



# **“PROTOCOLO PARA LA APLICACIÓN DEL D.S. N° 594/99 DEL MINSAL, TÍTULO IV, PÁRRAFO 3° AGENTES FÍSICOS – VIBRACIONES.”**

DICIEMBRE, 2012

VERSION 2.0 (actualización del documento “Instructivo para la Aplicación del DS N° 594/99 del MINSAL, Título IV, Párrafo 3°, Agentes Físicos – Vibraciones).





**EDITOR RESPONSABLE**

Ing. Hernán Fontecilla García, Departamento de Salud Ocupacional

**REVISOR TÉCNICO**

Ing. Mauricio Sánchez Valenzuela.  
Departamento de Salud Ocupacional



Para citar el presente documento:

Instituto de Salud Pública de Chile, “Protocolo para la Aplicación del D.S. N° 594/99 del MINSAL, Título IV, Párrafo 3º Agentes Físicos – Vibraciones.”, 2012, Versión 2.

Para consultas o comentarios se solicita ingresar a la página del Instituto de Salud Pública de Chile, [www.ispch.cl](http://www.ispch.cl), a la sección OIRS. Link directo: <http://www.ispch.cl/oirs/index.htm>



## ÍNDICE

1. PRESENTACIÓN.....	1
2. OBJETIVO.....	2
3. ALCANCE.....	2
3.1. Alcance teórico.....	2
3.2. Población objetivo.....	2
3.3. Usuarios.....	2
3.4. Marco legal.....	2
4. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA EXPOSICIÓN A VIBRACIONES EN LOS PUESTOS DE TRABAJO.....	2
4.1. Estudio Previo.....	2
4.2. Metodología de medición adecuada:.....	3
5. INSTRUMENTACIÓN.....	4
5.1. Instrumento de medición.....	4
6. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACIÓN.....	4
6.1. De la Verificación de las Baterías y otras Interferencias.....	4
6.2. De la Ubicación del Instrumento.....	4
6.3. De los parámetros de Medición.....	5
6.4. De la Evaluación de la Exposición a Vibraciones.....	5
6.5. Del Tiempo de Medición.....	6
7. Cálculo y Evaluación de la Exposición Diaria.....	7
7.1. Cálculo y Evaluación para Exposición de Cuerpo Entero.....	7
7.2. Cálculo y Evaluación para Exposición de Mano – Brazo.....	8
8. INFORME TÉCNICO.....	9
9. DEFINICIONES.....	10
10. BIBLIOGRAFÍA.....	14
11. AGRADECIMIENTOS.....	15
12. ANEXOS.....	16
12.1. ANEXO 1. Factores de ponderación.....	16
12.2. ANEXO 2. Cálculo y Evaluación de la Exposición Diaria.....	18
12.3. ANEXO 3. Cálculo y Evaluación a partir de los Valores de Aceleración Vibratoria en Bandas de Tercio de Octava.....	25



## 1. PRESENTACIÓN.

La exposición de los trabajadores en sus lugares de trabajo a vibraciones de vehículos, maquinarias o herramientas eléctricas manuales, es causa de generación de diversas enfermedades ocupacionales. Caracterizar de manera adecuada dicha exposición requiere tomar en consideración una serie de factores tales como el número de actividades distintas que el trabajador realiza, el tiempo que dedica a cada una de ellas, las condiciones de operación de la maquinaria, el tipo de vibraciones al que está expuesto el trabajador, entre otros aspectos.

En la actualidad Chile carece de un número suficiente de especialistas en el área de las vibraciones ocupacionales, sean éstos ingenieros, higienistas ocupacionales o expertos en prevención de riesgos. Además, son numerosos los puestos de trabajo a lo largo del país donde se detecta la presencia de este agente, por lo que se hace necesario establecer una metodología de referencia para la medición y el análisis de la exposición a vibraciones ocupacionales, de tal forma que todas las instituciones o profesionales encargados de efectuar dicha tarea, cuenten con un criterio común a nivel nacional que facilite la evaluación de éste, y que además asegure un estándar basal de calidad en su realización.

En este sentido, se establece el siguiente procedimiento de referencia, el cual permite determinar la exposición a vibración de un trabajador en su puesto de trabajo, a lo largo del su tiempo diario de exposición al agente, basado en lo indicado en el D.S. N° 594/99 del Ministerio de Salud (MINSAL), “Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo” específicamente en el Título IV, Párrafo 3º, de los Agentes Físicos – Vibraciones.

## 2. OBJETIVO.

Establecer la metodología para reconocer y cuantificar la exposición a vibraciones de los trabajadores en los lugares de trabajo y evaluar el cumplimiento del Decreto Supremo 594/99 del MINSAL.

## 3. ALCANCE.

### 3.1. Alcance teórico.

El siguiente procedimiento de medición, permite determinar la exposición a vibraciones de un trabajador en su lugar de trabajo, a lo largo de su jornada laboral, basado en lo establecido en el D.S. N° 594/99 del MINSAL Título IV, Párrafo 3º, de los Agentes Físicos – Vibraciones.

### 3.2. Población objetivo.

Ésta corresponde a los trabajadores expuestos a vibraciones en sus puestos de trabajo.

### 3.3. Usuarios.

Corresponden a ingenieros y expertos en prevención de riesgos, higienistas ocupacionales u otros profesionales del área de la Salud Ocupacional.

### 3.4. Marco legal.

D. S. N° 594/99 del MINSAL Título IV, Párrafo 3º, de los Agentes Físicos – Vibraciones.

## 4. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA EXPOSICIÓN A VIBRACIONES EN LOS PUESTOS DE TRABAJO.

### 4.1. Estudio Previo.

Identificación de las fuentes generadoras de vibraciones. Al efectuar este reconocimiento, se debe considerar lo siguiente:

- a) **Información técnica y administrativa de las actividades realizadas en la empresa:** previo a la medición, se debe realizar un reconocimiento de las actividades realizadas en la empresa, recabando toda aquella información técnica y administrativa que permita seleccionar las áreas y puestos de trabajo a evaluar, los procesos de trabajo en los cuales se produce la exposición y el método apropiado para medir las vibraciones.
- b) **Presencia de vibraciones y trabajadores expuestos a ellas:** se debe definir en cuáles áreas de trabajo, unidades productivas, etc., se presenta el agente físico vibración, que pueda afectar directamente a personas durante un tiempo determinado de su jornada de trabajo.

