

## ANÁLISIS TÉCNICO Y CRÍTICO DEL DS 594/99 DEL MINISTERIO DE SALUD, TÍTULO IV, PÁRRAFO 3, DE LOS AGENTES FÍSICOS – VIBRACIONES.

### EDITOR RESPONSABLE:

Mauricio Sánchez Valenzuela  
Sección de Ruido y Vibraciones

### REVISOR:

Hernán Fontecilla García  
Sección de Ruido y Vibraciones

### REVISOR EXTERNO

Alonso Carrillo Mayorga  
Ingeniero Acústico

## 1. INTRODUCCIÓN

El Decreto Supremo 594/99 del MINSAL establece en términos generales las condiciones sanitarias y ambientales básicas que deberá cumplir todo lugar de trabajo, además de los límites permisibles de exposición a agentes químicos, físicos y límites de tolerancia biológica, para trabajadores expuestos a riesgo ocupacional.

Entre los agentes físicos regulados por el decreto se encuentran las vibraciones ocupacionales, mediante el establecimiento de límites para exposición a cuerpo entero y mano brazo y en consecuencia con esto el establecimiento de la realización de mediciones y evaluaciones en los lugares de trabajo para verificar su cumplimiento.

Este decreto está siendo sometido a una revisión y actualización por parte del Ministerio de Salud considerando todas sus diversas temáticas entre ellas las vibraciones ocupacionales, ya que, si consideramos el tiempo transcurrido desde su oficialización en el año 1999, han habido actualizaciones de diferentes normativas internacionales en esta materia, que hacen necesario realizar una revisión crítica del contenido del Decreto, que considere la redefinición de algunos artículos poco claros o incompletos, junto con la eliminación de otros que han quedado obsoletos.

## 2. OBJETIVO

Realizar un análisis técnico y crítico, del D.S. 594/99 del Ministerio de Salud, Título IV, Párrafo 3, de los agentes físicos – vibraciones.

## 3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

En lo que se refiere a vibraciones ocupacionales, el Decreto Supremo 594/99 del MINSAL establece las exigencias para la evaluación respecto del tipo de exposición que puede ser de cuerpo entero y del segmento mano – brazo. Además, nos señala: cuál es el descriptor de la vibración a evaluar; algunas condiciones de medición; los rangos de frecuencia de interés; y los límites máximos permisibles en función del tiempo y dirección de la exposición (X, Y y Z). Considerando esto, a continuación, se realizará un análisis crítico desde el artículo 83° al artículo 94°, que son los que contienen los aspectos relativos a vibración ocupacional.

### DS 594/99 DEL MINSAL, TÍTULO IV, PÁRRAFO 3, DE LOS AGENTES FÍSICOS – VIBRACIONES.

#### 2. DE LAS VIBRACIONES.

**Artículo 83:** Para los efectos del presente reglamento se entenderá por vibración el movimiento oscilatorio de las partículas de los cuerpos sólidos.

Este artículo se enfoca en la definición del término vibración en el contexto de la evaluación de la exposición de personas a este agente y su potencial riesgo en la salud. La actual definición está relacionada con un concepto físico donde se interpreta este agente como el movimiento oscilatorio (a partir de un punto de reposo) de las partículas que integran los cuerpos sólidos, que vendrían a ser las fuentes vibratorias (vehículos, herramientas, plataformas vibrantes, etc.). Para una mejor comprensión y abordaje operativo del fenómeno, dicha definición podría ser complementada con algún aspecto relacionado

con la caracterización del agente en la evaluación de la exposición en personas. En este sentido, se puede utilizar la definición señalada en el Protocolo para la Aplicación del D.S. N° 594/99 del MINSAL, Título IV, Párrafo 3° Agentes Físicos – Vibraciones, 2012, en el cual se define a la vibración como “movimiento oscilatorio de las partículas de los cuerpos sólidos. 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”. Este enfoque, permitirá relacionar directamente una vibración (valor) con un límite máximo permisible.

**Artículo 84: En la exposición a vibraciones se distinguirá la exposición segmentaria del componente mano-brazo o exposición del segmento mano-brazo y la exposición de cuerpo entero o exposición global.**

Pese a que cuando hablamos de vibración estamos hablando de un solo agente, dependiendo de por dónde ingresa la vibración al cuerpo, éste se subdivide en 2 grupos claramente definidos. En primer lugar, tenemos las vibraciones de cuerpo entero (CE) que afectan al cuerpo como un todo, es decir cuando ingresan por los pies (para trabajadores de pie), por las nalgas y los pies y la espalda (para trabajadores sentados) y para trabajadores que pudiesen realizar su actividad en forma acostada. En el segundo caso, las vibraciones del segmento mano – brazo (MB), que se presentan cuando este agente ingresa al cuerpo por el segmento MB, es decir cuando un trabajador está operando una maquina o herramienta sostenida o en contacto por las manos. En este caso, las vibraciones afectan principalmente al tren superior, entendiéndose que dichas vibraciones no necesariamente afectarán al cuerpo como un todo.

Pese a que la vibración de CE y MB, corresponden al mismo agente, la estrategia de evaluación de la exposición cambia por completo en cada caso. Es decir, evaluar una u otra exposición (CE o MB), hace que los límites máximos permisibles, los criterios de acción, las curvas de ponderación frecuencial, los tiempos de medición, los transductores, etc., sean diferentes.

Las diversas características cualitativas de exposición en los puestos de trabajo, se traducen en que podemos encontrar trabajadores sólo con exposición a vibraciones CE (trabajador de pie frente a un chancador o harnero vibratorio), trabajadores sólo con exposición a vibraciones MB (operador de un esmeril angular) y, ocasionalmente trabajadores con ambos tipos de exposición (trabajador transportado en una embarcación que además se expone a herramientas o dispositivos manuales vibratorios).

