

Proyecto de Investigación P0169-2014

Determinación de la Transmisibilidad de guantes anti-vibración y su efecto en la exposición ocupacional de mano-brazo para herramientas del rubro construcción.

Investigador: Alonso Carrillo Mayorga
Ingeniero Acústico, Diplomado en Ergonomía, Máster en Higiene Industrial.

Co-investigador: René Prado León.
Especialista Senior Ingeniería Ocupacional

FUNDACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA - ACHS

Este proyecto fue realizado con el financiamiento de la Asociación Chilena de Seguridad, a través de la Fundación Científica y Tecnológica, FUCYT.

INDICE

INDICE	2
RESUMEN	5
1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS	8
2.1 OBJETIVOS GENERALES:	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	8
3. ANTECEDENTES.	9
3.1 EFECTO DE LA VIBRACIÓN DE MANO-BRAZO EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES.	9
3.2 FACTORES QUE AFECTAN LA EXPOSICIÓN DE UN OPERADOR DE HERRAMIENTA MANUAL ENERGIZADA.	12
3.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE VIBRACIÓN HUMANA.	14
3.4 MEDICIONES EFECTUADAS EN OPERADORES DE HERRAMIENTAS MANUALES.	15
3.5 EVALUACION DE LA EXPOSICION A VIBRACION	17
3.5.1 DECRETO SUPREMO Nº594/1999 Y PROTOCOLO DE APLICACIÓN DEL INSTITUTO DE SALUD PUBLICA.	17
3.2.5 DIRECTIVA 2002/44/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO.	19
3.6 HERRAMIENTAS MANUALES QUE OCASIONAN RIESGO PARA LA SALUD EN EL RUBRO CONSTRUCCIÓN.	20
3.7 GUANTES ANT-IVIBRACIÓN	22
3.7.1 TRANSMISIBILIDAD DE UN GUANTE	22
3.7.2 DISEÑO DE GUANTES ANTI-VIBRACIÓN.	23
3.7.3 NORMA ISO 10819:2013	24
3.7.4 TRANSMISIBILIDAD PONDERADA COMBINADA TRhv.	27
4. MATERIAL Y MÉTODO.	28
4.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS.	28
4.2. GUANTES UTILIZADOS.	31
4.3 INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA EN TERRENO.	35

4.5. MONTAJE DE LA INSTRUMENTACIÓN PARA REALIZAR MEDICIONES Y CALIBRACIÓN DE TERRENO.	35
4.5.1 DIAGRAMAS DE DIRECCIONES X-Y-Z PARA LA UBICACIÓN DEL ACELERÓMETRO EN CADA TIPO DE HERRAMIENTA.	37
4.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TRANSMISIBILIDAD.	39
4.7. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DEL OPERADOR.	40
5. RESULTADOS	41
5.1 ACELERACION VIBRATORIA EN LA MANO CON Y SIN GUANTES.	41
5.2 TRANSMISIBILIDAD DE GUANTES.	41
5.3 RESPECTO A LA EXPOSICIÓN DEL OPERADOR.	46
5.3.1 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN SEGÚN D.S.N°594/1999.	46
5.3.2 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN SEGÚN DIRECTIVA 44/2002/CE	48
6. ANÁLISIS	50
6.1 ACELERACION VIBRATORIA EN LA MANO CON Y SIN GUANTE.	50
6.2. TRANSMISIBILIDAD DE LOS GUANTES EN ESTUDIO.	54
6.2.1 Sonda Vibratoria de Hormigón.	55
6.2.2 Esmeril Angular 4.5''	56
6.2.3 Esmeril Angular 7''	57
6.2.4 Martillo Demoledor	59
6.2.5 Taladro Percutor	60
6.2.6 Sierra Circular.	61
6.3 EFECTO DE LA TRANSMISIBILIDAD DE LOS GUANTES EN LA EXPOSICIÓN DEL OPERADOR.	62
6.3.1. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN SEGÚN D.S.N°594/1999	62
6.4 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN SEGÚN DIRECTIVA 44/2002/CE.	66
6.4.1 Sonda Vibradora de Hormigón	66
6.4.2 Esmeril Angular 4.5'	67
6.4.3 Esmeril Angular 7'	67
6.4.4 Martillo Demoledor	68
6.4.5 Taladro Percutor	68
6.4.6 Sierra Circular	69
6.4.7 TRANSMISIBILIDAD PONDERADA COMBINADA.	69
7. CONCLUSIONES	70
7.1 TRANSMISIBILIDAD DE LOS GUANTES	70
7.2 DESEMPEÑO DE GUANTES POR HERRAMIENTA.	71
7.3 RELACION DE LA TRANSMISIBILIDAD Y LA EXPOSICIÓN DEL OPERADOR.	72

7.2.1 RESPECTO A LA EXPOSICION D.S. N°594.	73
7.2.2 RESPECTO A LA EXPOSICION 2002/44/CE.	74
8.- RECOMENDACIONES	76
9.- REFERENCIAS	78

RESUMEN

En el siguiente trabajo se estudió la reducción de vibración que proporcionan cuatro guantes anti-vibración en terreno, por medio de la función de transmisibilidad, acotada al rango de sensibilidad humana a la vibración entre 5Hz a 1250Hz según ISO5349-1:2001 y expresada según la norma 10819:2013, cuando se utilizan con seis tipos de herramientas de uso común en el rubro de la construcción, junto con estudiar el efecto de la reducción de vibración de los guantes en la exposición del operador, según el D.S.N°594/1999 de Chile y Directiva 2002/44/CE de la comunidad europea.

En el eje Z y para el rango de frecuencia medio, 25 Hz a 200 Hz, los guantes presentaron una transmisibilidad promedio de 0.93, superior al valor 0.9 de referencia ISO 10918:2013, abarcando el 52.4% de los casos, mientras que para el rango de frecuencia alto, 200Hz a 1250Hz, se superó el valor esperado de 0.6 en un 79.2 % de los casos con una transmisibilidad promedio de 0.79. Para el rango de frecuencia bajo, 5Hz a 25Hz, la transmisibilidad fue mayor a uno o amplificada en un 87.5% de los casos, con un valor promedio de 1.11.

Para el eje Y, en el rango de frecuencia medio, los guantes presentaron transmisibilidad promedio de 1.16, amplificándose la vibración. Comparando con el criterio de la norma ISO10819:2013, se supera el valor de 0.9 en un 79.2% de los casos, observándose que no solo en el eje Z es relevante la transmisión de vibración de un guante para la disminución de la exposición ocupacional. En el eje X, la vibración medida fue la menos significativa, con una transmisibilidad de 0.78 para el rango medio y 0.63 en el rango de alta frecuencia.

No se encontró una relación entre los valores de transmisibilidad calculados, $TRM_{(25Hz-200Hz)}$ y $TRH_{(200Hz-1250Hz)}$ de ISO1089:2013, y la exposición de mano-brazo del trabajador obtenida, debido a que esta información sólo se propone para el eje

Z o dirección perpendicular a la palma de la mano, comprobándose que pueden presentarse amplitudes y transmisibilidades significativas de vibración en direcciones distintas al eje Z, particularmente en el eje Y. Por otro lado las transmisibilidades de laboratorio difieren de las obtenidas en terreno, por ser las últimas dependientes del espectro de frecuencia de cada herramienta.

Pese a lo anterior, la transmisibilidad ponderada $TRW_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$ de un guante en cada eje de exposición y obtenida en terreno, permite obtener la reducción de la exposición del operador en cada eje, indicador particularmente útil en el proceso de evaluación del riesgo del D.S. N°594. Adicionalmente y propuesto como el indicador adecuado para relacionar la reducción de un guante con la exposición del operador de una herramienta, es la Transmisibilidad Ponderada Combinada $TRhv(5\text{Hz}-1250\text{Hz})$ que compara la vibración triaxial en la mano (vector de salida), respecto a la vibración triaxial proporcionada por la herramienta (vector de entrada), representando la reducción de la energía vibratoria proporcionada por un guante, siendo este mismo indicador el que puede señalar la reducción de la exposición ocupacional en el contexto de la Directiva 2002/44/CE.

Palabras claves: Vibración de mano-brazo, exposición a la vibración, ISO5349-1, herramientas manuales, ISO10819:2013.

1. INTRODUCCIÓN

La vibración es uno de los factores que puede ocasionar trastornos musculoesqueléticos de la extremidad superior por el uso de herramientas manuales energizadas y los guantes anti-vibración pueden constituirse como un elemento de protección para el control de la exposición al agente, sin embargo, se debe conocer su característica de reducción para, de manera anticipada y con el conocimiento de las características vibratorias de las herramientas, prevenir una exposición que implique riesgo para la salud.

Según el Protocolo para la Aplicación del DS N°594 del Instituto de Salud Pública de Chile y la Norma Internacional ISO 5349, se define la vibración de mano-brazo como *“..la vibración mecánica que, cuando se transmite al sistema humano de mano y brazo, supone riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular: problemas vasculares, de huesos o de articulaciones, nerviosos o musculares. La transmisión de la vibración al sistema mano–brazo, usualmente sucede a 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”* [1].

La necesidad de evaluar y controlar la exposición ocupacional a vibración de mano brazo, a nivel internacional se encuentra en una temprana etapa de desarrollo e implementación (desde 2005 en la Comunidad Europea), y en nuestro país la información para efectuar prevención de enfermedades debido a este agente, es escasa.