- c) **Número total de trabajadores expuestos a vibraciones:** en cada área de trabajo, unidad productiva, etc., se debe identificar el número de trabajadores expuestos a vibraciones. Aquellos que realicen operaciones iguales y se expongan a las mismas fuentes de vibración constituirán un *Grupo Similar de Exposición*<sup>1</sup>. Para estos grupos se debe definir el número total de integrantes. En este sentido, en una misma empresa, se podrían presentar varios grupos similares de exposición.
- d) **Screening:** estudio previo, optativo para puestos de trabajo no móviles o con fuentes estables (sólo para cuerpo entero). En aquellos puestos donde se determinen puestos de trabajo con presencia de exposición a vibraciones de cuerpo entero se podrá efectuar una medición de 5 minutos de  $a_{eq}$  por cada eje de exposición. Esta medición debe ser efectuada en la peor condición de exposición presente durante todo el tiempo de exposición. Los valores medidos por cada eje se deberán comparar con los límites establecidos en el artículo 88, del DS 594/99 del MINSAL, para un tiempo de exposición de 12 horas. Si los valores obtenidos en la medición de 5 minutos, en la peor condición de exposición, superan los límites señalados en cualquiera de los ejes, se considerará dicho puesto como *susceptible de ser evaluado* y se entenderá que en dichos puestos existen trabajadores ocupacionalmente expuestos a vibraciones de cuerpo entero<sup>2</sup>. Lo anterior, sin perjuicio de lo descrito en la letra b) del punto 6.2.1. “Ubicación del Instrumento”.
- e) **Tipo de vibración y tiempo de exposición:** para cada caso o *Grupo Similar de Exposición*, se debe especificar si la exposición es de cuerpo entero o de mano – brazo, describiendo además, los procesos, tareas y actividades donde se produce dicha exposición por tiempo de exposición. Si los procesos contienen actividades o tareas cíclicas, se podrán establecer ciclos de trabajo y, dentro de ellos, “ciclos de exposición a vibraciones”, con un tiempo determinado, el que se deberá especificar.

#### 4.2. Metodología de medición adecuada:

De esta labor de reconocimiento, es decir, de la identificación de las fuentes generadoras de vibraciones, del número de trabajadores expuestos, de los ciclos de trabajo, del tipo de exposición, del tipo de vibración generado y del tiempo de exposición se podrá establecer la metodología de medición adecuada que considere, cuando corresponda, *Grupos Similares de Exposición* de trabajadores cuya exposición a vibración sea equivalente, obteniéndose de esta forma una información representativa para todo un grupo de expuestos, simplificando el número de mediciones y considerando los tiempos de medición adecuados para cada puesto, de acuerdo al tipo de vibración (punto 6.5).

---

<sup>1</sup> Grupo de trabajadores que realiza una misma tarea, usando las mismas herramientas y durante el mismo tiempo de manera que su exposición a vibraciones sea equivalente durante la jornada de trabajo.

<sup>2</sup> El presente punto es opcional. En el caso de que no se aplique esta metodología de determinación de puestos de trabajo susceptibles de ser evaluados para exposición de cuerpo entero, se deberá seguir los otros ítems señalados en este protocolo exceptuando este punto.



## **5. INSTRUMENTACIÓN.**

### **5.1. Instrumento de medición.**

Las mediciones de vibraciones de cuerpo entero y/o mano – brazo, se efectuarán con un medidor de vibración humana que cumpla con las exigencias establecidas en la norma ISO 8041:2005<sup>3</sup>.

Las especificaciones relacionadas con el mantenimiento y la calibración del instrumento y su periodicidad tanto en laboratorio como en terreno son detalladas en la “Guía de Mantenimiento y Calibración de los Equipamientos Utilizados en la Evaluación de Vibraciones en los Lugares de Trabajo” del Instituto de Salud Pública.

## **6. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE VIBRACIÓN.**

### **6.1. De la Verificación de las Baterías y otras Interferencias.**

Se deberá verificar que las baterías del instrumento estén cargadas antes del inicio de la medición. Además, se recomienda llevar baterías de repuesto. También, se debe tener precaución respecto de realizar una correcta colocación y posterior revisión de los cables, en función de la definición de los ejes que determinan las componentes de la aceleración vibratoria, de acuerdo a lo definido en la letra f), del punto 9: Direcciones de medición.

### **6.2. De la Ubicación del Instrumento.**

6.2.1. Para el caso de las mediciones de exposición de cuerpo entero, se debe considerar aquella que es transmitida hacia el trabajador de la siguiente forma:

- a) Para el caso donde el trabajador permanece en posición fija, la medición deberá ser realizada en la interface entre el cuerpo del trabajador y la superficie vibrante, o tan cerca como sea posible del área a través de la cual la vibración es transmitida al cuerpo<sup>4</sup>. Para esto, se deberá considerar el tipo de posición que adopta el trabajador: sentado o de pie, respecto de la superficie vibrante.
- b) Para el caso donde el trabajador se desplaza por superficies vibrantes (plataformas), sin permanecer en un punto fijo (como por ejemplo: zonas de tránsito, zona de inspección de maquinaria, etc.), se deberá instalar el acelerómetro en aquellos puntos representativos (donde el trabajador se desplace o permanezca más tiempo) de las posiciones donde éste se movilice.
- c) Tanto para el caso de una posición fija como también variable, se deberá especificar el método de montaje. Para tal fin, podrán ser utilizados

<sup>3</sup> ISO 8041:2005 Human – response vibration measuring instrumentation, o la que la reemplace.

<sup>4</sup> ISO 2631:2004: Evaluation of Human Exposure to whole – body vibration.

adhesivos, acopladores magnéticos o un peso que inmovilice el acelerómetro (de un peso mínimo de 1 Kg), de forma de proporcionar una respuesta equivalente a la que se tendría con un montaje rígido, para el rango de frecuencia de la exposición de cuerpo entero.

- 6.2.2. Para aquellas mediciones realizadas en el segmento mano – brazo, se deberá instalar el o los acelerómetro(s) para efectuar mediciones triaxiales y simultáneas siguiendo las recomendaciones del fabricante, considerando que éste no entorpezcan las tareas realizadas por el trabajador.<sup>5</sup>
- 6.2.3. No obstante lo señalado en el punto anterior, se deberá tener presente que los acelerómetros se deben orientar según las instrucciones señaladas en los manuales del fabricante y en total concordancia con las direcciones indicadas en las Figuras 1 y 2 en la letra f), del punto 9: Direcciones de medición, del presente protocolo.

