

**Vibraciones mecánicas –
Medición y evaluación de
la exposición humana a las
vibraciones transmitidas
por la mano – Parte 1:
Requisitos generales.**

ICS 13.160

Vibraciones y choques y sus efectos sobre las
personas

Diciembre 2010

Correspondencia:

Esta norma es idéntica a la Norma ISO 5349-1:2001 “Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand - transmitted vibration – Part 1: General requirements”.

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad



Prefacio

La elaboración de la Norma Boliviana NB/ISO 5349-1:2010 “**Vibraciones mecánicas – Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano – Parte 1: Requisitos generales (Correspondiente a la norma ISO 5349-1:2001)**”, ha sido encomendada al Comité Técnico de Normalización 2.10 “vibración y acústica”.

Fecha de aprobación por el Comité Técnico de Normalización: 2010 - 11 - 15

Fecha de aprobación por el Consejo Rector de Normalización: 2010 - 11 - 25

Fecha de ratificación por la Directiva de IBNORCA: 2010 - 12 - 10

Índice**Nº Pág.**

1	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	1
2	DEFINICION DE AISLAMIENTO.....	1
1	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	1
2	DEFINICION DE AISLAMIENTO.....	1
3	TERMINOS Y DEFINICIOENS.....	8
1	OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	1
2	DEFINICION DE AISLAMIENTO.....	1
3	TERMINOS Y DEFINICIOENS.....	8
3	TERMINOS Y DEFINICIOENS.....	8

Vibraciones mecánicas – Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano – Parte 1: Requisitos generales**0 INTRODUCCIÓN**

Los instrumentos, máquinas y piezas vibrantes pueden transmitir vibraciones intensas a las manos y brazos de sus usuarios. Esto se observa, por ejemplo, cuando una persona manipula instrumentos manuales vibrantes tales como sierras neumáticas, eléctricas, hidráulicas o accionadas por un motor, instrumentos de percusión o trituradoras.

Dependiendo del tipo y puesto de trabajo, las vibraciones pueden afectar sólo a un brazo o a los dos simultáneamente, y generalmente, pueden transmitirse por la mano y el brazo al hombro. Las vibraciones de las partes del cuerpo y las vibraciones percibidas son, con frecuencia, fuente de malestar y, eventualmente, de disminución del rendimiento. Se ha demostrado que el uso prolongado y habitual de instrumentos vibrantes provoca distintos tipos de enfermedades que pueden afectar a la circulación sanguínea, nervios, huesos, articulaciones, músculos y tejido conjuntivos de la mano y el antebrazo.

El nivel de exposición a las vibraciones que provoca estos desórdenes no se conoce con precisión, ni en lo que se refiere a la intensidad de las vibraciones y su espectro de frecuencias, ni en lo que concierne a la duración de la exposición diaria y acumulativa. La guía dada en esta parte de la Norma ISO 5349 se basa en limitados datos cuantitativos disponibles, tanto por experiencias prácticas como por experimentación en laboratorio sobre la respuesta humana a las vibraciones transmitidas por la mano, y en la escasa información que se dispone relativa a las condiciones de exposición reales. Por lo tanto, es difícil proponer un método detallado para la evaluación de la exposición a las vibraciones. Sin embargo, el empleo de la información dada en esta parte de la Norma ISO 5349 debería proteger a la mayoría de los trabajadores de las alteraciones serias de salud asociadas a las vibraciones transmitidas por la mano. También puede ayudar al desarrollo de nuevas herramientas accionadas manualmente por el trabajador que reduzcan el riesgo de los efectos que tienen sobre la salud las vibraciones transmitidas por la mano. No define intervalos de exposición seguros en los cuales no puedan producirse enfermedades causadas por las vibraciones.

El empleo de esta parte de la Norma ISO 5349 contribuirá a la recopilación de datos coherentes con el fin de mejorar la seguridad en el trabajo. En particular, se espera que estos datos sirvan, en un futuro, para mejorar el conocimiento actual de las relaciones causa-efecto.

Esta parte de la Norma ISO 5349 especifica los requisitos generales de las mediciones y evaluación de la exposición de los trabajadores a las vibraciones transmitidas por la mano. Se complementa con la información dada en la Norma ISO 5349-2, que proporciona una guía práctica para la implementación de las técnicas de medida y evaluación adecuadas al lugar de trabajo. La instrumentación a emplear para las mediciones realizadas conforme con la Norma ISO 5349 se especifica completamente en la Norma ISO 8041.

El Anexo A contiene definiciones de la ponderación en frecuencia, W_h y para los filtros de banda limitante requeridos para la medición de la aceleración ponderada en frecuencia de acuerdo con la Norma ISO 5349.

El anexo B contiene información sobre los efectos que tienen sobre la salud las vibraciones transmitidas por la mano; mientras que el anexo C proporciona una guía que puede ayudar a las autoridades competentes a establecer la definición de límites de exposición o niveles de acción requeridos. El anexo D contiene información de otros factores que pueden afectar a la respuesta del trabajador a las vibraciones transmitidas por la mano y el anexo E contiene una

guía de las medidas preventivas a implantar por los responsables de seguridad y salud en el trabajo.

Para facilitar el progreso en este campo y permitir la comparación cuantitativa de los datos de exposición, es deseable disponer de métodos uniformes para la medida y declaración de las exposiciones de los trabajadores a las vibraciones transmitidas por la mano. En el anexo F se da más información.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma ISO 5349 especifica los requisitos generales para la medida e información de la exposición a las vibraciones transmitidas por la mano, en tres ejes ortogonales. Define una ponderación en frecuencia y los filtros de banda limitante para conseguir una comparación uniforme de las medidas. Los valores obtenidos pueden utilizarse para predecir los efectos adversos de las vibraciones transmitidas por la mano en el intervalo de frecuencia cubierto por las bandas de octava que van desde 8 Hz a 1000 Hz.

Esta parte de la Norma ISO 5349 es aplicable a vibraciones periódicas, aleatorias y no periódicas. Provisionalmente, esta parte de la Norma ISO 5349 también es aplicable a los choques repetidos tipo excitación (impacto).

NOTA 1

En la actualidad no se conoce totalmente la dependencia de la respuesta humana a los choques repetidos con respecto al tiempo. Por lo tanto, la aplicación de esta parte de la Norma LSO 5349 para este tipo de vibraciones debe realizarse con precaución.

Esta parte de la Norma ISO 5349 proporciona una guía para la evaluación de la exposición de las vibraciones transmitidas por la mano, especificada en términos de vibración ponderada en frecuencia y tiempo de exposición diario. No define límites seguros de exposición a las vibraciones.

NOTA 2

El anexo C está relacionado con la importancia relativa aproximada de varias características de la exposición a las vibraciones que pueden llegar a producir efectos para la salud.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se relacionan contienen disposiciones válidas para esta norma internacional. En el momento de la publicación estaban en vigor las ediciones indicadas. Para las referencias con fecha, no son aplicables las revisiones o modificaciones posteriores de ninguna de las publicaciones. Sin embargo, las partes que basen sus acuerdos en esta norma internacional deben estudiar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de las normas indicadas a continuación. Para las referencias sin fecha, se aplica la edición en vigor del documento normativo al que se haga referencia. Los miembros de CEI y de ISO poseen el registro de las normas internacionales en vigor en cada momento.

ISO 2041 - *Vibraciones y choques. Terminología.*

ISO 5349-2 - *Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 2 Guía práctica para la medición en el puesto de trabajo.*

ISO 8041 - *Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida.*

CEI 61260 - *Electroacústica. Filtros de bandas de octava y de bandas de una fracción de octava.*

3 TÉRMINOS, DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

3.1 Términos y definiciones

Para los fines de esta parte de la Norma ISO 5349, se aplican los términos y definiciones dados en la Norma ISO 2041.

NOTA

En el anexo B se da para ayuda de los usuarios de esta parte de la Norma ISO 5349, un glosario de los términos relativos a las condiciones médicas.

3.2 Símbolos

En esta parte de la Norma ISO 5349, se emplean los siguientes símbolos.

$a_{hw}(t)$	valor de la aceleración instantánea de las vibraciones transmitidas por la mano ponderadas en frecuencia en el tiempo t , en metros por segundo al cuadrado (m/s^2).
a_{hw}	valor eficaz de la aceleración de las vibraciones transmitidas por la mano ponderadas en frecuencia, en metros por segundo al cuadrado (m/s^2).
$a_{hwx}, a_{hwy}, a_{hwz}$	valores de a_{hw} en metros por segundo al cuadrado (m/s^2), para los ejes denominados x, y y z, respectivamente.
a_{hv}	valor total de la aceleración eficaz ponderada en frecuencia de las vibraciones (a veces conocida como vector suma o suma de aceleraciones ponderadas en frecuencias); es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores de a_{hw} para los tres ejes de medida de las vibraciones, en metros por segundo al cuadrado (m/s^2);
$a_{hv(eq,8h)}$	exposición diaria a las vibraciones (valor total de la energía equivalente de las vibraciones para 8 h), en metros por segundo al cuadrado (m/s^2);
$A(8)$	un término alternativo conveniente para la exposición diaria a las vibraciones, $a_{hv(eq,8h)}$;
D_y	duración de la exposición total de la media del grupo (tiempo de vida), en años;
T	Duración total diaria de la exposición a las vibraciones a_{hv} ;
T_0	duración de referencia de 8 h (28 800 s);
W_h	característica de ponderación en frecuencia para las vibraciones transmitidas por la mano.

4 CARACTERIZACIÓN DE LAS VIBRACIONES TRANSMITIDAS POR LA MANO

4.1 Consideraciones generales

El método especificado en esta parte de la Norma ISO 5349 tiene en cuenta los factores que se exponen a continuación y de los que se sabe que tienen influencia en los efectos de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano en las condiciones de trabajo:

- a) el espectro de frecuencia de las vibraciones;
- b) la magnitud de las vibraciones;
- c) la duración de la exposición por día de trabajo;
- d) la exposición acumulativa hasta la fecha.

En el anexo D se da una lista de otros factores que también pueden influir en los efectos de la exposición a las vibraciones, pero para los que, en la actualidad, todavía no existen métodos normalizados de información.