Por ende, considerando la relevancia de estos conceptos para la comprensión de la exposición, en una modificación al Decreto se deberían agrupar en un solo artículo, estos términos relevantes, respecto de que es la vibración y cuáles son los tipos de exposición:

*Artículo: Para los efectos del presente reglamento se entenderá por vibración ocupacional como cualquier movimiento o fuerza mecánica oscilante, continua o intermitente, que afecta al hombre en el trabajo, y que se transmite al organismo humano a través de estructuras sólidas y receptores distintos al oído*

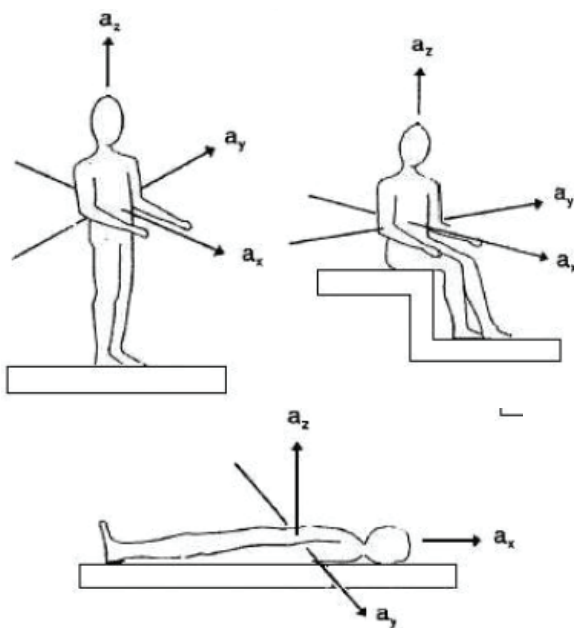
*En la exposición diaria a vibraciones se distinguirá la exposición de cuerpo entero y exposición del sistema mano-brazo.*

*Se entenderá por exposición de cuerpo entero a aquella vibración mecánica que, cuando se transmite a todo el cuerpo, conlleva riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores.*

*Se entenderá por exposición de mano – brazo a aquella vibración mecánica que, cuando se transmite al sistema humano de mano y brazo, supone riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores.*

## 2.1 EXPOSICION DE CUERPO ENTERO

**Artículo 85:** En la exposición a vibraciones globales o de cuerpo entero, la aceleración vibratoria recibida por el individuo deberá ser medida en la dirección apropiada de un sistema de coordenadas ortogonales tomando como punto de referencia el corazón, considerando:



**Figura 1:**  
**Eje Z (Az) de pies a cabeza; Eje X (Ax) de la espalda a pecho; Eje Y (Ay) de derecha a izquierda.**

En este artículo se presenta cuáles son las direcciones a considerar a la hora de evaluar la vibración de CE, de acuerdo a la dirección apropiada de un sistema de coordenadas ortogonales tomando como punto de referencia el corazón. En este sentido, las evaluaciones deben ser realizadas considerando los 3 ejes ortogonales, donde se define que el eje Z va de pies a cabeza (y de cabeza a pies), el eje Y de hombro a hombro y el eje X de espalda a pecho (y de pecho a espalda). Esto también define que el adaptador de medición que se utilice para medir la vibración de CE, en esos 3 ejes ortogonales, debe permitir efectuar la medición sin sufrir modificaciones direccionales relativas al trabajador durante la medición, manteniendo las direcciones de referencia establecidas. Esta información crítica en una nueva modificación debería mantenerse.

**Artículo 86:** Las mediciones de la exposición a vibración se deberán efectuar con un sistema de transducción triaxial, con el fin de registrar con exactitud la aceleración vibratoria generada por la fuente, en la gama de frecuencias de 1 Hz a 80 Hz.

La medición se deberá efectuar en forma simultánea para cada eje coordenada (az, ax y ay), considerándose como magnitud el valor de la aceleración equivalente ponderada en frecuencia (Aeq) expresada en metros por segundo al cuadrado (m/s<sup>2</sup>).

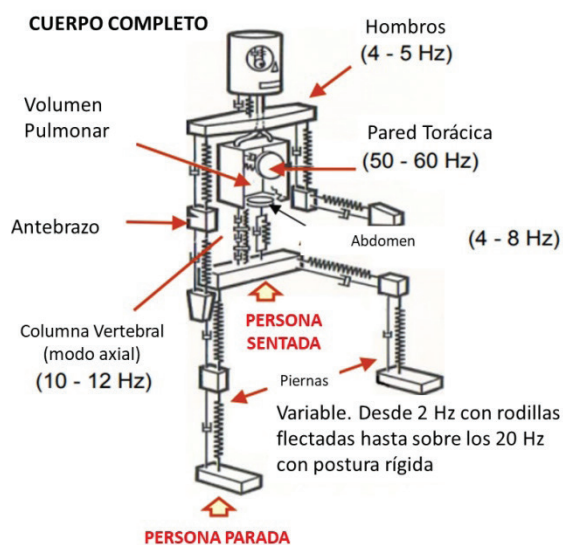
Como se comentó en el análisis del artículo 85, las mediciones de la exposición a vibración se deberán efectuar con un sistema de transducción triaxial para medir los 3 ejes (X, Y y Z) en forma simultánea. Es decir, el equipo de medición debe contar con transductores o acelerómetros integrados o separados para la medición y procesamiento de cada eje de manera independiente, según las ponderaciones o respuesta particular del cuerpo humano o segmento. Por este motivo, se usará un sistema de coordenadas (sistema basicéntrico) originado en un punto por el que las vibraciones entran en el cuerpo (Ver figura 1).

Otra de las características importantes de la vibración es la frecuencia que, dependiendo de ella, será la parte del cuerpo susceptible de ser afectada en la exposición. En este sentido, la vibración en determinadas frecuencias no causará necesariamente la percepción del agente y/o una condición de riesgo en la salud laboral. Específicamente para la exposición a vibración de CE, el rango de frecuencias donde se podría producir un problema de salud en el trabajador es entre 1 Hertz (Hz) y 80 Hz. Es decir, fuera de este rango, independiente del valor de exposición y del tiempo, no se ha comprobado la manifestación de afectaciones o patologías en los trabajadores. Además, este rango de frecuencias señalado, establece el intervalo de operación del medidor y transductores.