### 6.3. De los parámetros de Medición.

6.3.1. Para la aplicación del presente protocolo, se considerarán los siguientes parámetros:

- Aceleración equivalente ponderada en frecuencia para el eje X,  $a_{eqx}$  ( $m/s^2$ ).
- Aceleración equivalente ponderada en frecuencia para el eje Y,  $a_{eqy}$  ( $m/s^2$ ).
- Aceleración equivalente ponderada en frecuencia para el eje Z,  $a_{eqz}$  ( $m/s^2$ ).
- Nivel de Aceleración equivalente.

6.3.2. Curvas de ponderación de frecuencia por tipo de exposición.

Para la medición de la exposición de mano – brazo, se deberá utilizar la ponderación en frecuencia:  $W_h$ . Para la medición de la exposición de cuerpo entero se deberá utilizar las ponderaciones:  $W_k$  y  $W_d$ , tal como se señala en la letra m), del punto 9, dependiendo de la posición de exposición, como se indican en la Tabla N° 1 en la letra f), del mismo punto: “Direcciones de medición”, del presente Instructivo.

### 6.4. De la Evaluación de la Exposición a Vibraciones.

6.4.1. Para determinar la exposición a vibraciones de cuerpo entero del trabajador en posición fija (punto 6.2.1) y en la posición sentado (ver figura 1, en la letra f), del punto 9: Direcciones de medición), se deberá efectuar la medición en forma simultánea para cada eje coordenado ( $a_x$ ,  $a_y$  y  $a_z$ ), considerándose como magnitud adecuada para la evaluación de exposición, el valor de la aceleración

---

<sup>5</sup> Para fines de comparación entre mediciones de terreno y mediciones de laboratorio se recomienda utilizar los valores obtenidos de mediciones en terreno obtenidos con abrazadera.

equivalente ponderada en frecuencia ( $a_{eq}$ ), utilizando la ponderación en frecuencia<sup>6</sup>:

- $W_k$  para el eje Z, y.
- la ponderación  $W_d$  para los ejes X e Y.

Los tres valores de  $a_{eq}$  en las respectivas direcciones, deberán corresponder al mismo evento de vibración que se está estudiando.

6.4.2. Para determinar la exposición a vibraciones del componente mano – brazo, se deberá efectuar la medición en forma simultánea en los tres ejes de coordenadas, considerándose como magnitud adecuada para la evaluación de la exposición, el valor de la aceleración equivalente ponderada en frecuencia ( $a_{eq}$ ), utilizando la ponderación en frecuencia  $W_h$  para todos los ejes<sup>6</sup>. Los tres valores de  $a_{eq}$  en las respectivas direcciones deberán corresponder al mismo evento de vibración que se está estudiando.

6.4.3. Independiente del tipo de vibración, se deberá estar atento a la medición, de forma de considerar los eventos que aportan a la exposición que recibe el trabajador evaluado, según estudio previo. Se deberán descartar aquellas vibraciones producidas de manera accidental o inducidas por el trabajador como parte de la actividad de su trabajo.<sup>7</sup>

## 6.5. Del Tiempo de Medición.

6.5.1. La medición de las vibraciones en el puesto de trabajo se deberá efectuar durante todo el tiempo de exposición.

6.5.2. No obstante lo señalado en 6.5.1, se podrá considerar un tiempo de medición inferior, siempre y cuando sea representativo del comportamiento del agente durante el tiempo de exposición. Para este fin, se deberán tomar en cuenta los antecedentes obtenidos durante el estudio previo (ver punto 4.1). De cualquier forma, se deberá señalar explícitamente el tiempo de medición utilizado.

Por otro lado, dado que los tiempos mínimos de medición dependen del:

- tipo de exposición,
- tipo de vibración y
- los ciclos de exposición, que son determinados en el estudio previo de reconocimiento (ver punto 4.1).

---

<sup>6</sup> En el caso de contar con un equipamiento que obtenga los niveles de aceleración en bandas de tercio de octava, se deberá calcular la  $a_{eq}$  representativa de cada operación, tanto para la exposición de cuerpo entero como también de mano – brazo, siguiendo la metodología señalada en el anexo 12.3.

<sup>7</sup> Se recomienda utilizar un instrumento medidor que reconozca “la presencia del trabajador” es decir, pueden descontar en forma automática el tiempo en los cuales no hay presencia del agente vibración o del trabajador.

El tiempo mínimo de la medición vendrá dado por lo expresado en la Tabla N° 1:

Tipo de exposición.	Tipo de Vibración.	Tiempo mínimo de medición, en minutos.
Cuerpo entero.	Aleatoria.	30
	Cíclica, menor a 30 minutos.	Medir varios ciclos completos en al menos 30 minutos.
	Cíclica, mayor a 30 minutos.	Al menos 1 ciclo.
	Estable.	30
Mano – brazo.	Cíclica, menor a 5 minutos.	Medir varios ciclos completos en al menos 5 minutos.
	Cíclica, mayor a 5 minutos.	Al menos 1 ciclo.

**Tabla N° 1:** Tiempos mínimos de medición, en función de los tipos de exposición y tipos de vibración.

6.5.3. Si la actividad implica la exposición a vibraciones de un trabajador a distintas fuentes de vibración, tiempos de exposición distintos, en procesos distintos, etc., se deberá medir la  $a_{eq}$  de cada caso de manera individual, para luego obtener la  $a_{eq}$  representativa de la jornada completa (ver punto 7).

## 7. Cálculo y Evaluación de la Exposición Diaria<sup>8</sup>.

### 7.1. Cálculo y Evaluación para Exposición de Cuerpo Entero.

7.1.1. En aquellos casos en los que se ha registrado la  $a_{eq}$  para las diversas actividades realizadas por el trabajador a lo largo de su jornada, se deberá calcular la Aceleración Equivalente Ponderada en Frecuencia representativa del tiempo de exposición, para lo cual se considerará por cada eje de medición y por cada puesto de trabajo, lo siguiente:

- Tiempo de exposición (que no corresponde necesariamente al tiempo de medición del  $a_{eq}$ ).
- $a_{eq}$  medida.