En la actualidad y entre los recursos para el control de la exposición a vibración de mano-brazo, se comercializan elementos de protección personal para reducir vibración, “guantes anti-vibración”, los que señalan cumplir con la normas ISO 10819:2013 o ANSI S2.73-2014 sobre “Medición y Evaluación de la Transmisibilidad de guantes en la Palma de la Mano”, normas que se ejecutan en Laboratorio, en condiciones controladas y sin utilizar herramientas manuales [2].

Considerando que el control de la exposición de los trabajadores, es la clave para evitar que se superen los límites preventivos y legales de salud, este trabajo aportará antecedentes para que profesionales de prevención puedan seleccionar y asignar de manera informada guantes anti-vibración, cuando se conoce la característica de emisión de las herramientas manuales, y la reducción del guante declarada por su fabricante.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERALES:

Determinar la transmisibilidad de guantes anti-vibración en terreno, utilizando como fuente herramientas utilizadas en el rubro construcción, determinando su efecto en la exposición ocupacional del operador.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Caracterizar y analizar la reducción de vibración de guantes anti-vibración en terreno por medio de la medición y cálculo de su transmisibilidad.
- Analizar la exposición ocupacional según D.S.N°594/1999.
- Analizar la exposición ocupacional según DIRECTIVA 2002/44/CE.
- Determinar la relación entre la transmisibilidad del guante y la exposición de mano-brazo del trabajador.
- Formular recomendaciones en la selección y uso de guantes anti-vibración cuando se usan con herramientas de rubro construcción.

3. ANTECEDENTES.

3.1 EFECTO DE LA VIBRACIÓN DE MANO-BRAZO EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES.

Los Trastornos Musculoesqueléticos (TME) son problemas de salud que afectan al aparato locomotor, que incluye músculos, tendones, articulaciones, ligamentos, esqueleto y nervios [3].

Se reconoce que la etiología de los TME es multifactorial, y en general se consideran cuatro grandes grupos de riesgo que son: factores individuales, factores ligados a las condiciones de trabajo, factores organizacionales y los factores ambientales, donde están la temperatura, **vibración**, entre otros [4].

Según la estadística de enfermedades profesionales de ACHS entre el año 2000 y 2011, el conjunto de los Trastornos Musculoesqueléticos de la Extremidad Superior (TMEES), ocupan el primer lugar entre todas las enfermedades profesionales acogidas. Por otra parte, de manera individual, la enfermedad profesional que ocupa el segundo lugar entre todas las enfermedades profesionales, luego de la “disfonía”, corresponde a “tenosinovitis y/o tendinitis de mano y/o muñeca”.

Para el Canadian Centre for Occupational Health and Safety CCOHS, *“la tendinitis es el término utilizado para describir una inflamación de los tendones. Los tendones son estructuras similares a cuerdas hechas de fibras fuertes, lisas y tensas. Con actividades repetitivas o prolongadas, esfuerzos excesivos, posturas incómodas y estáticas, **vibración** y tensión mecánica localizada, las fibras de los tendones pueden soltarse de la misma forma en que una cuerda se deshilacha [5].*

Por otra parte indica *“La tenosinovitis es una inflamación de la vaina del tendón. Las paredes interiores de la vaina producen líquido sinovial que lubrica el tendón. Con actividades repetitivas o prolongadas, esfuerzos excesivos, posturas*

*incómodas y estáticas, las **vibraciones**, y el esfuerzo mecánico localizado, el sistema de lubricación puede funcionar inadecuadamente [5].*

La Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo, señala respecto a las pruebas epidemiológicas de los TMEES: *“varios estudios sobre niveles muy altos de exposición a factores de riesgo (físicos) biomecánicos (repetición, fuerza, posturas, y **vibraciones**) han revelado una relación positiva entre los trastornos musculoesqueléticos y el trabajo” [6].*

En el año 2003, el Diario Oficial de la comunidad Europea publicó el documento 2003/670/CE [7], relativo a la “lista europea de enfermedades profesionales” para que los países miembros homologuen la clasificación y origen, disposiciones legislativas, derechos de indemnización , etc., “relativas a las enfermedades cuyo origen profesional se ha reconocido científicamente, que pueden dar lugar a indemnización y que deben ser objeto de medidas preventivas, listado que a las vibraciones de mano-brazo asigna los siguientes códigos:

“505.01 Enfermedades osteoarticulares de manos y muñecas producidas por las vibraciones mecánicas”.

“505.02 Enfermedades angio-neuríticas producidas por las vibraciones mecánicas”.

Por otra parte, la Lista de Enfermedades Profesionales de la OIT (revisada en 2010), indica: *“la lista refleja los últimos avances en la identificación y el reconocimiento de las enfermedades profesionales. Incluye una serie de enfermedades profesionales reconocidas internacionalmente, desde enfermedades causadas por agentes químicos, físicos y biológicos hasta enfermedades de origen respiratorio y de la piel, trastornos del sistema osteomuscular y cáncer profesional”.* En el numeral 1.2 de la lista Agentes Físicos, se señala:

“1.2.2. Enfermedades causadas por vibraciones (trastornos de músculos, tendones, huesos, articulaciones, vasos sanguíneos periféricos o nervios periféricos)”.

Además de ocupar los primeros lugares de frecuencia en las patologías de origen ocupacional, los trastornos musculoesqueléticos están relacionados con altos índices de ausentismo laboral y altos costos en la atención de salud tanto a nivel público como privado. A esto se suma un importante problema de sub-diagnóstico y sub-notificación en el sistema de salud ocupacional, debido en gran medida a la escasa capacitación de los equipos de salud en estas materias, y que estos eventos sólo se reconocen cuando producen incapacidad indemnizable (MINSAL).

Si se toma como referencia la población general, la incidencia de los trastornos musculoesqueléticos puede llegar a ser de 3 a 4 veces más alta en algunos sectores productivos, como la industria manufacturera, la industria de procesamiento de alimentos, la minería, la construcción, los servicios de limpieza, la pesca y la agricultura (Álvarez- Casado, E.) [8].

Las personas expuestas a vibración de mano-brazo, pueden sufrir, en el largo plazo, perturbaciones del flujo sanguíneo de los dedos y de las funciones neurológicas y locomotoras de la mano y brazo. El término “Síndrome de vibración de mano-brazo” se usa para referirse a estos desórdenes complejos.

Trabajadores expuestos a vibración de mano-brazo, pueden presentar episodios de blanqueamiento de los dedos, usualmente gatillado por exposición a frío. Este síntoma, es causado por la disminución o cierre temporal de flujo sanguíneo hacia los dedos.

Se han utilizado varios términos para describir los desordenes vasculares inducidos por vibración:

- Muerte de dedo blanco.
- Fenómeno de Raynaud's de origen ocupacional.
- Dedos blancos inducidos por vibración.

Inicialmente, el blanqueamiento envuelve el extremo de uno o varios dedos, pero, con reiteradas exposiciones a vibración, el blanqueamiento puede extenderse a la base de éstos. Cuando el flujo sanguíneo retorna a los dedos (provocado con calor o masaje) éstos se tornan de color rojo, a menudo acompañado de dolor. El blanqueamiento se produce con más frecuencia en invierno que en verano. La duración del episodio o ataque, varía con la intensidad del estímulo vibratorio, desde unos pocos minutos a más de una hora.

Si la exposición a vibración continúa, el blanqueamiento ataca con mayor frecuencia afectando a la mayoría de los dedos. Los ataques pueden manifestarse con leves disminuciones de temperatura, pudiendo con el transcurso del tiempo, producir una completa pérdida de la sensación táctil y de la destreza de manipulación, lo que puede interferir con la actividad laboral incrementando el riesgo de lesiones agudas debido a accidentes.

Estudios epidemiológicos han demostrado que la probabilidad y severidad del blanqueamiento es influenciado por las características de la exposición, la duración de ésta, el tipo de herramienta y el proceso de trabajo, las condiciones ambientales (temperatura, flujo de aire, humedad, ruido), algunos factores biodinámicos (apriete con fuerza, empujar con fuerza, posición del brazo) y varias características individuales (susceptibilidad individual, enfermedades y agentes como fumar y medicamentos que afectan la circulación periférica) [9].

3.2 FACTORES QUE AFECTAN LA EXPOSICIÓN DE UN OPERADOR DE HERRAMIENTA MANUAL ENERGIZADA.

Existen diversos factores que participan e influyen en la exposición a vibraciones cuando se utiliza una herramienta manual energizada, como lo son la fuerza de agarre de la mano, constitución del operador, habilidad de uso, duración de trabajo

y tiempo de exposición efectivo entre otros factores, que afectan directamente en el comportamiento del sistema mano-brazo. En la Tabla 1, se indican algunos de los factores relacionados con los efectos de la exposición al agente de riesgo [10].

Tabla 1.- Factores potenciales relacionados a los efectos perjudiciales en la salud por exposición a vibraciones de mano-brazo.

Características de vibración	Herramientas y procesos	Condiciones de exposición	Condiciones ambientales	Características individuales
Magnitud (rms, peak, ponderada)	Tipo	Duración (diaria, semanal, anual)	T° ambiente	Método de trabajo
Frecuencia	Diseño	Patrón de exposición	Humedad	Estado de Salud
Dirección (X-Y-Z)	Condición	Acumulación de exposición	Ruido	Entrenamiento
	Operación		Respuesta dinámica sistema mano-brazo	Habilidad
	Material a tratar		Impedancia Mecánica	Uso de guantes
			Transmisibilidad	Susceptibilidad
			Energía Absorbida.	