Para evaluar los riesgos derivados de la exposición a la vibración en las personas, la medida de la aceleración debe reflejar la forma en que el trabajador percibe la vibración y qué parte del cuerpo podría verse afectada, es decir, considerar sus frecuencias de resonancia. Este fenómeno ocurre cuando se apli-

ca al cuerpo o segmento una fuerza periódica cuya frecuencia coincide con la frecuencia natural de vibración del cuerpo o segmento, amplificándose la vibración resultante.

En la figura N°2 se puede apreciar el modelo mecánico del cuerpo humano (sistema masa – resorte), donde se indican algunos de los rangos de frecuencia por órgano o parte del cuerpo humano sensible a la vibración. Esto se traduce en la necesidad de que el medidor de vibraciones entregue un valor de exposición representativo de la respuesta humana al agente. Por esto, en la norma ISO 8041:2005 “Human response to vibration measuring instrumentation”, se definen diferentes filtros de ponderación de frecuencia de la vibración que permiten a los equipos de medición simular la respuesta humana a las vibraciones. Estos filtros tienen como función amplificar y/o atenuar las vibraciones en diferentes rangos de frecuencias, ponderando la señal vibratoria de acuerdo al potencial impacto en el cuerpo humano. En esta norma se definen las curvas de ponderación frecuencial, filtros por tipo de exposición (CE y MB) y por eje. Específicamente para CE en la dirección del eje Z se establece la ponderación  $W_k$  y para el eje X e Y la ponderación  $W_d$ . Este aspecto crítico no es señalado en el DS N° 594, por lo que una modificación de éste deberá contener esta especificación.



**Figura 2:**  
modelo mecánico del cuerpo humano.

Cuando el cuerpo humano está en contacto con una fuente vibratoria, éste es desplazado con respecto a su posición (estacionaria) de referencia. El desplazamiento es, por tanto, un parámetro que se puede utilizar para describir la magnitud de una vibración. Sin embargo, las vibraciones también pueden describirse mediante parámetros como velocidad y aceleración.

Las normas ISO asociadas a la medición de vibraciones humanas (ISO 2631-1 para CE e ISO 5349-1 para MB) establecen que la aceleración eficaz o rms ponderada  $a_w$  en  $m/s^2$  es el parámetro utilizado para medir la vibración, ya que éste está relacionado con el contenido energético de la vibración. En forma posterior, y para la generación de la Directiva Europea 2002/44/CE, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones), este parámetro fue ratificado como principal indicador para evaluar la exposición a vibración y su correlación con un posible daño.

Además, para sacar un cuerpo de reposo y hacerlo vibrar se debe aplicar una fuerza, pero medir dicha fuerza es complejo en esas condiciones de exposición. Por eso, utilizando la segunda ley de Newton, que señala que la fuerza neta aplicada sobre un objeto es directamente proporcional a la aceleración que éste adquiere en su trayectoria (un cuerpo acelera cuando se le aplica una fuerza para moverlo), cuando se posiciona el acelerómetro en la interfaz de la superficie que vibra y el cuerpo, la masa se vuelve despreciable y con esto nos queda que la fuerza será proporcional a la aceleración.

Cuando se usa un acelerómetro para medir vibraciones, la señal que éste entrega (que es una variación de voltaje o carga eléctrica), es directamente proporcional a la aceleración, de la cual, además, se puede obtener la velocidad y el desplazamiento vibratorio mediante la integración de la señal. En resumen, el descriptor  $a_w$ , nos entrega un valor en  $m/s^2$  que es representativo de la integración (o suma) de valores fluctuantes de aceleración, adaptado mediante los filtros de frecuencia a la respuesta del cuerpo humano al agente.

Por todos estos motivos, es importante que la actualización del DS 594 se siga estableciendo que la vibración debe medirse con la aceleración equivalente ponderada en frecuencia ( $A_{eq}$ ).



**Artículo 87: La aceleración equivalente ponderada en frecuencia (Aeq) máxima permitida para una jornada de 8 horas por cada eje de medición, será la que se indica en la siguiente tabla:**

| Eje de Medición | Aeq Máxima Permitida [m/s <sup>2</sup> ] |
|-----------------|--|
| Z               | 0,63                                     |
| X               | 0,45                                     |
| Y               | 0,45                                     |

**Tabla N°1:**

*Aceleración máxima permitida por eje de medición, para 8 horas.*

Este artículo establece, mediante la tabla N°1, cuál es la Aeq máxima permitida para una jornada de 8 horas por cada eje de medición. En este contexto, lo primero que debemos analizar es que en dicha tabla se establece el valor máximo permitido, pero para una jornada de 8 horas, dando a entender que en las 8 horas de jornada laboral estará el agente presente en el puesto de trabajo. En este sentido, el tiempo asociado a la jornada laboral no es relevante, ya que lo que importa es el Tiempo de Exposición (Te), el cual se define como el tiempo durante el cual un trabajador está expuesto al agente y eso no ocurre, generalmente, durante toda la jornada laboral. Por ende, no es correcto que dicho artículo hable de jornada laboral, ya que debería asociar la Aeq con el “Te” que es lo que interesa evaluar.

Respecto de la tabla, ésta relaciona por cada eje de medición, el valor máximo permitido para las 8 horas de “Te”, estableciendo para estos tiempos los valores máximos de exposición (aceleraciones equivalentes ponderadas en frecuencia) los cuales son 0,63 m/s<sup>2</sup> para el eje Z y los 0,45 m/s<sup>2</sup> para el eje X e Y. Estos valores, al ser límites máximos permisibles, pueden llegar a ser igualados, pero no pueden ser superados, ya que en ese caso se entenderá que no se cumple con lo establecido en el DS N° 594/99 del MINSAL, y dicha exposición se calificaría como con riesgo de adquirir una patología laboral.