7.1.2. La información recopilada se ingresará en la fórmula N°1, la que considera el cálculo de la Aceleración Equivalente Ponderada en Frecuencia para cada eje de medición,  $a_{eq}(T)$  en todo el tiempo de exposición:

<sup>8</sup> Ejemplos de cálculo de la exposición a vibraciones tanto para cuerpo entero como para segmento mano – brazo se presentan en el anexo 12.2

$$a_{eq}(T) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (a_{wi})_i^2 \times t_i} \left[ \frac{m}{s^2} \right] \quad \text{Fórmula N}^\circ 1.$$

Donde:

- $a_{wi}$  : Aceleración vibratoria equivalente ponderada en frecuencia i-ésima con duración  $t_i$ .  
 $t_i$  : Tiempo de exposición a una determinada  $a_{wi}$  (valor medido).  
 $T$  : Tiempo total de exposición dado por:

$$T = \sum_{i=1}^n t_i \quad \text{Fórmula N}^\circ 2.$$

- 7.1.3. Se entenderá que se da cumplimiento a los Límites Máximos Permisibles, según jornada de trabajo, si el valor calculado para la aceleración equivalente ponderada en frecuencia resultante por eje de medición, es igual o menor a los Límites Máximos Permitidos respectivos, indicados en el artículo 88°, del DS 594/99 del MINSAL, para la exposición de cuerpo entero.

## 7.2. Cálculo y Evaluación para Exposición de Mano – Brazo.

- 7.2.1. Para el cálculo de la exposición a vibraciones mano – brazo, se repetirán las indicaciones señaladas en los puntos 7.1.1 y 7.1.2.
- 7.2.2. Se entenderá que se da cumplimiento a los Límites Máximos Permisibles, según jornada de trabajo, si el valor calculado para la aceleración equivalente ponderada en frecuencia resultante por eje de medición, es igual o menor a los Límites Máximos Permitidos respectivos, indicados en el artículo 92°, del DS 594/99 del MINSAL, para la exposición a vibraciones del segmento mano – brazo.

## 8. INFORME TÉCNICO.

El Informe Técnico deberá contener, a lo menos:

- a) Antecedentes de la empresa evaluada:
  - Razón Social.
  - Dirección.
  - Organismo Administrador al que está afiliado.
  - N° de afiliación.
  - Número de trabajadores.
  - Actividad económica.
  - Representante legal.
  - Fecha de evaluación.
  - Encargado de la realización evaluación).
- b) Estudio Previo:
  - Puestos de trabajo evaluados. En el caso de haber efectuado un Screening, se deben entregar los resultados de éste indicando cuales puestos fueron clasificados como susceptibles de ser evaluados y cuales fueron descartados.
  - Descripción de las actividades y/o puestos de trabajo involucrados en la exposición a vibración
  - El tiempo total de exposición así como el tiempo de cada una de las actividades.
  - Identificación del tipo de exposición (cuerpo entero o mano – brazo) y del tipo de vibración, por puesto de trabajo.
  - Número de trabajadores por puesto de trabajo.
  - Grupos similares de exposición.
  - Presencias de ciclos de exposición a vibraciones.
- c) Metodología de medición utilizada en cada caso, justificando explícitamente su selección de acuerdo a lo establecido en el estudio previo, y que demuestre que tanto la metodología como el tiempo de medición permite obtener valores representativos de exposición.
- d) Descripción de la metodología utilizada para la medición de las vibraciones en cuerpo entero y/o en mano – brazo.
- e) Identificación del instrumental utilizado y trazabilidad de su calibración.
- f) Resultados de las mediciones:
  - Tiempo de medición asociado a cada una de ellas.
  - Aceleración equivalente ponderada en frecuencia por cada eje y cada trabajador y/o Grupo Similar de Exposición evaluado, identificando los puestos de trabajo y trabajadores que exceden valores límites del D.S. 594/99 del MINSAL.
- g) Análisis de la información obtenida.

- h) Conclusiones. Se deberá concluir para cada puesto evaluado si los trabajadores están expuestos a vibraciones con o sin riesgo de adquirir una enfermedad profesional.
- i) Recomendaciones, si el caso amerita.
- j) Croquis de distribución de la zona o área evaluada, en el que se indiquen los puntos de medición en las instalaciones de la empresa evaluada, con la ubicación de las principales fuentes de vibración, si el caso lo amerita.
- k) Nombre y firma del responsable de elaborar la evaluación.

## 9. DEFINICIONES.

Para efectos de la aplicación del procedimiento de medición, se entenderá por:

- a) **Aceleración de referencia:** aceleración utilizada para transformar la aceleración vibratoria en nivel de aceleración vibratoria, como  $10^{-6}$  [ $m/s^2$ ], definida en normativas internacionales<sup>9</sup>.
- b) **Aceleración equivalente ponderada:** la aceleración r.m.s. ponderada  $a_w$ , en metros por segundo al cuadrado, se define por la expresión:

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \left[ \frac{m}{s^2} \right] \quad \text{Fórmula N}^\circ 3.$$

La Fórmula N<sup>o</sup> 3 establece como se calcula la Aceleración Equivalente Ponderada.

Donde:

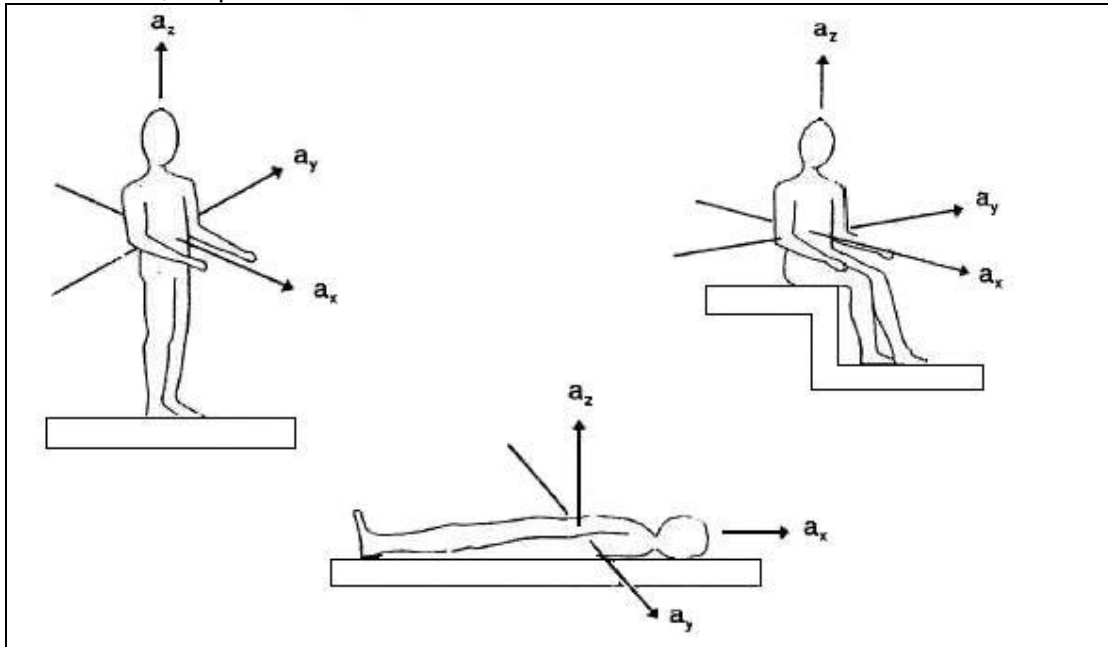
- $a_w(t)$  : Aceleración ponderada (de traslación o de rotación) como una función del tiempo (variación en el tiempo), en metros por segundo al cuadrado.
- T : Duración de la medición (horas)

