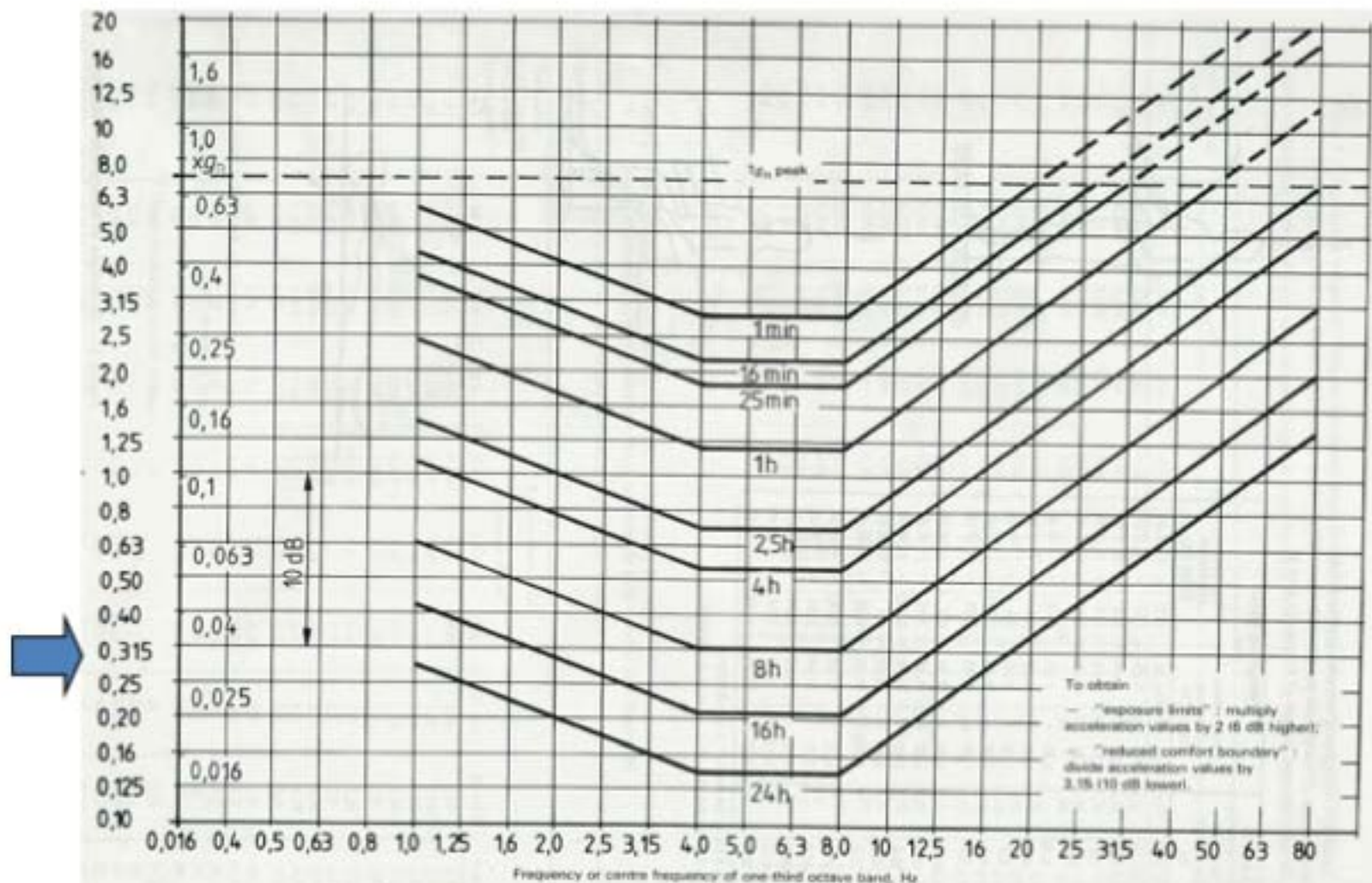


Figure 2a — Longitudinal ( $a_z$ ) acceleration limits as a function of frequency and exposure time: "fatigue-decreased proficiency boundary".