Debido a la constitución biodinámica del sistema mano-brazo las vibraciones por debajo de los 50 Hz se transmiten con poca atenuación en este segmento, siendo

reducidas de manera significativa en el codo, dependiendo de su ángulo de flexión.

Para frecuencias de vibración superiores a 50 Hz, la transmisibilidad de la mano disminuye progresivamente y entre los 150 Hz y 200 Hz, disipándose gran parte de la energía en los tejidos de las manos y los dedos. Por este fenómeno se infiere que estas frecuencias pueden ser responsables de las afecciones a nivel de los dedos y manos, mientras que las bajas frecuencias podrían estar relacionadas con lesiones de muñeca, codo y hombro [11].

3.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE VIBRACIÓN HUMANA.

El instrumento a utilizar se denomina “medidor de vibración humana”, y debe cumplir con la normativa ISO 8041:2005 [12], mostrándose en la Figura 1 una imagen del medidor (1), su acelerómetro (2), acoplador (3), y montaje de éste (4)(5). Debe ser capaz de obtener el índice Aceleración Equivalente Ponderada en Frecuencia a_{eq} para distintas condiciones de exposición a vibración, entre otros indicadores.

El acelerómetro triaxial se instala en la interface entre la mano del trabajador y la herramienta o elemento en vibración. La técnica usual de medición consiste en usar un dispositivo acoplador, plástico o similar, cuya dimensión, forma y rigidez se encuentran optimizadas para no aportar con una respuesta propia de vibración durante las mediciones.

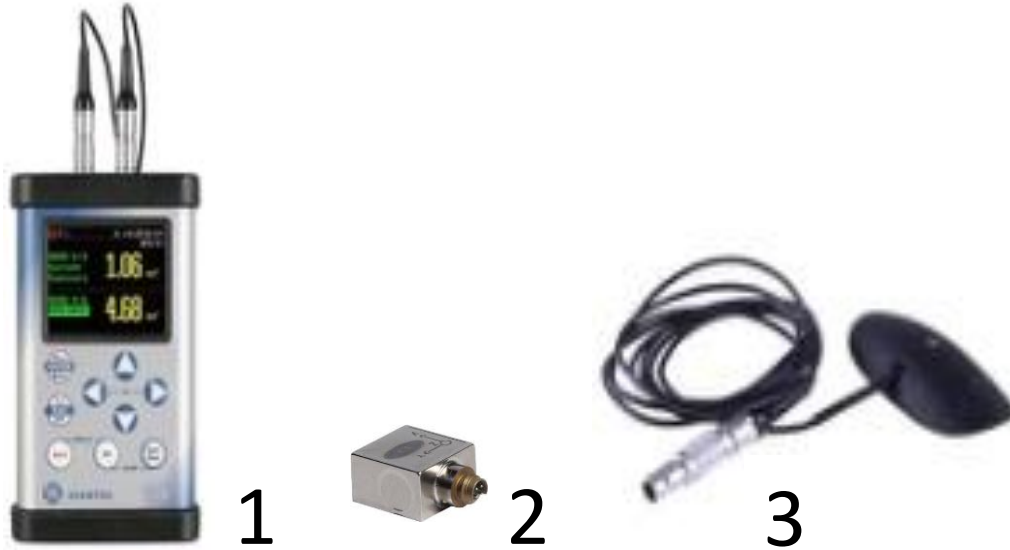


Figura 1.- Medidor de Vibración Humana ISO 8041 (1), acelerómetro triaxial (2) y acoplador de palma (3), para medición de la exposición de mano-brazo.

La instrumentación debe estar calibrada y, además, se recomienda utilizar una fuente de vibración de referencia para ajustar la cadena de medición antes de efectuar la toma de muestras.

3.4 MEDICIONES EFECTUADAS EN OPERADORES DE HERRAMIENTAS MANUALES.

Una revisión efectuada entre los años 1999 y 2007, de la base de mediciones realizadas por el autor en la Asociación Chilena de Seguridad, muestra que el promedio de los tiempos de exposición para los distintos giros de las empresa evaluadas, es de 3.6 horas efectivas, obtenido de un total de 221 mediciones, considerando todos los giros y tipos de herramientas manuales energizadas (Ver Tabla 2).

Si se selecciona el grupo de empresas relacionadas con el rubro de la construcción, donde habría presencia de las herramientas seleccionadas para este estudio (ver Capítulo 4), el promedio del tiempo de exposición es de aproximadamente 4 horas, tiempo que será el utilizado para simular la exposición típica de un operador que se expondría a la vibración de las herramientas manuales seleccionadas.

Tabla 2.- Tiempos de exposición promedio de trabajadores a herramientas manuales energizadas en empresas de diferentes Giros.

Giro de la Empresa	Promedio de Tiempo de Exposición (horas)	Casos Medidos
Aserraderos	2,8	8
Comercio al por menor	0,9	4
Construcción*	2,9	28
Construcción de Maquinaria, Aparatos*	4,2	19
Elaboración de carrocerías para camiones y camionetas	3,6	5
Elaboración de Puertas	5,5	6
Elaboración insumos para la industria química	2,0	5
Equipos Industriales e Ingeniería de Procesos*	4,0	2
Extracción de Minerales Metálicos*	2,7	49
Fabricación de Productos Metálicos*	6,0	5
Hilado, Tejido y Acabado de Textil	4,0	17
Industrias Básicas de Metales*	4,0	1
mantención, control y reparación de neumáticos en la gran minería	1,0	12
produce y comercializa repuestos de acero fundido para la minería	5,8	9
Producción de bolas de acero para molienda de minerales	4,2	21

Giro de la Empresa	Promedio de Tiempo de Exposición (horas)	Casos Medidos
Silvicultura	5,5	17
Transporte y Carrocería*	4,6	7
(en blanco)	6,0	2
Total General	3,6	221

3.5 EVALUACION DE LA EXPOSICION A VIBRACION

3.5.1 DECRETO SUPREMO Nº594/1999 Y PROTOCOLO DE APLICACIÓN DEL INSTITUTO DE SALUD PUBLICA.

La legislación Chilena establece que la evaluación de la exposición laboral a vibraciones de mano-brazo se efectuará según indica el Decreto Supremo Nº594, artículos 90º al 94º, que plantean el indicador de medición y evaluación, aceleración equivalente ponderada en frecuencia (a_{eq}), como los Límites Máximos Permisibles según el tiempo de exposición, los que se muestran en la Tabla 3, para cualquier eje de exposición.

Tabla 3 .- Límites Máximos Permisibles de exposición mano-brazo, según el D.S. Nº 594.

Tiempo exposición (T) hrs.	Límite Máximo Permissible de Aceleración Vibratoria (m/s²)
4 < T ≤ 8	4
2 < T ≤ 4	6
1 < T ≤ 2	8
T ≤ 1	12

Los ejes de medición y exposición, son los mismos señalados en la normativa internacional de referencia ISO5349-1, los que se muestran en la Figura 2.

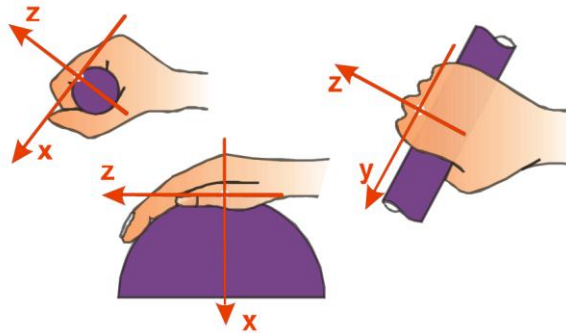


Figura 2.- Ejes coordenados de exposición a vibración de mano-brazo.

El Instituto de Salud Pública de Chile, en Diciembre del año 2012, publicó el documento “Protocolo para la aplicación del D.D. N°594/99 del MINSAL, Título IV, Párrafo 3º Agentes Físicos – Vibraciones”, documento que establece la metodología para identificar, medir y evaluar la exposición a vibración de un trabajador en su puesto de trabajo, documento basado en la norma internacional ISO 5349-1 [19].

Para determinar la exposición a vibraciones de mano-brazo del trabajador, 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 equivalente ponderada en frecuencia (a_{eq}), utilizando la ponderación en frecuencia W_h para todos los ejes. Los tres valores de a_{eq} en las respectivas direcciones, deberán corresponder al mismo evento de vibración que se está estudiando.

Independiente del tipo de vibración, se deberá estar atento a la medición, de forma de considerar todos los eventos que aportan a la exposición, según un estudio previo o análisis de las tareas desarrolladas por el trabajador.

3.2.5 DIRECTIVA 2002/44/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO.

El año 2002 se publicó la directiva 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, norma que se encuentra implementada de manera obligatoria desde el año 2005 para los países miembros de la comunidad europea.

El indicador de medición es la aceleración vibratoria RMS ponderada por el filtro de mano de la norma ISO 5349-1, la que se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$a_{hw} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_{hw}^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

donde:

$a_{hw}(t)$ = Es la aceleración vibratoria en la mano ponderada en función del tiempo en m/s^2 .