**Artículo 88: Aceleraciones equivalentes ponderadas en frecuencia diferentes a las establecidas en el artículo 87 se permitirán siempre y cuando el tiempo de exposición no exceda los valores indicados en la siguiente tabla:**

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

**Tabla N°2:**

*Aceleración máxima permitida por eje de medición, para distintos Tiempos de Exposición.*

En primer lugar, y en contraposición a lo señalado en el artículo 87, aquí se señala que “Aceleraciones equivalentes ponderadas en frecuencia diferentes a las establecidas en el artículo 87, se permitirán siempre y cuando el tiempo de exposición...”, es decir, corrige lo asociado a jornada laboral incorporando el concepto de Tiempo de Exposición, estableciendo que, para un determinado “Te”, existirá una determinada aceleración equivalente máxima permitida por eje de medición. Como se puede apreciar en la Tabla N°2, para distintos tiempos de exposición existirán distintos límites permisibles por cada eje de medición, condicionando esto a que una variable crítica que debe ser determinada en la medición, es el “Te” ya que éste

definirá los límites que no deben ser superados.

El otro factor importante a considerar de la tabla N°2 es que a mayor tiempo de exposición menor será el límite permisible. Por ende, ya que cada una de estas filas representa un límite independiente, podemos inferir que cada uno de estos (correlacionando el tiempo de exposición y ese valor límite) es la misma exposición. Es decir, si tenemos un trabajador expuesto a una  $A_{eq}$  de  $3,0 \text{ m/s}^2$  durante 0,5 horas en el eje Z, y tenemos otro trabajador expuesto a  $0,53 \text{ m/s}^2$  durante 11 horas en el eje Z, dichas exposiciones serán iguales. Por ende, cada una de las filas de la tabla de este artículo representa exposiciones iguales (equivalentes) por cada eje.

Respecto de su interpretación para poder establecer el cumplimiento del DS 594, se requiere conocer el "Te" y los valores de  $A_{eq}$  por eje de medición. Por ejemplo, si tenemos un trabajador expuesto a  $1,71 \text{ m/s}^2$  en el eje Z con un "Te" de 2 horas, para evaluar el cumplimiento se debe establecer el límite que, para un Te de 2 horas en el eje Z, nos da un valor de  $1,61 \text{ m/s}^2$ . Este límite es superado por el valor de  $A_{eq}$  que es de  $1,71 \text{ m/s}^2$ , lo que se traduce en que dicho trabajador está expuesto a vibraciones ocupacionales con riesgo de contraer una patología laboral.

Además, un aspecto que limita la evaluación de la exposición a CE es que esta tabla es solo válida para tiempos de exposición menores o iguales a 12 horas, por lo que para Te mayores el DS 594 no cuenta con estos límites, es decir no se pueden abordar todos los escenarios de exposición que se pueden presentar para este agente en este tipo de exposición.

Otro aspecto importante de la tabla N°2 es que los límites para los ejes X e Y son inferiores (menos permisivos) respecto del eje Z. Esto se da por el hecho de que nuestro cuerpo evolucionó para soportar la acción de la gravedad en la dirección del eje Z (exposición de pies a cabeza y de cabeza a pies), traduciéndose esto en que los límites son mayores o más permisivos. La relación que existe entre los límites de X e Y respecto del Z es de 1,4, es decir los límites del eje Z son 1,4 veces mayores o más permisibles, ya que la columna presenta mayor resistencia a las fuerzas de compresión Z que las fuerzas de corte en las direcciones perpendiculares a la columna en los ejes X e Y, independiente de la posición. Además, se observa que los límites para el eje X e Y son iguales, lo que se

traduce en que el riesgo es similar para ambos ejes.

Por otro lado, los límites que se presentan en este artículo fueron obtenidos de la norma ISO 2631-1 en su versión del año 1985, señalando límites por banda de octava desde 1 Hz a 80 Hz, los que fueron procesados para obtener límites en banda ancha. De dicha norma se puede establecer que los límites presentados en la tabla N°2 para el eje Z, corresponde a los límites de la banda de frecuencia de octava de 16 Hz. Respecto de los límites presentados para los ejes X e Y, estos corresponden a los presentados para la banda de 4 Hz. Un factor importante de considerar es que estos límites, los de la banda de 4 Hz (ejes X e Y) y 16 Hz (eje Z), no representan los límites más permisibles, ni los menos permisibles, respecto de otras bandas de frecuencia (entre 1 Hz y 80 Hz), por lo que se desconoce cuál fue el criterio considerado para su establecimiento en nuestro país. Además, como se indicó en el párrafo anterior, estos límites son válidos solo para esas bandas de frecuencia y no para valores en banda ancha. Por lo tanto, utilizar los límites de la norma ISO 2631-1 de 1985 de una banda de frecuencia específica no sería un límite válido cuando la exposición contiene múltiples frecuencias dentro del rango de interés de la evaluación.

Por todo esto, los límites del DS 594 deben actualizarse a valores validados y usados internacionalmente. En este caso se propone usar como referencia los valores límites establecidos en la Directiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. En dicha Directiva se establece un valor límite de exposición diaria normalizado para un período de referencia de 8 horas, para los tres ejes y para cualquier tiempo de exposición, el cual es  $1,15 \text{ m/s}^2$ .

Esta directiva señala que la evaluación del nivel de exposición a las vibraciones se basa en el cálculo de la exposición diaria  $A(8)$ , expresada como la aceleración efectiva para un período de 8 horas, calculada de las aceleraciones ponderadas en frecuencia determinadas según los tres ejes ortogonales ( $1,4a_{wx}$ ,  $1,4a_{wy}$ ,  $a_{wz}$ , para un trabajador sentado o de pie), de conformidad con lo señalado en la norma ISO 2631-1. Específicamente, esta norma establece que para la evaluación de las vibraciones de CE se requiere el "Te" y la  $a_w$  medida por cada eje. Además, los valores de  $a_w$  medidos en el eje X e Y se multiplican por un factor de 1,4 para igualarse con el eje Z. Luego, esos valores se

normalizan a 8 horas obteniendo con esto la aceleración equivalente normalizada a 8 horas representativa de la exposición del trabajador, la cual finalmente se compara con el límite establecido en la Directiva.

