

**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 lugar de trabajo**

ICS 13.160

Vibraciones y choques y sus efectos sobre las  
personas

Diciembre 2010

**Correspondencia:**

Esta norma es idéntica a la Norma ISO 5349-2:2001 “Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace”.

## Prefacio

La elaboración de la Norma Boliviana NB/ISO 5349-2:2010 “**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 lugar de trabajo (Correspondiente a la norma ISO 5349-2:2001)**”, 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
3	TERMINOS Y DEFINICIOENS.....	8

---

**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 lugar de trabajo****0 INTRODUCCIÓN**

El funcionamiento de la maquinaria puede exponer a los trabajadores a vibraciones mecánicas transmitidas por la mano que pueden interferir con el confort, eficiencia en el trabajo, y, en algunas circunstancias con la seguridad y salud. Los requisitos generales para la medición y evaluación de la exposición de las vibraciones transmitidas por la mano se especifican en la Norma ISO 5349-1. El objetivo de esta parte de la Norma ISO 5349 es el de proporcionar una guía práctica de acuerdo con la Norma ISO 5349-1 para desarrollar correctamente medidas que permitan desarrollar una estrategia efectiva para la medida de las vibraciones transmitidas por la mano en el puesto de trabajo.

El uso de la estrategia descrita en esta parte de la Norma ISO 5349 permitirá tener una visión realista de la exposición diaria del operador en el puesto de trabajo y de las incertidumbres más relevantes.

La evaluación de la exposición a las vibraciones puede dividirse en un número de etapas distintas:

- Identificación de una serie de operaciones discretas que pueden suponer el modo normal de trabajo de un operador;
- Selección de las operaciones a medir;
- Medición de la aceleración eficaz (r.m.s.) para cada operación seleccionada;
- Evaluación del tiempo de exposición diario representativo para cada operación identificada;
- Cálculo del valor de la energía total equivalente de las vibraciones para 8 h (exposición diaria a las vibraciones).

La evaluación de la exposición a las vibraciones descrita en la Norma ISO 5349-1 se basa solamente en la medición de la magnitud de las vibraciones en las zonas de agarre o empuñaduras y en los tiempos de exposición. No se tienen en cuenta, factores adicionales, tales como agarres y fuerzas aplicadas por el operador, la posición de la mano y brazo, la dirección de las vibraciones y las condiciones ambientales, etc. Esta parte de la Norma ISO 5349, que es una aplicación de la Norma ISO 5349-1 no define una guía para evaluar estos factores adicionales. Sin embargo, se reconoce que el registro de toda la información relevante es importante para el desarrollo de métodos apropiados para la evaluación del riesgo de vibraciones.

**1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

**1.1** Esta parte de la Norma ISO 5349 proporciona una guía para la medición y evaluación de las vibraciones transmitidas por la mano en el puesto de trabajo de acuerdo con la Norma ISO 5349-1.

Esta parte de la Norma ISO 5349 describe las precauciones que deben tomarse para que las mediciones de las vibraciones sean representativas y para determinar el tiempo de exposición diario para cada operación, con el fin de calcular el valor total de la energía equivalente para 8 h de las vibraciones (exposición diaria a las vibraciones). Esta parte de la Norma ISO 5349 proporciona un medio para determinar las operaciones relevantes que deben tenerse en cuenta cuando se determina la exposición a las vibraciones.

Esta parte de la Norma ISO 5349 se aplica a todas las situaciones donde las personas están expuestas a las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo por la maquinaria guiada a mano, las piezas de trabajo vibratorias, o los órganos de control de la maquinaria fija o móvil.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Para las referencias con fecha, no son aplicables las revisiones o modificaciones posteriores de ninguna de las publicaciones. Para las referencias sin fecha, se aplica la edición en vigor del documento normativo al que se haga referencia (incluyendo sus modificaciones).

ISO 2041 - *Vibraciones y choques. Terminología.*

ISO 5349-1:2001 - *Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 1: Requisitos generales.*

ISO 5805 - *Vibraciones y choques mecánicos. Exposición humana. Vocabulario.*

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

ISO 8662 (todas las partes) - *Herramientas a motor portátiles. Medida de las vibraciones en la empuñadura.*

## 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 las Normas ISO 2041 e ISO 5805, además de los siguientes.

**3.1.1 Máquina cargada manualmente:** Máquina donde la parte trabajante recibe las piezas a fabricar directamente por el operador, de manera que la exposición a las vibraciones se genera a través de la pieza de trabajo tenida o guiada a mano.

EJEMPLO sierra de banda, pulidora de pie.

**3.1.2 Máquina guiada a mano:** Máquina que es conducida por las manos del operador, tal que la exposición a las vibraciones se obtiene a través de las empuñaduras, del volante o del timón.

EJEMPLO Segadora, camión cargadora de pallets, pulidora alternativa.

**3.1.3 Pieza de trabajo guiada a mano:** Pieza de trabajo guiada a mano, de tal manera que la exposición a las vibraciones se obtiene a través de la pieza de trabajo guiada a mano o bien a través de la empuñadura de la herramienta motorizada.

EJEMPLO Pieza conducida contra una pulidora de pie, derribo de árboles con una sierra de cadena.

**3.1.4 Herramienta portátil guiada a mano:** Herramienta motorizada que es guiada a mano.

EJEMPLO Perforadora eléctrica, cinceladora neumática, sierra de cadena.

**3.1.5 Herramienta insertada:** Accesorio intercambiable o reemplazable que se fija dentro o en la herramienta motorizada o máquina.

EJEMPLO Eje taladrador, cincel, sierra de cadena, sierra de cinta, disco abrasivo.

**3.1.6 Operación:** Tarea identificable para la que se efectúa una medida representativa de la magnitud de las vibraciones, esto puede ser para el uso de una herramienta simple motorizada, tipo de pieza de trabajo guiada a mano o para una simple fase de la tarea.

**3.1.7 Operador:** Persona que emplea una máquina cargada manualmente, guiada a mano o máquina guiada a mano o herramienta motorizada.

**3.1.8 Funcionamiento de la herramienta:** Cualquier periodo durante el que una herramienta motorizada está funcionando y el operador está expuesto a las vibraciones transmitidas por la mano.

**3.1.9 Pieza de trabajo:** Pieza que está siendo objeto de operaciones por medio de una herramienta motorizada.

## 3.2 Símbolos

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

$a_{hvi}$  valor eficaz en un eje del valor de las vibraciones ponderadas en frecuencia transmitidas por la mano para la operación  $i$ , en  $m/s^2$ . Se emplea un subíndice adicional  $x$ ,  $y$  o  $z$ , para indicar la dirección de las medidas, es decir  $a_{hvi x}$ ,  $a_{hvi y}$ ,  $a_{hvi z}$ ;

$a_{hvi}$  valor total de las vibraciones (formalmente denotada vector suma o suma de la aceleración ponderada en frecuencia) para la operación  $i$ , (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores  $a_{hvi}$  para los tres ejes de las vibraciones), en  $m/s^2$ ;

$A(8)$  exposición diaria de las vibraciones, en  $m/s^2$ ;

$A_i(8)$  contribución de la operación  $i$  a la exposición diaria a las vibraciones, en  $m/s^2$  (por conveniencia, esto se refiere a la "exposición parcial a las vibraciones");

$T_0$  duración de referencia de 8 h (28 800 s);

$T_i$  duración total (por día) de la exposición a las vibraciones para la operación  $i$ .

## 4 MAGNITUDES A EVALUAR

Existen dos magnitudes principales a evaluar para cada operación  $i$  durante la exposición a las vibraciones:

- el valor total de las vibraciones  $a_{hvi}$  expresado en metros por segundo al cuadrado; éste valor se calcula a partir del valor de las vibraciones ponderadas en frecuencia transmitidas por la mano en los tres ejes  $a_{hwix}$ ,  $a_{hwiy}$ ,  $a_{hwiz}$ ;
- la duración (por día)  $T_i$  de la exposición a las vibraciones para la operación  $i$ .

El parámetro principal a registrar es la exposición diaria a las vibraciones A (8). Éste se calcula a partir de los valores de  $a_{hvi}$  y  $T_i$  para todas las operaciones  $i$  (véase el capítulo 8).

## 5 PREPARACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

### 5.1 Generalidades

El trabajo de un operador en un puesto de trabajo está compuesto por una serie de operaciones, que pueden repetirse. La exposición a las vibraciones puede variar significativamente de una operación a otra, debido al uso de diferentes herramientas motorizadas o máquinas o debido a los diferentes modos de operación de una herramienta motorizada o máquina.

Para evaluar la exposición diaria a las vibraciones, es necesario en primer lugar identificar las operaciones que pueden contribuir significativamente a la exposición global a las vibraciones. Para cada una de estas operaciones, es necesario entonces, decidir sobre los procedimientos para la medición de la exposición a las vibraciones. Los métodos a utilizar dependen de las características del ambiente de trabajo, del tipo de trabajo y de las fuentes de las vibraciones.

### 5.2 Selección de las operaciones a medir

Es importante tomar medidas de todas las herramientas motorizadas o piezas de trabajo que pueden tener una contribución significativa a la exposición diaria a las vibraciones. Para obtener un buen cuadro de la exposición diaria a las vibraciones es necesario identificar:

- a) fuentes de exposición a las vibraciones (es decir máquinas y herramientas que se están empleando);
- b) modos de funcionamiento de la herramienta motorizada, por ejemplo:
  - las sierras de cadena pueden estar funcionando al ralentí, funcionando a plena carga mientras cortan un tronco de árbol, o funcionando a baja carga mientras corta las ramas laterales;
  - un martillo picador mecánico puede utilizarse en modos de impacto o de no impacto y pueden tener un dispositivo de reglaje de su velocidad;
- c) cambios en las condiciones de funcionamiento que pueden afectar a la exposición a las vibraciones, por ejemplo:
  - un martillo neumático puede utilizarse inicialmente sobre una superficie de cemento dura, seguido de un uso sobre un suelo blando situado debajo del pavimento;
  - la utilización inicial de una muela para eliminar los restos groseros de metal, seguido de operaciones más delicadas de limpieza y pulido;
- d) herramientas insertadas que pueden afectar a la exposición a las vibraciones, por ejemplo:

- una lijadora puede utilizarse con una serie de diferentes calidades de papel abrasivo, desde grano grosero a grano fino;
- un martillo neumático puede utilizar un burilador neumático con diferentes tamaños de buriles.

Además, esto puede utilizarse para obtener

- e) información por parte de los trabajadores y supervisores sobre las situaciones en las que pueden producirse los mayores valores de las vibraciones;
- f) una estimación de los riesgos de las vibraciones potenciales para cada operación, empleando la información proporcionada por los fabricantes sobre los valores de emisión de las vibraciones, véase anexo A, o empleando los resultados ya publicados, de medidas previas sobre herramientas motorizadas similares.

### 5.3 Organización de las mediciones

La organización de las mediciones puede llevarse a cabo de cuatro maneras básicas:

- a) Mediciones a largo plazo de operaciones continuas de herramientas.

El tiempo de funcionamiento es largo y continuo, y durante este tiempo el operador mantiene contacto con la superficie vibratoria. En este caso la medición de las vibraciones puede llevarse a cabo sobre largos periodos durante el uso normal de la herramienta motorizada. La operación puede incluir cambios en la magnitud de la vibración, debido a que dichos cambios son parte del procedimiento normal de trabajo.

Además de la información de la magnitud de la vibración, la evaluación de la exposición diaria a las vibraciones requiere una evaluación de la duración de la exposición a la vibración por día.

- b) medidas de larga duración de operaciones intermitentes de herramientas

El tiempo de funcionamiento es largo pero incluye cortos descansos donde no hay exposición a las vibraciones, sin embargo, durante el funcionamiento y los descansos, el operador mantiene contacto con la superficie vibrante. En este caso, las medidas de las vibraciones pueden efectuarse a largo plazo durante el uso normal de la herramienta motorizada, teniendo en cuenta que cualquier descanso en la operación forma parte del procedimiento normal de trabajo y que el operador no pierde contacto con la herramienta motorizada o pieza de trabajo guiada a mano, o significativamente altera la posición de sus manos sobre la herramienta motorizada o pieza de trabajo guiada a mano.

Además de la información de la magnitud de las vibraciones, la evaluación de la exposición diaria a las vibraciones requiere una evaluación de la duración de la exposición de la operación por día. En este caso, la duración de la exposición de la operación incluye los descansos cortos en la exposición a las vibraciones por lo que será mayor que la duración de la exposición a las vibraciones.

- c) Mediciones a corto plazo del funcionamiento intermitente de la herramienta

En algunas situaciones, la mano es a menudo colocada en una posición distinta de la habitual de la herramienta motorizada o pieza de trabajo guiada a mano, es decir, la

herramienta motorizada se calcula en una posición invertida con lo que la mano se coloca en una parte diferente de la herramienta, o una pieza de trabajo guiada a mano se coloca en otra posición lo que supone un cambio de la posición habitual de la mano. En otras situaciones, se realizan cambios en la herramienta motorizada que se está empleando, es decir, pueden colocarse diferentes bandas abrasivas o fijar barrenas o brocas sobre las herramientas motorizadas alternativas. En estos casos, sólo pueden realizarse medidas a corto plazo durante cada fase de la operación de trabajo.

En algunos casos es difícil, o imposible, obtener medidas fiables durante el proceso normal de trabajo, debido a que las duraciones de las exposiciones son demasiado cortas para los fines de las mediciones. En este caso, dichas medidas pueden realizarse durante operaciones de trabajo simuladas, que tengan una duración ininterrumpida de la exposición, y que representen unas condiciones de trabajo tan próximas a la realidad como fuera posible.

Además de la información de la magnitud de la vibración, la evaluación de la exposición diaria a las vibraciones requiere una evaluación de la duración de la exposición asociada con cada fase de trabajo.

- d) Mediciones de duración fijada de impulsos de funcionamiento de la herramienta o choques simples o múltiples.