- c) **Acelerómetro:** dispositivo que convierte los efectos del movimiento mecánico en una señal eléctrica, la cual es proporcional al valor de aceleración del movimiento.
- d) **Banda de tercio de octava:** intervalo entre dos tonos cuya relación es de un tercio de la octava, ( $2^{1/3}$  ó 1,259)<sup>10</sup>.
- e) **Ciclo de trabajo:** secuencia de procesos, actividades, operaciones o acciones técnicas que se reproducen reiteradamente.
- f) **Direcciones de medición:** sistema de coordenadas que se origina en el punto desde el cual se considera que ingresa la vibración al cuerpo humano. Los sistemas de coordenadas

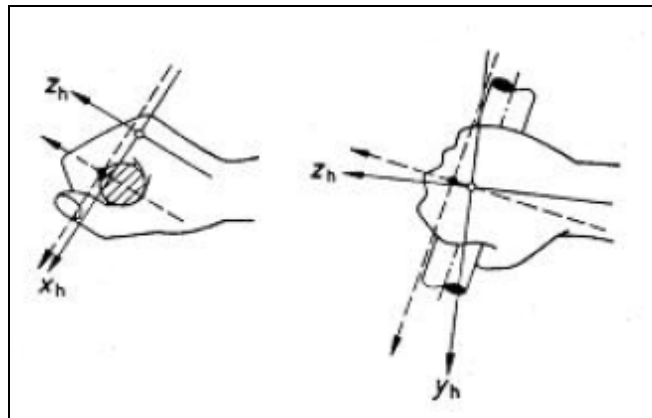
<sup>9</sup> ISO 1683: 2008. Acoustics -- Preferred reference quantities for acoustic levels.

<sup>10</sup> ISO 2041:1999. Vibration and shock – Vocabulary.

basicéntricas se presentan en las figuras 1 y 2 para la exposición de cuerpo entero y de mano – brazo, respectivamente.



**Figura 1:** Sistema de coordenadas biodinámicas para medir las aceleraciones (según ISO 2631).  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ : aceleración en la dirección de los ejes: x, y, z; Eje x: dirección espalda – pecho.; Eje y: dirección derecha izquierda; Eje z: dirección pies – cabeza.



**Figura 2:** sistema de coordenadas biodinámicas para la medición sistema mano – brazo. Eje Z: Corresponde a la línea longitudinal ósea. Eje X: Corresponde a la línea perpendicular a la palma de la mano. Eje Y: Corresponde a la línea en la dirección de los nudillos de la mano.

- g) **Exposición de mano – brazo:** vibración mecánica que, cuando se transmite al sistema humano de mano y brazo, supone riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular: problemas vasculares, de huesos o de articulaciones, nerviosos o musculares<sup>11</sup>. La transmisión de la vibración al sistema mano – brazo, usualmente sucede a

<sup>11</sup> Directiva 2002/44/CE.



través de partes de éste (por ejemplo: palma de las manos) que están en contacto con una superficie que vibra (por ejemplo: el asa de una herramienta energizada), o sometida a una vibración de impacto<sup>12</sup>. La evaluación debe realizarse de forma individual en cada mano.

- h) **Exposición de cuerpo entero:** vibración mecánica que, cuando se transmite a todo el cuerpo, conlleva riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular, lumbalgias y lesiones de la columna vertebral<sup>7</sup>. La transmisión de la vibración al cuerpo entero, usualmente sucede a través de partes de este (por ejemplo: glúteos, plantas de los pies, espalda) que están en contacto con una superficie que vibra (por ejemplo: el asiento de un vehículo), o sometida a una vibración de impacto<sup>8</sup>.
- i) **Grupos similares de exposición:** conjunto de trabajadores cuya exposición a cierto agente es equivalente. Para efecto de este documento, el agente es la vibración.
- j) **Jornada laboral efectiva:** periodo de tiempo en el cual el operador se encuentra directamente expuesto a las vibraciones en el puesto de trabajo.
- k) **Medidor de vibración humana:** sistema de medición de vibraciones, compuesto por un transductor de vibración (preferentemente un acelerómetro), una etapa de acondicionamiento, una etapa de proceso, un indicador y un registrador de la vibración, que cumpla con lo establecido en normativas internacionales<sup>13</sup>.
- l) **Período del ciclo:** tiempo que demora en cumplirse un ciclo de trabajo dado.
- m) **Ponderaciones de frecuencia:** curva que representa la sensibilidad humana a vibraciones en función de la frecuencia, para una determinada dirección de exposición.

En el ámbito de la evaluación de la exposición ocupacional se consideran las ponderaciones que se indican a continuación en la tabla N° 2:

Ponderaciones	Condición de aplicación
$W_h$	Exposición de Mano - Brazo, ejes Z, X e Y
$W_k$	Exposición de Cuerpo Entero, vertical o posición sentado eje Z.
$W_d$	Exposición de Cuerpo Entero, vertical o posición sentado ejes X e Y.

**Tabla N° 2:** Ponderaciones de frecuencia.

<sup>12</sup> ISO 5805:1997 Mechanical Vibration and Shock – Human exposure – Vocabulary.

<sup>13</sup> ISO 8041:2005 Human-response vibration measuring instrumentation.

**Ponderaciones: Condición de Aplicación<sup>14</sup>:**

$W_h$ : Exposición de Mano-Brazo, ejes Z, X e Y.

$W_k$ : Exposición de Cuerpo Entero, vertical o posición sentado, eje Z.

$W_d$ : Exposición de Cuerpo Entero, horizontal o posición sentado, ejes X e Y.