T = Es el tiempo de la medición en segundos.

Para evaluar la exposición, se utilizará el valor total de vibración a_{hv} , considerando la vibración RMS en cada eje de la vibración X, Y y Z, mediante la fórmula siguiente:

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

Finalmente, se efectúa la proyección de la vibración medida a_{hv} , a un valor de Exposición Diaria Normalizada a 8 horas, como lo indica la expresión (3).

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{Te}{8}} \quad (3)$$

donde:

Te = Tiempo de exposición efectivo (h).

La directiva 2002/44/CE, establece el Límite de Exposición en 5 m/s^2 y un valor de 2.5 m/s^2 como el Límite de Acción o Valor de Exposición que da Lugar a una Acción, en función del indicador $A(8)$ señalado [13].

3.6 HERRAMIENTAS MANUALES QUE OCASIONAN RIESGO PARA LA SALUD EN EL RUBRO CONSTRUCCIÓN.

En la Guía de Buenas Prácticas sobre Vibración de Mano-Brazo de la comunidad Europea, publicada en su versión V7.7 del año 2006 [14], se muestra un conjunto de herramientas manuales que exponen a vibración a trabajadores de todos los rubros, incluyendo un rango de amplitudes de exposición como el que se muestra en la Figura 3. El objetivo de esta guía es establecer la metodología de identificación del peligro vibración de mano-brazo y la cuantificación de la exposición de manera normalizada. Las mediciones efectuadas para elaborar esta referencia, fueron obtenidas en lugares de trabajo por el HSL¹ y el INRS² entre los años 1997 y 2005.

¹ Health and Safety Laboratory, www.hsl.gov.uk, UK.

² Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, www.inrs.fr.

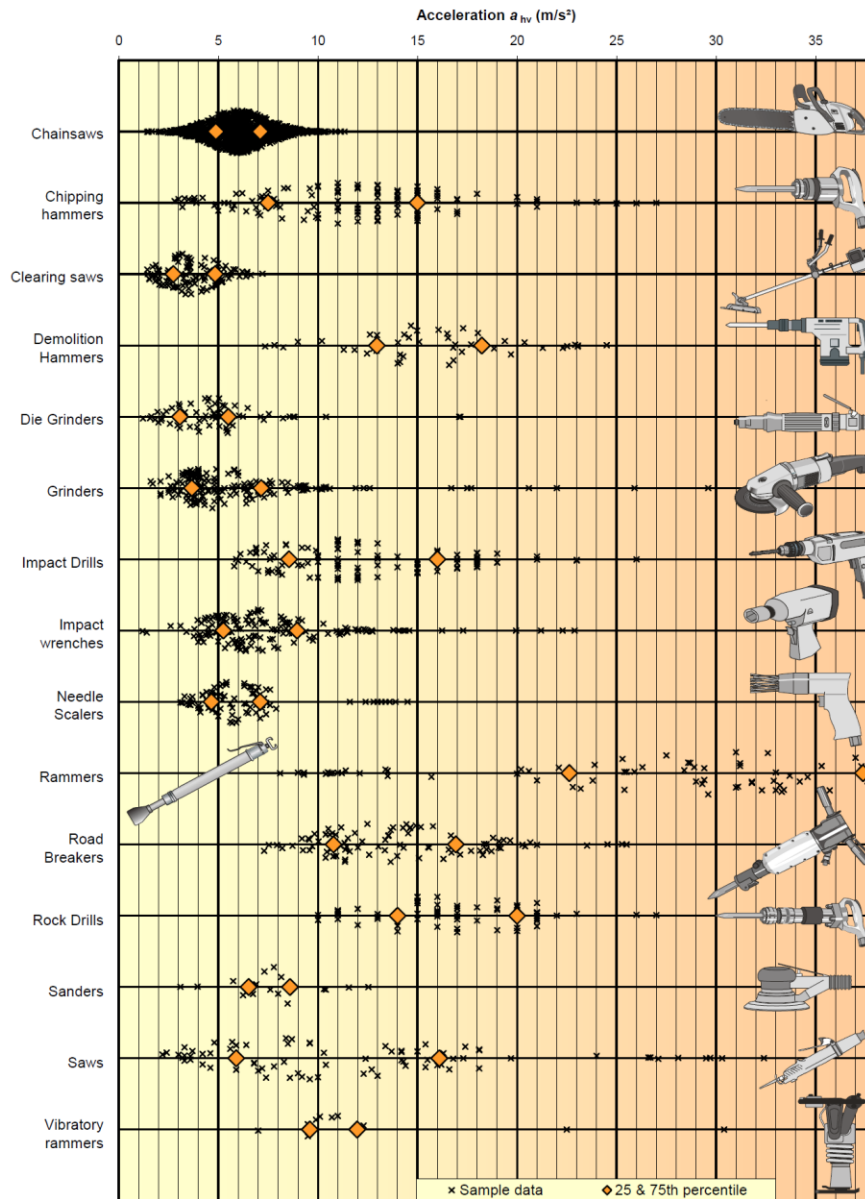


Figura N°3.- Ejemplo de la Magnitud de vibraciones para herramientas manuales comunes.

Según el Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, en su Nota Técnica N°963 [15], sobre vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos, cuando se describe la situación de exposición que ocasiona casos de enfermedad profesional, particularmente afecciones vasculares y osteoarticulares, señala que

éstos se relacionan con vibraciones transmitidas a la mano y al brazo por gran número de máquinas o por objetos mantenidos sobre una superficie vibrante (rango de frecuencia de 25 a 250 Hz), como son aquellos en los que se manejan maquinarias que transmitan vibraciones, como ***martillos neumáticos, punzones, taladros, taladros a percusión, perforadoras pulidoras, esmeriles, sierras mecánicas, desbrozadoras, como también la utilización de remachadoras y pistolas de sellado.***

Según la Health and Safety Executive HSE, y la Union for workers in the Construcción Industry UCATT de Inglaterra [16] [17], el riesgo de enfermedad profesional se produce por el uso prolongado de herramientas como *rompedores de pavimento, sondas vibratoras y máquinas compactadoras, lijadoras y esmeriles, taladros percutores, martillo demoledor, escareadores, entre otros.*

3.7 GUANTES ANT-IVIBRACIÓN

3.7.1 TRANSMISIBILIDAD DE UN GUANTE

La magnitud a la cual la vibración es transmitida desde un punto de entrada a uno de salida, es descrita por la transmisibilidad. Esta medida puede ser expresada en función de la frecuencia, bandas de tercio de octava o rangos de frecuencia determinados, como se señala en la norma ISO10819-2013 [2].

La transmisibilidad del guante, cuando éste se utiliza con una herramienta manual, estará determinada por la razón de la vibración ponderada en la palma de la mano y la vibración ponderada medida en la empuñadura de la herramienta [18], siendo la ponderación la correspondiente a filtro wh de ISO 5349-1:2001 [19].

Desde el punto de vista del operador de la herramienta manual, la transmisibilidad corresponde a la fracción de la vibración que se transmite, desde la empuñadura de la herramienta hacia la mano del operador.

Cada tipo de guante, por su forma, materiales, masa, etc., tendrá una respuesta particular o “natural” ante la vibración, la que puede ser caracterizada por medio de una función de transmisibilidad en función de la frecuencia o en rangos de frecuencia determinados, medio o alto, según su desempeño.

La mano también se constituye como un sistema mecánico, con una respuesta propia o natural ante las vibraciones, por lo tanto, posee su propia función de transmisibilidad que está representada en la norma internacional ISO 5349-1.

Cuando los dos sistemas mano – guante se combinan, el efecto resultante puede ser una reducción de la vibración hacia la mano o una amplificación de ésta si los dos sistemas se acoplan o entran en resonancia en una frecuencia determinada.

Por lo anterior, se busca un cuidado y optimizado diseño de los guantes anti-vibración para minimizar la transmisión de energía mecánica hacia la mano, generando una relación “optimizada” de los sistemas mano-guante para conseguir la menor amplitud de movimiento posible.

3.7.2 DISEÑO DE GUANTES ANTI-VIBRACIÓN.

Los guantes anti vibración tienen un material flexible de cuero suave, o un material cubierto de nitrilo en las almohadillas de la palma de la mano y las de los dedos en conjunto con un material elástico. En la mayoría de los casos puede ser un material visco-elástico de múltiples capas con texturas o impresiones como se muestra en la figura 4 [20].



Figura 4 : Algunos diseños para guante anti vibración.

Otra variable en cuanto al diseño implica amortiguar la vibración con cámaras de aire a modo de almohadillas. En este caso el guante obtiene sus propiedades de amortiguamiento solo cuando sus almohadillas están infladas, caso contrario, el guante puede ser usado de manera normal pero pierde sus capacidades de amortiguamiento. Esta variante de composición por cámaras de aire hace usualmente al guante mucho más ligero que uno con revestimiento visco-elástico.

Esencialmente, el material y la estructura del mismo son responsables de las propiedades de amortiguamiento [20].

3.7.3 NORMA ISO 10819:2013

Esta norma internacional especifica un método de medición en laboratorio, el análisis de datos y el informe de la transmisibilidad de la vibración de un guante con un material que reduce la vibración cubriendo la palma, los dedos y el pulgar de la mano. Además, especifica la transmisibilidad de la vibración en términos de vibración transmitida desde una empuñadura a través de un guante a la palma de la mano en bandas de frecuencia de un tercio de octava con frecuencias centradas entre 25 Hz a 1250 Hz.