## TLV eje Z para 8 h

Eje Z, Aceleración, m/s <sup>2</sup>									
Frecuencia	Tiempos de exposición								
Hz	24 h	16 h	8 h	4 h	2,5 h	1 h	25 min	16 min	1 min
1,0	0,280	0,383	<b>0,63</b>	1,06	1,40	2,36	3,55	4,25	5,60
1,25	0,250	0,338	<b>0,56</b>	0,95	1,26	2,12	3,15	3,75	5,00
1,6	0,224	0,302	<b>0,50</b>	0,85	1,12	1,90	2,80	3,35	4,50
2,0	0,200	0,270	<b>0,45</b>	0,75	1,00	1,70	2,50	3,00	4,00
2,5	0,180	0,239	<b>0,40</b>	0,67	0,90	1,50	2,24	2,65	3,55
3,15	0,160	0,212	<b>0,355</b>	0,60	0,80	1,32	2,00	2,35	3,15
4,0	0,140	0,192	<b>0,315</b>	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12	2,80
5,0	0,140	0,192	<b>0,315</b>	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12	2,80
6,3	0,140	0,192	<b>0,315</b>	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12	2,80
8,0	0,140	0,192	<b>0,315</b>	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12	2,80
10,0	0,180	0,239	<b>0,40</b>	0,67	0,90	1,50	2,24	2,65	3,55
12,5	0,224	0,302	<b>0,50</b>	0,85	1,12	1,90	2,80	3,35	4,50
16,0	0,280	0,383	<b>0,63</b>	1,06	1,40	2,36	3,55	4,25	5,60
20,0	0,355	0,477	<b>0,80</b>	1,32	1,80	3,00	4,50	5,30	7,10
25,0	0,450	0,605	<b>1,0</b>	1,70	2,24	3,75	5,60	6,70	9,00
31,5	0,560	0,765	<b>1,25</b>	2,12	2,80	4,75	7,10	8,50	11,2
40,0	0,710	0,955	<b>1,60</b>	2,65	3,55	6,00	9,00	10,6	14,0
50,0	0,900	1,19	<b>2,0</b>	3,35	4,50	7,50	11,2	13,2	18,0
63,0	1,120	1,53	<b>2,5</b>	4,25	5,60	9,50	14,0	17,0	22,4
80,0	1,400	1,91	<b>3,15</b>	5,30	7,10	11,8	18,0	21,2	28,0