Algunas operaciones implican exposiciones de impulsos de corta duración de exposición a las vibraciones, estos pueden ser choques sencillos o múltiples, como martillos ribeteadores, pistolas grapadoras o claveteadoras, o impulsos de exposición, como una llave de impacto. En estos casos, a menudo, es difícil hacer una evaluación del tiempo de la exposición real, aunque puede estimarse el número de impulsos de las vibraciones por día. En este caso, las mediciones pueden llevarse a cabo sobre una duración fijada que incluye una o más operaciones completas. La duración de las medidas debe incluir un tiempo tan pequeño como sea posible antes, durante y después de los impulsos de las vibraciones.

Además de la información de la magnitud de las vibraciones y a la estimación del número de impulsos de la exposición a las vibraciones por día, la evaluación de la exposición diaria a las vibraciones requiere una información de la duración de las mediciones y el número de impulsos de las vibraciones durante el periodo de medida.

**NOTA 1** - En el caso de la exposición de los trabajadores a múltiples choques simples o vibraciones transitorias (por ejemplo, herramientas de ensamblaje), el método descrito en la Norma ISO 5349-1 puede no ser adecuado y subestimar la severidad de la exposición a los choques. Sin embargo, en ausencia de otro método mejor, puede aplicarse el dado en la Norma ISO 5349-1, pero debe realizarse con mucha precaución e indicarse en la información a registrar.

**NOTA 2** - Cuando se van a comparar las medidas de la magnitud de las vibraciones (por ejemplo, comparar las opciones de las vibraciones producidas por dos diferentes herramientas motorizadas o herramientas insertadas) es importante realizar medidas de operaciones continuas de herramientas, es decir, sin interrupción de la exposición a las vibraciones.

## 5.4 Duración de las mediciones de las vibraciones

### 5.4.1 Mediciones durante un trabajo normal

Las medidas deben efectuarse promediando sobre un período que sea representativo del uso típico de la herramienta motorizada, máquina o proceso. Cuando sea posible, el periodo de medición debe iniciarse cuando las manos del trabajador tienen el primer contacto con la superficie vibrante, y debe acabar cuando se rompe el contacto. Este periodo puede incluir variaciones de la magnitud de las vibraciones y puede incluir también periodos donde no haya exposición.

Cuando sea posible, deben tomarse una serie de muestras de medida a diferentes horas del día, y promediarlas, a menos que se tuvieran en cuenta las variaciones en las vibraciones a lo largo del día.

**NOTA** - El promedio de la magnitud de las vibraciones de una serie de N muestras de magnitudes de las vibraciones viene dado por:

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

donde

$a_{hwj}$  es la magnitud de las vibraciones medida para la muestra j;

$t_j$  es la duración de la medición de la muestra j.

$$T = \sum_{j=1}^N t_j$$

A menudo, la exposición a las vibraciones es de corta duración y se repite muchas veces durante la jornada de trabajo. Aunque las medidas pueden promediarse sobre ciclos completos de la operación (incluyendo periodos donde se desconecta la fuente de las vibraciones), no puede efectuarse normalmente, más que una promediación sobre los cortos periodos de tiempo en los que la mano está en contacto con la superficie vibrante.

La duración mínima aceptable de las mediciones depende de la señal, instrumentación y características de la operación. El tiempo total de medida (es decir, el número de muestras multiplicada por la duración por cada medida) debe ser, al menos, de 1 min. Es preferible tomar un determinado número de muestras de corta duración que una sola muestra de larga duración. Para cada operación, deben tomarse al menos tres muestras.

Las medidas de muy corta duración (es decir, menos de 8 s) no son siempre fiables, particularmente, en la evaluación de componentes de baja frecuencia, y deben evitarse cuando sea posible. Cuando sea inviable, las medidas de muy corta duración (por ejemplo, cierto tipo de pulidoras de pie donde los tiempos de contacto son muy pequeños), es deseable tomar más de tres muestras para asegurar un tiempo de muestreo superior a 1 min.

#### 5.4.2 Procedimientos de trabajo simulados

Cuando no sea posible o sea muy difícil la realización de las mediciones durante el funcionamiento normal de la herramienta puede utilizarse procedimientos de trabajo simulados para simplificar el proceso de medición de las vibraciones.

El uso principal de procedimientos de trabajo simulados es el de conseguir medidas sobre periodos más largos que los que pueden ser conseguidos durante el funcionamiento de trabajo normal. Por ejemplo, el uso de una esmeriladora de pie es de solo unos pocos segundos por pieza. Además de tener que intentar medir durante periodos de corta duración sobre numerosas piezas de fundición, puede ser necesario simular el esmerilado sobre un pequeño número de piezas ya esmeriladas, empleando cada pieza varias veces.

El hecho de coger, dejar o reposar la herramienta motorizada o la pieza de trabajo guiada a mano puede producir interferencias en las mediciones. Estas interferencias pueden evitarse mediante medidas realizadas durante procedimientos de trabajo simulados que se diseñan de tal manera que evitan las interrupciones entre las operaciones.

## 5.5 Estimaciones de la duración diaria de las vibraciones

Debe obtenerse la duración de la exposición diaria para cada fuente de vibraciones. Normalmente, un tiempo de exposición diario a las vibraciones se basará en:

- una medida del tiempo de exposición real durante un periodo de uso normal (por ejemplo: evaluado sobre un ciclo de trabajo completo, o durante un periodo típico de 30 min) e
- información sobre la evolución del trabajo (por ejemplo: el número de ciclos de trabajo por puesto o la duración de un puesto).

Lo primero que debe llevarse a cabo es una medición para determinar el tiempo que el operador está expuesto a las vibraciones, así como la fuente de origen, durante un periodo de tiempo especificado. Pueden emplearse varias técnicas, por ejemplo:

- uso de un cronómetro;
- uso de un indicador de datos específico asociado a la utilización de la herramienta motorizada;
- análisis de un registro por vídeo;
- muestreo de la actividad.

La fuente de información más importante de la evolución de un determinado tipo de trabajo es el registro del trabajo. Sin embargo, es importante asegurar que la información es compatible con la información requerida para una evaluación de la exposición diaria a las vibraciones. Por ejemplo, el registro del trabajo, puede dar una información muy precisa acerca del número de tareas distintas de trabajo que se realizan al final de cada día, pero cuando hay más de un operador, o cuando las tareas no son terminadas en esa operación, esta información puede no ser aplicable directamente para una evaluación de la exposición a las vibraciones.

Con independencia de cual sea el método utilizado para la medición de las vibraciones, es preciso determinar el tiempo de exposición total diario. Cuando las vibraciones han sido promediadas sobre un ciclo de trabajo completo, el tiempo diario de exposición es simplemente la duración del ciclo de trabajo multiplicado por el número de ciclos por día. Si se ha efectuado una medición sobre un periodo durante el que la mano está en contacto con la superficie vibrante, es preciso evaluar el tiempo de contacto diario por día.

**ADVERTENCIA:** En general, cuando se pregunta a los operadores acerca del uso diario típico de la herramienta motorizada, generalmente, sobreestiman dicha exposición, incluyendo dentro de esa estimación, el periodo de tiempo en el que la herramienta se utiliza, incluyendo pausas en el funcionamiento de la herramienta (por ejemplo pausas en operaciones con la herramienta entre la realización de dos agujeros durante la realización de una operación de burilado, o el tiempo en preparar una nueva pieza de trabajo).

**NOTA-** La Norma ISO 5349-1 solo proporciona un sistema para la evaluación diaria de la exposición a las vibraciones en un día de trabajo; no puede suponerse que el método proporcionado por la Norma ISO 5349-1 pueda extrapolarse para permitir la promediación de la exposición sobre periodos mayores de un día. Sin embargo, en algunas situaciones puede ser deseable obtener una evaluación de la exposición basada en la información de la exposición obtenida sobre periodos de tiempo mayores a un día. Por ejemplo, en algunos tipos de trabajo la cantidad de tiempo utilizando las herramientas motorizadas varía significativamente de un día a otro (tales como industrias de construcción o construcción y reparación de buques); en estas situaciones es difícil, o imposible, emplear la observación o grabar los trabajos para obtener una indicación de los tiempos diarios de exposición. El anexo B proporciona ejemplos de

métodos que pueden utilizarse para la evaluación de la exposición a las vibraciones sobre periodos de tiempo superiores a un día.

## 6 MEDICIÓN DE LA MAGNITUD DE LAS VIBRACIONES

### 6.1 Equipos de medición

#### 6.1.1 Generalidades

Los sistemas de medición de las vibraciones generalmente emplean acelerómetros para detectar el movimiento de la superficie vibrante. La señal de las vibraciones detectada por el acelerómetro puede tratarse de diferentes maneras con el fin de conseguir una medida de la aceleración ponderada en frecuencia.

Las medidas de las vibraciones pueden realizarse empleando medidores de las vibraciones simples y sólo de las vibraciones, o equipos que ponderan e integran la frecuencia. Estos sistemas están diseñados inicialmente para evaluar la exposición a las vibraciones en el puesto de trabajo; siendo suficientes generalmente para la mayoría de las situaciones cubiertas por esta parte de la Norma ISO 5349. Sin embargo, una instrumentación simple no es capaz de mostrar los errores asociados con las medidas de las vibraciones.

Los sistemas más sofisticados de medida, a menudo, se basan en alguna forma de análisis de frecuencia (por ejemplo, tercios de banda de octava o banda estrecha). Pueden emplear registros de datos analógicos o digitales para almacenar información del tiempo, éstos pueden emplear técnicas de adquisición de datos basados en ordenador y en análisis. Estos sistemas son más costosos y complejos de operar que los sistemas sencillos.

Cuando exista alguna duda acerca de la calidad de la señal de aceleración (por ejemplo, lo que se denomina como "DC shift", véase el apartado 6.2.4) es útil disponer de una información en análisis de frecuencia. El análisis de frecuencia también proporcionará información sobre las frecuencias dominantes, y armónicos, que pueden ayudar a identificar medidas de control de las vibraciones.

En los límites de aplicación de la Norma ISO 5349-1 (como pueden ser choques simples repetidos, componentes de frecuencias dominantes excediendo los 1 250 Hz) puede ser útil emplear cualquier información adicional disponible, por ejemplo, sistemas de medición más sofisticados.

En la Norma ISO 8041 se dan los requisitos de desarrollo mínimos (por ejemplo, características de ponderación en frecuencia, tolerancias, intervalo dinámico, sensibilidad, linealidad y capacidad de sobrecarga) para las medidas apropiadas y equipos de análisis.

#### 6.1.2 Acelerómetros

**6.1.2.1 Generalidades.** En general, la selección de los acelerómetros dependerá de la magnitud de las vibraciones esperadas, del intervalo de frecuencia requerido, de las características físicas de la superficie que está siendo medida y del ambiente en el que se va a utilizar.

**6.1.2.2 Magnitud de la vibración.** Las máquinas guiadas a mano pueden producir altas magnitudes de vibraciones. Un martillo neumático, por ejemplo, puede generar una aceleración máxima de 20 000 m/s<sup>2</sup> a 50 000 m/s<sup>2</sup>. Sin embargo, gran parte de esta energía se produce a frecuencias fuera del intervalo de frecuencias empleado en esta parte de la Norma ISO 5349. El acelerómetro elegido para la medida tiene que ser capaz, al menos, de funcionar a estas magnitudes tan altas de las vibraciones y responder a las magnitudes a más bajas

frecuencias en el intervalo de frecuencia de 6,3 Hz a 1 250 Hz (bandas de media frecuencia en tercios de bandas de octava). Para el empleo de filtros mecánicos que permiten suprimir las vibraciones a muy altas frecuencias véase el anexo C.

**6.1.2.3 Intervalo de frecuencia.** La selección del acelerómetro puede estar influenciada por la frecuencia de resonancia fundamental del acelerómetro, que es una característica del acelerómetro (a veces está referida a la "frecuencia de resonancia de montaje", "frecuencia natural" o "frecuencia de resonancia"). La información sobre la frecuencia de resonancia natural estará disponible a partir del fabricante del acelerómetro. La Norma ISO 5348 recomienda que la frecuencia natural de resonancia debe ser mayor que cinco veces la frecuencia máxima de interés (para vibraciones transmitidas por la mano, ésta corresponde a 6 250 Hz). Para acelerómetros piezoeléctricos, la frecuencia natural de resonancia, debe ser normalmente mucho mayor, idealmente mayor que 30 kHz, para minimizar la posibilidad de una distorsión de tipo "DC shift" (véase el apartado 6.2.4).

**NOTA -** La frecuencia fundamental de resonancia del acelerómetro no debe confundirse con la frecuencia de resonancia del acelerómetro cuando éste está montado sobre una pieza de trabajo guiada a mano o herramienta motorizada que es una característica del sistema de montaje global del acelerómetro. En la práctica, la resonancia del acelerómetro montado sobre una pieza de trabajo guiada a mano o herramienta motorizada será sustancialmente menor que la frecuencia de resonancia fundamental (véase el apartado 6.1.4).

**6.1.2.4 Influencia de la masa.** Cuando los acelerómetros se fijan a una superficie vibrante las características de las vibraciones de esta superficie se alteran. El(los) mayor(es) acelerómetro(s) introducirá(n) menor(es) error(es) (véase el apartado 6.1.5).

**6.1.2.5 Condiciones ambientales.** Cuando se seleccionan acelerómetros, particularmente, para su empleo en ambientes muy desfavorables, será necesario considerar la sensibilidad del acelerómetro a la temperatura, humedad u otros factores ambientales (véase la Norma ISO 8041).

**6.1.3 Localización de los acelerómetros.** Las mediciones de las vibraciones de acuerdo con la Norma ISO 5349-1 deben efectuarse cerca de la superficie de la mano (o manos) donde las vibraciones entran en contacto con el cuerpo. Preferiblemente, el acelerómetro debe colocarse en el centro de la zona de agarre (es decir, en la mitad del ancho de la mano cuando se conduce con la mano una herramienta motorizada), ésta es la localización donde se obtendrá una evaluación más representativa de las vibraciones que entran a la mano. Sin embargo, generalmente no es posible localizar los transductores en este punto; los transductores interferirán con el agarre empleado por el operador.

Las mediciones realizadas directamente bajo la mano normalmente solo son posibles cuando se emplean adaptadores especiales de montaje (véase anexo D). Dichos adaptadores deben fijarse bajo la mano, o entre los dedos. Para medidas más prácticas, los acelerómetros se montan bien a ambos lados de la mano, o bajo el lado de la empuñadura de la herramienta adyacente al medio de la mano. Para el caso en el que los adaptadores se han fijado entre los dedos, los transductores deben montarse tan próximos como sea posible a la superficie de la empuñadura de la herramienta con el fin de minimizar la amplificación de las componentes rotacionales de las vibraciones. Conviene que no exista ninguna resonancia estructural que pueda afectar a las mediciones de las vibraciones.