4.2 Equipos de medida para las vibraciones transmitidas por la mano

4.2.1 Generalidades

Las medidas de las vibraciones transmitidas por la mano, deben realizarse empleando una instrumentación que esté de acuerdo con los requisitos especificados en la Norma ISO 8041. Este equipo, para su correcto funcionamiento, debe comprobarse antes de su empleo. La calibración debe tener una trazabilidad de acuerdo con un patrón reconocido mantenido por un laboratorio acreditado.

4.2.2 Transductores de vibraciones

El transductor de vibraciones puede ser un acelerómetro que a su vez puede estar diseñado para la medida de las vibraciones generales (para herramientas no percutoras) o puede estar específicamente diseñado para grandes picos de aceleraciones como son los producidos por herramientas percutoras.

Los transductores para la medida de las vibraciones deben ser capaces de resistir el intervalo de las magnitudes de las vibraciones y deben tener unas características estables. Las dimensiones de los transductores deben ser tales, que no interfieran con el funcionamiento de la máquina y de forma que pueda identificarse la localización del punto de medida.

La Norma ISO 5349-2 contiene una guía para la selección de los transductores.

4.2.3 Localización y orientación de los transductores

Las vibraciones transmitidas por la mano deben medirse y registrarse en las tres direcciones de un sistema de coordenadas ortogonales, como se define en la figura 1.

En la práctica para la medida de las vibraciones, la orientación del sistema de coordenadas puede definirse con referencia a un sistema de coordenadas basicéntrico apropiado (véase la figura 1), por ejemplo, en equipos productores de vibraciones, piezas de trabajo, conducidos con la mano o con dispositivos de control de agarre manual (para más información, véase la Norma ISO 8727).

Las vibraciones en las tres direcciones deben medirse preferiblemente, simultáneamente. Las medidas realizadas secuencialmente a lo largo de cada uno de los tres ejes pueden considerarse como aceptables, si se proporcionan unas condiciones de funcionamiento que sean similares durante las tres mediciones. Las medidas deben efectuarse sobre la superficie vibrante y tan próximas como fuera posible al centro de la zona de agarre de la máquina, herramienta o pieza de trabajo. Debe registrarse la localización de los transductores.

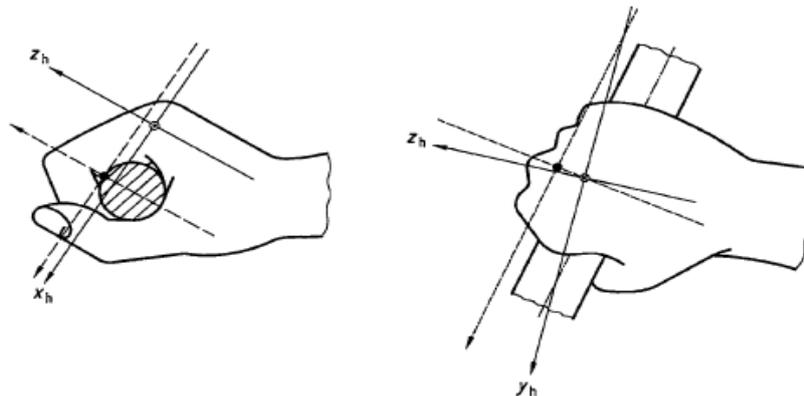
NOTA

La magnitud de las vibraciones puede variar considerablemente con la posición de la superficie vibrante.

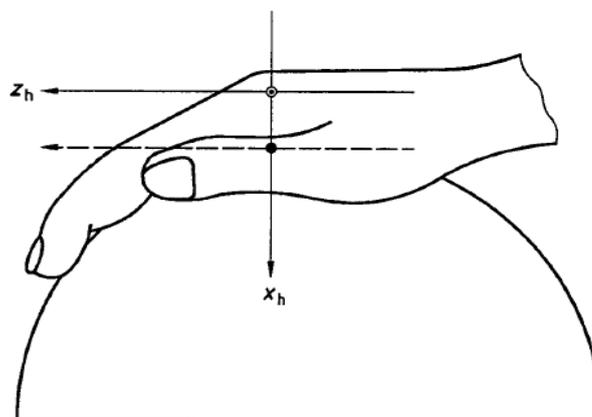
En la Norma ISO 5349-2 se da una guía de posicionamiento del transductor.

4.2.4 Montaje de los transductores

Los transductores deben montarse rígidamente. En las Normas ISO 5348 e ISO 5349-2 se da información sobre el montaje de los transductores. En la Norma ISO 5349-2 también se da una guía práctica para el montaje de transductores en situaciones difíciles (como sobre superficies resilientes o donde las vibraciones son impulsivas), y para el uso de adaptadores de mano-empuñadura.



a) posición de "agarre" (en esta posición, la mano adopta un agarre normalizado de una barra cilíndrica)



—— Sistema de coordenadas biodinámico
 - - - - Sistema de coordenadas basicéntrico

b) posición "palma plana" (en esta posición, la mano presiona sobre una esfera)

NOTA

El origen del sistema de coordenadas biodinámico es la cabeza del tercer metacarpiano (extremidad distal). El eje z_n (eje mano) se define como el eje longitudinal del tercer hueso metacarpiano y se orienta positivamente hacia la extremidad distal del dedo. El eje x_n pasa a través del origen, es perpendicular al eje z_n y es positivo en la dirección en la que la mano está en su posición anatómica normal (la palma mirando hacia abajo). El eje y_n es perpendicular a los otros dos ejes y es positivo en la dirección dirigida hacia el quinto dedo (pulgár). En la práctica, se emplea el sistema de coordenadas basicéntrico: el sistema, generalmente, rota en el plano y - z de tal manera que el eje y_n es paralelo al eje de la mano.

Figura 1- Sistema de coordenadas para la mano.**4.3 Acoplamiento de la mano a la fuente de vibraciones**

Aunque para la caracterización de la exposición a las vibraciones normalmente se utiliza como magnitud primaria la aceleración de la superficie de contacto con la mano, es razonable asumir que los efectos biológicos dependen, en una gran proporción, del acoplamiento de la mano a la fuente de vibraciones. También debe considerarse que el acoplamiento puede afectar considerablemente a la medida de las magnitudes de las vibraciones.

Las medidas de las vibraciones deben efectuarse con las fuerzas que son representativas del acoplamiento de la mano a la herramienta guiada a motor que produce las vibraciones, empuñadura o pieza de trabajo en operaciones típicas de las herramientas o del propio proceso.

Deben medirse y registrarse¹, las fuerzas entre la mano y la zona de agarre, también se recomienda que se registre una descripción de la postura de los operadores para condiciones individuales y/o procedimientos de operación (véanse los anexos D y F).

4.4 Cantidades a medir

La cantidad primaria empleada para describir la magnitud de las vibraciones debe ser la aceleración eficaz (raíz cuadrática media) ponderada en frecuencia, expresada en metros por segundo al cuadrado (m/s^2).

La medida de la aceleración ponderada en frecuencia requiere la aplicación de filtros de ponderación en frecuencia y de bandas limitante. La ponderación en frecuencia, W_h , refleja la importancia asumida de las diferentes frecuencias que pueden producir daño a la mano. Las características de la ponderación en frecuencia, W_h , y los métodos para las bandas limitantes vienen dadas en el anexo A..

El valor eficaz debe medirse empleando un método de integración lineal. El tiempo de integración debe elegirse de tal manera que se emplee una muestra representativa de la señal de las vibraciones (véase la Norma ISO 5349-2).

Para objetivos adicionales (investigación, prevención, reducción técnica de las vibraciones) es muy recomendable que se obtenga el espectro de frecuencias (para más información véase anexo F).

4.5 Vibraciones multiaxiales

Se sabe que, en la mayoría de las herramientas guiadas a motor, las vibraciones que entran en la mano contienen componentes en las tres direcciones de medida de las vibraciones. Se asume que las vibraciones en cada una de las tres direcciones son igualmente perjudiciales. En consecuencia, las medidas deben realizarse en las tres direcciones. Las aceleraciones

¹ Se encuentra en fase de elaboración una norma internacional sobre las medidas del agarre y fuerzas de empuje.

eficaces ponderadas en frecuencia para los ejes x, y y z, a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz} deben registrarse por separado (véase el anexo F).

La evaluación de la exposición a las vibraciones (véase el capítulo 5), sin embargo, se basa en una única cantidad que combina los tres ejes. Este es el valor total de las vibraciones, a_{hv} , y se define como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores de las tres componentes:

En algunos casos puede no ser posible realizar las mediciones en los tres ejes. Si sólo se llevan a cabo mediciones en uno o dos ejes, debe incluirse (cuando pueda identificarse) el eje de mayor nivel de vibraciones. El valor total de las vibraciones debe estimarse empleando los valores medidos posibles y un factor de multiplicación cuidadosamente considerado. La magnitud de las vibraciones en el eje de mayores niveles de vibraciones requiere un factor de multiplicación en el intervalo de 1,0 a 1,7 para dar el valor total de las vibraciones (para información adicional, véase la Norma ISO 5349-2). Cuando se emplea un factor de multiplicación para estimar el valor total de las vibraciones, debe registrarse el factor de multiplicación así como una justificación de la selección del valor, junto con el(los) componente(s) medido(s).

5 CARACTERIZACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A LAS VIBRACIONES TRANSMITIDAS POR LA MANO

5.1 Generalidades

La exposición a las vibraciones depende de la magnitud de las vibraciones y de la duración de la exposición. Con el fin de aplicar la guía de efectos sobre la salud dada en el anexo C, la magnitud de las vibraciones se representa por el valor de las vibraciones totales a_{hv} .

5.2 Duración de la exposición diaria

La duración de la exposición diaria es el tiempo total al que la(s) mano(s) está(n) expuesta(s) a las vibraciones durante un día de trabajo. El tiempo de exposición a las vibraciones debe ser menor que el tiempo durante el cual la persona está trabajando con la herramienta guiada a motor o piezas de trabajo. Es importante basar las estimaciones de la duración total de la exposición diaria en muestras representativas apropiadas para diferentes condiciones de funcionamiento, duraciones y su intermitencia (para más información, véase la Norma ISO 5349-2).