Nota: todos los valores de ponderación en frecuencia presentados en la tabla N° 2 se señalan en el anexo 12.1, en las tablas N° 3 y N° 4.

- n) **Vibración**: movimiento oscilatorio de las partículas de los cuerpos sólidos<sup>15</sup>. Para efectos de la aplicación de este Instructivo se entenderá como la Magnitud o Cantidad que describe el movimiento o la posición de un sistema mecánico, respecto a un valor de referencia.
- o) **Vibración aleatoria**: vibración cuya amplitud no se puede predecir de manera precisa para cualquier instante de tiempo dado.
- p) **Vibración cíclica**: se entenderá para efectos de este documento como aquella que se presenta dentro de un ciclo de exposición.
- q) **Vibración estable**: vibración debido a un movimiento del tipo periódico continuo con amplitudes regulares.
- r) **Vibración de impacto**: movimiento debido al cambio repentino de fuerza, posición, velocidad o aceleración provocada por perturbaciones transientes de un sistema mecánico.

---

<sup>14</sup> ISO 8041:2005 Human Response to Vibration – Measuring Instrumentation.

<sup>15</sup> DS 594/99 MINSAL: Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.



## 10. BIBLIOGRAFÍA.

- Ministerio de Salud. “Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo”. Chile, 1999. D.S 594/99 del MINSAL.
- Parlamento Europeo. “Directiva 2002/44/CE”. Francia. 2002. Parlamento Europeo Y Del Consejo.
- International Organization for Standardization. “Acoustics - Preferred reference quantities for acoustic levels”. Suecia. 2008. ISO 1683.
- International Organization for Standardization. “Vibration and shock – Vocabulary”. Suecia. 1990. ISO 2041.
- International Organization for Standardization. “Evaluation of Human Exposure to whole – body vibration”. Suecia. 2004. ISO 2631.
- International Organization for Standardization. “Mechanical Vibration and Shock – Human exposure – Vocabulary”. Suecia. 1997. ISO 5805.
- International Organization for Standardization. “Human response to vibration - Measuring instrumentation”. Suecia. 2004. ISO 8041.
- Búsqueda bibliográfica: “vibraciones mecánicas transmitidas al ser humano en lugares de trabajo, tanto al cuerpo entero como al segmento mano-brazo”.

## 11. AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos la participación y contribución de:

NOMBRE.	INSTITUCIÓN.
Hernán Fontecilla García.	Instituto de Salud Pública.
Mauricio Sánchez Valenzuela.	Instituto de Salud Pública.
Juan Carlos Valenzuela Illanes	Instituto de Salud Pública.
José Espinosa Robles	Instituto de Salud Pública.
Ma. Ignacia Soto Espinoza	SEREMI Salud RM.
Alonso Carrillo Mayorga	ACHS.
Francisco Ponce Jara	C.CH.C.
Marcelo Molina Ibaceta	C.CH.C.
Rodrigo Muñoz Acevedo	F O M E N T A S A L U D Consultores en Salud Ocupacional
Claudio Salas Castro.	Gerard Ingeniería Acústica SpA.
Lilian Martínez Ulloa	Instituto de Seguridad Laboral.
Luis Alberto Reyes Jaque	Instituto de Seguridad Laboral.
Fabiola Olivares Aqueveque	Instituto de Seguridad del Trabajo.

## 12. ANEXOS.

### 12.1. ANEXO 1. Factores de ponderación<sup>16</sup>.

Frecuencia, en Hz.	Factores de Ponderación:	
	$W_k$	$W_d$
1,00	0,4825	1,01100
1,25	0,4846	1,00700
1,60	0,4935	0,97070
2,00	0,5308	0,89130
2,50	0,6335	0,77330
3,15	0,8071	0,63980
4,00	0,9648	0,51430
5,00	1,0390	0,40810
6,30	1,0540	0,32260
8,00	1,0370	0,25500
10,00	0,9884	0,20170
12,50	0,8989	0,15970
16,00	0,7743	0,12660
20,00	0,6373	0,10040
25,00	0,5103	0,07958
31,50	0,4031	0,06299
40,00	0,3160	0,04965
50,00	0,2451	0,03872
63,00	0,1857	0,02946
80,00	0,1339	0,02130

**Tabla N°3.** Factores de ponderación en función de la frecuencia para la exposición de cuerpo entero.

Donde:

$W_k$ : exposición de cuerpo entero, vertical o en posición sentado, eje Z.

$W_d$ : exposición de cuerpo entero, horizontal o en posición sentado, eje X e Y.

<sup>16</sup> ISO 8041:2005 Human-response vibration measuring instrumentation.

Ponderación, $W_h^{17}$	
Frecuencia, Hz.	Factor de ponderación
5,0	0,5450
6,3	0,7272
8,0	0,8731
10,0	0,9514
12,5	0,9576
16,0	0,8958
20,0	0,7820
25,0	0,6471
31,5	0,5192
40,0	0,4111
50,0	0,3244
63,0	0,2560
80,0	0,2024
100	0,16020
125	0,12700
160	0,10070
200	0,07988
250	0,06338
315	0,05026
400	0,03980
500	0,03137
630	0,02447
800	0,01862
1000	0,01346
1250	0,00894

**Tabla N°4:** Factores de ponderación en función de la frecuencia, para la exposición mano -brazo.

En el ámbito de la evaluación de la exposición ocupacional se consideran las ponderaciones que se indican en la tabla N° 2, presentado en el punto 9. definiciones.

Donde:

$W_h$ : Curva de ponderación de frecuencia para exposición en el sistema mano – brazo.

<sup>17</sup> ISO 8041:2005 Human-response vibration measuring instrumentation.

## 12.2. ANEXO 2. Cálculo y Evaluación de la Exposición Diaria.

### Evaluación de la Exposición Ocupacional a Vibraciones.

#### A.- Ejercicio de Aplicación de la Exposición Mano Brazo.

En una empresa dedicada a la fabricación de componentes para automóviles (radiadores, bombas de agua, climatizadores, etc.), se utilizan en la línea de montaje herramientas manuales de accionamiento neumática, (básicamente atornilladoras de diferentes tipos y tamaños). En un puesto de trabajo de la línea se utilizan dos de estas máquinas: una atornilladora para tornillos de cabeza Phillips y una llave de dados para apretar tuercas. El análisis de la organización del trabajo da los siguientes resultados:

- Número de tornillos a montar: 500 unidades/turno.
- Duración de la operación de atornillar: 5,4 segundos.
- Número de tuercas a apretar: 2000 unidades/turno.
- Duración de la operación de apriete: 2,2 segundos.