Es posible que la medición de las vibraciones a lo largo de la mano presente diferencias, principalmente para herramientas motorizadas guiadas a mano con empuñaduras a los lados, tales como esmeriladoras angulares, y, especialmente, donde estas empuñaduras son flexibles. En estos casos, se recomienda que se empleen dos posiciones de los acelerómetros, localizados a los lados de la mano; se emplea entonces el promedio de las dos medidas de las vibraciones para estimar la exposición a las vibraciones.

Para muchas herramientas motorizadas guiadas a mano, se han definido, tanto en la Norma ISO 8662 como en otras normas internacionales, localizaciones y ejes de medida específicos para la medición de la emisión de las vibraciones; en el anexo A se resumen dichas localizaciones de las medidas mediante una serie de ejemplos de localizaciones de medidas. Las localizaciones de medidas definidas en la Norma ISO 8662 están diseñadas para un tipo de medidas particular (generalmente, sobre un solo eje) y no son necesariamente válidas para la evaluación de la exposición a las vibraciones. Sin embargo, en algunas circunstancias puede ser apropiado asegurar que las medidas de las vibraciones en los puestos de trabajo se han efectuado empleando localizaciones y ejes compatibles con aquellos empleados para las medidas de emisión.

#### **6.1.4 Fijación de los acelerómetros**

**6.1.4.1 Generalidades.** Los acelerómetros deben estar fijados rígidamente a las superficies vibrantes. El anexo D proporciona detalles de algunos métodos de montaje. Debe elegirse un método que proporcione una fijación adecuada a la superficie vibrante, tal que no interfiera con el funcionamiento de una herramienta motorizada y no afecte a las características de las vibraciones de la superficie vibrante. El método de montaje elegido depende de la situación particular de las medidas. Cada método tiene una serie de ventajas e inconvenientes.

El sistema de montaje debe tener una respuesta en frecuencia uniforme en el intervalo de frecuencia que se está midiendo, es decir, no debe atenuar o amplificar y no debe tener ninguna resonancia en este intervalo de frecuencia. El sistema de montaje debe fijarse de forma segura a la superficie vibrante, y todas las fijaciones deben comprobarse cuidadosamente antes y después de las medidas.

El montaje de los acelerómetros sobre una herramienta motorizada o pieza de trabajo guiada a mano es, necesariamente, intrusivo y tendrá algunos efectos sobre la forma de trabajar del operador. El montaje de los transductores debe realizarse de tal forma, que el operador pueda trabajar tan normal como sea posible. Antes de las mediciones, para poder identificar la mejor localización y orientación de los acelerómetros, es importante observar cómo se sujeta la herramienta motorizada o la pieza de trabajo guiada a mano. Debe registrarse la localización (o localizaciones) y orientación de los transductores.

Es muy importante evitar las posibles interferencias con los controles de la herramienta motorizada o con el funcionamiento seguro de una herramienta motorizada o máquina. Este es, a menudo, el caso de las herramientas motorizadas, donde la mejor localización de las mediciones es el lugar donde se coloca el interruptor de encendido/apagado de la herramienta. Debe tenerse cuidado de asegurar que los controles de la herramienta motorizada no son dificultados (y no lo llegarán a ser) por el transductor, montajes o cables.

**6.1.4.2 Fijación a las superficies con revestimientos resilientes.** Cuando la empuñadura de una herramienta motorizada tiene un revestimiento flexible, las propiedades de transmisión de las vibraciones del revestimiento dependen de la fuerza con la que se fije el sistema de montaje. En estos casos, debe tenerse cuidado de asegurar que las mediciones de las vibraciones no se ven afectadas por el material resiliente. Cuando se estima que el revestimiento no permite la reducción de la exposición a las vibraciones, o

- se retira el material resiliente de la superficie situada bajo los transductores o
- se fijan los transductores empleando una fuerza que comprima totalmente el material resiliente.

Este método es válido para la mayoría de las ocasiones. Sin embargo, no tiene en cuenta las propiedades de transmisión de las vibraciones de los revestimientos resilientes.

Generalmente, los materiales resilientes de las empuñaduras de las herramientas motorizadas no son válidos para proporcionar una reducción de las vibraciones pero proporcionan una buena superficie de agarre. Cualquier material resiliente no afectará, generalmente, a la magnitud de las vibraciones ponderadas en frecuencia.

Si el revestimiento del material resiliente puede proporcionar alguna reducción de la exposición a las vibraciones, por ejemplo, cuando se trata de una capa espesa de material resiliente, el transductor debe entonces fijarse a un adaptador (véase el apartado D.2.4) que se mantenga contra la superficie vibrante por la fuerza de agarre normal del operador (el adaptador puede mantenerse en posición empleando un material adhesivo enrollado ligeramente alrededor de la empuñadura de la herramienta motorizada y del adaptador). Este tipo de medición es difícil de realizar, pero puede dar una mejor indicación de la exposición actual de las vibraciones.

**NOTA** - Es posible que los materiales resilientes mal seleccionados puedan amplificar las vibraciones a determinadas frecuencias.

**6.1.4.3 Acoplamiento a las empuñaduras o zonas de agarre construidas con materiales ligeros y flexibles.** Para herramientas motorizadas con empuñaduras construidas con materiales ligeros o flexibles, por ejemplo, empuñadura auxiliar de plástico en algún tipo de lijadoras y muelas, puede emplearse un adhesivo para fijar los acelerómetros de baja masa a la superficie del material.

### 6.1.5 Masa de los acelerómetros

La fijación de los acelerómetros a la superficie vibrante afectará a las vibraciones de esta superficie. Cuanto mayor sea la masa fijada a la superficie, mayor será el efecto producido. Si la masa total del acelerómetro o de los acelerómetros, y del sistema de montaje es pequeña comparada con la masa de la herramienta motorizada, de su empuñadura o de la pieza de trabajo guiada a mano, sobre la(s) que se fijan (masa inferior al 5%), entonces puede ignorarse dicho efecto.

**NOTA** - En la práctica, se han conseguido sistemas de medidas triaxiales de menos de 30 g.

Si existe alguna duda acerca de la extensión del efecto de la masa de los transductores entonces debe realizarse el siguiente proceso:

- a) el(los) acelerómetro(s) se fija(n) a la empuñadura de la herramienta motorizada, pieza de trabajo guiada a mano, y se efectúa una medida de la magnitud de las vibraciones;
- b) se repiten las mediciones con una masa adicional, similar a la del acelerómetro, fijada separadamente a la herramienta motorizada o pieza de trabajo guiada a mano, colocada cerca de los acelerómetros;
- c) si las magnitudes de las vibraciones obtenidas en dos mediciones son marcadamente diferentes debe realizarse un acelerómetro o sistema de montaje más ligero.

### 6.1.6 Medidas triaxiales

Se recomiendan las medidas triaxiales de las vibraciones, empleando el sistema de coordenadas basicéntrico definido en la Norma ISO 5349-1. Sin embargo, existen algunas situaciones donde las medidas triaxiales o no son posibles o no son necesarias. En estas situaciones, la Norma ISO 5349-1 requiere que se aplique un factor de multiplicación para las medidas en uno o dos ejes con el fin de obtener un valor total estimado de las vibraciones.

El factor de multiplicación empleado debe estar comprendido entre 1,0 para herramientas que tienen un eje altamente dominante y 1,7 cuando no existe un eje dominante. (Un eje de las vibraciones se considera dominante cuando los valores de las vibraciones en los otros ejes no dominantes son inferiores al 30% del valor de las vibraciones en el eje dominante). Cuando deban utilizarse las medidas en un solo eje, el eje utilizado debe ser el eje dominante.

**EJEMPLO 1** Cuando la orientación de una pieza de trabajo está cambiando continuamente en las manos del operador (por ejemplo, pulidora de pie de pequeños componentes), las medidas en un solo eje pueden ser suficientes para proporcionar una estimación representativa de la exposición a las vibraciones. El valor total de las vibraciones viene dado por:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2}$$

En este ejemplo, el valor total estimado de las vibraciones se calcula a partir de una aceleración medida,  $a_{hw,medida}$  que se asume que es representativa de las vibraciones en los tres ejes del sistema de coordenadas basicéntrico. Es decir

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

Entonces debe emplearse un factor de multiplicación de 1,73 (redondeado a 1,7) para dar el valor total estimado de las vibraciones. El valor total estimado de las vibraciones será entonces 1,7 veces el valor de las vibraciones medidas en un solo eje.

**EJEMPLO 2** Inicialmente, las mediciones sobre un martillo neumático muestran que el eje vertical de las vibraciones es el dominante y la vibración en los otros ejes son siempre inferiores al 30% de la aceleración en el eje dominante,  $a_{hw,dominante}$ . En este caso, el valor total estimado de las vibraciones viene dado por

$$\begin{aligned} a_{hv} &= \sqrt{a_{hw,do\ min\ ante}^2 + (0,3a_{hw,do\ min\ ante})^2 + (0,3a_{hw,do\ min\ ante})^2} \\ &= \sqrt{1 + 2 \times 0,3^2} a_{hw,do\ min\ ante} = 1,086 a_{hw,do\ min\ ante} \end{aligned}$$

Un factor de multiplicación de 1,086 (redondeado a 1,1) es entonces apropiado. El valor total estimado de las vibraciones será entonces 1,1 veces el valor de las vibraciones en el eje dominante.

### 6.1.7 Medidas simultáneas y secuenciales

Se recomienda realizar medidas simultáneas de las vibraciones a lo largo de los tres ejes. Sin embargo, algunos instrumentos sólo permiten mediciones en un solo eje, y sobre objetos muy ligeros, entonces sólo puede ser factible medir en una dirección a la vez (medidas secuenciales), debido a la necesidad de asegurar que la masa total del acelerómetro y del sistema de montaje sea pequeña, comparada con la masa de la herramienta motorizada, de su empuñadura o de la pieza de trabajo guiada a mano.

Cuando se realizan medidas secuenciales, es importante asegurar que todas las condiciones de funcionamiento permanecen iguales para las tres medidas de las vibraciones en los ejes x, y y z.

#### **6.1.8 Ponderación en frecuencia**

En las Normas ISO 5349-1 e ISO 8041 se dan detalles sobre los parámetros de ponderación en frecuencia.

La ponderación en frecuencia puede conseguirse mediante

- filtros analógicos;
- filtración digital de la señal de tiempo;
- aplicación de factores de ponderación de un tercio de banda de octava o espectro de análisis de frecuencia de banda estrecha.

Es importante que los métodos digitales, tales como filtración digital y análisis de la transformada rápida de Fourier (FFT), sean apropiadamente capaces de proporcionar un análisis seguro, sobre todo el intervalo de frecuencia cubierto por las bandas de un tercio de octava que van desde 6,3 Hz hasta 1 250 Hz. El análisis debe proporcionar una buena resolución a bajas frecuencias, y emplear una muestra suficientemente grande para obtener una información precisa a alta frecuencia.

Es importante que el análisis FFT utilice una ventana temporal apropiada. Para máquinas rotatorias o herramientas percutoras de funcionamiento continuo, generalmente, es válida la función de la ventana de Hanning. Para herramientas de impacto, donde la frecuencia de los impactos (impactos por segundo) es inferior a 10 veces la resolución del análisis en banda estrecha, es conveniente considerar entonces otras funciones de ventanas. Para frecuencias de impacto muy bajas, tales como aquellas donde la frecuencia de impacto es igual a la resolución, entonces se recomienda un análisis de disparo empleando una ventana exponencial.

#### **6.1.9 Uso de registro de datos**

A menudo, puede utilizarse un registro de datos de las señales de las vibraciones, lo que permite efectuar análisis de diferentes maneras con el mismo conjunto de datos.

El registro de los datos puede conseguirse empleando técnicas de registro analógicas o digitales. En todos los casos, el registro de datos debe tener un intervalo dinámico suficiente para asegurar que las señales de las vibraciones, sobre todo el intervalo de frecuencia cubierto, pueda registrarse de forma fiable. Los registros de datos analógicos, a menudo, tienen intervalos dinámicos comprendidos entre 40 dB y 50 dB, que, generalmente, entrañan la pérdida de componentes de baja frecuencia de la señal de la aceleración en el ruido de la banda magnética. Los sistemas digitales ofrecen unas mejores características de intervalo dinámico, aunque conviene siempre garantizar una mejor utilización del intervalo disponible.

Algunos sistemas de registros analógicos y digitales emplean técnicas de compresión de datos para minimizar el espacio ocupado por los datos; estas técnicas deben evitarse, a menos que pueda demostrarse, que estos sistemas no pierden la información de la señal.

La instrumentación de medida que incluya elementos de registro de datos, debe ser conforme con los requisitos de la Norma ISO 8041.

### **6.1.10 Intervalo de medición**

La mayoría de los instrumentos permiten al usuario seleccionar la magnitud máxima de aceleración medible por el instrumento. Estos conjuntos definen el intervalo actual de medida del instrumento. Cuando el usuario ha seleccionado el intervalo de entrada del instrumento, el intervalo de medición apropiado puede determinarse desarrollando tres medidas. Para obtener la mejor relación señal de ruido, se selecciona el intervalo de medición más bajo posible sin que se produzca ninguna sobrecarga.

### **6.1.11 Tiempo de promediación**

Las magnitudes de las vibraciones deben promediarse sobre periodos de uso normal de la herramienta, o sobre los periodos de contacto con una pieza de trabajo guiada a mano. Debe utilizarse una promediación eficaz, utilizando una promediación lineal, sobre uno o más operaciones completas o ciclos de trabajo.

La promediación exponencial debe emplearse únicamente cuando la instrumentación de las vibraciones, no permita realizar una promediación lineal y cuando las señales de las vibraciones son suficientemente estables para permitir efectuar una evaluación fiable del valor promediado de las vibraciones.