5.3 Exposición diaria a las vibraciones

La exposición diaria a las vibraciones se obtiene a partir de la magnitud de las vibraciones (valor total de las vibraciones) y de la duración de la exposición diaria.

Con el fin de facilitar las comparaciones entre las exposiciones diarias de diferentes duraciones, la exposición diaria de las vibraciones debe expresarse en términos de valor total de la energía equivalente de las vibraciones ponderada en frecuencia para 8 h, $a_{hv(eq,8h)}$, como se muestra en la ecuación (2). Por convenio, $a_{hv(eq,8h)}$ se denota como $A(8)$:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2)$$

donde

T es la duración total diaria de la exposición a las vibraciones a_{hv} ;

T_0 es la duración de referencia de 8 h (28 800 s).

Si el trabajo es tal que la exposición diaria total a las vibraciones consta de varias operaciones con diferentes magnitudes de las vibraciones, entonces la exposición diaria a las vibraciones A(8), se obtiene aplicando la ecuación (3):

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i} \quad (3)$$

donde

a_{hvi} es el valor total de las vibraciones para la operación i ;

n es el número de exposiciones individuales a las vibraciones;

T_i es la duración de la operación i ;

Debe registrarse por separado la contribución individual para A(8).

EJEMPLO

Si los valores totales de las vibraciones para tiempos de exposición de 1 h, 3 h y 0,5 h (en el mismo día de trabajo) son 2 m/s^2 , $3,5 \text{ m/s}^2$ y 10 m/s^2 respectivamente, entonces:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8 \text{ h}} \left[(2 \text{ m/s}^2)^2 \times 1 \text{ h} + (3,5 \text{ m/s}^2)^2 \times 3 \text{ h} + (10 \text{ m/s}^2)^2 \times 0,5 \text{ h} \right]} = 3,4 \text{ m/s}^2$$

NOTA

El resultado de los cálculos en el ejemplo anterior se expresa mediante dos cifras significativas. Esto no implica una precisión equivalente de las medidas pero mejora el cálculo. En situaciones de medidas normales puede requerirse gran cuidado para obtener una precisión mejor del 10% del valor de A(8).

Se recomienda que, cuando se definan criterios para exposiciones aceptables a las vibraciones, éstos se especifiquen como valores A(8).

6 INFORMACIÓN A REGISTRAR

Cuando se realice una evaluación de la exposición a las vibraciones transmitidas por la mano de acuerdo con esta parte de la Norma ISO 5349, debe registrarse la siguiente información:

- el sujeto de la evaluación de la exposición;
- las operaciones que causan las exposiciones a las vibraciones;
- las herramientas guiadas a motor, herramientas insertadas y/o piezas de trabajo implicadas;
- la localización y orientación de los transductores;

- la raíz cuadrática media individual y las aceleraciones medidas en un solo eje ponderadas en frecuencia;
- el valor total de las vibraciones para cada operación;
- la duración diaria total para cada operación;
- la exposición diaria a las vibraciones;

Cuando no se realicen mediciones en todos los ejes, debe registrarse el factor de multiplicación empleado para estimar el valor total de las vibraciones, y la justificación para esta selección.

NOTA

En la Norma ISO 5349-2 se da una lista más exhaustiva de la información que se recomienda registrar (véanse también los anexos D y F).

Anexo A (Normativo)

Filtros de ponderación en frecuencia y de bandas limitante

A.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FILTROS DE PONDERACIÓN EN FRECUENCIA Y DE BANDA LIMITANTE

Las medidas de a_{hv} requieren la aplicación de filtros de ponderación en frecuencia y de banda limitante. La ponderación en frecuencia W_h refleja la importancia asumida de las diferentes frecuencias que pueden causar daños a la mano. El intervalo de aplicación de los valores medidos para la predicción de los daños de las vibraciones (véase el anexo C) está restringido al intervalo de frecuencia de trabajo cubierto por las bandas de octava que van desde 8 Hz a 1 000 Hz (es decir el intervalo de frecuencias nominales desde 5,6 Hz a 1 400 Hz). Los filtros de banda limitante de paso alto y paso bajo restringen el efecto sobre el valor de la medida de las frecuencias de las vibraciones fuera de este intervalo donde la dependencia de la frecuencia no está acordada todavía.

NOTA

Las dependencias de la frecuencia de las respuestas a las vibraciones no tiene que ser la misma la misma en todos los ejes. Sin embargo, en la actualidad no están disponibles diferentes frecuencias recomendables para los diferentes ejes.

Los filtros de ponderación en frecuencia y de bandas limitante pueden estar basados en métodos analógicos o digitales. Estos se definen en la tabla A.1 por medio de una forma matemática familiar para diseñadores de filtros y la curva se muestra gráficamente de una manera esquemática en la figura A.1. En la Norma ISO 8041 se dan más detalles y tolerancias para las características de los filtros.

Tabla A.1 - Características de los filtros de banda limitante y de ponderación para la ponderación en frecuencia W_h

Banda limitante ^a			Ponderación en frecuencia ^a			
f_1	f_2	Q_1	f_3	f_4	Q_2	K
6,310	1 258,9	0,71	15,915	15,915	0,64	1
<p>El filtro de banda limitante se define por la función de transferencia del filtro, $H_b(s)$</p> $H_b(s) = \frac{s^2 4\pi^2 f_2^2}{(s^2 + 2\pi f_1 s / Q_1 + 4\pi^2 f_1^2) (s^2 + 2\pi f_2 s / Q_1 + 4\pi^2 f_2^2)}$ <p>donde $s = j2\pi f$ es la variable de la transformada de Laplace.</p> <p>El filtro de banda limitante puede realizarse mediante un filtro de dos polos.</p> <p>El filtro de ponderación en frecuencia se define por la función de transferencia del filtro, $H_w(s)$:</p> $H_w(s) = \frac{(s + 2\pi f_3) 2\pi K f_4^2}{(s^2 + 2\pi f_4 s / Q_2 + 4\pi^2 f_4^2) f_3}$ <p>donde $s = j2\pi f$ es la variable de la transformada de Laplace.</p> <p>El filtro de ponderación en frecuencia puede realizarse mediante un filtro de dos polos.</p> <p>La función total ponderada en frecuencia es $H(s) = H_b(s) \cdot H_w(s)$</p>						
<p>^a Los valores de f_n designan las frecuencias de resonancia ($n = 1$ a 4); Q_n designan la selectividad ($n = 1$ ó 2); K es una constante de ganancia.</p>						

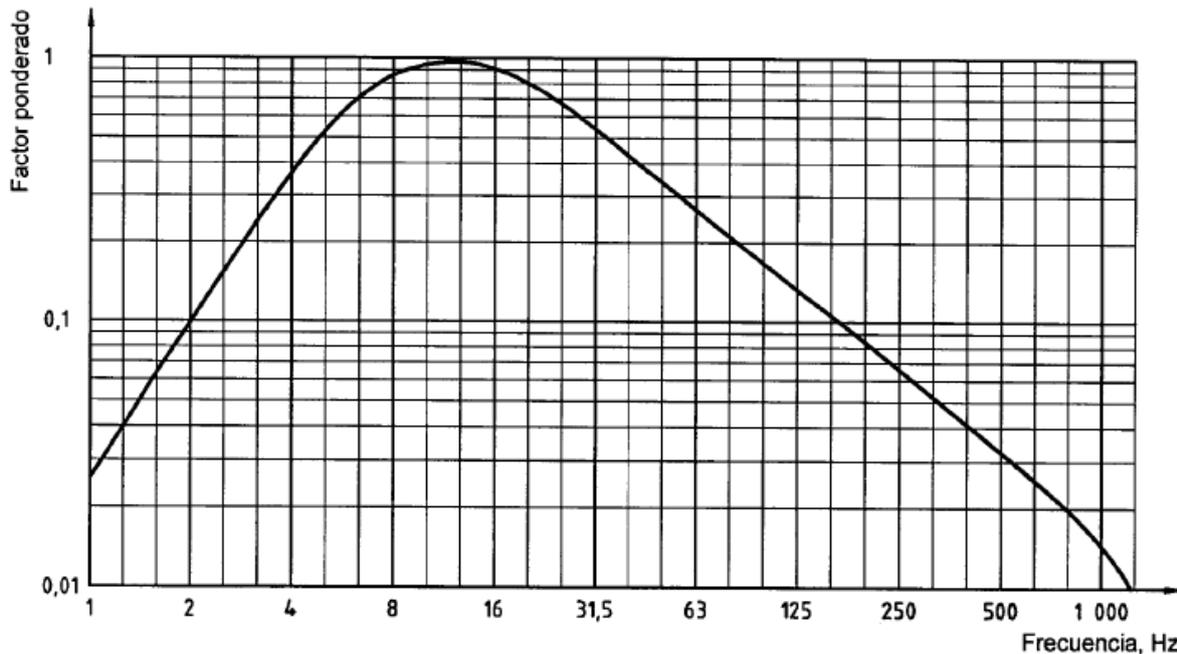


Figura A.1 - Curva de ponderación en frecuencia W_h para las vibraciones transmitidas por la mano, incluyendo la banda limitante

A.2 CONVERSIÓN DE DATOS EN TERCIOS DE BANDA DE OCTAVA A ACELERACIÓN PONDERADA EN FRECUENCIA

Para obtener la correspondiente aceleración ponderada en frecuencia, pueden utilizarse los valores eficaces de la aceleración obtenidos en un análisis de bandas de un tercio de banda de octava como una alternativa al empleo de filtros W_h ,

La aceleración eficaz ponderada en frecuencia a_{hw} , puede calcularse de la siguiente forma:

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2} \quad (\text{A.1})$$

donde

W_{hi} es el factor de ponderación para el tercio de banda de octava i como se indica en la tabla A.2;

a_{hi} es la aceleración eficaz medida en el tercio de banda de octava i , en metros por segundo al cuadrado m/s^2 .

Las frecuencias de un tercio de bandas de octava comprendidas entre 6,3 Hz y 1 250 Hz constituyen el intervalo de frecuencia principal y el cálculo de a_{hw} empleando la ecuación (A.1) debe incluir todos los tercios de banda de octava comprendidos en este intervalo.