# LMP Argentina Ejes X e Y. Resolución 295/2003

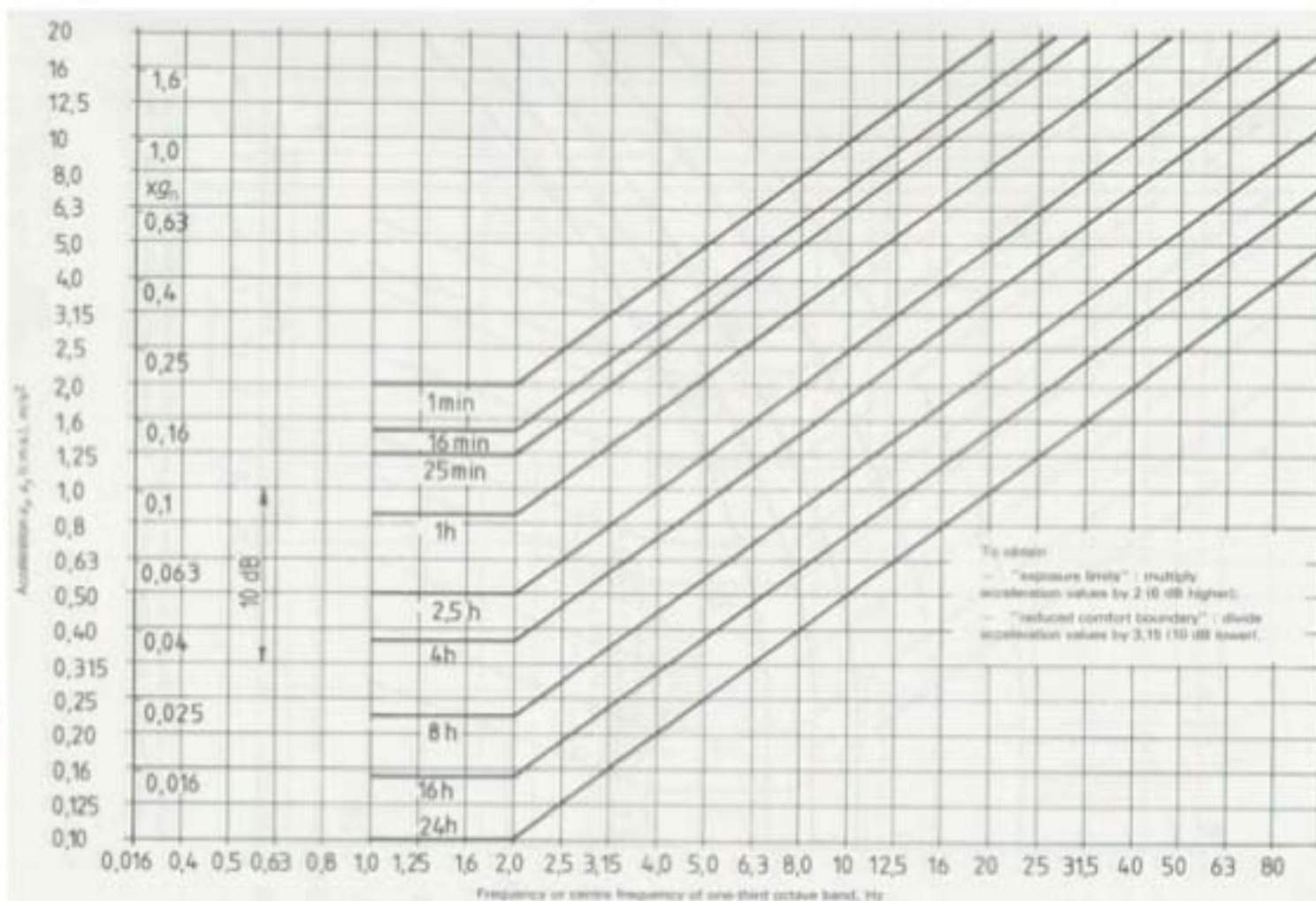


Figure 3a — Transverse ( $a_x, a_y$ ) acceleration limits as a function of frequency and exposure time; "fatigue-decreased proficiency boundary"

## TLV ejes X e Y para 8 h

Ejes x e y, Aceleración, m/s <sup>2</sup>									
Frecuencia	Tiempos de exposición								
Hz	24 h	16 h	8 h	4 h	2,5 h	1 h	25 min	16 min	1 min
1,0	0,100	0,135	<b>0,224</b>	0,355	0,50	0,85	1,25	1,50	2,0
1,25	0,100	0,135	<b>0,224</b>	0,355	0,50	0,85	1,25	1,50	2,0
1,6	0,100	0,135	<b>0,224</b>	0,355	0,50	0,85	1,25	1,50	2,0
2,0	0,100	0,135	<b>0,224</b>	0,355	0,50	0,85	1,25	1,50	2,0
2,5	0,125	0,171	<b>0,280</b>	0,450	0,63	1,06	1,6	1,9	2,5
3,15	0,160	0,212	<b>0,355</b>	0,560	0,8	1,32	2,0	2,36	3,15
4,0	0,200	0,270	<b>0,450</b>	0,710	1,0	1,70	2,5	3,0	4,0
5,0	0,250	0,338	<b>0,560</b>	0,900	1,25	2,12	3,15	3,75	5,0
6,3	0,315	0,428	<b>0,710</b>	1,12	1,6	2,65	4,0	4,75	6,3
8,0	0,40	0,54	<b>0,900</b>	1,40	2,0	3,35	5,0	6,0	8,0
10,0	0,50	0,675	<b>1,12</b>	1,80	2,5	4,25	6,3	7,5	10,0
12,5	0,63	0,855	<b>1,40</b>	2,24	3,15	5,30	8,0	9,5	12,5
16,0	0,80	1,06	<b>1,80</b>	2,80	4,0	6,70	10,0	11,8	16,0
20,0	1,00	1,35	<b>2,24</b>	3,55	5,0	8,5	12,5	15,0	20,0
25,0	1,25	1,71	<b>2,80</b>	4,50	6,3	10,6	15,0	19,0	25,0
31,5	1,60	2,12	<b>3,55</b>	5,60	8,0	13,2	20,0	23,6	31,5
40,0	2,00	2,70	<b>4,50</b>	7,10	10,0	17,0	25,0	30,0	40,0
50,0	2,50	3,38	<b>5,60</b>	9,00	12,5	21,2	31,5	37,5	50,0
63,0	3,15	4,28	<b>7,10</b>	11,2	16,0	26,5	40,0	45,7	63,0
80,0	4,00	5,4	<b>9,00</b>	14,0	20,0	33,5	50,0	60,0	80,0