Por lo tanto, en una modificación al decreto se debería señalar:

*Artículo: para cada uno de los ejes coordinados, a partir de la aceleración equivalente ponderada en frecuencia medida en el puesto de trabajo, se deberá calcular la aceleración equivalente normalizada a 8*

*horas ( $a_{eq,CE}(8)$ ), a partir de la siguiente fórmula:*

$$a_{eq,CE}(8) = k a_{eq,w} \sqrt{\frac{T_e}{T_0}}$$

**Ecuación 1:**  
**Aceleración equivalente normalizada a 8 horas.**

Donde:

$a_{eq,CE}$ : aceleración r.m.s. ponderada en frecuencia, en  $m/s^2$ , representativa de la exposición del trabajador y que es entregada por el instrumento de medición de vibraciones, en cada una de las tres direcciones ortogonales X, Y, y Z.

$T_e$ : Es el tiempo de exposición a la vibración  $a_{eq,w}$

$T_0$ : Es el tiempo de exposición de referencia, 8 horas.

$k$ : es un factor multiplicador.

Para vibraciones en la dirección horizontal (Ejes X e Y), el factor  $k = 1,4$ . Para vibraciones en la dirección vertical (Eje Z), el factor  $k = 1$ .

Artículo: la aceleración equivalente normalizada a 8 horas máxima permitida, para cada uno de los ejes, es  $1,15 [m/s^2]$

**Artículo 89: Cuando en una medición de la exposición a vibraciones de cuerpo entero los valores de Aeq para cada eje no superan los límites establecidos en el artículo 88, se deberá evaluar el riesgo global de la exposición a través de la aceleración equivalente total ponderada en frecuencia (AeqTP). Para tales efectos sólo se considerarán los valores de Aeq similares, entendiéndose como tales los que alcancen el 60% del mayor valor medido.**

El cálculo de la AeqTP se realizará mediante la siguiente fórmula:

$$AeqTP = \sqrt{(1,4 \times A_{eqx})^2 + (1,4 \times A_{eqy})^2 + (A_{eqz})^2}$$

**Ecuación 2:**  
**aceleración equivalente total ponderada en frecuencia**

**AeqTP = Aceleración equivalente total ponderada.**

**Aeqx = Aceleración equivalente ponderada en frecuencia para el eje X.**

**Aeqy = Aceleración equivalente ponderada en frecuencia para el eje Y.**

**Aeqz = Aceleración equivalente ponderada en frecuencia para el eje Z.**

**El valor obtenido no deberá superar los límites máximos permitidos para el eje Z establecidos en el artículo 88.**

Este artículo establece que, si una vez medidos los valores de exposición estos no superan los límites establecidos en el artículo 88 para los 3 ejes, se debe evaluar el riesgo global de la exposición a través de la aceleración equivalente total ponderada en frecuencia (AeqTP). Para esto se debe tomar el mayor valor medido de Aeq independiente del eje, y se deben considerar solo aquellos con valores de Aeq "similares", es decir, aquellos que tengan (alcancen o superen) el 60% del mayor valor medido. Para ello

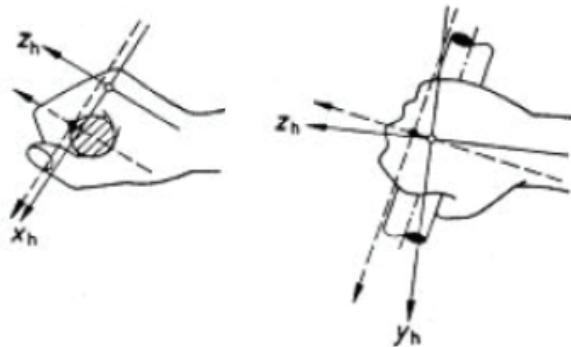
se debe usar la ecuación N° 2 donde se transforman las 3 Aeq medidas por eje a un solo valor global. En esta ecuación los valores medidos en el eje X e Y se ponderan con un valor de 1,4 de forma de equiparar dichos valores a la exposición del eje Z.

La ecuación N° 2 fue planteada por primera vez en los TLV's (Threshold Limit Values) de la Asociación de Higienistas Industriales de EEUU, donde los límites están presentados en función de los espectros de frecuencia o espectros límites. En este documento se señala que, si en el proceso de evaluación, las aceleraciones ponderadas totales son similares, el movimiento combinado de los tres ejes podría ser mayor que cualquiera de los componentes y, posiblemente, afecte la salud del trabajador. En ese caso pueden (no es obligatorio) ser usados dichos valores para calcular la suma del vector de la aceleración ponderada total o el valor total de la aceleración  $A_v$  o AeqTP (definida de acuerdo a la ecuación 2). Esta ecuación, según TLV's, se usa principalmente para evaluar el desempeño o confort y no el daño en la salud. Por este motivo, no es correcto que dicha ecuación esté en el decreto y en una modificación futura este artículo debería ser derogado.

## 2.2 DE LA EXPOSICION SEGMENTARIA DEL COMPONENTE MANO – BRAZO.

**Artículo 90:** En la exposición segmentaria del componente mano-brazo, la aceleración originada por una herramienta de trabajo vibrátil deberá medirse en tres direcciones ortogonales, en el punto donde la vibración penetra en la mano.

Las direcciones serán las que formen el sistema biodinámico de coordenadas o el sistema basicéntrico relacionado, que tenga su origen en la interface entre la mano y la superficie que vibra, considerando:



**Figura N°3:**  
**Eje Z (Zh) Corresponde a la línea longitudinal ósea; Eje X (Xh) perpendicular a la palma de la mano; Eje Y (Yh) en la dirección de los nudillos de la mano.**

En este artículo se presenta, en la figura N°3, cuáles son las direcciones a considerar a la hora de evaluar la vibración del segmento MB, de acuerdo a la dirección de un sistema biodinámico de coordenadas o el sistema basicéntrico relacionado, que tenga su origen en la interfaz entre la mano y la superficie que vibra, considerando los 3 ejes ortogonales. En la figura, se define que el eje X va perpendicular a la palma de la mano, el eje Y va en la dirección de los nudillos de la mano y el eje Z es el correspondiente a la línea longitudinal ósea. Además, se hace hincapié en ambos párrafos que la medición debe efectuarse en el punto donde la vibración penetra la mano, es decir en la interfaz de contacto entre la mano y la superficie que vibra. Esta información crítica en una nueva modificación debe mantenerse. Finalmente, la medición en forma simultánea en los 3 ejes, requiere el uso de 3 acelerómetros integrados o montados de manera independiente por medio de un adaptador o acoplador ubicado en la interfaz de contacto, adecuados a los ejes de referencia sin que los acelerómetros tengan modificaciones direccionales relativas a la mano del trabajador durante la medición, manteniendo las direcciones de referencia establecidas.