Las frecuencias fuera de este intervalo principal (es decir aquéllas que se indican en el área gris de la tabla A.2) generalmente no proporcionan una contribución. Importante al valor de a_{hw} y pueden excluirse de los cálculos, dado que es sumamente conocido que ésto no supone una cantidad de energía significativa de las vibraciones en los extremos superiores e inferiores del intervalo de frecuencia.

Si el valor de la aceleración ponderada en frecuencia está influido por componentes significativos de los extremos superiores e inferiores del intervalo de frecuencias, debe tratarse con precaución el contenido de la guía del anexo C para la predicción del dedo blanco inducido por las vibraciones a partir de los datos de exposición a las vibraciones.

NOTA

Si el espectro contiene componentes dominantes de frecuencias individuales, el procedimiento indicado anteriormente puede producir diferencias entre los valores de aceleración ponderada en frecuencia medidos directamente y los calculados. Las discrepancias se producen si estos componentes se presentan a frecuencias que difieren del centro de frecuencia, en un tercio de banda de octava. Por esta razón, se recomienda el empleo del filtro de ponderación W_h o los cálculos basados en medidas en bandas más estrechas. Cuando, en el último caso, se da, para una cierta frecuencia f ó a una banda de frecuencia estrecha con frecuencia central de la banda f , la aceleración no ponderada de las vibraciones $a(f)$, la aceleración ponderada correspondiente $a_h(f)$ se calcula por $a_h(f) = a(f) | H(j2\pi f) |$.

Tabla A.2 - Factores de ponderación en frecuencia W_{hi} para vibraciones transmitidas por la mano con bandas limitante^a para la conversión de magnitudes en tercios de bandas de octava a magnitudes ponderadas en frecuencia

Número de banda de frecuencia ^b	Centros de frecuencia nominales	Factor de ponderación
<i>i</i>	Hz	W_{hi}
6	4	0,375
7	5	0,545
8	6,3	0,727
9	8	0,873
10	10	0,951
11	12,5	0,958
12	16	0,896
13	20	0,782
14	25	0,647
15	31,5	0,519
16	40	0,411
17	50	0,324
18	63	0,256
19	80	0,202
20	100	0,160
21	125	0,127
22	160	0,101
23	200	0,0799
24	250	0,0634
25	315	0,0503
26	400	0,0398
27	500	0,0314
28	630	0,0245
29	800	0,0186
30	1 000	0,0135
31	1 250	0,00894
32	1 600	0,00536
33	2 000	0,00295

a Para respuestas y tolerancias de los filtros véase la Norma ISO 8041.

b El índice *i* es el número de banda de frecuencia de acuerdo con la Norma CEI 61260.

Anexo B (Informativo)

Guía de los efectos sobre la salud de las vibraciones transmitidas por la mano

B.1 GENERALIDADES

Los procesos y herramientas guiadas con motor que exponen las manos de los operadores a las vibraciones son de gran aplicación en numerosas actividades industriales. La exposición ocupacional a las vibraciones transmitidas por la mano puede provenir de herramientas guiadas a motor rotativas y/o percutoras conducidas con la mano, empleadas en la industria de transformación, minería y construcción, forestal y agrícola, actividades públicas y otras actividades de trabajo. La exposición a las vibraciones transmitidas por la mano puede producirse también como consecuencia de las vibraciones de las piezas de trabajo conducidas con la mano de los operadores, y de los controles de las vibraciones conducidas con la mano como son los manillares de motocicletas, o volantes de vehículos.

La exposición excesiva a las vibraciones transmitidas por la mano puede inducir perturbaciones del flujo de sangre en los dedos, y en las funciones neurológicas y motoras de la mano y del brazo. Se ha estimado que entre el 1,7% y el 3,6% de los trabajadores de los países europeos y de EE.UU. están expuestos potencialmente a las vibraciones transmitidas a las manos y brazos. El término "síndrome de la vibración mano-brazo" (SVMB) se emplea comúnmente para referirse a aspectos de la circulación periférica, desórdenes de tipo neurológico y musculoesqueléticos asociados con la exposición a las vibraciones transmitidas por la mano. Los trabajadores expuestos a las vibraciones transmitidas por la mano pueden verse afectados por desórdenes neurológicos y/o vasculares separada o simultáneamente. Los desórdenes vasculares y las anomalías en huesos y articulaciones causados por las vibraciones transmitidas por la mano en algunos países son considerados como enfermedades profesionales y son objeto de indemnizaciones. Estos desórdenes también se incluyen en una lista europea de enfermedades profesionales reconocidas.

B.2 DESÓRDENES VASCULARES

Los trabajadores expuestos a las vibraciones transmitidas por la mano pueden manifestar episodios de dedo pálido o dedo blanco, que se disparan usualmente como consecuencia de una exposición al frío. Estos desórdenes debidos a la abolición temporal de la circulación sanguínea en los dedos, se denomina fenómeno de Rynaud (debido a Maurice Raynaud, médico francés que fue el primero en describirlos en 1862). Se cree que las vibraciones pueden disturbar la circulación digital haciéndolos más sensibles a la acción vasoconstrictiva del frío. Para explicar el fenómeno de Rynaud inducido por el frío en trabajadores expuestos a las vibraciones, algunos investigadores invocan a un reflejo exagerado central vasoconstrictor causado por una prolongada exposición a las vibraciones mano-brazo, en tanto que otros tienden a enfatizar el papel de los cambios locales inducidos por las vibraciones en las venas digitales. Se han utilizado distintos sinónimos para describir los desórdenes vasculares inducidos por las vibraciones; dedo blanco o muerto, fenómeno de Rynaud de origen laboral, desórdenes vasospásticos traumáticos, y, más recientemente, dedo blanco inducido por vibraciones (DBIV). El DBIV es una enfermedad profesional en muchos países.

Inicialmente se producen ataques de palidez en los extremos de uno o más dedos pero, con una exposición continuada a las vibraciones, la palidez puede extenderse a la base de los dedos. A veces, el ataque de palidez continúa por una cianosis, es decir una decoloración azulada de los dedos afectados debido a la extracción incrementada de oxígeno de la lenta circulación digital. En la fase de recuperación, comúnmente acelerada por calentamiento o masajes locales, un enrojecimiento, eventualmente asociado con picores y/o dolor, puede aparecer en los dedos afectados como resultado de un incremento reactivo del flujo sanguíneo en las venas cutáneas. Los ataques de palidez o blanqueo son más comunes en invierno que

en verano y pueden ir desde pocos minutos a más de una hora. La duración varía con la intensidad de los valores de las vibraciones y la severidad de los vasoespasmos, el ataque termina, generalmente, cuando se calienta todo el cuerpo. Si la exposición a las vibraciones continua, los ataques de blanqueo llegan a ser más frecuentes y pueden presentarse a lo largo de todo el año. En algunos casos raros avanzados, ataques de blanqueo severos de dedos pueden llegar a provocar cambios (ulceraciones o gangrenas) en la piel del extremo de los dedos. Durante el ataque los trabajadores afectados pueden experimentar una pérdida completa de sensación táctil y destreza manual, que puede interferir con su actividad de trabajo, lo que incrementa el riesgo de daños debidos a accidentes.

En medicina ocupacional, se han desarrollado varios sistemas de clasificación del estado del DBIV. La escala del taller de Estocolmo (1986) es un sistema reconocido internacionalmente para clasificar el fenómeno de Rynaud inducido por el frío en el síndrome de las vibraciones mano-brazo. Esta escala consta de cuatro etapas de acuerdo con la extensión, frecuencia y severidad de los ataques de blanqueo de los dedos y se describe en la tabla B.1. Se ha propuesto también (véase referencia [13]) una escala basada en marcadores para el blanqueo de diferentes falanges.

Se han empleado ensayos de varios laboratorios para diagnosticar el dedo blanco de una forma objetiva. La mayoría de estos ensayos se basan en la provocación del frío y las medidas de la temperatura de la piel del dedo o flujo sanguíneo digital y presión antes, durante y después de calentar los dedos y las manos.

Estudios epidemiológicos han demostrado que la prevalencia del DBIV varía ampliamente, desde el 0% al 100% de individuos en un grupo de trabajadores expuestos a las vibraciones. Aparece que la probabilidad y severidad de los síntomas de dedo blanco está influenciado por varios factores, tales como las características de la exposición a las vibraciones (frecuencia, magnitud, dirección, impulsividad, duración), el tipo de herramienta y proceso de trabajo, las condiciones ambientales (temperatura, flujo de aire, humedad, ruido), algunos factores biodinámicos y ergonómicos (fuerza de agarre, fuerza de velocidad, postura de la mano), y varias características individuales (susceptibilidad, enfermedades y agentes como nicotina y ciertas medicinas, que pueden afectar a la circulación periférica). Entonces, hay una compleja relación entre la exposición a las vibraciones y el desarrollo de los síntomas del dedo blanco. Estudios epidemiológicos sugieren que la aparición del DBIV incrementa con el aumento de la duración de la exposición a las vibraciones. Existe alguna evidencia de que la exposición acumulativa antes de la aparición del blanqueo del dedo es, aproximadamente, inversamente proporcional a la magnitud de la exposición a las vibraciones (es decir, si las magnitudes de las vibraciones se duplican, se requiere la mitad de años de exposición para provocar el mismo efecto).

Desde la época de los años 1970 se ha registrado una disminución en la incidencia del DBIV en la mayoría de las actividades de trabajadores forestales tanto en Europa como en Japón después de la introducción de sierras de cadena antivibración y medidas administrativas tendentes a reducir el tiempo de utilización de la sierra junto con esfuerzos para reducir la exposición a otros factores ambientales de trabajo perjudiciales (como frío y estrés físico). Se han registrado recuperaciones del DBIV entre trabajadores retirados de trabajos forestales. Actualmente, no se dispone de estudios similares para otro tipo de herramientas.