## ***Resolución 295/2003***

- Si los ejes de vibración tienen magnitudes similares, el movimiento combinado de los tres ejes podría ser mayor, por lo tanto hay que calcular la aceleración equivalente total ponderada,

$$A_{wt} = \sqrt{(1.4 A_{wx})^2 + (1.4 A_{wy})^2 + (A_{wz})^2}$$

El valor resultante se puede comparar con el valor recomendado por la CEE de  $0,5 \text{ m/s}^2$  para una tiempo de exposición de 8 horas,



# Resolución 295/3003. Cálculo aceleración total ponderada

Para cada eje se puede calcular la aceleración equivalente ponderada total a partir de:

$$A_w = \sqrt{\sum (W_f A_f)^2}$$

Dónde:

$A_w$  = Aceleración rms ponderada,

$W_f$  = factor ponderado para un determinado eje (z,x o y) para cada frecuencia de 1/3 de octava de 1 a 80 Hz,

$A_f$  = valor de la aceleración rms para un determinado eje (z,x o y) para cada frecuencia de 1/3 de octava de 1 a 80 Hz,

## Factores de Ponderación por frecuencia según eje

Fc (Hz)	Eje z	Ejes x e y
1	0,50	1,00
1,25	0,56	1,00
1,6	0,63	1,00
2	0,71	1,00
2,5	0,80	0,80
3,15	0,90	0,63
4	1,00	0,50
5	1,00	0,40
6,3	1,00	0,315
8	1,00	0,25
10	0,80	0,20
12,5	0,63	0,16
16	0,50	0,125
20	0,40	0,10
25	0,315	0,08
31,5	0,25	0,063
40	0,20	0,05
50	0,16	0,04
63	0,125	0,0315
80	0,10	0,025

# Ejemplo

En el puesto de trabajo operativo de un cargador frontal, se han efectuado mediciones del nivel de aceleración que se origina durante su conducción, los valores se indican en la tabla siguiente; calcule el nivel total ponderado para cada eje:

Fc (Hz)	Eje z a (m/s <sup>2</sup> )	Eje x a (m/s <sup>2</sup> )	Eje y a (m/s <sup>2</sup> )
1	0,90	0,383	0,280
1,25	0,95	0,338	0,250
1,6	0,85	0,302	0,224
2	0,75	0,270	0,200
2,5	0,67	0,239	0,180
3,15	0,6	0,212	0,160
4	0,53	0,192	0,140
5	0,53	0,192	0,140
6,3	0,53	0,192	0,140
8	0,53	0,192	0,140
10	0,67	0,239	0,180
12,5	0,71	0,302	0,224
16	1,06	0,383	0,280
20	1,32	0,477	0,355
25	1,7	0,605	0,450
31,5	2,12	0,765	0,560
40	2,30	0,955	0,710
50	2,35	1,19	0,900
63	3,25	1,53	1,120
80	3,3	1,91	1,400