El procedimiento de medición especificado en esta norma internacional se puede usar también para medir la transmisibilidad del material que está siendo evaluado para usarse al cubrir la empuñadura de una máquina o para su uso potencial en un guante. Sin embargo, los resultados de este ensayo no se pueden usar para

certificar que un material usado para cubrir una empuñadura, cumple los requisitos de esta norma internacional para ser clasificado como un cubrimiento anti-vibratorio. Un material ensayado de esta manera podría ser puesto más tarde en un guante, sin embargo, el guante necesita ser ensayado de acuerdo al procedimiento de medida de esta norma y necesita cumplir con los requisitos de desempeño de atenuación de la vibración de esta norma para ser clasificado como un guante anti-vibración.

La norma fue publicada en 1996 pero ha sido recientemente revisada en el 2013, donde mantiene sin cambios los métodos básicos de prueba y evaluación, los cuales se refieren específicamente a la medición de la transmisibilidad de vibración ponderada en frecuencia del guante en la palma de la mano solamente en la dirección del antebrazo [21].

El rango de frecuencia considerado es entre 25Hz a 200 Hz para el espectro M y entre 200 a 1250 Hz para el espectro H [20][21]. El espectro de prueba completo utilizado en los test normativos, se muestra en la Figura 5.

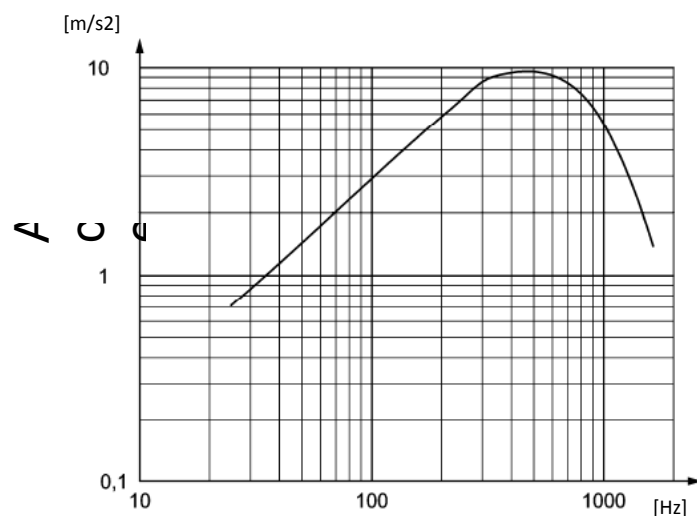


Figura 5.- Espectro de medición ISO 10819:2013.

Los indicadores utilizados por ISO 10819:2013 para la medición y caracterización de la transmisión de la vibración en un guante son:

- $TRM_{(25\text{Hz}-200\text{Hz})}$: Transmisibilidad para el espectro M o rango de frecuencia Medio.
-
- $TRH_{(200\text{Hz}-1250\text{Hz})}$: Transmisibilidad para el espectro H o rango de frecuencia Alto.

Para cada guante, se utilizan 5 sujetos de prueba, a los cuales se le realizan tres mediciones para obtener el indicador $TRM_{(25\text{Hz}-200\text{Hz})}$ y tres mediciones para obtener el indicador $TRH_{(200\text{Hz}-1250\text{Hz})}$, siendo el tamaño del guante entre 7 y 10 [20].

De acuerdo a la norma ISO 10819:2013, los guantes califican como anti-vibración cuando $TRM < 0.9$ y $TRH < 0.6$ y el material de la palma de la mano es el mismo que el material de los dedos, es decir el contacto de toda la superficie de la mano. [20].

Según Enjury Network, dentro de los mayores factores de error en la medición de la transmisibilidad de guantes en terreno, está el desalineamiento del acoplador del sensor, que produce desviaciones del orden del 20 % en la medición de las amplitudes de la vibración [18].

Se hace presente que la norma 10819:2013, asume que en el rango de baja frecuencia, entre 5 Hz y 25 Hz, las aceleraciones ponderadas son transmitidas prácticamente en su totalidad a la mano e incluso amplificadas [22]. La transmisibilidad ponderada en el rango de frecuencia señalado se puede caracterizar por medio del indicador $TRL_{(5\text{Hz} - 25\text{Hz})}$, correspondiente a la razón entre la vibración ponderada en la palma de la mano y la vibración ponderada en la empuñadura de la herramienta.

Otro indicador que puede abarcar el rango de frecuencia entre 5Hz y 1250Hz e integrar los tres indicadores señalados TRL , TRM y TRH , es la Transmisibilidad de banda ancha ponderada $TRw(5\text{Hz}-1250\text{Hz})$ que corresponde a la razón de la

vibración ponderada Con Guante respecto a la vibración ponderada Sin Guante y representa la porción de vibración transmitida que afecta la exposición ocupacional del trabajador. Cuando no se usa la ponderación de mano ISO5349-1:2001, se puede calcular la transmisibilidad Total de banda ancha TRT(5Hz-1250Hz) que representa la porción de energía neto transmitido a la mano.

3.7.4 TRANSMISIBILIDAD PONDERADA COMBINADA TR_{hv}.

Tal como se indicó en el punto anterior, la transmisibilidad ponderada TR_w permite conocer el efecto de la reducción del guante en la exposición del trabajador, donde se incorpora la sensibilidad de la mano según ISO5349-1:2001 y que involucra todo el rango de frecuencia asociado a la exposición de una persona y el posible riesgo para la salud, es decir entre 5 Hz y 1250 Hz. También se señaló que la transmisibilidad del guante se calcula solo en el eje Z, situación que no permite predecir la exposición del trabajador en los otros ejes de exposición X e Y.

Dado que la vibración es un fenómeno tridimensional, y además es posible medirlo simultáneamente en los tres ejes, el cálculo de la magnitud del vector de vibración ponderado a_{hv} usando la ecuación (2), permite calcular una Transmisibilidad Ponderada Combinada como resultado de comparar el vector de vibración de salida con el vector de entrada en la palma de la mano cuando se utiliza un guante, por medio de la siguiente expresión:

$$TR_{hv} = a_{hv} \text{ (con guante)} / a_{hv} \text{ (sin guante)} \quad (4)$$

4. MATERIAL Y MÉTODO.

4.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS.

Se seleccionaron 6 tipos de herramientas manuales eléctricas de uso común en el rubro de la construcción y que exponen a los trabajadores a vibraciones mecánicas. De cada tipo de herramienta se utilizaron 4 unidades, suponiendo que podrían existir diferencias en la característica de vibración emitida por cada una.

Las herramientas utilizadas se indican a continuación:

A. SONDA VIBRADORA DE HORMIGÓN

Marca	:	LEMACO
Modelo	:	P-25
Frecuencia de vibración	:	9500 a 12000 rpm
Peso	:	10 Kg



Figura 6.- Sonda Vibradora de Hormigón

B. ESMERIL ANGULAR 4,5" (PULIDO DE METALES)

Marca	:	DEWALT
Modelo	:	DWE4214
Frecuencia de rotación	:	11000 rpm
Peso	:	2,1 Kg
Potencia	:	1200 W
Disco de desbaste	:	A24R-BF DEWALT Tipo 27



Figura 7.- Esmeril Angular 4.5”.

C. ESMERIL ANGULAR 7” (CORTE DE METALES)

Marca	:	DEWALT
Modelo	:	DWE4557
Frecuencia de rotación	:	8500 rpm
Peso	:	5,2 Kg
Potencia	:	2400 W
Disco de desbaste	:	A30S-BF DEWALT Tipo 41



Figura 8.-, Esmeril Angular 7”.

D. MARTILLO DEMOLEDOR

Marca	:	MAKITA
Modelo	:	HM 0810T
Golpes por minuto	:	2900
Peso	:	5,5 Kg
Potencia	:	900 W
Energía de impacto	:	8,5 J



Figura 9.- Martillo Demoledor.

E. TALADRO PERCUTOR

Marca	:	MAKITA
Modelo	:	HR2470
Frecuencia de rotación	:	1100 rpm
Golpes por minuto	:	4500
Peso	:	2,9 Kg
Potencia	:	780 W
Energía de impacto	:	2,7 J
Broca	:	DEWALT DW00710 3/8"



Figura 10.- Taladro Percutor.

F. SIERRA CIRCULAR (CORTE DE MADERA)

Marca	:	DEWALT
Modelo	:	DWE575-B2
Frecuencia de rotación	:	5200 rpm
Potencia	:	1800 W
Hoja de corte	:	BAUKER 5/8" de 24 dientes



Figura 11.- Sierra Circular.

4.2. GUANTES UTILIZADOS.

Se seleccionaron 4 modelos de guantes antivibración que se comercializan en Chile, utilizando 4 unidades de cada modelo para efectos de la determinación de la transmisibilidad, suponiendo que podrían existir algunas diferencias en la reducción de vibración, debido a posibles no homogeneidades de materiales, terminaciones, tolerancias excesivas de control de calidad, etc.

Las marcas y modelos de los guantes seleccionados para el estudio, se indican a continuación:

GUANTE “G1”

Marca: : PROFLEX

Modelo: : 9000

Talla : Large (9)

Composición : 75% Caucho de cloropreno, 11% algodón, 9% nylon, 5% latex.