**Artículo 91: Las mediciones de la exposición a vibraciones se efectuarán con un transductor pequeño y de poco peso, con el fin de registrar con exactitud la aceleración vibratoria generada por la fuente, en la gama de frecuencias de 5 Hz a 1500 Hz.**

**La medición se deberá efectuar en forma simultánea en los tres ejes coordenadas (Zh, Xh e Yh), por ser la vibración una cantidad vectorial.**

**La magnitud de la vibración se expresará para cada eje coordinado por el valor de la aceleración equivalente ponderada en frecuencia, expresada en metros por segundo al cuadrado ( $m/s^2$ ) o en unidades de gravitación (g).**

Como se señaló en el análisis del artículo 86, según sus componentes de frecuencia, no todas las vibraciones generarían algún tipo de daño o patología en el cuerpo. Específicamente para la exposición a vibración de MB el rango de frecuencias de interés donde se puede producir un problema de salud o patología en el trabajador es entre 5 Hz y 1500 Hz. Es decir, bajo ese valor mínimo y sobre ese valor máximo de frecuencia, independiente de la aceleración o del Te, no se producirán afectaciones o patologías en los trabajadores. Como este es el rango de frecuencias de interés a evaluar, el método de evaluación de la exposición debe ser el señalado en la norma ISO 5349-1:2001 el cual se basa en una medición de vibraciones utilizando la ponderación frecuencial Wh, la cual explica el hecho que, diferentes frecuencias de vibración representan diferentes sensibilidades del cuerpo, y que el riesgo está dado por la amplitud de la vibración ponderada.

En este artículo también se señala que las mediciones de la exposición a vibración se deberán efectuar con un sistema de transducción triaxial para medir los 3 ejes (X, Y y Z) en forma simultánea. Es decir, el equipo de medición debe contar con un transductor integrado o tres independientes, usualmente acelerómetros y un adaptador apropiado, que se ubique en la interfaz entre la mano y el objeto vibrante.

Finalmente, y tal como se indica para la exposición a CE, la vibración MB debe ser medida con el

descriptor aceleración equivalente ponderada en frecuencia, el cual nos entrega un valor representativo de la exposición en el puesto de trabajo a medir en  $m/s^2$ .

Por todo lo señalado, es importante que en la actualización del DS 594 se mantenga lo establecido en este artículo.

**Artículo 92: La aceleración equivalente máxima, medida en cualquier eje, constituirá la base para efectuar la evaluación de la exposición a vibraciones del segmento mano-brazo y no deberá sobrepasar los valores establecidos en la siguiente tabla:**

| Tiempo de Exposición (T)<br>(horas) | Aceleración Vibratoria Máxima |      |
|-------------------------------------|-------------------------------|------|
|                                     | ( $m/s^2$ )                   | (g)* |
| $4 < T \leq 8$                      | 4                             | 0,40 |
| $2 < T \leq 4$                      | 6                             | 0,61 |
| $1 < T \leq 2$                      | 8                             | 0,81 |
| $T \leq 1$                          | 12                            | 1,22 |

**Tabla N°3:**  
(g)\* = 9,81  $m/s^2$  (aceleración de gravedad)

La tabla N°3 nos presenta la Aceleración Vibratoria Máxima (en  $m/s^2$  y [g] aceleración de gravedad) dependiendo del tiempo de exposición en el puesto de trabajo. En este sentido, los parámetros de vibración se miden en unidades métricas, de acuerdo a los requerimientos del Sistema Internacional de Unidades (SI). Si bien, la constante de aceleración gravitatoria “g” es aún usada, se encuentra fuera del sistema métrico internacional.

En la tabla también se aprecia que los límites están en función de intervalos de tiempos de exposición, es decir que, por ejemplo, para tiempos de exposición que varíen entre las 4 y 8 horas la Aceleración Vibratoria Máxima no debe superar los 4  $m/s^2$ ; o que para tiempos de exposición que varíen entre

las 2 y 4 horas, la Aceleración Vibratoria Máxima no debe superar los 6 m/s<sup>2</sup>. Si analizamos este escenario, esta tabla nos señala que es lo mismo estar expuesto durante 4 horas a 4 m/s<sup>2</sup>, que estar expuesto durante 8 horas a 4 m/s<sup>2</sup>, lo que evidentemente no es lo mismo. El tiempo de exposición es (como en muchos agentes) directamente proporcional a la exposición. Además, un aspecto que limita la evaluación de la exposición a MB, es que esta tabla es solo válida para tiempos de exposición menores o iguales a 8 horas, por lo que para  $T_e$  mayores, el DS 594 no cuenta con estos límites, es decir, no se consideran todos los escenarios que se pueden presentar para este agente en este tipo de exposición.

Esta tabla fue planteada en los TLV's (Threshold Limit Values) de la Asociación de Higienistas Industriales de EEUU, ya que históricamente, debido a la escasez de información del lugar de trabajo, las normas y directrices para la vibración MB, se basaban principalmente en datos subjetivos (entumecimiento, dolor, malestar, etc.) para la evaluación de la exposición y no en patologías. Luego en los años 90, con base en diversos trabajos científicos, se plantearon los límites de la tabla N°3, respecto de combinaciones de aceleración ponderadas en frecuencia, rms, de componentes y duraciones de exposición, a la cual se cree que casi todas las personas pueden estar expuestas repetidamente sin efectos adversos persistentes en la salud. Por lo tanto, esta tabla se basó en estudios epidemiológicos de trabajadores expuestos ocupacionalmente a vibraciones en los rubros forestal, metalúrgico y minero. Finalmente, en los TLV's se señala que estos límites deben usarse solo como guía en el control de la exposición a vibraciones y no debe considerarse como una línea fina entre exposiciones seguras y peligrosas.