## **6.2 Fuentes de incertidumbre en la medición de las vibraciones**

### **6.2.1 Problemas con el cable de conexión**

El problema más común con la medición de las vibraciones transmitidas por la mano es el de asegurar que se mantiene una conexión eficaz entre el acelerómetro y el cable de señal. En general, debe tenerse cuidado para asegurar que cualquier cable de conexión es seguro y que no se ha dañado en ninguna parte. En particular, debe tenerse gran cuidado en la conexión al acelerómetro, en asegurar que el cable y el conector no estarán sometidos a una tensión indebida durante la utilización de la herramienta motorizada o la pieza de trabajo guiada a mano.

Fallos en los blindajes de los cables pueden causar excitaciones eléctricas, introduciendo altos niveles de frecuencias eléctricas del sector. Para herramientas eléctricas, donde las frecuencias de las vibraciones dominantes o armónicos principales, son normalmente iguales a las frecuencias eléctricas del sector, puede ser difícil detectar este tipo de fallo. Para los acelerómetros piezoeléctricos, que emplean amplificadores de acondicionamiento de la señal con altas impedancias de entrada, la pérdida de conexión en el blindaje de la puesta a tierra de los cables, puede causar excitaciones extremas de las frecuencias principales del sector.

### **6.2.2 Interferencias electromagnéticas**

Es importante prevenir los campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos que afectan a las medidas de las vibraciones. En el caso de señales parásitas acopladas capacitivamente o por inducción, es posible reducir el efecto de los campos electromagnéticos inevitables, por los siguientes medios:

- blindaje de cables;
- uso de cables trenzados;

- puesta a tierra del blindaje del cable de la señal vibratoria en un solo extremo, normalmente, el del amplificador;
- provisión de una conexión al transductor puesto a tierra (por ejemplo, empleando un amplificador diferencial);
- evitando que los cables de transmisión de las señales vibratorias sean paralelos a los cables de potencia;
- provisión de un aislamiento eléctrico entre el acelerómetro y la superficie vibrante.

### 6.2.3 Efecto triboeléctrico

Los cables de los instrumentos no deben estar expuestos a altas tensiones debidas a las vibraciones de gran amplitud, debido a que como resultado de una deformación, los sistemas presentan una alta resistencia interna (por ejemplo, acelerómetros piezoeléctricos), generando señales eléctricas. Por esta razón, se recomienda asegurar los cables de transmisión de la señal a la superficie vibrante, cerca del acelerómetro (por ejemplo, empleando una cinta adhesiva). Para herramientas manuales neumáticas, generalmente, es efectivo la fijación de los cables a intervalos regulares a lo largo de la línea de suministro de aire.

### 6.2.4 "Shift DC"

La exposición de transductores piezoeléctricos a muy altas aceleraciones a frecuencias elevadas, por ejemplo, sobre herramientas percutoras desprovistas de un sistema antivibratorio, puede generar un "shift DC" que implica la distorsión de la señal de las vibraciones de manera que una componente adicional errónea a baja frecuencia aparece en la señal de las vibraciones. La distorsión debida al "shift DC" que se produce en el transductor es debida a la excitación de fenómenos transitorios que son muy grandes para el transductor, sobrecargando mecánicamente el sistema piezoeléctrico. Un medio para evitar el "shift DC" puede ser la utilización de un filtro mecánico, véase el anexo C.

La presencia de "shift DC" es, en un principio, importante en la región de baja frecuencia por debajo de la frecuencia de percusión; por esta razón, puede detectarse, generalmente, a partir de un análisis de frecuencia de la señal de las vibraciones. La distorsión puede presentar sobre un espectro de frecuencias, valores excesivamente altos de vibraciones de bajas frecuencias. El paso de la aceleración eficaz (raíz cuadrática media) no ponderada,  $a$ , al desplazamiento,  $d$ , empleando  $d = a/(40 f^2)$  (donde  $f$  es el centro de frecuencia de la banda de análisis de frecuencia), proporcionará, a menudo, una indicación de la existencia o no de un "shift DC". Si el desplazamiento calculado a partir del espectro de aceleración es claramente mayor que el desplazamiento del transductor observado (por ejemplo, mayor que dos veces el desplazamiento observado), es muy probable que se haya producido el "shift DC".

Si se ha producido el "shift DC", éste se detecta mediante un examen de los componentes de baja frecuencia de la señal de las vibraciones. Sin embargo, la distorsión debida al "shift DC" afectará al espectro entero de las vibraciones. Por esta razón, debe rechazarse cualquier medida que muestre signos de "shift DC"; los valores de las vibraciones ponderados en frecuencia no deben obtenerse a partir del espectro que muestra "shift DC" eliminando o modificando las bandas espectrales de baja frecuencia.

## 6.3 Comprobación y verificación de la cadena de mediciones

### 6.3.1 Comprobaciones regulares de funcionalidad

La cadena de mediciones completa debe comprobarse, antes y después de una secuencia de medidas, utilizando un calibrador de las vibraciones (una fuente de vibraciones de referencia) que produzca aceleraciones sinusoidales conocidas a una frecuencia conocida.

**NOTA** - En la práctica, la sensibilidad de los acelerómetros raramente varía durante las medidas, sin embargo, pueden sufrir fallos mecánicos. En consecuencia, deben anotarse los cambios en la sensibilidad aparente y si fuera necesario descartar las medidas.

### **6.3.2 Verificación rutinaria del sistema de medida**

Las características del sistema de medición deben verificarse a intervalos regulares (por ejemplo, cada dos años). Estas verificaciones de comprobación deben permitir asegurar que la instrumentación está funcionando dentro de las tolerancias definidas en la Norma ISO 8041 (véase también la Norma DIN 45671-3).

Además de una verificación regular, el sistema de medición debe verificarse después de toda manipulación brusca de cualquier parte importante del sistema de medición. Deben registrarse los resultados de esta verificación de comprobación.

## **7 INCERTIDUMBRE DE LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DIARIA A LAS VIBRACIONES**

### **7.1 Incertidumbre de las medidas de la aceleración**

Cuando se realizan las medidas de las vibraciones transmitidas a los trabajadores, la incertidumbre de medida estará afectada por los factores referidos a medidas individuales, tales como

- precisión de la instrumentación;
- calibración;
- interferencias eléctricas;
- montaje de los acelerómetros;
- masa de los acelerómetros;
- localización de los acelerómetros;
- cambios en el funcionamiento normal de la herramienta y cambios en la posición de la mano y fuerzas aplicadas en el proceso de medida (por ejemplo: montaje de los acelerómetros y cables asociados);
- cambios en el método de trabajo del operador, como una respuesta al hecho de ser objeto de las mediciones.

Además de la incertidumbre de toda evaluación de la exposición a las vibraciones, estará afectada por los cambios que se produzcan en el transcurso de cualquier día de trabajo, tales como

- cambios en las condiciones de la herramienta motorizada y herramienta insertada (por ejemplo: al cambiar el disco de una pulidora puede cambiar de forma significativa las vibraciones transmitidas al operador);
- cambios en la posición y fuerzas aplicadas;

- cambios en las características de los materiales que están siendo procesados.

**NOTA 1** - La incertidumbre asociada con la instrumentación y calibración, interferencias eléctricas y montaje y masa de los acelerómetros será generalmente pequeña comparada con las incertidumbres que se derivan de la selección de la localización de las medidas y variabilidad en la operación de trabajo.

**NOTA 2** - Cuando se está investigando la historia de la exposición de las personas, es deseable, si es posible, medir las vibraciones de las máquinas y herramientas insertadas de diferentes generaciones y diferentes estados de mantenimiento.

**NOTA 3** - Cuando el objetivo de las medidas es la evaluación de la exposición de las vibraciones asociadas con una tarea específica, las diferencias entre operadores (variación en experiencia, estatura, etc.) puede también ser una fuente de incertidumbre (véase el apartado 7.3).

## 7.2 Incertidumbre de la medida del tiempo de exposición

La incertidumbre en la estimación del tiempo de exposición está afectada por la incertidumbre de

- medidas de la duración de la exposición;
- estimación del número de ciclos de trabajo por día;
- tiempo de exposición estimado suministrado por los operadores (véase anexo B), esto puede provenir de una mala interpretación de la cuestión (confusión entre el uso de la herramienta motorizada y la exposición real a las vibraciones), así como por pobres estimaciones de las duraciones para las que tiene lugar la exposición a las vibraciones (véase el apartado 5.5).

## 7.3 Evaluación de la incertidumbre

Las fuentes de incertidumbre dependen de la operación medida. El experimentador debe determinar las fuentes principales (por ejemplo, el desequilibrio del disco en el caso de pulidoras) y deben realizarse múltiples medidas con el fin de determinar la extensión de la incertidumbre y calcular la desviación típica, considerando las fuentes de incertidumbre dominantes (por ejemplo, puede ser útil medir una máquina de pulido con los discos en diferentes desequilibrios).

Si el objetivo de las mediciones no es el de evaluar la exposición a las vibraciones de un determinado trabajador, pero si el de evaluar la exposición de una tarea específica, la evaluación de la exposición a las vibraciones debe, si es posible, estar basada en medidas realizadas, al menos, con tres trabajadores diferentes. El resultado registrado debe ser la media aritmética de las medidas, también debe registrarse la desviación típica.

## 8 CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN DIARIA A LAS VIBRACIONES

En muchos casos, la exposición diaria a las vibraciones de un trabajador proviene de un número determinado de operaciones. Para cada operación  $i$ , el valor total de las vibraciones,  $a_{hvi}$  y el tiempo de exposición a la que debe medirse la fuente  $T_i$ . La exposición diaria a las vibraciones  $A(8)$ , en  $m/s^2$ , debe obtenerse a partir de la fórmula

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

donde

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

$n$  es el número de operaciones.

Con el fin de facilitar la comparación entre diferentes operaciones y para evaluar la contribución individual de una operación particular a la exposición diaria a las vibraciones  $A(8)$ , puede ser útil calcular la exposición parcial a las vibraciones para la operación individual,  $A_i(8)$ , empleando la siguiente ecuación

$$A_i(8) = a_{hvi} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \quad (2)$$

La exposición diaria a las vibraciones viene dada por

$$A(8) = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2(8)} \quad (3)$$

$A(8)$  debe evaluarse separadamente para ambas manos del operador.

Las incertidumbres asociadas con la evaluación de  $A(8)$  son a menudo altas (como del 20% al 40%). Entonces, los valores de  $A(8)$  no deben presentarse normalmente, con más de dos cifras significativas.

En el anexo E se dan aplicaciones prácticas del cálculo de la exposición diaria a las vibraciones.

## 9 INFORMACIÓN A REGISTRAR

El informe de evaluación debe referirse a esta parte de la Norma ISO 5349 y proporcionar, dependiendo de la situación investigada, la siguiente información:

### a) Información general

- empresa/cliente;
- objetivo de las medidas (por ejemplo: evaluación de la exposición individual de los trabajadores a las vibraciones, grupos de trabajadores, medidas de control de la evaluación, estudios epidemiológicos);
- fecha de la evaluación;
- sujeto o sujetos de la evaluación de la exposición individual;
- persona que desarrolle las medidas y evaluación.

### b) Condiciones ambientales en el puesto de trabajo;

- localización de las medidas (por ejemplo: interiores, exteriores, área de la empresa);
- temperatura;

- humedad;
  - ruido.
- c) Información a utilizar para seleccionar las medidas de las operaciones (véase el apartado 5.2)
- d) Regímenes de trabajo diario para cada operación evaluada:
- descripción de las operaciones medidas;
  - máquinas y herramientas insertadas empleadas;
  - materiales o piezas de trabajo empleadas;
  - modos de exposición (por ejemplo: horas de trabajo, periodos de descanso);
  - información empleada para determinar los tiempos de exposición diaria (por ejemplo: intervalo de trabajo 0 ciclos de trabajo o componentes por día, duración de la exposición por ciclo o pieza de trabajo guiada a mano).
- e) Detalles de las fuentes de vibraciones:
- descripción técnica de la herramienta motorizada o máquina;
  - tipo o número de modelo;
  - antigüedad y condiciones de mantenimiento de la herramienta motorizada o máquina;
  - peso de la herramienta motorizada guiada a mano o pieza de trabajo guiada a mano;
  - medidas de control de las vibraciones sobre la máquina o herramienta motorizada, si las hubiera;
  - tipo de agarre manual empleado;
  - sistemas de control automático de la máquina (por ejemplo: control de la fuerza de apriete en las buriladoras);
  - potencia de la máquina;
  - frecuencia rotacional o velocidad percutora;
  - modelos y tipos de herramientas insertadas;
  - cualquier información adicional (por ejemplo, desequilibrio de las herramientas insertadas).
- f) Instrumentación:
- detalles de la instrumentación;
  - trazabilidad de la calibración;

- fecha del último ensayo de verificación;
  - resultados de la funcionalidad de comprobación;
  - resultados de cualquier ensayo de interferencia.
- g) Condiciones de medida de la aceleración:
- localización y orientación de los acelerómetros (incluyendo un croquis y dimensiones);
  - método de fijación de los transductores;
  - masa y montaje de los transductores ;
  - condiciones de funcionamiento;
  - postura del brazo y posiciones de la mano (incluyendo si el operador es diestro o zurdo);
  - cualquier información adicional (por ejemplo, datos disponibles sobre las fuerzas de velocidad y agarre).
- h) Resultados de las medidas:
- Valores ( $a_{hwix}$ ,  $a_{hwiy}$ ,  $a_{hwiz}$ ) de las vibraciones transmitidas por la mano ponderadas en frecuencia en los ejes x-, y- y z-, posibles para cada operación;
  - duración de las medidas;
  - si es posible realizar un análisis de frecuencia, el espectro de frecuencia no ponderado;
  - si se emplean medidas simples en uno o dos ejes, los factores de multiplicación para dar el valor total estimado de las vibraciones (incluyendo la justificación para el uso de medidas en un solo eje o dos ejes y la justificación para los factores de multiplicación empleados).
- i) Resultados de la evaluación de la exposición a las vibraciones:
- valores totales de las vibraciones,  $a_h$ , para cada operación;
  - duración de la exposición a las vibraciones para cada operación, T;
  - exposiciones parciales a las vibraciones para cada operación, A(8), si es posible;
  - exposición diaria a las vibraciones, A(8);
  - evaluación de la incertidumbre de los resultados de la exposición diaria a las vibraciones.