Características : Palma y dedos reforzado con caucho de cloropreno, diseño curvo y puño elástico.

Normas Relacionadas : ANSI S2.73-2002, EN 420:2003, EN 388:2003, EN ISO10819:1996.



Figura 12.- , Guante “G1”, PROFLEX 9000.

GUANTE “G2”

Marca: : TEGERA[®]

Modelo: : 9180

Talla : Large (10)

Composición : Vibrothan[®], microthan[®], poliuretano, latex natural, polyester y nylon.

Características : Dedo índice reforzado y puntas de los dedos con precurvatura, ajuste con velcro.

Normas Relacionadas : EN 420:2003, EN 388:2003, EN ISO 10819:1997.



Figura 13.- Guante “G2”, TEGERA 9180.

GUANTE “G3”

Marca:	: <u>ANSELL</u>
Modelo:	: <u>VIBRAGUARD®</u>
Talla	: Large (9)
Composición	: Nitrilo, algodón indesmallable, Gelfom®.
Características	: Palma, pulgar e índice con amortiguación Gelfom®, Ajuste velcro.
Normas	: EN ISO 10819:1996.
Relacionadas	



Figura 14.- , Guante “G3”, ANSELL VIBRAGUARD.

GUANTE “G4”

- Marca:** : ACTIVEX
- Modelo:** : MECÁNICO II
- Talla** : Large
- Composición** : Amara[®], cuero sintético, espuma poron, caucho termoplástico.
- Características** : Palma y pulgar de Amara[®], palma con aplicaciones acolchadas con espuma antivibración poron, dorso con malla elasticada y ajuste de velcro.
- Normas Relacionadas** : Sin especificación del fabricante



Figura 15.- Guante “G4”, ACTIVEX MECANICO II.

El guante G4 es el único de los señalados que no dispone de antecedentes de haber sido ensayado según la norma ISO 10819, pero se comercializa en Chile bajo la característica de “guante anti-vibración” , motivo por el cual se ha incluido dentro de este estudio.

4.3 INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA EN TERRENO.

La instrumentación utilizada en este estudio fue la siguiente:

- Medidor de Vibración Humana marca SVANTEK modelo SV-106 serie 34644.
- Acelerómetro triaxial marca LARSON DAVIS modelo SEN026 serie P40296 con acoplador de palma.
- Acelerómetro triaxial marca PCB modelo 356A67 serie 85640.
- Calibrador de vibración marca BRUEL & KJAER, modelo 4294, serie 1431559.

4.5. MONTAJE DE LA INSTRUMENTACIÓN PARA REALIZAR MEDICIONES Y CALIBRACIÓN DE TERRENO.

En la palma de la mano del operador de herramientas, aquella que no acciona la energía de éstas, se ubica el acelerómetro PCB sen 026 junto a su acoplador, tal como se muestra en la Figura 16, posteriormente el operador cubre su mano con el guante. El acelerómetro es conectado al medidor Svantek SV106 en los canales 4, 5 y 6, para el registro y medición de la vibración.

El acelerómetro PCB sen 026, utilizado para estudiar la vibración directa generada por la herramienta, fue montado por medio de su acoplador “V”, ver Figura 17, sensor que se conecta a los canales 1, 2 y 3 del medidor de vibración.



Figura 16.- Acelerómetro y acoplador en la palma de la mano



Figura 17.- Acelerómetro y acoplador unido directamente a la herramienta.

Para asegurar mediciones válidas, la cadena instrumental se verificó en terreno mediante la fuente de vibración Bruel & Kjaer modelo 4294, que genera una amplitud de vibración de 10 m/s^2 a una frecuencia de 159.2 Hz, ajustando la ganancia de entrada de cada canal para las señales proporcionadas por los acelerómetros.



Figura 18 .- Verificación de la cadena instrumental y ganancia de entrada, utilizando una fuente de vibración de referencia.

4.5.1 DIAGRAMAS DE DIRECCIONES X-Y-Z PARA LA UBICACIÓN DEL ACELERÓMETRO EN CADA TIPO DE HERRAMIENTA.

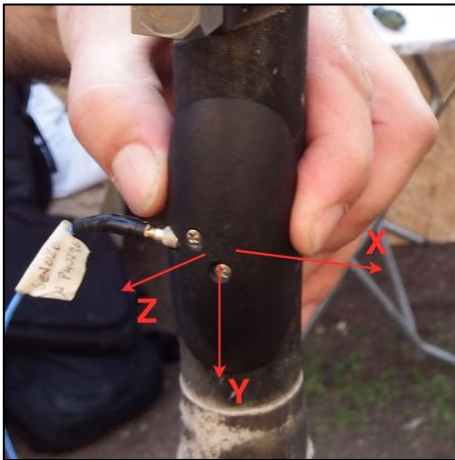


Fig.19(a). Sonda vibradora de hormigón.



Fig.19(b). Esmeril angular de 4,5”.



Fig.19(c). Martillo eléctrico demoledor.



Fig.19(d). Esmeril angular de 7".



Fig.19(e). Taladro Percutor.

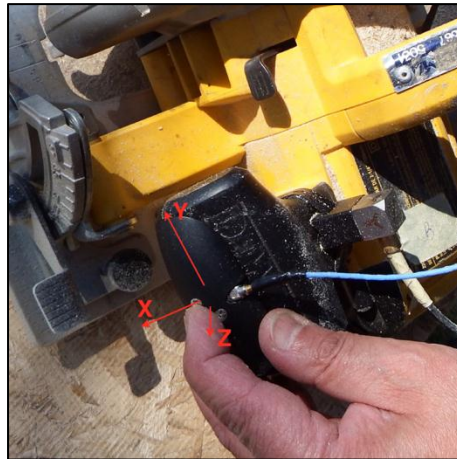


Fig.19(f). Sierra Circular.

4.4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TRANSMISIBILIDAD.

Comparar la vibración existente en la palma de la mano cuando se utiliza el guante (“Con Guante”), y la vibración existente en la palma de la mano cuando no se utiliza el guante (“Sin Guante”), seleccionando un lugar único de medición en la herramienta, correspondiendo a la empuñadura que no activa la energía para su funcionamiento.

La razón entre la vibración de entrada (directo a herramienta) y la vibración de salida (interior del guante) constituye la transmisibilidad del guante. Lo señalado se efectuará para cada eje de exposición.

Para obtener la vibración “Con Guante”, registrar la vibración triaxial, durante un tiempo de dos minutos mientras se simula una condición de trabajo habitual con cada unidad de herramienta. Como cada modelo de guante dispone de cuatro unidades, y cada herramienta también dispone de cuatro unidades, se ejecutará una secuencia de 16 mediciones al combinarlos. Cada medición se reportará en términos de la aceleración RMS por banda de tercio de octava el rango entre 4Hz y 2500 Hz.

Para obtener la vibración “Sin Guante”, registrar dos veces la vibración triaxial, durante un tiempo de dos minutos mientras se simula una condición de trabajo habitual de cada unidad de herramienta, es decir obteniendo 8 mediciones en total por cada tipo herramienta seleccionada. Cada medición se reportará en términos de la aceleración RMS por banda de tercio de octava el rango entre 4Hz y 2500 Hz.

A modo de referencia y para indagar en la posible desviación de la amplitud de vibración por causa del acoplador, junto a la mano que contiene el acelerómetro de palma, medir la aceleración de vibración directo a la herramienta.

Para las mediciones “Con Guante”, obtener el espectro RMS de los 16 espectros de frecuencia medidos de las 4 unidades de guantes de cada modelo, para las 4 unidades de herramientas.

Para las mediciones “Sin Guante”, obtener el espectro RMS promedio de los 8 espectros de frecuencia medidos.

De la razón entre la los espectros “Con Guante” y “Sin Guante” se expresará la transmisibilidad según la norma ISO 10819:2013, con los indicadores $TRM_{(25\text{ Hz} - 200\text{ Hz})}$, y $TRH_{(200\text{ Hz} - 1250\text{ Hz})}$.

Adicionalmente se calculará la transmisibilidad $TRL_{(5\text{ Hz} - 25\text{ Hz})}$ para observar la transmisión de vibración en baja frecuencia, la transmisibilidad $TRT_{(5\text{ Hz} - 1250\text{ Hz})}$ correspondiente la transmisión de vibración en banda ancha sin ponderar y finalmente la transmisibilidad $TRw_{(5\text{ Hz} - 1250\text{ Hz})}$, que es la transmisibilidad ponderada en banda ancha. Para todos estos indicadores, se espera que sean menores al valor 1, es decir, que las vibraciones no se amplifiquen al transmitirse desde la herramienta hacia la mano del operador por medio del guante.

Finalmente se calculará la Transmisibilidad Ponderada Combinada $TRhv$, como lo indica la ecuación (4) del Capítulo 3 de Antecedentes. También se espera que este indicador sea menor al valor 1.

4.7. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DEL OPERADOR.

La metodología para la evaluación de la exposición ocupacional a vibración de mano-brazo se efectuó en referencia al Decreto Supremo N°594 de Chile y a la directiva de la comunidad europea 44/2002/CE, criterios de referencia descritos en el Capítulo III.