$$A_w = \sqrt{\sum (W_f A_f)^2}$$

## ***LMP Decreto Supremo 594 Chile***

Tiempo de Exposición (horas)	Aeq Máxima Permitida (m/s <sup>2</sup> )		
	z	x	y
12	0,50	0,35	0,35
11	0,53	0,38	0,38
10	0,56	0,39	0,39
9	0,59	0,42	0,42
8	0,63	0,45	0,45
7	0,70	0,50	0,50
6	0,78	0,54	0,54
5	0,90	0,61	0,61
4	1,06	0,71	0,71
3	1,27	0,88	0,88
2	1,61	1,25	1,25
1	2,36	1,70	1,70
0,5	3,30	2,31	2,31

# **Normas de evaluación CEE- ISO – ACGIH: Procesamiento de mediciones**

# Evaluación exposición

## Segmento mano brazo

- **Exposición diaria a las vibraciones,  $A(8)$** 
  - *Tiempo exposición*
  - *Nivel de aceleración*

## Aceleración vibratoria total ponderada en frecuencia ( $a_{hv}$ )

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hw,x}^2 + a_{hw,y}^2 + a_{hw,z}^2}$$

$$\begin{aligned} a_{hv} &= \sqrt{a_{hw,measured}^2 + a_{hw,measured}^2 + a_{hw,measured}^2} \\ &= \sqrt{3} a_{hw,measured} = 1,73 a_{hw,measured} \end{aligned}$$

Fuente: ISO 5349:Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand – transmitted vibration.

## Caracterización de la exposición

### Exposición diaria a vibración

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i}$$

**Donde:**

**$a_{hv}$ : aceleración total ponderada en frecuencia**

**T : tiempo total de exposición**

**$T_i$  : tiempo de exposición en cada operación**

**$T_0$ : tiempo de referencia de 8 hrs**

Fuente: ISO 5349:Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand – transmitted vibration.



## Ejemplo uso una herramienta:

Puesto de Trabajo: operador llave impacto

Mediciones:

$$a_{hwx} = 8.53 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hwy} = 6.71 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hwz} = 7.63 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hv} = 13.27 \text{ m/s}^2$$

Tiempo exposición = 4 h

**A(8) = ¿X?**

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

# Ejemplo uso mas de una herramienta:

**Puesto de Trabajo: operador herramienta manual**

**Mediciones:**

Esmeril angular Makita,  $a_{hv} = 4.60 \text{ m/s}^2$

Esmeril angular Metabo,  $a_{hv} = 6.15 \text{ m/s}^2$

**Tiempo exposición:**

Esmeril angular Makita = 2.5 h

Esmeril angular Metabo = 2.5 h

**$A(8) = ?$**

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i}$$

Qué hacer cuando la exposición a vibraciones varía día a día?

$$A_{\text{typical}}(8) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{d=1}^N A_d^2(8)}$$

**Donde:**

**$A_{\text{typical}}(8)$ :** estimación de la exposición diaria típica

**$A_d(8)$ :** exposición diaria a vibraciones

**N** = número de días trabajados

# Ejemplo:

Puesto de Trabajo: operador esmeril angular makita

Mediciones:

Lunes,  $A_d(8) = 4.60 \text{ m/s}^2$

Martes,  $A_d(8) = 6.15 \text{ m/s}^2$

Jueves,  $A_d(8) = 2.87 \text{ m/s}^2$

$A_{\text{typical}}(8) = \text{¿X?}$

$$A_{\text{typical}}(8) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{d=1}^N A_d^2(8)}$$

Qué hacer cuando el tiempo varía día a día?

$$A_{\text{typical}}(8) = a_{\text{hvi}} \sqrt{\frac{\bar{t}_d}{T_0}}$$

**Dónde:**

**$A_{\text{typical}}(8)$ :** estimación de la exposición diaria típica

**$a_{\text{hvi}}$ :** aceleración total ponderada en frecuencia

**$\bar{t}_d$ :** tiempo de exposición promedio diario

**$T_0$**  = tiempo de referencia de 8 horas.

# Ejemplo:

Puesto de Trabajo: operador esmeril angular makita

$a_{hv} = 4.60 \text{ m/s}^2$

Tiempo exposición:

Lunes y miércoles= 4 h

Martes y viernes= 5 h

Jueves= 1 h

$A_{\text{typical}}(8) = ?$

$$A_{\text{typical}}(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{\bar{t}_d}{T_0}}$$

## Impacto en salud de la exposición

- Determine el tiempo en el cual se espera que el 10% de los trabajadores presente VWF, a partir de:
  - Operadores Herramientas manuales:  $A(8)=4.29 \text{ m/s}^2$
  - Operadores llave impacto:  $A(8)= 9.38 \text{ m/s}^2$

$$D_y = 31,8 (A_8)^{-1,06}$$

## Exposición segmento mano brazo

Tiempo exposición (hrs)	Valor Límite <sup>(1, 2)</sup> (m/s <sup>2</sup> )
4 - < 8	4
2 - < 4	6
1 - < 2	8
< 1	12

(1): Resolución 295/2003. Argentina

(2). Decreto Supremo 594 Chile



# Ejemplo uso una herramienta:

**Puesto de Trabajo: operador llave impacto**

**Mediciones:**

$$a_{hwx} = 8.53 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hwy} = 6.71 \text{ m/s}^2$$

$$a_{hwz} = 7.63 \text{ m/s}^2$$

**Tiempo exposición = 4.5 h**

**LMP- Argentina = 4 m/s<sup>2</sup>**

## Exposición segmento mano – brazo: Uso mas de una herramienta

$$a_{keq} = \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (a_{Ki})^2 T_i \right]^{1/2}$$

$$T = \sum_{i=1}^n T_i$$

Donde:

T = duración de la exposición total diaria

$a_{Ki}$  = valor inésimo, rms, del componente de aceleración ponderada en frecuencia con duración  $T_i$

## Ejemplo:

Evaluar la exposición del operador que utiliza las siguientes herramientas manuales.

Fuente	x	y	z	T.Exp. (h)
Esmeril Angular	4.2	7.9	3.9	1.5
Martillo Neumático	2.9	2.3	4.7	3.0

$$a_{\text{key}} = \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (a_{Ki})^2 T_i \right]^{1/2}$$

$$T = \sum_{i=1}^n T_i$$



# Evaluación exposición cuerpo entero

- **Exposición diaria a las vibraciones,  $A(8)$** 
  - *Tiempo exposición*
  - *Nivel de aceleración*
- **Valor de la dosis de vibración, VDV.**
  - **Tiempo de exposición**
  - **Nivel de aceleración**

# Valor de exposición diaria normalizado

ISO 2631/1

$$A(8) = k_i A_{eq,Te} \sqrt{\frac{T \exp}{T_0}}$$

Donde:

$A_{eq,8}$  = valor de exposición diaria normalizado a 8 horas,  $m/s^2$

$K_i$  = factor adimensional dependiente del eje de medición, ejes x e y= 1.4; eje z=1 para cuerpo entero.

$A_{eq,Te}$  = aceleración equivalente ponderada en frecuencia, medida durante el tiempo  $T_e$  ( $m/s^2$ ).

$T_e$  = Tiempo de exposición efectivo (h).

# Ejemplo: una sola tarea

Fuente	Eje x	Eje y	Eje z	T exp (h)
Grúa horquilla	0.20 m/s <sup>2</sup>	0.4 m/s <sup>2</sup>	0.25 m/s <sup>2</sup>	6,5

$$A(8) = X$$

$$A(8) = k_i A_{eq, Te} \sqrt{\frac{T \text{ exp}}{T_0}}$$

# Valor de exposición total diario normalizado varias tareas

ISO 2631/1

$$A(8)_t = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i(8)^2}$$

Donde:

$A(8)_t$  = valor de exposición total diario normalizado a 8 horas,  $m/s^2$

$A_i(8)$  = valor de exposición diario normalizado diario para cada equipo,  $m/s^2$ .