## Anexo A (Informativo)

### Ejemplos de localización de las medidas

#### A.1 INTRODUCCIÓN

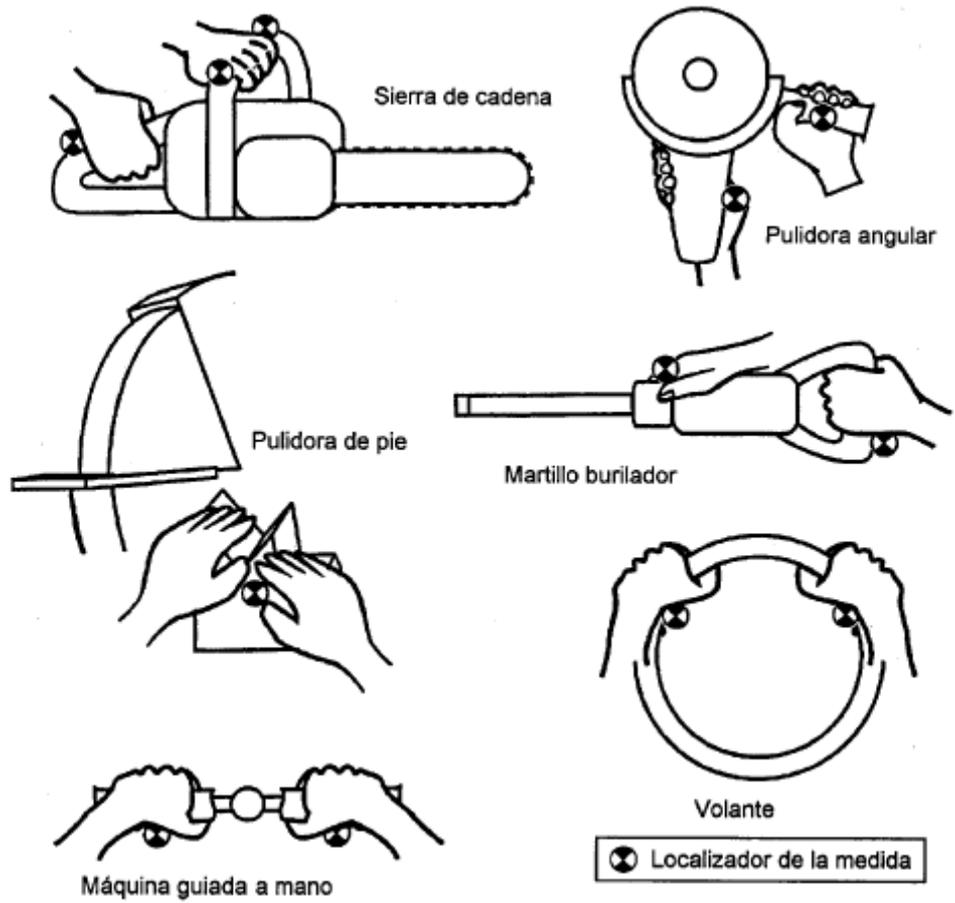
En la práctica no siempre es posible efectuar las medidas en la superficie de la(s) mano(s) donde las vibraciones entran al cuerpo, en el medio de las zonas de agarre como se describe en el apartado 6.1.3; por ejemplo, con herramientas motorizadas con una empuñadura de curva abierta o cerrada o una empuñadura de tipo revólver, la localización del gatillo puede hacer imposible toda medida efectuada en el medio de la empuñadura. En la práctica, la localización de las medidas normalmente se lleva a cabo a un lado de la mano. La localización de los controles de potencia y guarda-manos puede en su caso también afectar a la fijación de los acelerómetros. La figura A.1 muestra unos ejemplos de localización de medidas de algunas herramientas motorizadas de uso común.

#### A.2 LOCALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS EMPLEADAS EN ENSAYOS DE TIPO NORMALIZADOS DE VIBRACIONES

La tabla A.1 lista, como ejemplos, las localizaciones de medidas especificadas en las Normas ISO 8662-2 a ISO 8662-14, ISO 7505 e ISO 7916 que especifican métodos de laboratorio para las medidas de las vibraciones en las empuñaduras de diferentes herramientas motorizadas conducidas con la mano para el objetivo de determinación de los valores de emisión de las vibraciones.

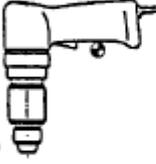
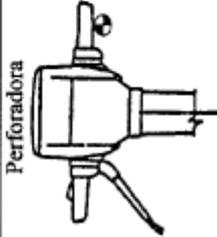
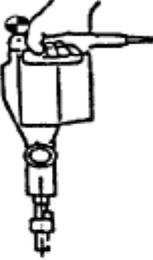
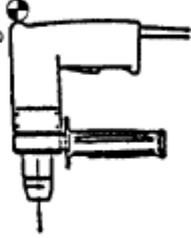
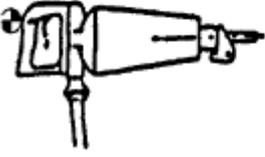
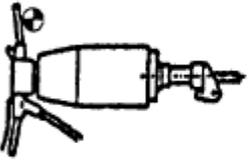
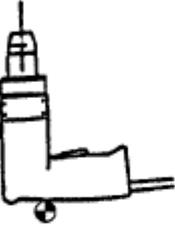
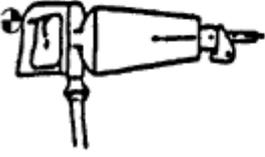
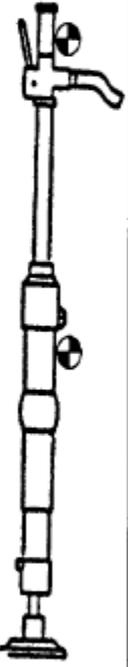
Las localizaciones mostradas en la tabla A.1 son buenas soluciones, pero pueden no ser apropiadas para la medida de la exposición. Los objetivos de las medidas de una exposición son muy diferentes para los perseguidos cuando se realizan para un ensayo de tipo. Para las mediciones encaminadas a la evaluación de la exposición de las vibraciones, la localización de los acelerómetros debe basarse en el punto real de agarre de la herramienta motorizada, más que en el punto donde se agarra la herramienta motorizada durante un ensayo de tipo. El requisito principal del ensayo de tipo normalizado de las vibraciones es que las medidas se efectúen en la zona principal de agarre donde el operador agarra la herramienta motorizada y aplica la fuerza. En general, los ensayos de tipo normalizado identifican solo una localización y eje de medida.

Los ejemplos mostrados en la tabla A.1 son aplicables a herramientas que tienen empuñaduras o zonas de agarre rígidas (véase el apartado 6.1.4 para empuñaduras montadas elásticamente).



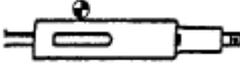
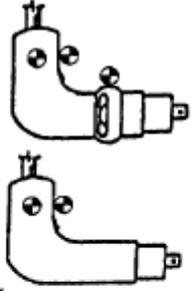
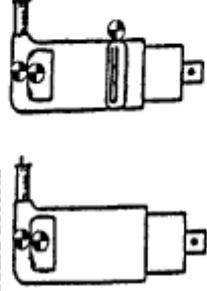
**Figura A.1- Ejemplos de localizaciones prácticas para algunas herramientas motorizadas más comunes**

Tabla A.1 - FALTA TITULO

Norma ISO	Tipo de herramienta motorizada	Localización del montaje				Detalles de los requisitos para cada tipo de ensayo
		Empuñadura de curva abierta o cerrada	Empuñadura revolver	Herramienta motorizada recta		
8662-2	Martillos buriladores Martillos ribeteadores					La posición normal del transductor debe ser a la mitad de la longitud de la empuñadura principal donde se ejerce la fuerza.  En las herramientas motorizadas con una empuñadura de curva abierta o cerrada o una empuñadura de tipo revolver, el gatillo puede hacer imposible respetar dicha localización. En este caso, el captador debe colocarse lo más cerca posible de la mano, entre el pulgar y el índice tan cerca como sea posible de la mitad.
8662-14						
8662-3	Martillos perforadores Martillos rotatorios					Para herramientas que tienen dos empuñaduras simétricas, el transductor debe montarse en la empuñadura sobre la empuñadura que no tiene el gatillo.  En el caso de herramientas sin sistemas de amortiguamiento es suficiente hacer las medidas de emisión en una dirección paralela con la dirección percutora o en el eje de percusión.
8662-5	Rompedoras de pavimento Martillos picadores					
8662-6	Taladradora de impacto					
8662-9						

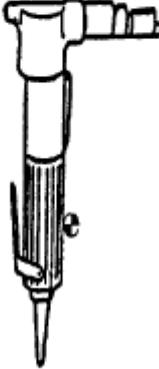
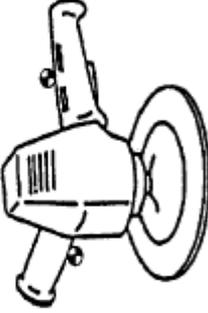
(Continúa)

Tabla A.1 - (Continuación)

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

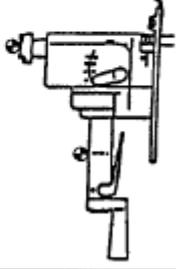
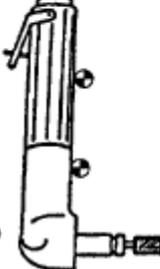
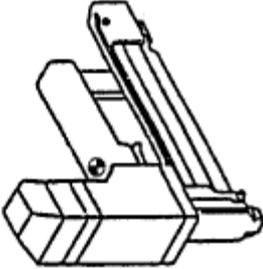
(Continúa)

Tabla A.1 - (Continuación)

Norma ISO	Tipo de herramienta motorizada	Localización del montaje		Detalles de los requisitos para cada tipo de ensayo
8662-8	Pulidora Lijadora	 <p>Lijadora orbital aleatoria</p>	 <p>Lijadora orbital</p>	<p>Las medidas deben efectuarse en la parte de la carcasa donde se colocan las manos y en las empuñaduras (si las hay) donde normalmente el operador coge la herramienta motorizada y aplica la fuerza de trabajo. Sin embargo, si la máquina está diseñada para su manejo por medio de un tirador—empuñadura sobre la carcasa—, entonces las medidas deben efectuarse sobre el tirador.</p> <p>Para las pulidoras y lijadoras con dos empuñaduras, las mediciones deben efectuarse sobre ambas empuñaduras. Sin embargo, en el caso de pequeñas lijadora y pulidoras rotatorias angulares, donde debe cogerse la carcasa del motor para utilizarla, ésta debe considerarse como una empuñadura.</p> <p>El(los) transductor(es) sobre las empuñaduras (si las hubiera) debe(n) posicionarse en la mitad de su longitud y, preferiblemente, en la cara inferior.</p>
8662-10	Cortadoras Cizallas	 <p>Cortadora</p>	 <p>Lijadora/pulidora vertical</p>	<p>Las medidas deben efectuarse en la empuñadura principal por donde el operador normalmente coge la herramienta y aplica la fuerza de trabajo.</p> <p>La posición normal del transductor debe ser el lado inferior de la empuñadura en la mitad de su longitud. Si la colocación del gatillo lo hace imposible, entonces el transductor debe colocarse tan cerca como sea posible de la mano entre el dedo índice y el dedo mayor.</p>
		 <p>Cizalla</p>	 <p>Cizalla para cortes circulares</p>	

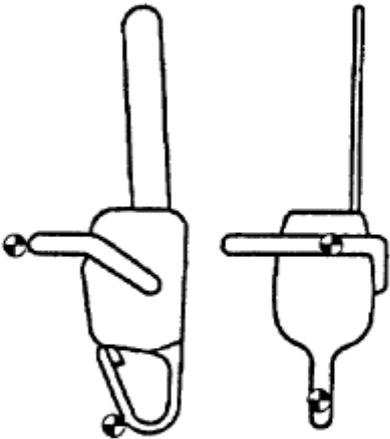
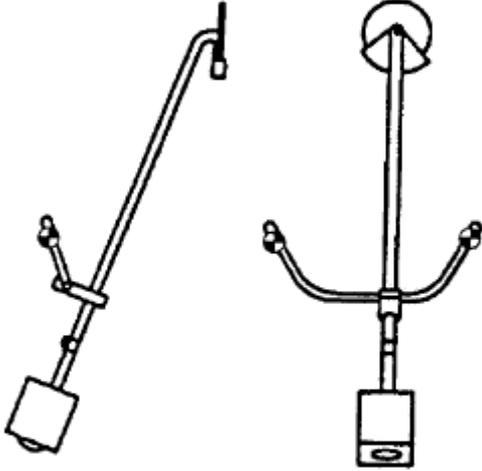
(Continúa)

Tabla A.1 - (Continuación)

Norma ISO	Tipo de herramienta motorizada	Localización del montaje				Detalles de los requisitos para cada tipo de ensayo
8662-12	Sierras Limas	Sierra oscilante 	Sierra circular 	Lima alternativa 	Sierra alternativa 	Las medidas deben efectuarse sobre la empuñadura principal, donde el operador habitualmente coge la máquina y aplica la fuerza de trabajo. La posición normal del captador debe ser la cara inferior de la empuñadura a la mitad de su longitud. Si el emplazamiento del gatillo no permite dicha colocación, el captador debe colocarse tan cerca de la mano como sea posible, entre el dedo índice y mayor.
8662-13	Mueclas	Mueclas rectas 	Mueclas angulares 	Sierra alternativa con empuñadura curva 	Las medidas deben efectuarse en la empuñadura principal con los transductores separados 100 mm entre sí.	
8662-11	Grapadoras claveteadoras					Las medidas deben efectuarse sobre la empuñadura, donde el operador normalmente coge el cierre guiando la herramienta y donde se dispara. La posición del transductor debe ser antes de la zona de agarre con relación a la dirección de progresión, con el fin de prevenir todo daño debido al agarre y al trabajo.