Las intensidades de la vibración de cada máquina, medidas en la empuñadura, en cada eje dieron los resultados que se indican en la tabla siguiente. El aparato de medida ya incluye la ponderación de frecuencia, de forma que los resultados son directamente los valores de vibración eficaces en cada uno de los ejes.

Fuente vibratoria.	Aceleración Equivalente, $a_{eq}$ en $[m/s^2]$ medida.		
	Eje x	Eje y	Eje z
Atornilladora.	3,4	0,2	4,6
Aprietatuercas.	5,2	3,6	1,1

**Tabla N°5:** Aceleración Equivalente correspondiente a cada eje de acuerdo al uso de cada máquina herramienta para la exposición mano –brazo.

Evaluar la exposición a vibraciones en este puesto de trabajo, con respecto al D.S. 594/99 del MINSAL.

### Resolución:

De acuerdo al análisis de la organización del trabajo y considerando la realización de 1 turno, se tiene:

Turno de Trabajo				
Tarea	Nº unidades/turno	Duración de la operación/unidad, [s].	Tiempo total de exposición a la tarea.	
			[s]	[hr]
Atornillado de tornillos.	500	5,4	2.700	0,75
Apriete de tuercas.	2000	2,2	4.400	1,22

**Tabla N°6:** Determinación del tiempo total para cada tarea de acuerdo al uso de cada máquina herramienta para la exposición mano –brazo.

Se puede considera que el tiempo durante el cuál el profesional realizó la medición, que debió abarcar al menos a 56 atornillados (lo que significa: 302,4 segundos, ó sea 5,04 minutos) tiempo menor al mínimo establecido que es de 30 minutos tal como se indica en el punto 6.5.2. Complementariamente, para el caso de la atornilladora, dicho tiempo debió alcanzar a 137 aprietes de tuerca (301,4 segundos o equivalentemente 5,02 minutos).

a) Se aplica la fórmula N°1, obteniendo:

Eje X.

---


$$a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (a_{eq})_i^2 \times T_i \right]^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{1,97} \left( (3,4)^2 \times 0,75 + (5,2)^2 \times 1,22 \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{1}{1,97} (8,67 + 32,9888) \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left[ \frac{1}{1,97} (41,6588) \right]^{\frac{1}{2}} = [21,15]^{\frac{1}{2}} =$$

$a_{eq}(T) = 4,6 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$

---

Eje y.

---


$$a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (Aeq)_i^2 \times T_i \right]^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$



$$a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{1,97} \left( (0,2)^2 \times 0,75 + (3,6)^2 \times 1,22 \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{1}{1,97} (0,03 + 15,8112) \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= [8,04]^{\frac{1}{2}} =$$

$$a_{eq}(T) = 2,84 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

Eje z.

$$a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (A_{eq})_i^2 \times T_i \right]^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$= a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{1,97} \left( (4,6)^2 \times 0,75 + (1,1)^2 \times 1,22 \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{1}{1,97} (15,87 + 1,4762) \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left[ \frac{1}{1,97} (17,3462) \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$a_{eq}(T) = [8,805]^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 2,97 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$a_{eq}(T) = 2,97 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

De los cálculos efectuados se entregan a continuación los valores de aceleración equivalente ponderados por cada eje de exposición.

RESULTADOS.		
Aceleración Equivalente, $a_{eq}$ , en $[m/s^2]$ .		
Eje x	Eje y	Eje z
4,6	2,84	2,97

**Tabla N°7:** Resultados obtenidos para la exposición mano –brazo.

- b) Con los resultados presentados en la tabla anterior podemos evaluar la exposición a vibraciones en este puesto de trabajo con respecto al D.S. 594/99 del MINSAL y la Aceleración Máxima Vibratoria para la exposición mano-brazo:

Tiempo de exposición, (T) [horas]	Aceleración Vibratoria Máxima	
	[m/s <sup>2</sup> ]	[g]*
4 < T ≤ 8	4	0,40
2 < T ≤ 4	6	0,61
1 < T ≤ 2	8	0,81
T ≤ 1	12	1,22

[g]\* = 9,81 [m/s<sup>2</sup>]  
(aceleración de gravedad)

**Tabla N°8:** Aceleración Vibratoria Máxima permitida para la exposición mano –brazo, de acuerdo al D.S. 594/99 del MINSAL.

Tomando en cuenta que el tiempo de exposición total a los valores de aceleración vibratoria calculados en cada eje en el puesto de trabajo considerado es de 1,97 [h], éstos se deben comparar con la Aceleración Vibratoria Máxima establecida para el rango 1 < T ≤ 2 .

Se observa que en ninguno de los ejes de vibración el valor de  $a_{eq}$  obtenido es mayor a la Aceleración Vibratoria Máxima de 8 [m/s<sup>2</sup>]; por tanto, la exposición es Sin Riesgo.

Se puede considera que el tiempo durante el cuál el profesional realizó la medición, que debió abarcar al menos a 56 atornillados (lo que significa 302,4 segundos, ó sea 5 minutos 4 segundos), es un tiempo menor al indicado en el punto 6.5.2.

### B.- Ejercicio de Aplicación de la Exposición Cuerpo Entero.

Evalúe la exposición ocupacional a vibraciones de un Operador de Máquinas Rodantes que opera tres grúas durante su jornada de trabajo. Las intensidades de la vibración de cada máquina, medidas en el asiento en cada eje, dieron los resultados que se indican en la tabla siguiente:

Fuente vibratoria	Tiempo de uso, [h]	Aceleración equivalente ponderada en frecuencia en [m/s <sup>2</sup> ], medida.		
		Eje x	Eje y	Eje z
Grúa 1	1,5	0,45	0,35	0,55
Grúa 2	2,5	0,69	0,50	0,50
Grúa 3	2,0	0,40	0,75	0,77

**Tabla N°9:** Aceleración Equivalente correspondiente a cada eje de acuerdo al uso de 3 grúas y con tiempos de uso distintos para la exposición de cuerpo entero.

Se debe:

- Calcular la aceleración equivalente para cada eje.
- Comparar y analizar los resultados con los Límites Máximos Permisibles (D.S. 594/99 del MINSAL).
- Evaluar la exposición ocupacional a vibraciones.