Tabla B.1 - Escala del taller de Estocolmo (1986)

Componente vascular		
Estado	Grado	Descripción
0	–	No hay ataques
1 _V	Medio	Ataques ocasionales afectando solo la punta de uno o más dedos.
2 _V	Moderado	Ataques ocasionales afectando las falanges distal y media (raramente también la próxima) de uno o más dedos
3 _V	Severo	Ataques frecuentes afectando todas las falanges de la mayoría de los dedos
4 _V	Muy severo	Como en el estado 3 con cambios en las puntas de los dedos
Componentes sensoriales		
Estado	Descripción	
0 _{SN}	Exposición a las vibraciones pero sin síntomas	
1 _{SN}	Entumecimientos intermitentes con o sin picores	
2 _{SN}	Entumecimientos intermitentes o persistentes, percepción sensorial reducida	
3 _{SN}	Entumecimiento intermitente o persistente, discriminación táctil y/o destreza manual reducida	

B.3 DESÓRDENES NEUROLÓGICOS

Los trabajadores expuestos a las vibraciones transmitidas por la mano pueden experimentar picores y entumecimientos de sus dedos y manos. Si la exposición a las vibraciones continua, estos síntomas tienden a empeorar y pueden llegar a interferir con la capacidad para el trabajo y actividades de la vida. Los trabajadores expuestos a las vibraciones pueden presentar en los exámenes clínicos una reducción en el sentido normal del tacto y temperatura, así como una disminución de la destreza manual. Pueden encontrarse otros efectos de las vibraciones transmitidas a la mano, como puede ser una reducción de la sensibilidad a la vibración de la piel de la punta de los dedos. Estudios epidemiológicos de los trabajadores expuestos a las vibraciones muestran que la prevalencia de los desórdenes neurológicos periféricos varía desde un pequeño porcentaje a más del 80% de individuos en un grupo de trabajadores expuestos a las vibraciones, y que afecta a la disminución sensorial de una amplia variedad de herramientas.

Parece que pueden desarrollarse perturbaciones sensoriales independientemente de otros desórdenes inducidos por las vibraciones, probablemente reflejando diferentes mecanismos patológicos. Una clasificación para la componente neurológica del SVMB fue propuesto en el taller de Estocolmo en 1986, consistiendo en tres estados de acuerdo a los síntomas presentados y los resultados del examen clínico neurológico y métodos de ensayo psicológicos tales como discriminación táctil, percepción vibrotáctil y precisión en la manipulación (véase tabla B.1).

Los trabajadores expuestos a las vibraciones pueden mostrar a veces signos y síntomas de diferentes neuropatías, tales como síndrome del túnel carpiano (STC), un desorden debido a la compresión del nervio mediano que se manifiesta como si pasara a través de un túnel anatómico en la muñeca. Parece que el STC se produce en algunos grupos ocupacionales que utilizan herramientas vibrátiles tales como martillos rompedores, y en trabajos de laminado y forestales. Se sabe que factores estresores ergonómicos que actúan sobre la mano y la muñeca (movimientos repetitivos, fuerzas de agarre, posturas complicadas), en combinación con vibraciones pueden causar STC en trabajadores que manipulan herramientas vibrátiles.

B.4 DESÓRDENES MUSCULOESQUELÉTICOS

B.4.1 Esqueléticos

Las primeras investigaciones radiológicas revelaron una alta prevalencia de vacuolas óseas y quistes en las manos y muñecas de trabajadores expuestos a las vibraciones, pero estudios más recientes han demostrado un incremento no significativo con respecto a los trabajadores manuales no expuestos a las vibraciones. Se ha encontrado una excesiva ocurrencia de osteoporosis de muñeca y codo así como osificaciones en los lados de la inserción del tendón, principalmente en el codo, en mineros, trabajadores de construcción de carreteras y operadores de trabajo del metal expuestos a altos niveles de vibraciones y choques de baja frecuencia (< 50 Hz) procedentes de herramientas portátiles neumáticas.

Algunos investigadores han demostrado también una excesiva prevalencia de la enfermedad de Kienböck (malacia lunar) y pseudoartrosis del hueso escafoide en la muñeca. Existe una pequeña evidencia de un incremento de la prevalencia de desórdenes degenerativos de hueso y articulaciones en los miembros superiores de trabajadores expuestos a vibraciones de media o alta frecuencia trabajando con sierras de cadena o en operaciones de machaqueo. Algunos factores como esfuerzos físicos importantes, fuerzas de agarre y diferentes factores biomecánicos pueden influir significativamente en la mayor ocurrencia de daños esqueléticos encontrados en trabajadores que trabajan con herramientas percutoras. Dolores locales, inflamaciones y rigidez de las articulaciones y deformidades pueden asociarse con los veredictos radiológicos sobre degeneración de huesos y articulaciones. En algunos países (como Alemania, Francia e Italia) los desórdenes de huesos y articulaciones en trabajadores que emplean herramientas vibrátiles conducidas con las manos se consideran como una enfermedad profesional y los trabajadores afectados son indemnizados.

B.4.2 Musculares

Los trabajadores con una exposición prolongada a las vibraciones pueden presentar debilidades musculares, dolores en las manos y brazos, y una disminución de su fuerza muscular. También se ha encontrado que la exposición a las vibraciones puede estar asociada a una reducción de la fuerza de agarre de la mano. En algunos individuos la fatiga muscular puede provocar discapacidad. Se ha sugerido el daño mecánico directo o daño del nervio periférico como factor etiológico para los síntomas musculares.

En trabajadores expuestos a las vibraciones se han registrado otros desórdenes relacionados con el trabajo, tales como tendinitis y tenosinovitis (inflamación de los tendones y sus vainas) en los miembros superiores, y contractura de Dupuytren, una enfermedad de los tejidos de la palma de la mano. Estos desórdenes parecen estar relacionados con factores ergonómicos de estrés resultantes del manejo manual de cargas y su asociación con las vibraciones transmitidas a la mano no son concluyentes.

B.5 OTROS DESÓRDENES

Algunos estudios indican que en trabajadores afectados con DBIV, la pérdida de audición es mayor que la esperada sobre la base de la edad y exposición al ruido de las máquinas vibratorias. Se ha sugerido que los sujetos con DBIV pueden tener un riesgo adicional de pérdida de audición debido a la vasoconstricción inducida por las vibraciones de las venas que llegan al oído interno. Además de los desordenes periféricos, investigadores rusos y japoneses han registrado otros efectos adversos para la salud implicando al sistema endocrino y al sistema nervioso central de los trabajadores expuestos a las vibraciones. El cuadro clínico, denominado "enfermedad de las vibraciones", incluye signos y síntomas relativos a la disfunción de los mayores centros del cerebro (como fatiga persistente, dolor de cabeza, irritabilidad, perturbaciones del sueño, impotencia, anormalidades electroencefalográficas).

Estas afirmaciones deben interpretarse con precaución y, además, se necesitan trabajos de investigación epidemiológicos y clínicos diseñados cuidadosamente para confirmar la hipótesis de una asociación entre desórdenes del sistema nervioso central y la exposición a las vibraciones transmitidas por la mano.

B.6 GLOSARIO

Quieste óseo: cavidad anormal de la estructura del hueso.

Síndrome del túnel carpiano: síntomas de entumecimiento, picores o sensación de quemazón de las superficies palmares del pulgar, índice, corazón, anular y meñique, que se manifiesta principalmente por la noche, causada por la compresión o irritación del nervio medio como si pasara a través de un túnel formado por los huesos de la muñeca. Puede manifestarse en forma de signos de daño a la función de la mano y discapacidad.

Cianosis: decoloración azulada de la piel u otros tejidos debida a la presencia de sangre desoxigenada en los capilares superficiales.

Contractura de Dupuytren: engrosamiento de la línea fibrosa de la palma de la mano impidiendo estirar los dedos, principalmente el dedo anular y el meñique.

Epidemiología: estudio de la ocurrencia -prevalencia e incidencia- de las enfermedades o desórdenes en una población. La *epidemiología ocupacional* investiga la relación entre la exposición a los factores de riesgo en el trabajo y sus posibles efectos adversos sobre la salud.

Síndrome de la vibración mano-brazo: síntomas complejos y signos (neurológicos, vasculares y musculoesqueléticos) asociados con desórdenes producidos por las vibraciones transmitidas por la mano.

Enfermedad de Kienböck : desorden de mineralización (malacia) del hueso lunar en la muñeca.

Incidencia: número de nuevos casos de enfermedad o desórdenes en una población en un periodo de tiempo especificado.

Osteoartrosis: degeneración del hueso y articulaciones.

Prevalencia: número de casos existentes de enfermedades o desórdenes en una población dada en un tiempo especificado.

Fenómeno de Rynaud: ataques de dedo blanco debido a una insuficiente circulación de la sangre como resultado de una vasoconstricción disparada, generalmente, por frío o emoción. *Enfermedad primaria de Rynaud*, cuando el síntoma del dedo blanco no puede atribuirse a ninguna causa específica. *Fenómeno de Rynaud secundario* cuando pueden identificarse algunas causas. *Dedo blanco inducido por vibraciones* una forma secundaria del fenómeno de Rynaud causado por exposición a las vibraciones transmitidas por la mano.

Desórdenes sensorineurales. Anormalidades en la sensación del tacto, dolor, temperatura, vibración y baja presión; perjuicios de la función de discriminación sensitiva (discriminación de dos puntos, apreciación de la textura, tamaño y forma).

Tendinitis: Inflamación de un tendón.

Tenosinovitis: inflamación de un tendón y su vaina.

Vasoconstricción: estrechamiento de la cavidad de las venas, especialmente como resultado de un incremento de la contracción de las paredes del músculo de las venas.

Anexo C (Informativo)

Relación entre la exposición a las vibraciones y efectos sobre la salud

C.1 ANTECEDENTES AL MÉTODO DE EVALUACIÓN

Este anexo se refiere a la importancia relativa aproximada de varias características de la exposición a las vibraciones para producir efectos sobre la salud. No define límites seguros de exposición a las vibraciones.

La ponderación en frecuencia definida en esta parte de la Norma ISO 5349 está basada en la versión previa (ISO 5349:1986) y se desarrolla para proporcionar la mejor guía disponible concerniente al potencial relativo de diferentes frecuencias para producir efectos sobre la salud relativos a las vibraciones en la mano y en el brazo.

Sin embargo, no se conoce que esta ponderación en frecuencia represente un peligro de desarrollar de forma separada desórdenes vasculares, neurológicos o musculoesqueléticos. En los momentos actuales, se emplea para la evaluación de todos los efectos biológicos de las vibraciones transmitidas por la mano.