Como la evaluación del riesgo contenido en una exposición a vibraciones, requiere como información de entrada conocer el “tiempo de exposición diario”, además de la amplitud medida de la vibración, se supondrá que el tiempo de exposición será de 4 horas diarias, utilizando como referencia lo señalado en el Capítulo III, donde la revisión de los tiempos de exposición a vibración de trabajadores del rubro construcción y similares, muestran un tiempo de este orden.

5. RESULTADOS

5.1 ACELERACION VIBRATORIA EN LA MANO CON Y SIN GUANTES.

Los espectros de aceleración vibratoria promedio, en bandas de tercio de octava, obtenidos de la medición en la palma de la mano del operador, para la condición Con Guante (dieciséis mediciones) y Sin Guantes (ocho mediciones), se presentan en el Anexo A1. En cada gráfico, se destaca en color negro el espectro de vibración para la condición “Sin Guante”.

Se hace presente que los resultados de aceleración obtenidos con el acelerómetro de acoplador en T para la condición Sin Guante, comparadas a las aceleraciones entregadas por el acelerómetro con acoplador de palma, discreparon significativamente, con diferencias de hasta un 50 % de las amplitudes ponderadas, lo que se atribuye a resonancias y desalineamientos de los acopladores, sobretodo el acoplador en T que presenta la mayor variación de amplitudes en el rango de frecuencia determinado.

5.2 TRANSMISIBILIDAD DE GUANTES.

De los resultados de aceleración vibratoria obtenidos y que se presentan en el Anexo A1 Con y Sin guante, se efectuó el cálculo de la transmisibilidad de cada guante y herramienta seleccionada, espectros de transmisibilidad de los guantes que se muestran en el Anexo A2, para cada herramienta. Como información

adicional, junto a cada gráfico, se muestra la aceleración ponderada a_{wh} Sin Guante, a_{wh} Con Guante, como también el valor de Transmisibilidad en banda ancha Ponderada $TRW_{(5Hz-1250Hz)}$.

De los espectros de transmisibilidad señalados, se calcularon los valores de transmisibilidad ponderada de frecuencia Media $TRM_{(25Hz-250Hz)}$ y transmisibilidad ponderada de frecuencia alta $TRH_{(250Hz-1250Hz)}$, propuestos por la norma ISO10819:2013, cuyo resultado se presentan en las Tablas 4, 5 y 6. Cada valor de transmisibilidad de las tablas, se acompaña con un valor de desviación estándar que ocasiona la combinación de 16 mediciones por guante y herramienta.

De los mismos espectros de transmisibilidad y como información adicional, se calcularon, los valores de transmisibilidad de baja frecuencia $TRL_{(5Hz-25Hz)}$, transmisibilidad en banda ancha sin ponderar $TRT_{(5Hz-1250Hz)}$ y la transmisibilidad en banda ancha ponderada $TRW_{(5Hz-1250Hz)}$, indicadores que también se muestran en las Tablas 4, 5 y 6. Cada valor de transmisibilidad de las tablas, se acompaña con un valor de desviación estándar que ocasiona la combinación de 16 mediciones por guante y herramienta.

Tabla 4.- Valores de Transmisibilidad de los Guantes para cada Herramienta Seleccionada, eje X.

HERRAMIENTA	GUANTE	TRL (5Hz-25Hz)	TRM (25Hz-200Hz)	TRH (200Hz-1250Hz)	TRT (5Hz-1250Hz)	TRw (5Hz-1250Hz)
SONDA VIBRADORA DE HORMIGÓN	G1	0.73(0.4)	0.7(0.16)	0.5(0.26)	0.52(0.12)	0.64(0.15)
	G2	0.74(0.43)	0.71(0.17)	0.47(0.29)	0.5(0.16)	0.64(0.16)
	G3	0.72(0.4)	0.9(0.18)	<u>0.64(0.31)</u>	0.68(0.11)	0.81(0.15)
	G4	0.73(0.4)	0.87(0.21)	<u>0.68(0.33)</u>	0.74(0.11)	0.81(0.18)
ESMERIL ANGULAR 4.5"	G1	<u>1.1(0.31)</u>	0.73(0.31)	<u>0.85(0.15)</u>	0.69(0.23)	0.75(0.3)
	G2	<u>1.02(0.22)</u>	0.68(0.25)	0.52(0.12)	0.55(0.19)	0.68(0.24)
	G3	0.96(0.16)	0.67(0.2)	0.44(0.12)	0.51(0.15)	0.67(0.2)
	G4	<u>1.13(0.31)</u>	0.66(0.14)	<u>1.16(0.18)</u>	0.93(0.2)	0.7(0.15)
ESMERIL ANGULAR 7"	G1	<u>1.02(0.21)</u>	0.88(0.19)	0.57(0.14)	0.39(0.08)	0.78(0.16)
	G2	<u>1.15(0.36)</u>	<u>1.04(0.25)</u>	<u>0.61(0.13)</u>	0.41(0.08)	0.91(0.2)
	G3	<u>1.14(0.31)</u>	<u>0.97(0.24)</u>	0.57(0.14)	0.39(0.09)	0.85(0.2)
	G4	<u>1.12(0.44)</u>	<u>1.11(0.52)</u>	<u>0.96(0.21)</u>	0.81(0.18)	<u>1.04(0.4)</u>
MARTILLO DEMOLEDOR	G1	0.96(0.33)	0.66(0.17)	0.58(0.18)	0.64(0.1)	0.73(0.19)
	G2	<u>1.02(0.36)</u>	0.81(0.19)	0.54(0.16)	0.69(0.1)	0.85(0.2)
	G3	<u>1.19(0.28)</u>	0.79(0.15)	<u>0.7(0.16)</u>	0.75(0.08)	0.89(0.17)
	G4	<u>1.14(0.37)</u>	0.89(0.16)	<u>0.94(0.27)</u>	0.95(0.18)	0.94(0.18)
Taladro PERCUTOR	G1	0.99(0.23)	0.75(0.12)	<u>0.7(0.21)</u>	0.45(0.18)	0.8(0.13)
	G2	<u>1.07(0.25)</u>	0.81(0.14)	0.51(0.1)	0.34(0.04)	0.84(0.14)
	G3	0.91(0.15)	0.74(0.17)	0.42(0.09)	0.29(0.03)	0.74(0.13)
	G4	0.99(0.22)	0.89(0.24)	<u>1.04(0.22)</u>	0.92(0.17)	0.93(0.15)
SIERRA CIRCULAR	G1	0.85(0.13)	0.52(0.11)	0.26(0.04)	0.18(0.03)	0.48(0.07)
	G2	0.84(0.11)	0.6(0.1)	0.31(0.07)	0.2(0.05)	0.53(0.07)
	G3	0.89(0.12)	0.65(0.09)	0.42(0.05)	0.26(0.03)	0.6(0.06)
	G4	0.91(0.11)	0.77(0.11)	<u>0.73(0.09)</u>	0.55(0.06)	0.76(0.08)

Tabla 5.- Valores de Transmisibilidad de los Guantes para cada Herramienta Seleccionada, eje Y.

HERRAMIENTA	GUANTE	TRL (5Hz-25Hz)	TRM (25Hz-200Hz)	TRH (200Hz-1250Hz)	TRT (5Hz-1250Hz)	TRw (5Hz-1250Hz)
SONDA VIBRADORA DE HORMIGÓN	G1	<u>1.08(0.35)</u>	<u>1.02(0.35)</u>	<u>0.84(0.48)</u>	0.81(0.28)	0.96(0.32)
	G2	<u>1.17(0.47)</u>	<u>0.95(0.29)</u>	<u>0.7(0.31)</u>	0.71(0.21)	0.89(0.25)
	G3	<u>1.08(0.35)</u>	0.88(0.25)	<u>0.68(0.35)</u>	0.67(0.2)	0.83(0.23)
	G4	0.95(0.23)	0.8(0.22)	<u>0.72(0.3)</u>	0.75(0.17)	0.78(0.19)
ESMERIL ANGULAR 4.5"	G1	0.8(0.12)	<u>1.34(0.45)</u>	0.33(0.07)	0.29(0.08)	0.9(0.29)
	G2	0.76(0.13)	<u>1.75(0.58)</u>	0.25(0.05)	0.3(0.09)	<u>1.15(0.37)</u>
	G3	0.67(0.14)	<u>2.07(0.65)</u>	0.28(0.06)	0.35(0.1)	<u>1.36(0.42)</u>
	G4	0.87(0.23)	<u>1.24(0.58)</u>	<u>0.78(0.25)</u>	0.65(0.21)	1(0.41)
ESMERIL ANGULAR 7"	G1	<u>1.04(0.21)</u>	<u>1.24(0.32)</u>	0.48(0.12)	0.23(0.03)	0.65(0.13)
	G2	<u>1.09(0.32)</u>	<u>1.46(0.43)</u>	0.46(0.09)	0.19(0.03)	0.72(0.16)
	G3	<u>1.11(0.33)</u>	<u>1.46(0.41)</u>	0.4(0.08)	0.16(0.03)	0.71(0.15)
	G4	<u>1.05(0.36)</u>	<u>1.19(0.28)</u>	<u>0.79(0.12)</u>	0.68(0.12)	0.86(0.11)
MARTILLO DEMOLEDOR	G1	0.93(0.32)	<u>1.2(0.2)</u>	0.58(0.14)	0.76(0.09)	<u>1.12(0.16)</u>
	G2	<u>1.05(0.29)</u>	<u>1.32(0.25)</u>	0.44(0.09)	0.72(0.11)	<u>1.23(0.21)</u>
	G3	<u>1.14(0.25)</u>	<u>1.28(0.26)</u>	0.53(0.11)	0.72(0.13)	<u>1.2(0.22)</u>
	G4	<u>1.07(0.32)</u>	<u>1.09(0.24)</u>	<u>0.79(0.11)</u>	0.89(0.08)	<u>1.05(0.21)</u>
Taladro PERCUTOR	G1	0.67(0.19)	<u>1.08(0.11)</u>	0.53(0.12)	0.33(0.1)	0.82(0.08)
	G2	0.64(0.17)	<u>1.06(0.08)</u>	0.44(0.08)	0.24(0.02)	0.78(0.06)
	G3	0.68(0.19)	<u>1.12(0.13)</u>	0.37(0.06)	0.23(0.02)	0.82(0.08)
	G4	0.68(0.18)	<u>1.06(0.12)</u>	<u>0.97(0.17)</u>	0.8(0.17)	0.92(0.09)
SIERRA CIRCULAR	G1	0.98(0.14)	0.71(0.12)	0.39(0.07)	0.4(0.08)	0.58(0.08)
	G2	0.96(0.14)	0.81(0.15)	0.43(0.07)	0.42(0.07)	0.66(0.09)
	G3	<u>1.07(0.22)</u>	0.86(0.17)	0.39(0.04)	0.38(0.04)	0.68(0.1)
	G4	0.96(0.12)	<u>0.92(0.12)</u>	<u>0.78(0.11)</u>	0.8(0.15)	0.85(0.05)