Por ende, los límites del DS 594 se deben actualizar a valores validados y usados internacionalmente. En este caso se propone nuevamente, usar como referencia los valores límites establecidos en la Directiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. En dicha directiva se establece un valor límite de exposición diaria normalizado para un período de referencia de 8 horas, para los tres ejes y para cualquier tiempo de exposición el cual es 5 m/s<sup>2</sup>. Esta directiva señala que la evaluación del nivel

de exposición a la vibración transmitida al sistema MB, se basa en el cálculo del valor de exposición diaria, normalizado para un período de referencia de 8 horas, A(8), expresada como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (valor total) de los valores eficaces de aceleración ponderada en frecuencia, determinados según los ejes ortogonales ahwx, ahwy y ahwz, como se define en la norma ISO 5349-1 para vibración MB.

Por lo tanto, en una modificación al decreto se debería señalar:

*Artículo: para cada uno de los ejes coordenados, a partir de la aceleración equivalente ponderada en frecuencia medida en el puesto de trabajo, se deberá calcular la aceleración equivalente normalizada a 8 horas ( $a_{eq,MB}(8)$ ), a partir de la siguiente fórmula:*

$$a_{eq,MB}(8) = a_{eq,w} \sqrt{\frac{T_e}{T_0}}$$

### **Ecuación 3:**

*Aceleración equivalente normalizada a 8 horas.*

Donde:

$T_e$  : Es el tiempo de exposición a la vibración  $a_{eq,w}$

$T_0$  : Es el tiempo de exposición de referencia, 8 horas.

$a_{eq,w}$  : aceleración r.m.s. ponderada en frecuencia, en metros por segundo cuadrado [m/s<sup>2</sup>], representativa de la exposición del trabajador. Se determina de acuerdo a la siguiente ecuación

$$a_{eq,w} = \sqrt{a_{eq,x}^2 + a_{eq,y}^2 + a_{eq,z}^2}$$

**Ecuación 4:**

Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados por eje normalizada a 8 horas.

Donde:

$a_{eq,x}$ ,  $a_{eq,y}$ ,  $a_{eq,z}$ : son los valores de aceleración r.m.s. ponderada en frecuencia, en  $m/s^2$ , representativa de la exposición del trabajador y que es entregada por el instrumento de medición de vibraciones, en cada una de las tres direcciones ortogonales X, Y, y Z.

Artículo: la aceleración equivalente normalizada a 8 horas máxima permitida, para cada uno de los ejes, es 5 [ $m/s^2$ ]

**Artículo 93: Si la exposición diaria a vibración en una determinada dirección comprende varias exposiciones a distintas aceleraciones equivalentes ponderadas en frecuencia, se obtendrá la aceleración total equivalente ponderada en frecuencia, a partir de la siguiente ecuación:**

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

**Ecuación 5:**

**Aceleración equivalente normalizada a 8 horas.**

**T = Tiempo total de exposición.**

**(Aeq)<sub>i</sub> = Aceleración equivalente ponderada en un determinado periodo de exposición.**

**T<sub>i</sub> = Duración del periodo de exposición a una determinada (Aeq)<sub>i</sub>**

La ecuación N° 5 permite obtener la Aceleración Total Equivalente Ponderada en Frecuencia cuando tenemos más de una exposición (por utilizar más de una maquinaria o herramienta), considerando la Aceleración equivalente ponderada para un determinado periodo de exposición con su respectivo tiempo. Con esto, el decreto entrega una ecuación que permite obtener un valor global para todo el tiempo de exposición a partir de los niveles medidos por actividad con sus respectivos tiempos. Un aspecto a considerar es que, pese a que este artículo está asociado para exposición a vibraciones MB, esta ecuación se puede utilizar tanto para exposiciones de CE como de MB (ejemplo de cálculo se pueden revisar en el anexo 2 del protocolo de vibraciones). Finalmente, en una modificación al decreto esta ecuación se debería mantener.

**Artículo 94: El tiempo total de exposición (T) a una aceleración total equivalente ponderada en frecuencia (Aeq(T)), no deberá exceder los valores señalados en el artículo 92.**

En este artículo se indica que una vez determinado la aceleración total equivalente ponderada en frecuencia Aeq(T), los valores obtenidos deben compararse con los límites señalados en la tabla del artículo 92 dependiendo del tiempo de exposición.

#### 4. OTROS ASPECTOS A CONSIDERAR.

Tal como se señaló en el análisis del artículo 86° y artículo 91° el DS N° 594 no define cuales son las curvas de ponderación frecuencial que deben usarse por eje de medición en la evaluación de las vibraciones CE y MB. En este sentido, debemos considerar que las ponderaciones frecuenciales son curvas que representa la sensibilidad humana a vibraciones en función de la frecuencia, para una determinada dirección de exposición. Una futura modificación del DS debe considerar señalar en forma explícita estas ponderaciones de acuerdo a lo que se muestra en la tabla 4 de a continuación:

*Artículo: En el ámbito de la evaluación de la exposición a vibraciones ocupacionales se consideran las ponderaciones en frecuencia que se indican en la siguiente tabla:*

| 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°4:**

*Ponderaciones frecuenciales*

Además, considerando que el criterio preventivo debe primar en la evaluación de este agente, es importante que una propuesta de modificación establezca aspectos relacionados con la implementación de métodos de control o métodos preventivos de forma de que, si se determina la superación del límite y, por ende, se establece que en un puesto de trabajo hay un trabajador expuesto con riesgo de enfermarse, se implementen las medidas de control que eliminen o disminuyan dicho riesgo. En este escenario, en una modificación del DS 594 se debería indicar:

*Artículo: Cuando los resultados de una evaluación de la exposición a vibraciones en el ambiente de trabajo demuestren que han sido excedidos los valores que se establecen como límites máximos permi-*

*tidos, el empleador deberá implementar medidas de control de acuerdo a la siguiente jerarquía:*

- *Medidas Ingenieriles en la fuente u origen, o en el camino de propagación.*
- *Medidas administrativas que disminuyan la exposición a vibraciones.*
- *Elementos de Protección Personal.*

En cualquier caso, el empleador será responsable de que los trabajadores realicen su trabajo en condiciones que no impliquen riesgo para su salud.