# Ejemplo: varias tareas

Fuente	Eje x	Eje y	Eje z	T exp (h)
Camión Komatsu	0.5 m/s <sup>2</sup>	0.3 m/s <sup>2</sup>	0.9 m/s <sup>2</sup>	1
Camión Renault	0.2 m/s <sup>2</sup>	0.3 m/s <sup>2</sup>	0.3 m/s <sup>2</sup>	6

$A(8)_t = ?$

$$A(8) = k_i A_{eq, Te} \sqrt{\frac{T \text{ exp}}{T_0}}$$

$$A(8)_t = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i(8)^2}$$

## Valor de DVD: tarea única

ISO 2631/1

$$DVD_{\text{exp}} = k_i DVD \left( \frac{T_{\text{exp}}}{T_m} \right)^{(1/4)}$$

Donde:

DVD = Dosis de Vibración diaria a un determinado eje

$K_i$  = factor adimensional dependiente del eje de medición, ejes x e y= 1.4; eje z=1 para cuerpo entero.

$T_{\text{exp}}$  = Tiempo de exposición efectivo (h).

$T_m$  = tiempo de medición en horas

# Ejemplo: una sola tarea

Los valores de VDV medido, en el asiento en una grúa horquilla, durante dos horas son

Fuente	Eje x	Eje y	Eje z	T exp (h)
Grúa horquilla	3.0 m/s <sup>-1.75</sup>	5 m/s <sup>-1.75</sup>	4 m/s <sup>-1.75</sup>	6,5

$$DVD_{\text{exp}} = k_i DVD \left( \frac{T_{\text{exp}}}{T_m} \right)^{(1/4)}$$

## Valor de DVD: varias tareas

ISO 2631/1

$$VDV_i = ( VDV_{i1}^4 + VDV_{i2}^4 + VDV_{i3}^4 + K )^{1/4}$$

**Donde:**

**$VDV_i$ :** Valor de Dosis de vibración diaria en una determinada dirección

**$VDV_{j1...n}$ :** Valores parciales de DVD en un determinado eje para cada fuente de exposición.

# Ejemplo: varias tareas

El conductor de un camión de reparto dedica diariamente una hora a cargar la mercancía con una carretilla elevadora y, a continuación, conduce el camión durante seis horas. Las vibraciones en el asiento, medidas durante una hora en la carretilla y cuatro horas en el camión son

Fuente	Eje x	Eje y	Eje z	T exp (h)
carretilla	$6 \text{ m/s}^{-1.75}$	$4 \text{ m/s}^{-1.75}$	$12 \text{ m/s}^{-1.75}$	1
Camión	$4 \text{ m/s}^{-1.75}$	$5 \text{ m/s}^{-1.75}$	$6 \text{ m/s}^{-1.75}$	6

## Paso 1: calcular DVD parcial por eje para cada fuente

Carretilla:

$$DVD_{exp,x} = 1.4 \times 6 \left(\frac{1}{1}\right)^{(1/4)} = 8 \text{ m/s}^{1.75}$$

$$DVD_{exp,y} = 1.4 \times 4 \left(\frac{1}{1}\right)^{(1/4)} = 6 \text{ m/s}^{1.75}$$

$$DVD_{exp,z} = 12 \left(\frac{1}{1}\right)^{(1/4)} = 12 \text{ m/s}^{1.75}$$

Camión:

$$DVD_{exp,x} = 1.4 \times 4 \left(\frac{4}{6}\right)^{(1/4)} = 6 \text{ m/s}^{1.75}$$

$$DVD_{exp,y} = 1.4 \times 5 \left(\frac{4}{6}\right)^{(1/4)} = 8 \text{ m/s}^{1.75}$$