(Continúa)

Tabla A.1 - (Fin)

Norma ISO	Tipo de herramienta motorizada	Localización del montaje Ⓢ	Detalles de los requisitos para cada tipo de ensayo
7505	Sierras de cadena		Los acelerómetros deben colocarse lo más cerca posible de las manos del operador sin obstruir la fuerza de agarre. El centro de gravedad de los acelerómetros no debe estar a más de 20 mm de la mano más próxima.
7916	Desbrozadoras		

## Anexo B (Informativo)

### Evaluación de la exposición a las vibraciones para periodos superiores a un día

#### B.1 INTRODUCCIÓN

La Norma ISO 5349-1 proporciona solo un sistema para la evaluación diaria de la exposición a las vibraciones en un día de trabajo. El sistema para el cálculo de la exposición diaria a las vibraciones definido en la Norma ISO 5349-1 no está diseñado para su utilización en periodos superiores a un día y la guía dada en el anexo C de la Norma ISO 5349-1:2001 se basa en situaciones de trabajo donde la exposición diaria a las vibraciones es invariable.

En algunas situaciones de trabajo, puede ser deseable obtener una evaluación de la exposición basada en la información de la exposición obtenida sobre periodos superiores a un día. En algunos tipos de trabajo la cantidad de tiempo que se emplean las herramientas motorizadas cambia significativamente de un día a otro (por ejemplo, industrias tales como la construcción o fabricación y reparación de buques); es entonces difícil, o imposible, emplear la observación o registros de trabajo de un solo día de trabajo para obtener una indicación de los tiempos diarios típicos de exposición. En otras situaciones pueden utilizarse valores que representan la exposición total a las vibraciones sobre largos periodos (tiempo de vida de la exposición).

#### B.2 ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DIARIA TÍPICA DE LAS VIBRACIONES CUANDO LA EXPOSICIÓN VARIA DE UN DÍA A OTRO.

En los casos donde un trabajador está expuesto a las vibraciones de un día base, pero la exposición a las vibraciones cambia de un día a otro (por ejemplo, proyectos de construcción donde una tarea de trabajo implica más de un día), puede ser útil comparar las exposiciones habituales a las vibraciones, por ejemplo, cuando se desarrollan planes de control de las vibraciones. En este caso la exposición típica diaria a las vibraciones estimada,  $A_{típica}(8)$ , viene dada por

$$A_{típica}(8) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{d=1}^N A_d^2(8)} \quad (B.1)$$

donde

$A_d(8)$  es la exposición diaria a las vibraciones en el día  $d$ ;

$N$  es el número de días trabajando sobre el que se determina la estimación.

Si la magnitud de las vibraciones es la suma de cada día de trabajo (por ejemplo, cada día se emplea la misma herramienta motorizada) pero el tiempo de uso de la herramienta motorizada cambia cada día, entonces las ecuaciones son:

$$A_{típica}(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{\bar{t}_d}{T_0}} \quad (B.2)$$

donde

$a_{hv}$  es el valor total de las vibraciones para la operación;  
 $T_0$  es la duración de referencia de 8 h (28 800 s);

$t_d$  es la duración promedio de la exposición diaria.

**NOTA** - Esta estimación asume que la dependencia del tiempo para el cálculo de A(8) es válida para periodos de exposición superiores a un día.

### **B.3 PROCEDIMIENTO CUANDO LA EXPOSICIÓN A LAS VIBRACIONES NO SE PRODUCE CADA DÍA DE TRABAJO**

La exposición a las vibraciones puede tener lugar sobre una base irregular, tal como en operaciones que tienen lugar durante un día, pero no sobre otros (por ejemplo, limpieza de cubilotes en fundiciones). En estos casos, debe registrarse la exposición diaria a las vibraciones y el número de días de trabajo por semana, por mes, por año, para aquellos días en los que se produce la exposición a las vibraciones.

## Anexo C (Informativo)

### Filtros mecánicos

#### C.1 GENERALIDADES

El riesgo de distorsión debido al "Shift CD" de los acelerómetros piezoeléctricos (véase el apartado 6.2.4) puede reducirse mediante una selección cuidadosa de los acelerómetros (véase el apartado 6.1.2). Sin embargo, cuando se mide sobre herramientas motorizadas percutoras o rotopercutoras, o en caso de duda, se recomienda el empleo de un filtro mecánico fijado entre el transductor y la fuente de vibraciones. El filtro reduce las componentes frecuenciales muy elevadas de fenómenos transitorios, y evita las sobrecargas mecánicas del sistema piezoeléctrico. El filtro mecánico actúa como un filtro de paso bajo atenuando las frecuencias que causan el "Shift DC", sin influir sobre las vibraciones en el intervalo de frecuencia de interés.

**NOTA** - El "Shift DC" es una distorsión provocada por el acoplamiento de cargas en los acelerómetros piezoeléctricos. Otros tipos de acelerómetros, como acelerómetros piezoresistivos, no se ven afectados por el "Shift DC". En consecuencia, solo es necesario el empleo de filtros mecánicos para prevenir el "Shift DC", cuando se emplean acelerómetros piezoeléctricos.

Los filtros mecánicos también pueden ser útiles para reducir la influencia de vibraciones de altas frecuencias no deseadas sobre el acelerómetro, y evitan sobrecargas del procesamiento de la señal causado por las señales de aceleración de alta frecuencia o permitiendo la utilización de acelerómetros más sensibles de lo que sería posible sin el filtro mecánico.

#### C.2 SELECCIÓN

Un filtro mecánico debe ser adaptable al acelerómetro. La frecuencia de corte del filtro mecánico está influenciada por la masa del acelerómetro. Los filtros mecánicos son suministrados por algunos fabricantes de transductores, o pueden construirse empleando materiales resilientes apropiados. Para transductores de poco peso (alrededor de 2 g), puede utilizarse de manera suficiente una sencilla capa delgada de material resiliente bajo el soporte del captador.

El filtro mecánico no debe alterar las características de la respuesta en frecuencia del sistema de medida en el intervalo de frecuencia de interés, es decir, es recomendable que no exista ninguna amplificación o atenuación de las señales de las vibraciones por debajo de 1 250 Hz y que la masa adicional de los filtros mecánicos no altere las características de las vibraciones de la superficie vibrante. Las medidas comparativas con y sin el filtro mecánico de una herramienta motorizada que no produce "ShiB DC" pueden utilizarse para evaluar la respuesta en frecuencia de un filtro mecánico.

El sistema constando de filtro mecánico y transductor debe ser tan compacto como sea posible para asegurar que el centro del transductor está tan próximo como sea posible a la superficie vibrante.

No es aconsejable montar un sistema transductor triaxial sobre un filtro mecánico.

#### C.3 USO SOBRE EJES PERPENDICULARES A LOS EJES PERCUTORES

Un filtro mecánico generalmente solo es necesario para evitar "Shift DC" en las medidas de la aceleración a lo largo del eje dominante de las vibraciones, es decir, a lo largo del eje percutor de las máquinas de percusión o de impacto.

Cuando el "Shift DC" constituye un problema a lo largo de un eje no dominante de una herramienta percutora motorizada, los filtros mecánicos deben utilizarse con precaución; en estos casos, los filtros mecánicos pueden incrementar la sensibilidad aparente transversal a las vibraciones al permitir un movimiento rotacional excesivo del acelerómetro. Los acelerómetros deben fijarse con la dirección de su sensibilidad mínima transversal alineada con el eje percutor para minimizar cualquier efecto debido al movimiento rotacional.

## Anexo D (Informativo)

### Guía de montaje de acelerómetros

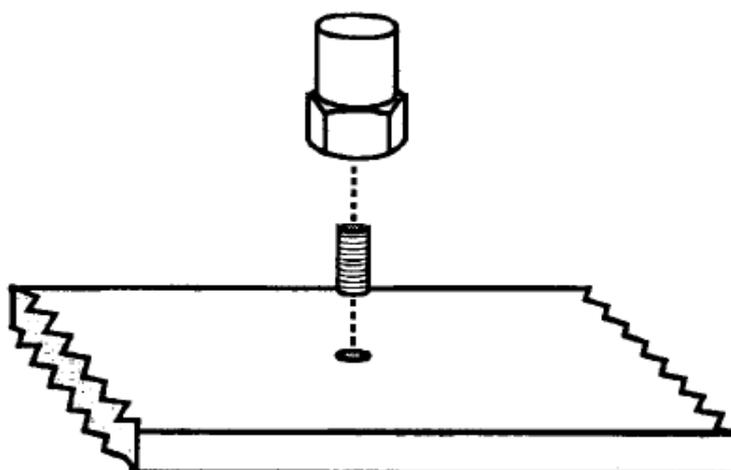
#### D.1 INTRODUCCIÓN

Se han desarrollado diferentes métodos para fijar los acelerómetros a las superficies vibrantes. En las figuras de D.1 a D.4 se muestran algunos métodos de montaje, junto con las circunstancias en las que puede aplicarse cada uno de ellos y las ventajas y desventajas asociados con ellos. Estos ejemplos se han seleccionado a causa de su respuesta plana en el intervalo de frecuencias de interés. Para otras indicaciones véase la Norma ISO 5348.

#### D.2 MÉTODOS DE MONTAJE

##### D.2.1 Montaje por clavado (atornillado)

Se practica un agujero sobre la superficie vibrante. El acelerómetro (o acelerómetros) se fija directamente al agujero empleando un montaje de clavado normalizado. También puede utilizarse un adhesivo para proteger el clavado de las pérdidas de eficacia debido a las vibraciones.

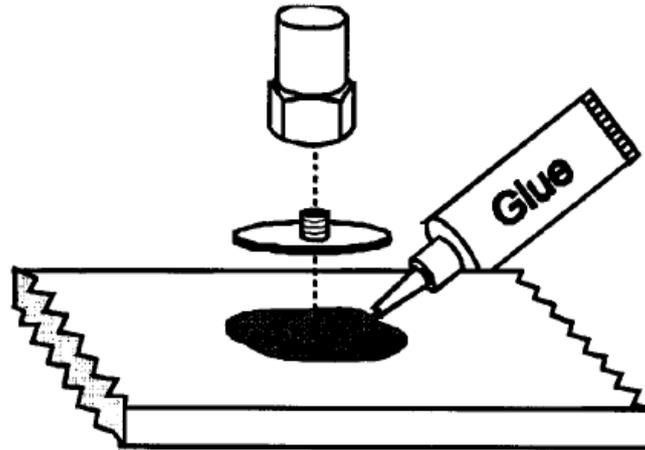


Ventajas	Desventajas
Buena respuesta en frecuencia	La superficie de contacto debe ser plana
No está afectada por la temperatura de la superficie	No puede utilizarse sobre herramientas manuales, donde esta fuerza afecta a la seguridad eléctrica o neumática de la herramienta motorizada

Figura D.1 - Montaje por clavado (atornillado)

##### D.2.2 Montaje por pegado con pegamento o encolado

Se emplean pegamentos o resinas epoxídicas tipo cola para fijar el acelerómetro a la superficie vibrante. Se utiliza generalmente (cuando está disponible) un montaje intermedio con pegamento para evitar el uso del pegamento directamente sobre el acelerómetro. El uso de pegamentos suaves o cera no es recomendable por el pobre acoplamiento a través de estos adhesivos, que puede implicar que tengan una pobre respuesta en frecuencia.

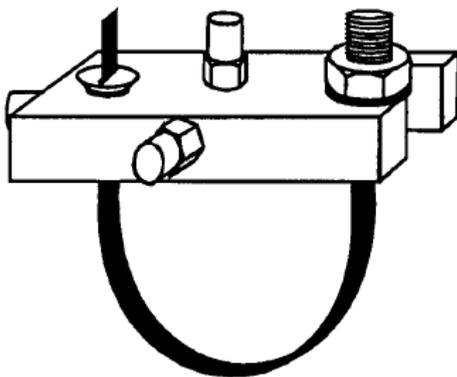


	Ventajas	Desventajas
Pegamento	Buena respuesta en frecuencia	Las superficies de contacto deben ser planas y estar limpias.
Cemento/resina epoxídica	Buena respuesta en frecuencia. Se fija a superficie irregulares.	La superficie de contacto debe estar limpia.

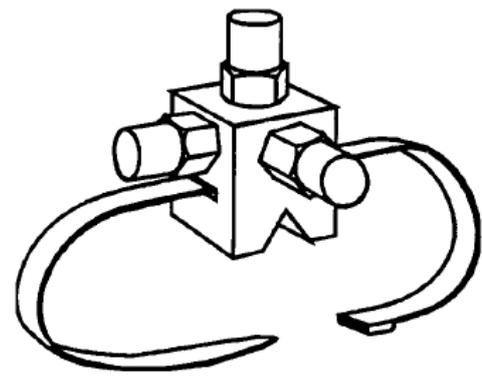
Figura D.2 - Montaje con pegamento o encolado

### D.2.3 Conexiones de empalme

Los acelerómetros se fijan a bloques de montaje de peso ligero. El bloque se une a la superficie vibrante por medio de bandas flexibles. Se han empleado con éxito bandas de metal o nylon. Las uniones de los cables de nylon deben ser de un tipo tal que puedan fijarse sólidamente (no son aceptables uniones de cables reutilizables). Debe tenerse cuidado de asegurar que cualquier frecuencia de resonancia del conjunto del montaje no esté por encima del límite superior del intervalo de frecuencia de medición.



a) empalmes de metal en "U" (con banda de metal)



b) banda de nylon o correa metálica

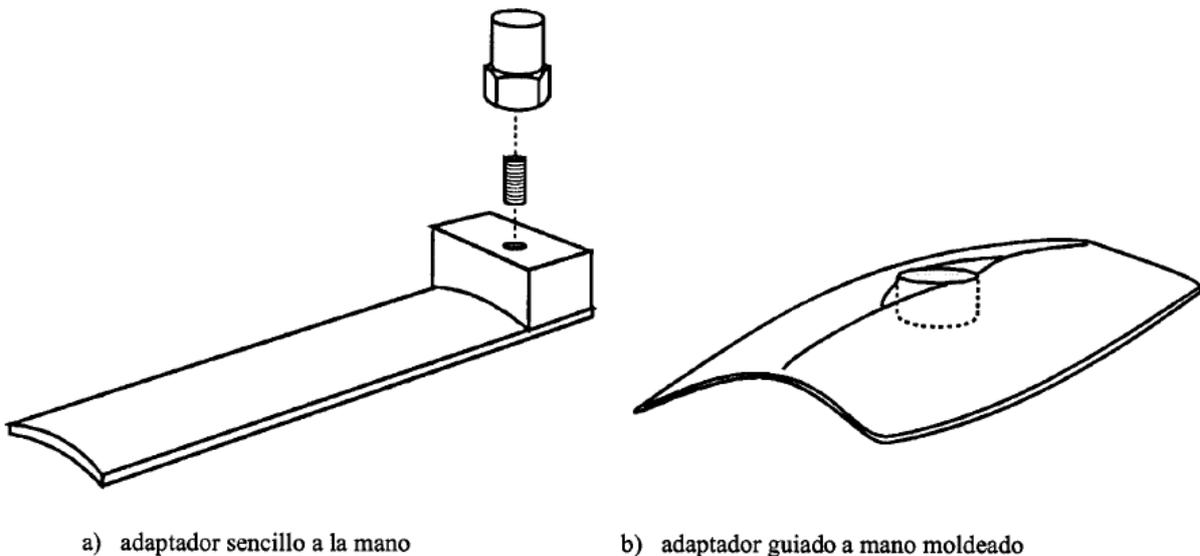
	Ventajas	Desventajas
Empalmes de metal en "U" (con banda de metal)	Adecuado para medidas triaxiales	Voluminoso y pesado
Banda de nylon o correa metálica	Montaje rápido Adecuado para medidas triaxiales Ligero No presenta aristas vivas	Principalmente limitado a las medidas de herramientas motorizadas guiadas a mano

Figura D.3 - Conexiones de empalme

### D.2.4 Adaptadores a la mano

No siempre es posible utilizar sistemas de montajes fijos, particularmente, cuando el operador agarra una superficie recubierta con un material resiliente. Los sistemas de montaje adaptados a las manos cuentan con la fuerza de agarre del operador para mantener en su lugar el sistema de montaje, que, a menudo, se consigue manteniendo ligeramente el adaptador en posición, sobre la superficie vibrante con una goma adhesiva elástica.