Se asume que las vibraciones en cada uno de los tres ejes definidos por los ejes ortogonales dados en la figura 1 son igualmente perjudiciales, y que puede utilizarse para cada eje la misma ponderación en frecuencia. El daño potencial de las vibraciones transmitidas por la mano se estima entonces a partir del valor total de las vibraciones, a_{hv} , formada por las tres componentes de la aceleración ponderadas en frecuencia (eje simple) en la superficie de contacto con la mano como se define en esta parte de la Norma ISO 5349.

Se asume que el método dado en esta parte de la Norma ISO 5349 para la obtención de la energía equivalente para 8 h diarias del valor total de las vibraciones refleja apropiadamente la relación entre las diferentes magnitudes y las duraciones de la exposición diaria.

NOTA 1

El método asume que el tiempo de exposición diario requerido para producir síntomas del síndrome de las vibraciones mano-brazo es inversamente proporcional al cuadrado de la aceleración ponderada en frecuencia. Si, por ejemplo, la magnitud de la vibración se reduce a la mitad, es preciso que el tiempo de exposición diario se multiplique por cuatro, para que se produjera el mismo efecto.

NOTA 2

Existen pocos datos relativos a las duraciones diarias de exposición para los efectos sobre la salud. La dependencia del tiempo elegido es equivalente para una energía de las vibraciones diaria constante.

NOTA 3

La dependencia del tiempo para la exposición diaria de las vibraciones no debe extrapolarse para muy cortas duraciones y grandes aceleraciones. Estas exposiciones pueden asociarse con otros daños agudos para el sistema mano-brazo.

C.2 EFECTOS GENERALES SOBRE LA SALUD

La probabilidad de que un determinado individuo pueda desarrollar síntomas del síndrome de las vibraciones manobrazo (véase anexo B) depende de su susceptibilidad, cualquier tipo de condiciones y enfermedades preexistentes, y del tipo de trabajo realizado, ambiente y factores personales listados en el apartado 4.1 y el anexo D. La prevalencia de síntomas en un grupo de personas, tal que cada una desarrolla trabajos equivalentes utilizando una herramienta similar, o herramientas, o procesos industriales en los que las vibraciones se acoplan a las manos, es adicionalmente dependiente de los factores individuales y de exposición en el grupo. Para grupos en los que las personas no continúan en el mismo trabajo, la prevalencia de los síntomas relativos a las vibraciones estará también influenciado por el porcentaje al que

las personas abandonan el grupo.

NOTA

Algunos estudios sugieren que los síntomas del síndrome de las vibraciones mano-brazo son raros en personas expuestas con un valor total de la energía equivalente de las vibraciones para 8 h, $A(8)$, en una superficie en contacto con la mano, de menos de 2 m/s^2 y para valores de menos de 1 m/s^2 no registrados para $A(8)$.

C.3 PREVALENCIA DE EPISODIOS DE DEDOS BLANCOS (DEDO BLANCO INDUCIDO POR LAS VIBRACIONES)

Ha habido intentos de estimar la exposición a las vibraciones requeridas para producir diferentes prevalencias de dedo blanco en grupos de personas desarrollando un trabajo equivalente realizado con herramientas similares, o herramientas, o procesos industriales. La figura C.1 muestra la exposición diaria a las vibraciones, $A(8)$, que es estimada para producir dedo blanco inducido por las vibraciones en un 10% de las personas expuestas. Los valores son mostrados para las exposiciones medias totales del grupo (tiempo de vida) de 1 año a 10 años. Los valores correspondientes se muestran en la tabla C.1.

Se permiten interpolaciones para condiciones de exposición entre los valores mostrados en la tabla C.1. Para este fin puede utilizarse la siguiente relación:

$$\frac{D_y}{\text{año}} = 31,8 \left(\frac{A(8)}{\text{m/s}^2} \right)^{-1,06} \quad (\text{C.1})$$

donde

$A(8)$ es la exposición diaria a las vibraciones (valor total de la energía equivalente de las vibraciones para 8 h, en una superficie en contacto con la mano);

D_y es la duración de la exposición total media del grupo (tiempo de vida), en años.

NOTA 1

Esta relación indicada entre la exposición a las vibraciones y el dedo blanco es coherente con lo indicado en el anexo A de la versión anterior (ISO 5349:1986), y está basada en la referencia [10]. Sin embargo, en esta parte de la Norma ISO 5349, deben aplicarse factores de corrección para tener en cuenta el uso del valor total de la energía equivalente de las vibraciones para 8 h.

NOTA 2

La guía sobre los efectos vasculares dados en esta parte de la Norma ISO 5349 se basa en estudios epidemiológicos que implican herramientas guiadas a motor con vibraciones predominantes por encima del intervalo de 30 Hz a 50 Hz (por ejemplo: sierras de cadena, pulidoras, martillos rompedores). Por lo tanto, las medidas en las que las frecuencias dominantes tienen componentes de aceleración ponderada en frecuencia de las frecuencias más bajas, particularmente, por debajo de 20 Hz, deben tratarse con precaución. Se han registrado efectos sobre los huesos y articulaciones de las yemas de los dedos en operadores de estos tipos de herramientas (véase anexo B).

NOTA 3

La relación de la ecuación (C.1), no predice el riesgo de dedo blanco (vibración inducida por vibraciones) que tiene lugar en un individuo particular dentro de un grupo.

NOTA 4

La figura C.1 y la tabla C.1 pueden utilizarse para definir los criterios de exposición diseñados para reducir el riesgo para la salud de las vibraciones transmitidas a la mano en un grupo de personas ocupacionalmente expuestas. Los valores de la tabla C.1 y figura C.1 se han obtenido a partir de estudios de grupos de trabajadores expuestos a magnitudes de vibraciones de herramientas de hasta 30 m/s^2 con antigüedades en sus trabajos de hasta 25 años. La mayoría de los estudios implican grupos de personas que han desarrollado, casi diariamente, trabajos con herramientas guiadas a motor o procesos industriales en los que las vibraciones eran acopladas a las manos. Los valores de la aceleración se han obtenido a partir de estudios en los que se registraban los componentes de la aceleración ponderada en frecuencia en cada uno de los ejes.

NOTA 5

Pueden presentarse desviaciones de los valores de las tablas C.1 y figura C.1 en herramientas o procesos en los que la relación entre el valor total de las vibraciones y el mayor valor de la componente en un eje se desvía significativamente de los valores típicos dados posteriormente en esta parte de la Norma ISO 5349. También pueden presentarse desviaciones de los valores dados en la tabla C.1 y figura C.1 en grupos profesionales en los que el trabajo realizado y/o los factores ambientales difieren significativamente de aquéllos que se presentan comúnmente en operaciones similares.

Si para una duración de la exposición total (tiempo de vida) especificada, la exposición total a las vibraciones $A(8)$ es superior a la requerida para producir una prevalencia de dedo blanco del 10%, puede esperarse una mayor prevalencia de dedo blanco.

Tabla C.1 - Valores de la exposición diaria a las vibraciones $A(8)$ para los que puede esperarse que se produzcan episodios de dedo blanco en un 10% de las personas expuestas durante un número dado de años D_y

Años D_y	1	2	3	4
$A(8)$, m/s^2	26	14	7	3,7

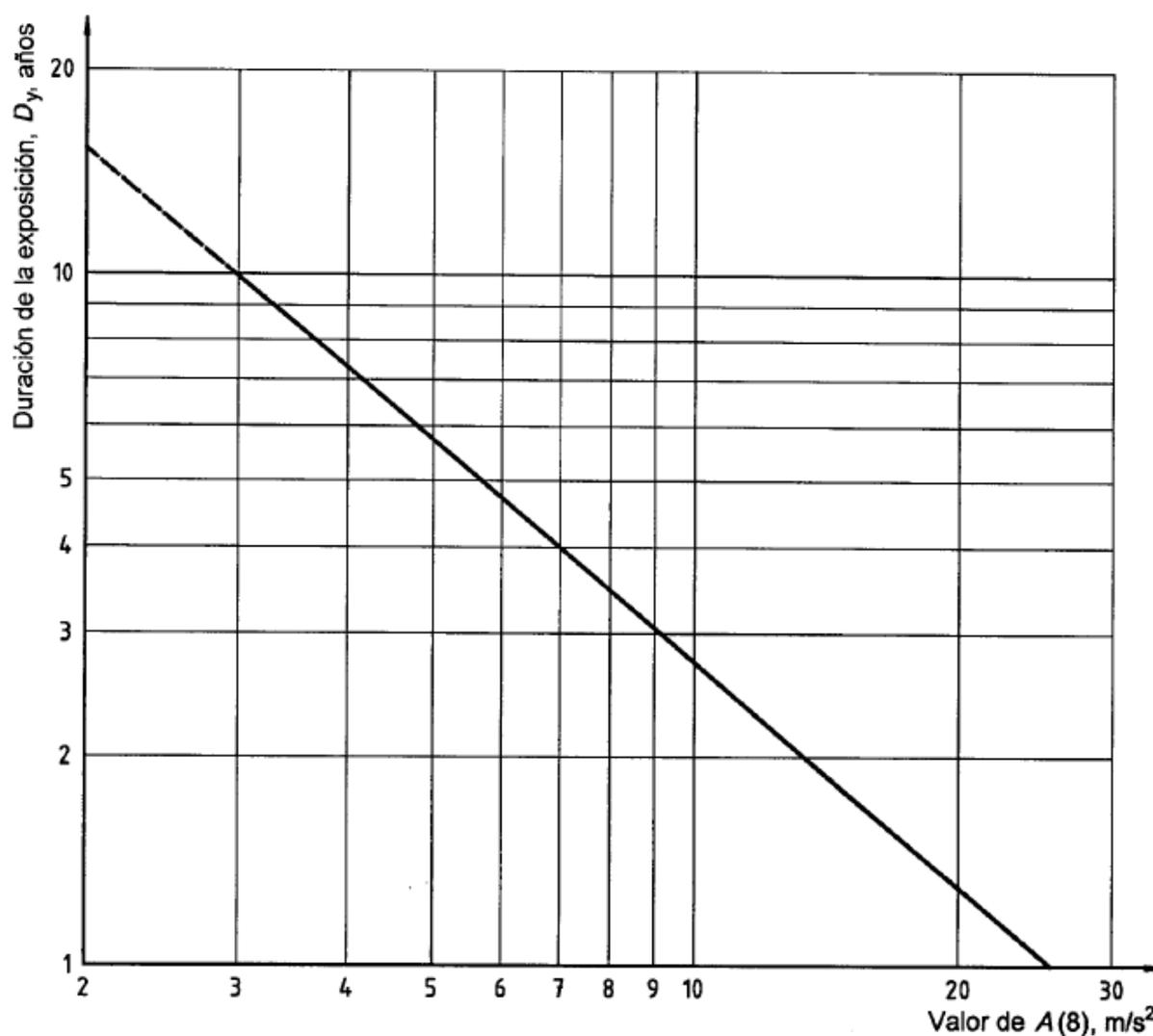


Figura C.1 – Exposición a las vibraciones para una prevalencia prevista del 10% de dedo blanco inducido por las vibraciones en un grupo de personas expuesto