### Resolución:

- a) La aceleración equivalente para cada eje se obtiene aplicando la fórmula 1, reemplazando la aceleración equivalente ponderada parcial en frecuencia para cada eje y tiempo respectivo:

Eje X.

$$a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (Aeq)_i^2 \times T_i \right]^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{6} \left( (0,45)^2 \times 1,5 + (0,69)^2 \times 2,5 + (0,40)^2 \times 2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{1}{6} (0,30375 + 1,19025 + 0,32) \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left[ \frac{1,814}{6} \right]^{\frac{1}{2}} = [0,302]^{\frac{1}{2}} =$$

$$a_{eq}(T) = 0,55 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

Eje y.

$$a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (Aeq)_i^2 \times T_i \right]^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{6} \left( (0,35)^2 \times 1,5 + (0,5)^2 \times 2,5 + (0,75)^2 \times 2,0 \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{1}{6} (0,18375 + 0,625 + 1,125) \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left[ \frac{1}{6} (1,93375) \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$a_{eq}(T) = [0,32]^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{m}{s^2} \right] = 0,57 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$a_{eq}(T) = 0,57 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

Eje z.

$$a_{eq}(T) = \left[ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (A_{eq})_i^2 \times T_i \right]^{\frac{1}{2}} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$= \left[ \frac{1}{6} \left( (0,55)^2 \times 1,5 + (0,5)^2 \times 2,5 + (0,77)^2 \times 2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{1}{6} (0,45375 + 0,625 + 1,1858) \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left[ \frac{1}{6} (2,26455) \right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$a_{eq}(T) = [0,377425]^{\frac{1}{2}} = 0,61 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

La Tabla N° 10 muestra los valores obtenidos de aceleración equivalente ponderados por cada eje.

RESULTADOS.		
Aceleración Equivalente, $a_{eq}$ , en $[m/s^2]$		
Eje x	Eje y	Eje z
0,55	0,57	0,61

**Tabla N°10.** Resultados obtenidos para cuerpo entero.

- b) La Tabla N° 11 muestra los Límites Máximos Permisibles del D.S. 594/99 del MINSAL), según tiempos de exposición.

Tiempo de Exposición [horas]	Aeq Máxima Permitida, $[m/seg^2]$ .		
	Z	X	Y
12	0,50	0,35	0,35
11	0,53	0,38	0,38
10	0,56	0,39	0,39
9	0,59	0,42	0,42
8	0,63	0,45	0,45
7	0,70	0,50	0,50
6	0,78	0,54	0,54
5	0,90	0,61	0,61
4	1,06	0,71	0,71
3	1,27	0,88	0,88
2	1,61	1,25	1,25
1	2,36	1,70	1,70
0,5	3,30	2,31	2,31

**Tabla N°11:** Aceleración Equivalente Máxima Permitida para la exposición de cuerpo entero, de acuerdo al D.S. 594/99 del MINSAL.

Comparación de resultados con los Límites Máximos Permisibles del D.S 594/99 del MINSAL:

Tiempo total de exposición, [h].	Eje de Vibración.	Aceleración equivalente ponderada en frecuencia en [m/s <sup>2</sup> ] obtenida.	LMP del D.S 594/99 del MINSAL, para 6 [h] de exposición.	Comparación.
6,0	X	0,55	0,54	Excede
	Y	0,57	0,54	Excede
	Z	0,61	0,78	No Excede

**Tabla N°12:** Comparación de los resultados encontrados y los límites máximos permisibles para la exposición de cuerpo entero.

El mayor valor de  $a_{eq}$  se produce en el eje Z, no obstante, al realizar una comparación con los Límites Máximos Permisibles (D.S. 594/99 del MINSAL), en este eje no se supera el LMP. Por otro lado, en los ejes X e Y, aunque los valores de  $a_{eq}$  obtenidos son menores que en Z, en ambos la aceleración equivalente ponderada excede los LMPs establecidos para ellos en el D.S 594/99.

- c) Una evaluación de la exposición ocupacional a vibraciones puede darse de la siguiente forma:

Atendiendo a los resultados obtenidos y a la comparación realizada en el ítem b), se tiene que la exposición ocupacional del Operador de Máquinas Rodantes es Con Riesgo de adquirir una enfermedad profesional asociada a la exposición a Vibraciones.

De acuerdo con la Tabla N°1 de los Tiempos Mínimos de Medición, exclusivamente para el caso de exposición laboral a vibraciones de cuerpo entero, si consideramos que ésta es aleatoria debe medirse 30 minutos; contrariamente, si la exposición en las grúas es estable, dicho tiempo mínimo es de 5 minutos. Para el caso de que alguna de ellas sea cíclica, aparece descrita la situación para cuando el ciclo es inferior y superior a 5 minutos, llevándose siempre dicha medición a un tiempo nunca inferior a 5 minutos.

Tipo de exposición.	Tipo de Vibración.	Tiempo mínimo de medición, en minutos.
Cuerpo entero.	Aleatoria.	30
	Cíclica, menor a 30 minutos.	Medir varios ciclos completos en al menos 30 minutos.
	Cíclica, mayor a 30 minutos.	Al menos 1 ciclo.
	Estable.	30
	Cíclica, mayor a 5 minutos.	Al menos 1 ciclo.

**Tabla N° 13.** Tiempos mínimos de medición para cuerpo entero, en función de los tipos de exposición y tipos de vibración.

### 12.3. ANEXO 3. Cálculo y Evaluación a partir de los Valores de Aceleración Vibratoria en Bandas de Tercio de Octava.

En aquellos casos en los que se ha registrado la  $a_{eq}$  utilizando un equipo que obtiene los niveles de aceleración en bandas de tercio de octava, se deberá calcular la  $a_{eq}$  representativa de cada operación, tanto para la exposición de cuerpo entero como también de mano – brazo, como sigue:

- 1.1. Dependiendo del tipo de exposición (cuerpo entero o mano – brazo) se ponderará cada uno de los valores obtenidos en bandas de frecuencia, utilizando los valores detallados en las Tablas N° 3 y N° 4 del anexo 12.1, según frecuencia y eje de medición (ver 6.4.1 y 6.4.2 del presente protocolo).
- 1.2. Se calculará el valor de la aceleración equivalente representativa, en banda ancha, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$a_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i w_i)^2} \left[ \frac{m}{s^2} \right] \quad \text{Fórmula N°4.}$$

Donde:

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

- 1.3. Para la determinación y evaluación de la aceleración equivalente ponderada en frecuencia de la jornada laboral, se deberán aplicar las indicaciones señaladas en los puntos 7.1 y 7.2, según corresponda al tipo de exposición (cuerpo entero o mano – brazo).