$$DVD_{exp,z} = 6 \left(\frac{4}{6}\right)^{(1/4)} = 7 \text{ m/s}^{1.75}$$

## Paso 2: calcular DVD total para cada eje

$$DVD_{,x} = (8^2 + 6^2)^{1/4} = 9 \frac{m}{s^{1.75}}$$

$$DVD_{,y} = (6^2 + 8^2)^{1/4} = 9 \frac{m}{s^{1.75}}$$

$$DVD_{,z} = (12^2 + 7^2)^{1/4} = 12 \frac{m}{s^{1.75}}$$

DVD acción= 9.1 m/s<sup>1.75</sup>

DVD límite= 21 m/s<sup>1.75</sup>

# Resolución 295/2003 Argentina

- **Objetivos:**

- Minimizar el DBE
- Guía de control de la EVCE
- No son límites de seguridad



# Ejemplo

Con el fin de evaluar la exposición de un operario de un cargador frontal, se han efectuado mediciones del nivel de aceleración que se origina durante su conducción, los valores se indican en la tabla siguiente:

Fc (Hz)	Eje z a (m/s <sup>2</sup> )	Eje x a (m/s <sup>2</sup> )	Eje y a (m/s <sup>2</sup> )
1	0,90	0,383	0,280
1,25	0,95	0,338	0,250
1,6	0,85	0,302	0,224
2	0,75	0,270	0,200
2,5	0,67	0,239	0,180
3,15	0,6	0,212	0,160
4	0,53	0,192	0,140
5	0,53	0,192	0,140
6,3	0,53	0,192	0,140
8	0,53	0,192	0,140
10	0,67	0,239	0,180
12,5	0,71	0,302	0,224
16	1,06	0,383	0,280
20	1,32	0,477	0,355
25	1,7	0,605	0,450
31,5	2,12	0,765	0,560
40	2,30	0,955	0,710
50	2,35	1,19	0,900
63	3,25	1,53	1,120
80	3,3	1,91	1,400

Tiempo de exposición = 8 horas

# *Evaluación eje Z*

Fc (Hz)	Eje z	TLV 8 h
	a (m/s <sup>2</sup> )	a (m/s <sup>2</sup> )
1	0,90	0,63
1,25	0,95	0,56
1,6	0,85	0,5
2	0,75	0,45
2,5	0,67	0,4
3,15	0,6	0,355
4	0,53	0,315
5	0,53	0,315
6,3	0,53	0,315
8	0,53	0,315
10	0,67	0,4
12,5	0,71	0,5
16	1,06	0,63
20	1,32	0,8
25	1,7	1
31,5	2,12	1,25
40	2,3	1,6
50	2,35	2
63	3,25	2,5
80	3,3	3,15

## *Evaluación ejes X e Y*

Fc (Hz)	Eje x a (m/s <sup>2</sup> )	Eje y a (m/s <sup>2</sup> )	TLV 8 h a (m/s <sup>2</sup> )
1	0,383	0,28	0,224
1,25	0,338	0,25	0,224
1,6	0,302	0,224	0,224
2	0,27	0,2	0,224
2,5	0,239	0,18	0,28
3,15	0,212	0,16	0,355
4	0,192	0,14	0,45
5	0,192	0,14	0,56
6,3	0,192	0,14	0,71
8	0,192	0,14	0,9
10	0,239	0,18	1,12
12,5	0,302	0,224	1,4
16	0,383	0,28	1,8
20	0,477	0,355	2,24
25	0,605	0,45	2,8
31,5	0,765	0,56	3,55
40	0,955	0,71	4,5
50	1,19	0,9	5,6
63	1,53	1,12	7,1
80	1,91	1,4	9

# Ejemplo

Actividad: operador de cargador frontal

Mediciones:

$$A_{wx} = 1,00 \text{ m/s}^2$$

$$A_{wy} = 1,06 \text{ m/s}^2$$

$$A_{wz} = 1,16 \text{ m/s}^2$$

Tempo de exposición= 8 hrs.

$$A_{wr} = \sqrt{(1.4 A_{wx})^2 + (1.4 A_{wy})^2 + (A_{wz})^2}$$

$$A_{wr} = 2.347 \text{ m/s}^2$$

$$A_{(8)} = 0.5 \text{ m/s}^2$$

# **Taller: Evaluación de exposición ocupacional a vibraciones**

**Ing. Ana María Salazar Bugueño. PhD**  
**[anasalazar@uchile.cl](mailto:anasalazar@uchile.cl)**