Anexo D (Informativo)

Factores que pueden influir en los efectos de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano en condiciones de trabajo

El método para la evaluación de la exposición a las vibraciones descrito en esta parte de la Norma ISO 5349 tiene en cuenta la magnitud de las vibraciones, el contenido en frecuencia, la duración de la exposición en un día de trabajo y la exposición acumulada hasta la fecha. Los efectos de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano en las condiciones de trabajo pueden también estar influenciados por lo siguiente:

- a) la dirección de la vibración transmitida a la mano;
- b) el método de trabajo y las habilidades del operador;
- c) la edad individual o cualquiera de los factores que pueden influir sobre su salud;
- d) el tipo de exposición temporal y método de trabajo, tal como la duración y frecuencia de trabajo y periodos de descanso; si la herramienta se sigue cogiendo durante los descansos o no, etc.;
- e) las fuerzas de acoplamiento, tales como fuerzas de agarre y potencia, aplicadas por el operador a través de las manos a la herramienta o piezas de trabajo;
- f) la postura de la mano y brazo, y postura del cuerpo durante la exposición (ángulos de la muñeca, codo y articulaciones del hombro);
- g) el tipo y condiciones de la maquinaria vibrando, herramientas manuales y accesorios fijados o piezas de trabajo;
- h) el área y localización de las partes de las manos que están expuestas a las vibraciones;

Los siguientes factores pueden afectar específicamente a cambios de la circulación causadas por vibraciones transmitidas por las manos;

- i) condiciones climáticas y otros factores afectando a la temperatura de la mano o del cuerpo;
- j) enfermedades que afectan a la circulación;
- k) agentes que afectan a la circulación periférica, tales como nicotina, ciertos medicamentos o productos químicos en el ambiente de trabajo;
- l) ruido.

Aunque no se conoce en la actualidad con suficiente detalle la importancia de todos los factores listados con respecto a la generación de enfermedades producidas por las vibraciones, y en esta parte de la Norma ISO 5349 no se definen métodos normalizados para registrar algunos factores, el registro de todos los factores se considera deseable con el fin de que se disponga de las historias de todas las exposiciones principales (véase anexo F).

Anexo E (Informativo)

Medidas preventivas a adoptar por los responsables de la seguridad y salud en el trabajo

E.1 MEDIDAS MÉDICAS PREVENTIVAS ASOCIADAS CON LA EXPOSICIÓN REGULAR DE LAS VIBRACIONES TRANSMITIDAS POR LA MANO

Deben tomarse las siguientes medidas:

- a) Cualquier trabajador que pueda estar expuesto a las vibraciones transmitidas por la mano, debe antes de iniciar su actividad de trabajo;
 - ser examinado médicamente, y
 - registrar cualquier historia previa sobre exposición a las vibraciones.
- b) Todos los individuos que usen equipos vibratorios deben ser informados del riesgo de la exposición a las vibraciones transmitidas por la mano.
- c) Las personas con las siguientes condiciones médicas pueden tener un mayor riesgo y deben ser cuidadosamente evaluadas antes de que utilicen el equipo vibratorio;
 - enfermedad primaria de Rynaud;
 - enfermedad causada por una inadecuada circulación de la sangre a las manos;
 - daños anteriores a las manos causando defectos circulatorios o deformidad de huesos y articulaciones;
 - otras causas de fenómeno secundario de Rynaud;
 - enfermedades del sistema nervioso periférico;
 - enfermedades del sistema musculoesquelético.
- d) Deben tomarse precauciones para registrar los síntomas de estos riesgos y tomar medidas para realizar chequeos médicos a intervalos regulares.

En algunos países es recomendado que la gente joven (hasta los 18 años) no utilicen cierto tipo de herramientas vibratorias.

NOTA

En el capítulo B.6 se da un glosario de términos médicos.

E.2 MEDIDAS TÉCNICAS PREVENTIVAS DIRIGIDAS A REDUCIR LOS EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN A LAS VIBRACIONES TRANSMITIDAS POR LAS MANOS

Deben tomarse las siguientes precauciones:

- a) Cuando sea posible elegir entre diferentes procesos, debe emplearse el proceso que implique la menor exposición a las vibraciones.
- b) Cuando sea posible elegir entre varias herramientas, debe emplearse la herramienta (con sus accesorios) que implique la menor exposición a las vibraciones.

- c) Los equipos deben mantenerse cuidadosamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- d) Debe prevenirse el que las herramientas puedan expulsar gases calientes o fluidos sobre las manos del operador.
- e) Si es posible, las empuñaduras de los equipos vibratorios deben calentarse cuando se trabaja en condiciones ambientales frías.
- f) Deben evitarse las herramientas con formas de empuñaduras que pueden implicar altas presiones sobre la piel en el área de contacto.
- g) Cuando fuera posible elegir, deben seleccionarse herramientas que requieren las menores fuerzas de contacto (fuerzas de agarre y empuje).
- h) La masa de las herramientas guiadas con las manos debe cumplir, como mínimo, el de proporcionar que no se incrementen otros parámetros tales como la magnitud de las vibraciones o fuerzas de contacto.

E.3 MEDIDAS TÉCNICAS PREVENTIVAS DIRIGIDAS A REDUCIR LOS EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN DE LAS VIBRACIONES A LAS MANOS

Deben seguirse los siguientes pasos:

- a) Debe proporcionarse a los trabajadores una adecuada formación en el uso propio del equipo.
- b) Es presumible que los riesgos de las vibraciones se vean reducidos cuando se evitan exposiciones continuas a las vibraciones durante largos periodos de tiempo, en consecuencia, deben incorporarse procedimientos de trabajo que incluyan periodos libres de exposición a las vibraciones.
- c) Debe procurarse que los trabajadores puedan calentarse las manos.

E.4 INFORMACIÓN INDIVIDUAL PARA LOS QUE EMPLEAN HERRAMIENTAS VIBRATORIAS CONDUCTIDAS CON LA MANO

Debe darse la siguiente información:

- a) Dejar a la herramienta hacer el trabajo y sujetar la herramienta con la menor fuerza posible, procurando que esto sea compatible con la práctica de seguridad del trabajo y control de la herramienta. La herramienta debe descansar sobre la pieza de trabajo o soporte tanto como sea posible.

NOTA

En algunas situaciones, incrementando las fuerzas de agarre y empuje puede disminuirla aceleración medida aunque esto puede no ser beneficioso.

- b) Informar al supervisor de trabajo apropiado si se presentan vibraciones anormales.
- c) Proporcionar ropas apropiadas de trabajo y guantes adecuados para mantener seco y caliente al trabajador, particularmente cuando se está trabajando, viajando o empleando equipos vibratorios.

- d) Prohibir o minimizar el fumar antes y durante el trabajo con equipos vibratorios, puesto que la nicotina puede reducir el suministro de sangre a las manos y dedos.
- e) Solicitar información médica si se producen ataques de dedo blanco o azul o se experimentan largos periodos de picazón o entumecimiento de los dedos.

E.5 OTRAS INFORMACIONES

En los Informes CR 1030-1 y CR 1030-2 puede obtenerse más información.

Anexo F (Informativo)

Guías para registrar información adicional

F.1 INTRODUCCIÓN

Las principales magnitudes empleadas comúnmente para representar la severidad de las exposiciones a las vibraciones transmitidas por la mano a_{hv} y $A(8)$ se definen en esta parte de la Norma ISO 5349. Sin embargo, las características de las vibraciones que causan enfermedades no están estudiadas totalmente. Es posible que, incrementando los estudios, sea necesario añadir algunos aspectos al método de evaluación, tal como la ponderación en frecuencia, intervalo de frecuencia, dependencia del tiempo y una aproximación a la vibración multiaxial. También puede ser necesario especificar diferentes métodos de análisis para diferentes efectos de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano.

Con el fin de minimizar el valor futuro de las medidas de las vibraciones realizadas empleando esta parte de la Norma ISO 5349, y para mejorar el conocimiento de los efectos de las vibraciones transmitidas por la mano, se recomienda que se registre información adicional cuando se hagan las medidas y la evaluación de la exposición a las vibraciones. Este anexo proporciona guías para el registro de datos adicionales de uso frecuente.

F.2 FUENTE DE VIBRACIONES Y OPERACIONES DE HERRAMIENTAS

Debe utilizarse una clara descripción de la herramienta vibratoria, tal como tipo, antigüedad, masa, tamaño y condiciones. Las características de la vibración de una herramienta vibratoria pueden ser altamente variables. Sin embargo, es importante que se registre el intervalo de las condiciones de las vibraciones asociado con piezas de trabajo y materiales diferentes, condiciones de trabajo, métodos de uso de la herramienta y tipos de duración de la exposición (incluyendo intermitencia).

Deben registrarse las posiciones y orientación de las manos del operador de la herramienta vibratoria o superficie de la pieza de trabajo. Debe describirse la postura del operador, particularmente en lo que respecta a las manos o a los brazos.

Las fuerzas de contacto entre la mano y la zona de agarre afectan a la energía de vibración transferida a la mano, aunque los efectos no son conocidos totalmente. Es posible que las futuras normas de vibraciones requieran que se determinen estas fuerzas. Cuando sea posible, deben medirse o estimarse las fuerzas de contacto.