Para superficies difíciles, pueden utilizarse adaptadores moldeados individualmente. Estos emplean un material de modelación para fabricar un disco elíptico que se moldea a la superficie de trabajo sobre la cara inferior, y a la palma de la mano sobre la cara superior, dejando un espacio para el acelerómetro. Una vez endurecido, puede fijarse un acelerómetro en el adaptador, que se fija cómodamente entre la superficie de trabajo y la mano.



	Ventajas	Desventajas
Adaptador simple a la mano	Puede utilizarse en casos donde no pueda aplicarse un acoplamiento fijo; por ejemplo, sobre materiales resilientes suaves	Sólo es aplicable para posiciones de las manos fijas y cuando la mano está siempre guiando la herramienta.  La respuesta en frecuencia depende del material de la superficie.  La presencia del adaptador puede cambiar la operación de la herramienta motorizada y el resultado de la magnitud de las vibraciones.  Se requiere una fijación adicional (por ejemplo, con adhesivos) para la medida de las vibraciones transversales
Adaptador individual moldeado	Puede utilizarse en casos donde no sea adecuado un acoplamiento fijo, por ejemplo, sobre materiales ligeros o resilientes.  Poca influencia del adaptador sobre la operación de la herramienta motorizada.  Buena respuesta en frecuencia.	La preparación del adaptador es laboriosa, el procedimiento implica mucho tiempo.  Dificultad para el empleo de medidas triaxiales.

Figura D.4 - Adaptadores manuales guiados a mano

## Anexo E (Informativo)

### Ejemplos del cálculo de la exposición diaria a las vibraciones

#### E.1 INTRODUCCIÓN

Este anexo proporciona algunos ejemplos de la organización y cálculo del valor total de la energía equivalente de 8 h de las vibraciones (exposición diaria a las vibraciones),  $A(8)$ , de acuerdo con el capítulo 8. Los ejemplos se refieren a los procedimientos de medición especificados en el apartado 5.3.

En todos los ejemplos dados en este anexo:

- se asume que las magnitudes de la aceleración son los valores totales de las vibraciones ponderadas;
- sólo se calcula una exposición a las vibraciones, normalmente son necesarias evaluaciones separadas para las manos derecha e izquierda;
- se presentan pequeñas variaciones en la magnitud de las vibraciones en los periodos de exposición, normalmente, grandes variaciones pueden ser comunes, y se requiere alguna promediación de las medidas de las vibraciones.

#### E.2 EJEMPLOS DEL EMPLEO DE HERRAMIENTAS MOTORIZADAS SENCILLAS

##### E.2.1 Medidas sobre un largo periodo de funcionamiento continuo de herramientas

Es la situación de medida más sencilla: La herramienta motorizada está funcionando continuamente durante periodos largos de tiempo y la mano durante el uso está siempre en contacto con la herramienta motorizada o pieza de trabajo guiada a mano. Ejemplos de este tipo de operación son la nivelación de grandes superficies con la ayuda de una placa vibrante, el pulido de un suelo y las segadoras de césped.

En este caso

- las medidas de la magnitud de las vibraciones pueden efectuarse durante largos periodos de tiempo, lo que dará unos valores buenos y representativos;
- el tiempo de exposición es el tiempo durante el que se emplea la herramienta motorizada.

##### a) Ventajas

La magnitud de las vibraciones puede aplicarse fácilmente a las evaluaciones de exposición de las vibraciones en otras situaciones, donde los tiempos de exposición pueden ser diferentes.

##### b) Desventajas

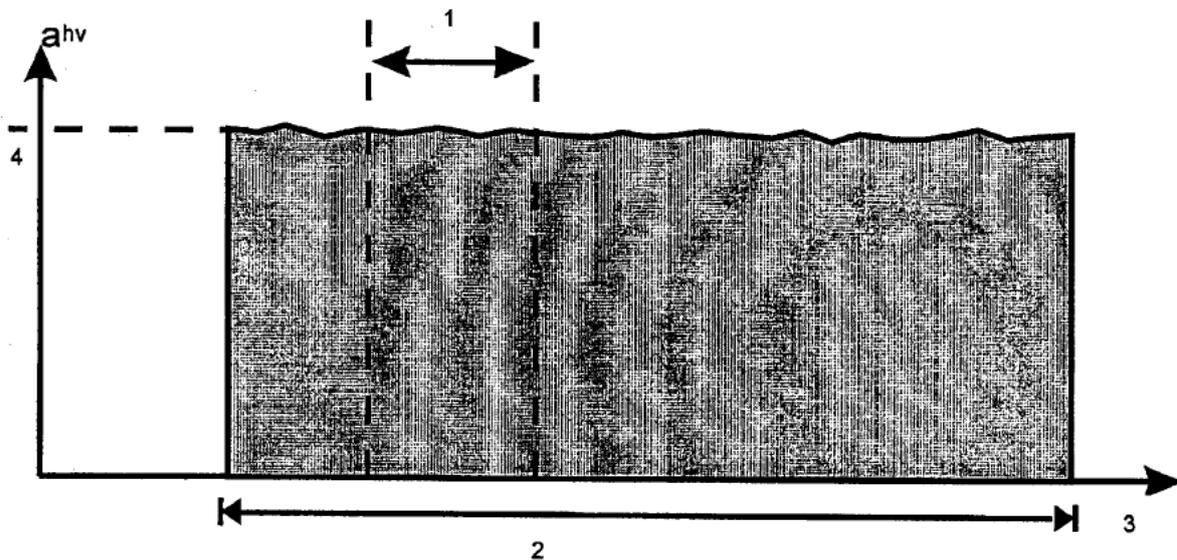
Este tipo de mediciones no presentan desventajas reales, pero en la práctica, no se presentan muchos casos como éste.

**NOTA** - Durante un día de trabajo, se emplea una placa de vibración de una mezcla durante 2,5 h, no empleándose otro tipo de herramientas vibratorias. La exposición a las vibraciones es similar a la que se muestra en la figura E.1. La media aritmética de las tres medidas de las vibraciones sobre las empuñaduras de la herramienta motorizada indica el valor total de las vibraciones,  $a_{hw}$ , es  $7,4 \text{ m/s}^2$ .

La exposición diaria a las vibraciones,  $A(8)$ , viene dada por la ecuación (1) que para la exposición sencilla es:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (\text{E.1})$$

$$= 7,4 \sqrt{\frac{2,5}{8}} = 4,1 \text{ m/s}^2$$



**Leyenda**

- 1 duración de las medidas
- 2 tiempo de operación (= a tiempo de exposición)
- 3 Tiempo
- 4  $a_{hv,medido}$

**Figura E.1 - Mediciones sobre un largo periodo de las exposiciones continuas**

### E.2.2 Mediciones sobre un largo periodo de funcionamiento intermitente de herramientas

Para muchas herramientas motorizadas, la mano está siempre, durante su funcionamiento, en contacto con la herramienta motorizada o pieza de trabajo guiada a mano, pero la herramienta motorizada no funciona continuamente, durante su empleo hay cortos periodos de descanso. Ejemplos de este tipo de operaciones incluyen el uso de pulidoras, sierras de cadena y martillos neumáticos.

Si la herramienta está funcionando durante la mayoría del periodo de uso, una opción es:

- llevar a cabo una medición de la magnitud de las vibraciones sobre un periodo representativo del uso;
- el tiempo de exposición es el tiempo en el que la herramienta motorizada se está empleando durante el trabajo diario.

a) Ventajas

La magnitud de las vibraciones es representativa de la tarea que se está desarrollando, incluyendo periodos donde la máquina está funcionando a la velocidad de operación en sentido contrario a su marcha habitual en vacío o apagada (periodos que no pueden incluirse en los otros métodos).

b) Desventajas

El valor de la magnitud de las vibraciones obtenido de esta forma dependerá de la proporción de tiempo que la herramienta está siendo empleada en la mano del operador. La información de la magnitud de las vibraciones no es, entonces, fácilmente transferible a otras situaciones donde se está empleando la misma herramienta motorizada.

Las medidas pueden incluir choques (tales como aquellos derivados de la caída de la herramienta motorizada sobre un banco de trabajo) que no forma parte de la exposición a las vibraciones.

**EJEMPLO** Una pulidora es empleada para pulir piezas coladas circulares. Los registros de trabajo muestran que se trabajan un promedio de 100 piezas al día. Para cada pieza el operador pule alrededor de la circunferencia de la pieza y después trabaja la cara superior e inferior. El tipo de exposición a las vibraciones es similar al mostrado en la figura E.2. Las vibraciones promedio medidas en el periodo de un ciclo son  $3,6 \text{ m/s}^2$ .

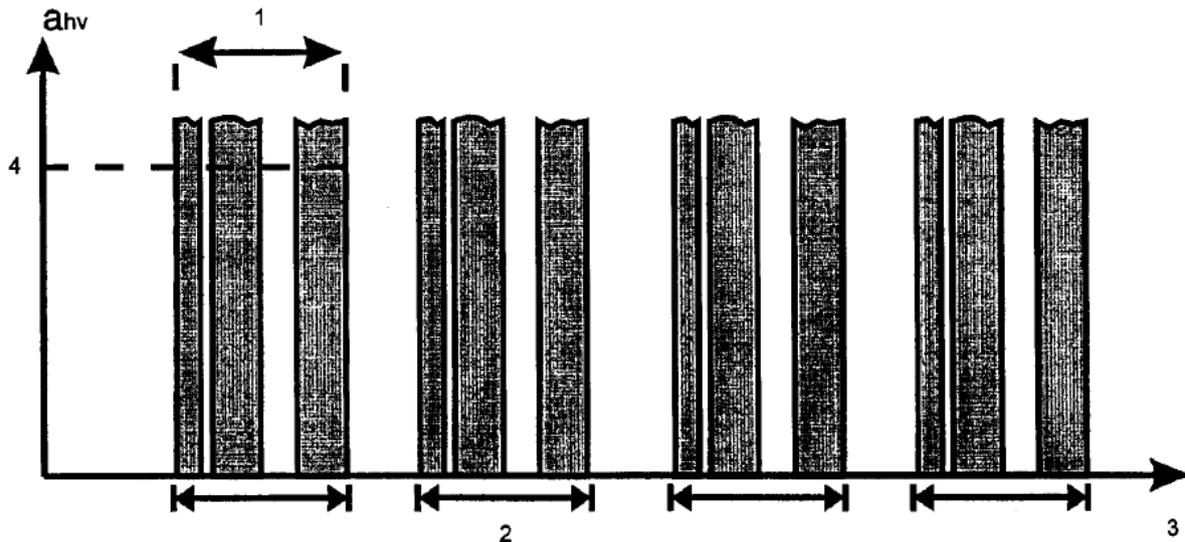
Cada ciclo de trabajo conlleva 2 min. A un ritmo de trabajo de 100 piezas por día, el tiempo de exposición diario es entonces de 200 min, es decir 3 h 20 min (3,33 h). La exposición diaria a las vibraciones,  $A(8)$ , viene dada para una exposición sencilla por

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

$$= 3,6 \sqrt{\frac{3,33}{8}} = 2,3 \text{ m/s}^2$$

**NOTA 1** - Para herramientas motorizadas tales como pulidoras guiadas a mano, se considera que las magnitudes de las vibraciones en las posiciones de la mano derecha e izquierda serán diferentes. Es posible que las duraciones de la exposición para las dos manos puedan ser diferentes. En estos casos las evaluaciones de la exposición a las vibraciones necesitarán realizarse para cada mano.

**NOTA 2** - El apartado E.2.3 muestra un procedimiento de análisis alternativo para el mismo procedimiento de trabajo.



#### Leyenda

- 1 Duración de la medida
- 2 Tiempo de exposición = Tiempo total de uso
- 3 Tiempo
- 4  $a_{hv,medido}$

**Figura E.2 - Mediciones sobre un largo periodo de exposiciones intermitentes**

### E.2.3 Mediciones a corto plazo de funcionamiento intermitente de herramientas

En muchas herramientas motorizadas, la mano está en contacto durante su funcionamiento con la herramienta motorizada o pieza de trabajo guiada a mano, pero la herramienta motorizada cuando se está empleando no está trabajando continuamente (largos descansos durante la operación), o la mano está situada fuera de la herramienta motorizada durante su uso. Ejemplos de este tipo de operación incluyen el uso de pulidoras guiadas a mano, pulidoras de pie, sierras de cadena, cepilladoras y martillos neumáticos.