Finalmente, y considerando la importancia que revierten los equipos de medición de vibraciones para obtener un valor representativo de la exposición, es relevante que en una modificación al decreto se indiquen exigencias metrologías (que el DS N° 594 no señala), ya sea por medio de directrices explícitas o por medio de la generación de documentos de referencia que realiza el Instituto de Salud Pública de Chile, tal como se indica en el documento de referencia "Requerimientos para la Mantención y Calibración de la Instrumentación utilizada en la Evaluación de la Exposición a Vibración de los Trabajadores en sus lugares de trabajo". Este aspecto metrológico no debe estar ausente en una modificación al cuerpo legal que reglamente las vibraciones ocupacionales en el país.



## 5. CONCLUSIONES

El decreto supremo N°594/99 del MINSAL es el reglamento que establece los límites máximos permitidos, y desde el año 1999, se transformó en la base legal para la evaluación de vibraciones y la realización de vigilancia ambiental. Teniendo en cuenta el tiempo transcurrido desde su oficialización y considerando la aparición de nuevas normativas técnicas y de referencia, así como metrológicas en materia de vibraciones ocupacionales, y considerando todos los aspectos críticos que no se señalan en éste, se hace necesario una actualización por parte del Ministerio de Salud, respecto de lo establecido en dicho decreto, en un proceso que considere la participación entre otros actores del Instituto de Salud Pública desde su labor como Laboratorio Nacional y de Referencia en Vibraciones Ocupacionales.

Como se presentó en la Nota Técnica, cada uno de los artículos del D.S. 594 deberían ser revisados para la generación de una propuesta de modificación que esté acorde con las nuevas tecnologías y nuevos marcos regulatorios internacionales.

## 6. REFERENCIAS

- ACGIH. 2016 TLVs and BEIs: Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents. American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2016. 250 p. (Signature publications).
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, editor. Aspectos ergonómicos de las vibraciones [Internet]. INSST; 2014. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/96076/Aspectos+ergonomicos+de+las+vibraciones.pdf/97befb6a-7ca4-4fee-bf01-58104c1aed1b>
- Council of the European Union, European Parliament. Directiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones) (decimosexta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE), CELEX1 [Internet]. Publications Office of the European Union; dic 11, 2008 p. 8. Disponible en: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5ba13e4f-90ba-4c1f-b0bf-507cdc724356/language-es>
- Ministerio del trabajo y previsión social, Subsecretaría de previsión social. Establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales [Internet]. Ley 16744 feb, 1968 p. 38. Disponible en: <https://bcn.cl/2ut5k>
- Gómez-Cano M. Evaluación de las vibraciones de cuerpo completo sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento [Internet]. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo; 2007 p. 6. (Notas técnicas de prevención). Report No.: 784. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/327740/784+.pdf/858e2c0f-07a9-49ec-895f-5fd82fcd3449>
- Senovilla LP. Exposición a vibraciones mecánicas [Internet]. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo; 2009 p. 6. (Notas técnicas de prevención). Report No.: 839. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/328096/839+web.pdf/eeab2c72-7d28-41f5-879c-eaf9a133270e>

- International Organization for Standardization (ISO). Human response to vibration—Measuring instrumentation. 8041-1:2004. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2004.
- Brüel P, Kjær V. Human Vibration [Internet]. Denmark: Brüel & Kjær; 1989. 32 p. Disponible en: <https://www.bksv.com/~media/literature/Pri-mers/br056.ashx?%20la=en>
- International Organization for Standardization. ISO 2041:1990 Vibration and shock Vocabulary [Internet]. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 1990 [citado 12 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/6818.html>
- International Organization for Standardization. ISO 2631-1:1997 Mechanical vibration and shock Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part 1: General requirements. ISO; 1997.
- International Organization for Standardization. ISO 5349-1:2001 Mechanical vibration Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration Part 1: General requirements. 2001.
- International Organization for Standardization. ISO 8041-1:2017 Human response to vibration Measuring instrumentation Part 1: General purpose vibration meters. 2017.
- Ramírez SVP. Medición y evaluación de la exposición a vibraciones causadas por labores mineras [Internet] [PhD Thesis]. [Valdivia]: Universidad Austral de Chile; 2010 [citado 12 de diciembre de 2023]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcih882m/doc/bmfcih882m.pdf>
- Instituto de Salud Pública de Chile. Protocolo para la Aplicación del D.S. No 594/99 del MIN-SAL, Título IV, Párrafo 3o Agentes Físicos – Vibraciones [Internet]. Fontecilla H, editor. Disponible en: [https://www.ispch.cl/sites/default/files/PROTOCOLO\\_VIBRACIONES\\_FINAL.pdf](https://www.ispch.cl/sites/default/files/PROTOCOLO_VIBRACIONES_FINAL.pdf)
- Ministerio de Salud C. Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo [Internet]. Decreto 594 abr 29, 2000 p. 64. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile>
- Sánchez-Guardamino R, Martínez M. Vibraciones: Aplicación práctica del método de puntos de exposición a puestos de trabajo variables [Internet]. Madrid: INSST; 2021. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/566858/NTP%201164%20Vibraciones%20Aplicacion%20practica%20del%20m%C3%A9todo%20de%20puntos%20de%20exposicion%20a%20puestos%20de%20trabajo%20variables%20-%20A%C3%B1o%202021.pdf>
- de la Iglesia A. Vibraciones: vigilancia de la salud en trabajadores expuestos [Internet]. Madrid: INSST; 2013. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp-963w.pdf/8437f251-05d3-49c5-8a0a-242cb709c905?version=1.0&t=1617978011187>
- International Organization for Standardization (ISO). Vibration and shock: Vocabulary 2041:1990. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 1990.