Cuando sea posible, deben registrarse los factores ambientales, tales como ruido, temperatura, agentes químicos en el lugar de trabajo, etc.

F.3 INSTRUMENTACIÓN

Esta parte de la Norma ISO 5349 especifica que las medidas o sistema de registro deben ser conformes con los requisitos dados en la Norma ISO 8041. Cuando se superen los requisitos de esta parte de la Norma ISO 5349 (por ejemplo, si el intervalo de frecuencia es mayor) debe darse una descripción completa de la instrumentación.

Debe describirse detalladamente la posición y orientación de los transductores sobre la herramienta o pieza de trabajo y el método de montaje. Debe citarse la masa total del(de los) transductor(es) y del dispositivo de montaje.

El método de montaje del acelerómetro puede proporcionar una mejor contribución a la respuesta en frecuencia de la instrumentación. Es importante asegurar que cualquier frecuencia de resonancia sea suficientemente superior al límite superior del intervalo de frecuencias medido.

F.4 EJES DE LAS VIBRACIONES

Esta parte de la Norma ISO 5349 requiere que las vibraciones sean medidas y registradas separadamente sobre los tres ejes, x, y y z. Es deseable que se registren los datos sobre los tres ejes de medición (incluyendo cuando fuera posible ponderación en frecuencia, magnitudes eficaces, espectro de frecuencia e histórico del tiempo).

NOTA

Se aconseja registrar los datos para los tres ejes, si es posible, por las siguientes razones:

- a) algunos métodos de evaluación recomendados están basados en el valor total de las vibraciones, mientras que otros emplean el mayor valor medido sobre cada uno de los tres ejes por separado;
- b) los efectos de la dirección de las vibraciones sobre la salud no son conocidos totalmente.

F.5 HISTÓRICO DEL TIEMPO DE LAS VIBRACIONES

Debe registrarse y conservarse el comportamiento de la aceleración en el tiempo, si es posible. El comportamiento de las vibraciones registradas en el tiempo es de uso limitado a no ser que se registren sus bandas limitantes en frecuencia y las características de los filtros de bandas limitantes.

NOTA

La conservación del historial en el tiempo es deseable por las siguientes razones:

- a) que pueden identificarse las situaciones que se producen durante las medidas ("shift DC" sobrecargas);
- b) que pueden emplearse diferentes métodos de análisis de frecuencia sobre los mismos datos;
- c) el promedio eficaz, como se requiere en esta parte de la Norma ISO 5349, puede no ser el método más apropiado de evaluación; alternativas (como aceleración pico, promedio de la raíz cuarta) puede determinarse a partir de la historia de las vibraciones en el tiempo almacenada;
- d) una forma diferente de análisis puede ser apropiada para las vibraciones impulsivas (por ejemplo, para herramientas percutoras); puede utilizarse, por ejemplo, el análisis del pico o factor de cresta, estos métodos de análisis alternativos todavía no han sido objeto de acuerdos.

F.6 ANÁLISIS DE FRECUENCIA

Además de las magnitudes ponderadas en frecuencia, es deseable el registro (sin ponderar) de magnitudes de la aceleración eficaz en tercios de banda de octava sobre el intervalo de frecuencia del sistema de medida.

Además, el espectro de ancho de banda constante (es decir, la densidad espectral de potencia) puede proporcionar un método visual muy empleado para la inspección de los datos, para el contenido en frecuencia y para la detección de los sucesos que tiene lugar durante las medidas. (Es importante citar la resolución en frecuencia cuando se registre el espectro de frecuencia).

NOTA

El análisis de frecuencia es deseable por las siguientes razones:

- a) los subsiguientes análisis que se precisen hacer son sencillos empleando datos de un tercio de banda de octava y una ponderación en frecuencia alternativa. (Esto es particularmente útil si la historia en el tiempo de las vibraciones no está conservada);

- b) para la detección de sucesos durante las mediciones: sobrecargas o "Shift DC" (evidente a bajas frecuencias) y problemas de montaje del transductor (evidente a altas frecuencias); puede utilizarse la información espectral (particularmente a partir de un análisis de ancho de banda constante);
- c) el análisis de frecuencia de banda estrecha puede ayudar en la identificación de los mecanismos que originan las vibraciones y también puede proporcionar información de los medios necesarios para reducir las vibraciones a las frecuencias problema.

F.7 INTERVALO DE FRECUENCIA

Aunque la ponderación en frecuencia W_h se define sólo dentro de un intervalo de frecuencia especificado, es recomendable que el intervalo de frecuencia de las medidas pueda ser tan grande como sea posible si la historia en el tiempo y/o el análisis en frecuencia. Sin embargo, el montaje del transductor responde a frecuencias por encima, aproximadamente, de 1000 Hz que puede causar dificultades. Por lo tanto, debe justificarse la validez de cualquier dato a alta frecuencia.

NOTA

El registro de los datos con un alto intervalo de frecuencia es deseable porque algunos investigadores consideran que frecuencias por encima de 1 250 Hz pueden ser más importantes que las que sugiere esta parte de la Norma ISO 5349, principalmente para las vibraciones impulsivas.

F.8 INFORMACIÓN EPIDEMIOLÓGICA

Se entiende que los efectos de las vibraciones sobre la salud (incluyendo los efectos sobre los sistemas vascular, neurológico y musculoesquelético) irán mejorándose mediante la publicación continuada de estudios en los que se registre **tanto** la exposición a las vibraciones (obtenidas de acuerdo con esta parte de la Norma ISO 5349, y teniendo en cuenta el contenido de este anexo) **como** los efectos resultantes sobre la salud.

No forma parte del objeto de este anexo el proporcionar una guía que incluya datos epidemiológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ISO 5348, *Mechanical vibration and shock - Mechanical mounting of accelerometers.*
- [2] ISO 5805, *Mechanical vibration and shock - Human exposure - Vocabulary.*
- [3] ISO 8662 (all parts), *Hand-held portable power tools - Measurement of vibrations at the handle.*
- [4] ISO 8727, *Mechanical vibration and shock - Human exposure - Biodynamic coordinate systems.*
- [5] ISO 10819, *Mechanical vibration and shock - Hand-arm vibration - Method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand.*
- [6] CR 1030-1, *Hand-arm vibration - Guidelines for vibration hazards reduction - Part 1: Engineering methods by design of machinery.*
- [7] CR 1030-2, *Hand-arm vibration - Guidelines for vibration hazards reduction - Part 2. Management measures at the workplace.*
- [8] CR 12349, *Mechanical vibration - Guide to the health effects of vibration on the human body.*
- [9] BOVENZI, M. Medical aspects of the hand-arm vibration syndrome. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 6, 1990, pp. 61-73.
- [10] BRAMMER, A.J. Dose-response relationships for hand-transmitted vibration. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 12, 1986, pp. 284-288.
- [11] CHRIST, E. et al. *Vibration at work* (ISSA brochure). International Section Research of ISSA, Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Paris, 1989.
- [12] DUPUIS, H., CHRIST, E., SANDOVER, J., TAYLOR, W. and OKADA, A. (eds.). *Proceedings of the 6th International Conference on Hand-Arm Vibration, Bonn, 1992.* HVBG, Sankt Augustin, Germany, 1993.
- [13] GRIFFIN, M.J. *Handbook of human vibration.* Academic Press, London, 1990.
- [14] GRIFFIN, M.J. Measurement, evaluation and assessment of occupational exposures to hand-transmitted vibration. *Occupational and Environmental Medicine*, 54 (2), 1997, pp. 73-89.
- [15] Health and Safety Executive HS(G)88: *Hand-Arm Vibration.* HSE Books, Sudbury, Suffolk, United Kingdom, 1994.
- [16] NELSON, C.M. *Hand-transmitted vibration assessment - A comparison of results using single-axis and triaxial methods.* Presented at the United Kingdom Group Meeting on Human Response to Vibration held at the ISVR, University of Southampton, Southampton, United Kingdom, 1997.
- [17] OKADA, A., TAYLOR, W. and DUPUIS, H. (eds.). *Proceedings of the 5th International Conference on HandArm Vibration, Kanazawa, Japan, 1989.* Published 1990.

- [18] PELMEAR, P.L., TAYLOR, W. and WASSERMAN, D.E. (eds.). *Hand-arm vibration -A comprehensive guide for occupational health professionals*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
- [19] Stockholm Workshop 86: Symptomatology and diagnostic methods in the hand-arm vibration syndrome. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 4 (special issue), 1987, pp. 271-388.
- [20] Stockholm Workshop 94: Hand-arm vibration syndrome - Diagnostic and quantitative relationships to exposure, 1994. *Arbete och Hälsa*, 5, 1995.
- [21] 7th International Conference on Hand-Arm Vibration, Prague, 1995. *Central European Journal of Public Health*, 3, Supplement, 1995, and 4, 1996

IBNORCA: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad

IBNORCA creado por Decreto Supremo N° 23489 de fecha 1993-04-29 y ratificado como parte componente del Sistema Boliviano de la Calidad (SNMAC) por Decreto Supremo N° 24498 de fecha 1997-02-17, es la Organización Nacional de Normalización responsable del estudio y la elaboración de Normas Bolivianas.

Representa a Bolivia ante los organismos Subregionales, Regionales e Internacionales de Normalización, siendo actualmente miembro activo del Comité Andino de Normalización CAN, del Comité Mercosur de Normalización CMN, miembro pleno de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas COPANT, miembro de la International Electrotechnical Commission IEC y miembro correspondiente de la International Organization for Standardization ISO.

Revisión

Esta norma está sujeta a ser revisada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

Características de aplicación de Normas Bolivianas

Como las normas técnicas se constituyen en instrumentos de ordenamiento tecnológico, orientadas a aplicar criterios de calidad, su utilización es un compromiso concienzudo y de responsabilidad del sector productivo y de exigencia del sector consumidor.

Información sobre Normas Técnicas

IBNORCA, cuenta con un Centro de Información y Documentación que pone a disposición de los interesados Normas Internacionales, Regionales, Nacionales y de otros países.

Derecho de Propiedad

IBNORCA tiene derecho de propiedad de todas sus publicaciones, en consecuencia la reproducción total o parcial de las Normas Bolivianas está completamente prohibida.