En estos casos

- se realizan medidas de la magnitud de las vibraciones de corta duración sobre un periodo de operación continua. Esto puede realizarse mediante la simulación de un trabajo ininterrumpido (por ejemplo, empleando un trozo de pieza metálica para pulidoras de pie);
- el tiempo de exposición es el tiempo durante el cual la herramienta motorizada está funcionando durante la jornada de trabajo.

#### a) Ventajas

La magnitud de las vibraciones puede aplicarse fácilmente a la evaluación de la exposición a las vibraciones en otras situaciones, donde los tiempos de exposición pueden ser diferentes.

#### b) Desventajas

La evaluación de las vibraciones no comprende periodos donde la máquina está funcionando a la velocidad de funcionamiento en sentido contrario a su marcha habitual en vacío o apagada. Si los tiempos de puesta en marcha o parada son comparables al

tiempo gastado en la velocidad de funcionamiento, entonces este método puede no ser correcto para evaluar toda la exposición a las vibraciones.

**EJEMPLO** Se emplea una pulidora para pulir piezas coladas circulares. Los registros de trabajo muestran que cada día se pulen un promedio de 100 piezas. Para cada pieza el operador pule alrededor de la circunferencia de la pieza y después pule las caras superior e inferior. El tipo de exposición a las vibraciones es similar al mostrado en la figura E.3.

Cada ciclo supone la realización de tres periodos de trabajo:

- 20 s para pulir la circunferencia;
- 40 s para pulir la cara superior, la pieza es después dada la vuelta, y
- 40 s para pulir la cara inferior.

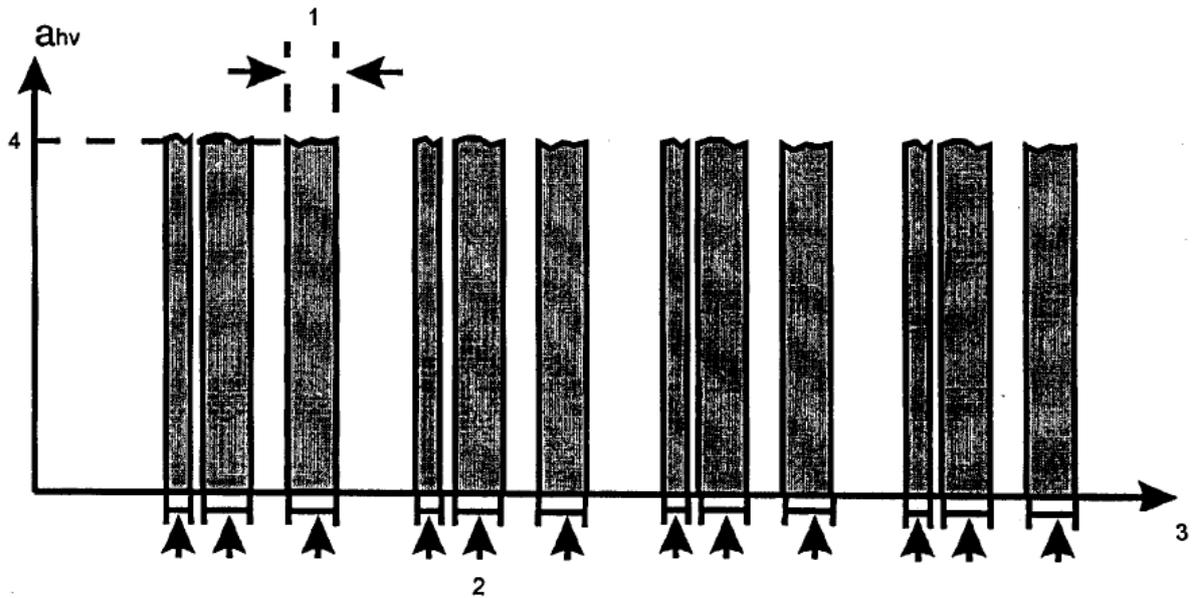
La pulidora funciona entonces durante un tiempo total de 100 s en cada ciclo (es decir, la herramienta funciona durante 1 m 40 s de los 2 m del ciclo de trabajo). A un ritmo de trabajo de 100 piezas por día, el tiempo total de exposición diario es entonces de 167 min, es decir 2 h 47 min (2,78 h).

Medidas de trabajos simulados, usando la pulidora continuamente sobre el trozo de pieza metálica ha establecido que la magnitud de las vibraciones durante el pulido es de 3,9 m/s<sup>2</sup>. La exposición diaria a las vibraciones, A(8), viene dada por la ecuación (1) que para una exposición simple es:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (\text{E.3})$$

$$= 3,9 \sqrt{\frac{2,78}{8}} = 2,3 \text{ m/s}^2$$

**NOTA** - El apartado E.2.2 muestra un procedimiento de análisis alternativo para cada proceso de trabajo.



**Leyenda**

- 1 Duración de la medida
- 2 Tiempo de exposición = tiempo total de operación
- 3 Tiempo
- 4  $a_{hv, medida}$

**Figura E.3 - Mediciones a corto plazo de exposiciones intermitentes**

### E.2.4 Mediciones a duración fija de impactos simples o disparos de operaciones de herramientas

Algunas herramientas motorizadas producen impactos simples, o disparos de vibraciones; estos impactos o disparos son irregulares, con largos periodos de interrupción entre cada uno de ellos. Ejemplos de estos tipos de operación incluyen el uso de pistolas y llaves de impacto motorizadas.

En este caso

- se realiza una medida de la magnitud ponderada de las vibraciones sobre una duración fija que incluye un número conocido de impactos o disparos (que puede ser uno o más);
- el tiempo de exposición es la duración de la medida multiplicado por el número de impactos por día, dividido por el número de impactos o disparos en el periodo de medida.

a) Ventajas

La magnitud de las vibraciones puede aplicarse a las evaluaciones de la exposición a las vibraciones en otras situaciones (siempre que la duración de la medida sea registrada)

b) Desventajas

No está suficientemente claro que este método (basado en la Norma ISO 5349-1) sea apropiado para las mediciones de vibraciones de tipo choque.



### E.3 Ejemplo de evaluación de las vibraciones donde se emplea más de una herramienta motorizada

Cuando más de una herramienta motorizada contribuye a la exposición diaria a las vibraciones, pueden utilizarse métodos apropiados, como los indicados en el capítulo E.2, para determinar una exposición parcial a las vibraciones para cada proceso en particular o para cada herramienta motorizada.

En muchas situaciones de trabajo es normal encontrar

- uso de más de una herramienta motorizada vibratoria, o
- herramientas motorizadas con más de un modo de funcionamiento, de tal manera que cada uno de ellos puede exponer al trabajador a diferentes magnitudes de las vibraciones.

Cuando el proceso o modo de funcionamiento implica el uso de más de una herramienta motorizada es común emplear combinaciones de los métodos de evaluación básicos dados en el capítulo E.2.

**EJEMPLO** En este ejemplo, la exposición diaria a las vibraciones puede identificarse como que está compuesta de tres tareas diferentes. En el cálculo de la exposición total diaria a las vibraciones las tres tareas se analizan separadamente, para calcular las exposiciones parciales a las vibraciones. En este caso, es apropiado emplear diferentes métodos de evaluación de cada tarea.

Un trabajador forestal invierte la primera parte de un día de trabajo utilizando una desbrozadora para limpiar la zona, lo que conlleva un trabajo continuo durante 2 h. La segunda parte del día la invierte empleando una sierra de cadena, con la que abate los árboles que después son despojados de las ramas; cada día son abatidos y despojados de sus ramas 30 árboles.

El tipo de exposición a las vibraciones es similar al que se muestra en la figura E.5. La evaluación de la exposición diaria a las vibraciones puede llevarse a cabo dividiendo el día en tres tareas: desbrozado, abatimiento y cortado de ramas.

Para la operación de desbrozado, el trabajo es continuo de 2 h. La magnitud de la vibración se mide tomando varias muestras en el periodo de utilización, obteniéndose un promedio de  $4,6 \text{ m/s}^2$ . La exposición parcial a las vibraciones,  $A_{\text{desbrozado}}(8)$ , se calcula empleando la ecuación (2):

$$A_i(8) = a_{hvi} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (\text{E.6})$$

$$A_{\text{desbrozado}}(8) = 4,6 \sqrt{\frac{2}{8}} = 2,3 \text{ m/s}^2$$

Empleando una sierra de cadena para el abatimiento, cada árbol implica, un promedio de 2 min, es decir, un total de 1 h para los 30 árboles. La magnitud promedio de las vibraciones medida durante el periodo de abatimiento es de  $6 \text{ m/s}^2$ . Para la operación de desbrozado, la exposición parcial a las vibraciones,  $A_{\text{desbrozado}}(8)$  se calcula empleando la ecuación (2):

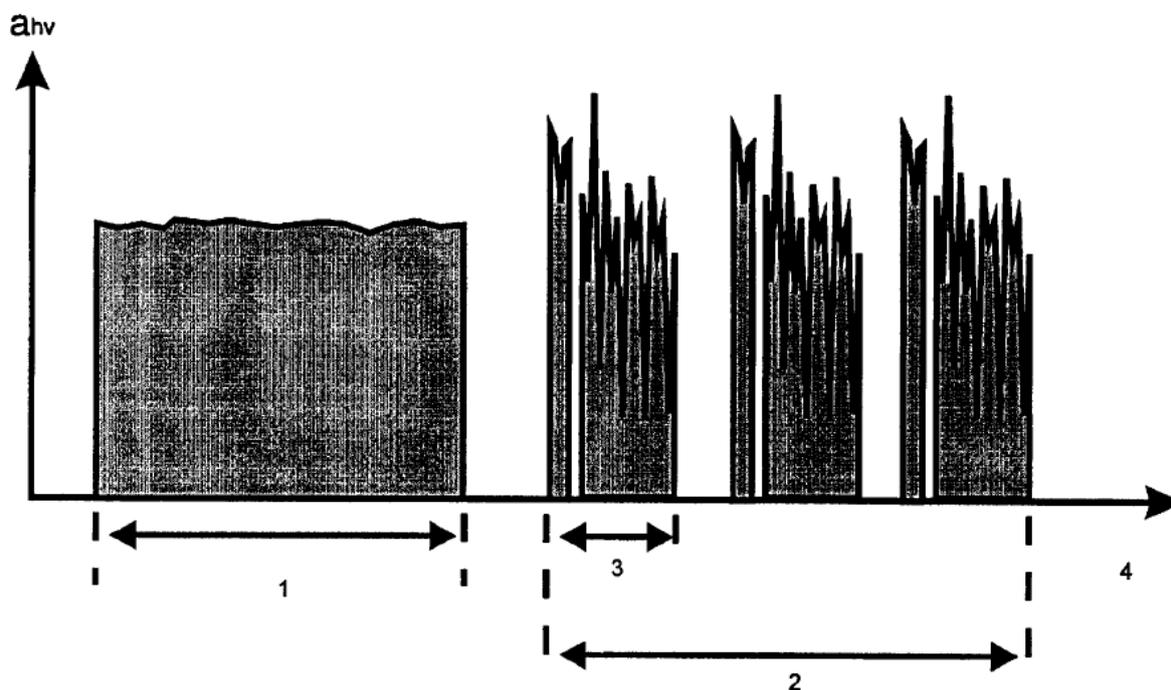
$$A_{\text{desbrozado}}(8) = 6,0 \sqrt{\frac{1}{8}} = 2,1 \text{ m/s}^2 \quad (\text{E.7})$$

El cortado de las ramas para cada árbol abatido supone un tiempo promedio de 4 min, es decir 2 h para los 30 árboles. El valor de las vibraciones aumenta y disminuye de la misma manera que la sierra de cadena corta cada rama. Se toma un promedio de larga duración, para incluir un periodo representativo de esta operación. La magnitud promedio de las vibraciones medidas durante el periodo de cortado de las ramas es de  $3,6 \text{ m/s}^2$ . La exposición parcial a las vibraciones,  $A_{\text{cortado de ramas}}(8)$ , se calcula empleando la ecuación (2):

$$A_{\text{cortado de ramas}}(8) = 3,6 \sqrt{\frac{2}{8}} = 1,8 \text{ m/s}^2 \quad (\text{E.8})$$

Las exposiciones parciales a las vibraciones procedentes de las tres tareas que contribuyen a la exposición diaria a las vibraciones se combinan empleando la ecuación (3), para dar un valor total de la energía equivalente de 8 h de las vibraciones (exposición diaria a las vibraciones),  $A(8)$ :

$$\begin{aligned} A(8) &= \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2(8)} = \sqrt{A_{\text{desbrozado}}^2(8) + A_{\text{desbrozado}}^2(8) + A_{\text{cortado de ramas}}^2(8)} \quad (\text{E.9}) \\ &= \sqrt{2,3^2 + 2,1^2 + 1,8^2} = 3,6 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



Leyenda

- 1 Herramienta 1
- 2 Herramienta 2
- 3 Ciclo de trabajo
- 4 Tiempo

Figura E.5 - Mediciones de la exposición a las vibraciones procedentes de más de una herramienta motorizada

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] ISO 5348 - Mechanical vibration and shock. Mechanical mounting of accelerometers.
- [2] ISO 7505 - Forestry machinery. Chain saws. Measurement of hand-transmitted vibration.
- [3] ISO 7916 - Forestry machinery. Portable brush-saws. Measurement of hand-transmitted vibration.
- [4] EN 1033 - Hand-arm vibration. Laboratory measurement of vibration at the grip surface of hand-guided machinery. General.
- [5] DIN 45671-3 - Messung mechanischer Schwingungen am Arbeitsplatz. Teil 3: Prüfung (Kalibrierung und Beurteilung) des Schwingungsmessers. Erstprüfung, Nachprüfung, Zwischenprüfung, Prüfung am Einsatzort. (Measurement of occupational vibration immissions. Part 3: Test (calibration and assessment) of the vibration meter. Primary test, verification, intermediate test, check in situ).
- [6] Health and Safety Executive HS(G)88: Hand-Arm Vibration. Published: HSE Books, Sudbury, Suffolk, United Kingdom, 1994.
- [7] Kaulbars, U.: Vibration am Arbeitsplatz; Grundlagen, Messverfahren und praktische Hinweise für den Arbeitsschutz. Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1994.

## **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.