**Tabla 6.- Valores de Transmisibilidad de los Guantes
para cada Herramienta Seleccionada, eje Z.**

HERRAMIENTA	GUANTE	TRL (5Hz-25Hz)	TRM (25Hz-200Hz)	TRH (200Hz-1250Hz)	TRT (5Hz-1250Hz)	TRw (5Hz-1250Hz)
SONDA VIBRADORA DE HORMIGÓN	G1	<u>1.18(0.79)</u>	<u>1.11(0.12)</u>	<u>0.9(0.43)</u>	0.99(0.12)	<u>1.05(0.13)</u>
	G2	<u>1.06(0.61)</u>	<u>1.31(0.13)</u>	<u>1.06(0.53)</u>	<u>1.16(0.18)</u>	<u>1.24(0.16)</u>
	G3	<u>1.1(0.62)</u>	<u>1.16(0.12)</u>	<u>0.92(0.44)</u>	<u>1.02(0.14)</u>	<u>1.09(0.12)</u>
	G4	<u>1.09(0.63)</u>	<u>1.08(0.1)</u>	<u>0.86(0.36)</u>	0.99(0.07)	<u>1.03(0.08)</u>
ESMERIL ANGULAR 4.5"	G1	<u>1.19(0.23)</u>	<u>0.95(0.33)</u>	<u>1.03(0.18)</u>	0.93(0.29)	0.97(0.33)
	G2	<u>1.15(0.21)</u>	<u>0.91(0.34)</u>	<u>0.94(0.18)</u>	0.88(0.29)	0.93(0.34)
	G3	<u>1.08(0.2)</u>	0.79(0.24)	<u>0.6(0.16)</u>	0.71(0.22)	0.8(0.24)
	G4	<u>1.18(0.19)</u>	0.86(0.28)	<u>1.11(0.16)</u>	0.91(0.26)	0.89(0.28)
ESMERIL ANGULAR 7"	G1	<u>1.17(0.22)</u>	0.9(0.29)	<u>0.63(0.14)</u>	0.5(0.09)	0.83(0.24)
	G2	<u>1.19(0.3)</u>	<u>0.94(0.38)</u>	<u>0.76(0.17)</u>	0.51(0.14)	0.89(0.33)
	G3	<u>1.23(0.32)</u>	0.87(0.33)	0.54(0.18)	0.44(0.13)	0.8(0.28)
	G4	<u>1.14(0.3)</u>	<u>0.99(0.37)</u>	<u>0.92(0.25)</u>	0.88(0.2)	0.96(0.31)
MARTILLO DEMOLEDOR	G1	<u>1.04(0.36)</u>	0.9(0.2)	<u>0.87(0.29)</u>	0.89(0.19)	0.9(0.21)
	G2	0.9(0.3)	0.85(0.21)	<u>0.72(0.17)</u>	0.8(0.17)	0.84(0.21)
	G3	0.9(0.24)	0.8(0.2)	<u>0.65(0.2)</u>	0.74(0.17)	0.79(0.19)
	G4	0.87(0.25)	<u>0.94(0.25)</u>	<u>1.03(0.32)</u>	0.96(0.24)	0.91(0.24)
Taladro PERCUTOR	G1	<u>1.25(0.55)</u>	<u>0.91(0.09)</u>	<u>0.93(0.25)</u>	0.78(0.06)	1(0.2)
	G2	<u>1.26(0.56)</u>	<u>0.94(0.1)</u>	<u>1.06(0.26)</u>	0.79(0.07)	<u>1.02(0.2)</u>
	G3	<u>1.19(0.41)</u>	<u>0.93(0.14)</u>	<u>0.74(0.22)</u>	0.7(0.08)	0.98(0.17)
	G4	<u>1.26(0.48)</u>	<u>0.95(0.14)</u>	<u>1.09(0.24)</u>	<u>1.03(0.18)</u>	<u>1.02(0.2)</u>
SIERRA CIRCULAR	G1	<u>1.09(0.1)</u>	0.85(0.1)	0.36(0.09)	0.33(0.09)	0.57(0.07)
	G2	<u>1.07(0.21)</u>	0.79(0.16)	0.3(0.1)	0.25(0.08)	0.51(0.11)
	G3	<u>1.08(0.19)</u>	0.85(0.2)	0.28(0.04)	0.23(0.03)	0.53(0.1)
	G4	<u>1.07(0.16)</u>	0.87(0.22)	<u>0.67(0.16)</u>	0.64(0.17)	0.74(0.15)

Tabla 7.- Transmisibilidad Ponderada Combinada para los guantes en estudio.

HERRAMIENTA	GUANTE			
	G1 TRhv	G2 TRhv	G3 TRhv	G4 TRhv
Sonda Vibradora Hormigón	0.89 (0.14)	0.99 (0.13)	0.96 (0.11)	0.92 (0.11)
Esmeril Angular 4.5"	0.93 (0.31)	0.92 (0.31)	0.87 (0.24)	0.87 (0.27)
Esmeril Angular 7"	0.78 (0.17)	0.85 (0.23)	0.79 (0.21)	0.96 (0.27)
Martillo Demoledor	0.88 (0.11)	0.9 (0.1)	0.88 (0.09)	0.94 (0.12)
Taladro Percutor	0.89 (0.13)	0.9 (0.13)	0.87 (0.1)	0.97 (0.11)
Sierra Circular	0.55 (0.07)	0.59 (0.08)	0.62 (0.08)	0.80(0.07)

5.3 RESPECTO A LA EXPOSICIÓN DEL OPERADOR.

5.3.1 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN SEGÚN D.S.N°594/1999.

Según la normativa Chilena D.S. N°594, el límite permisible para 4 horas corresponde a 6 m/s^2 , valor que se considera en la Tabla 8 para la calificación de la exposición.

Tabla 8.- Límite Máximo Permisible y Calificación de la Exposición.

LMP (4 horas) EJES X-Y-Z	CALIFICACIÓN DE LA EXPOSICIÓN
$a_{wh} > 6 \text{ m/s}^2$	SOBRE EL LÍMITE
$a_{wh} \leq 6 \text{ m/s}^2$	BAJO EL LÍMITE

En la Tabla 8, se muestra el resultado de las aceleraciones RMS ponderadas a_{wh} , medidas con guantes y sin guantes, cuando se utilizan con las herramientas seleccionadas, indicando en color rojo o verde la calificación de la exposición según se indica en la Tabla 7. Cabe señalar que cada valor “con guante”

corresponde al promedio de 16 mediciones y cada valor “sin guante” es el resultado del promediar 8 mediciones.

Adicionalmente, en las mismas tablas se incorpora el símbolo “▲”, que indica cuando se ocasionó un aumento o amplificación de la exposición, respecto a la condición sin guante. Si no se presenta este símbolo, implica que la vibración fue reducida por el guante.

Tabla 9.- Comparación de Aceleraciones Equivalentes Ponderadas, con y sin guante, y Evaluación D.S. N°594 para 4 horas de exposición.

HERRAMIENTA	Guante	awh Con Guante [m/s ²]			awh Sin Guante [m/s ²]		
		X	Y	Z	X	Y	Z
SONDA VIBRADORA DE HORMIGÓN	G1	2.52	1.92	▲ 4.51	4.00	2.00	4.29
	G2	2.55	1.77	▲ 5.28	3.96	1.96	4.29
	G3	3.19	1.65	▲ 4.68	3.94	1.91	4.28
	G4	3.2	1.56	▲ 4.39	3.98	1.94	4.28
ESMERIL ANGULAR 4.5"	G1	1.16	1.11	2.95	1.57	1.23	3.02
	G2	1.05	▲ 1.41	2.83	1.53	1.23	3.03
	G3	1.03	▲ 1.68	2.43	1.52	1.22	2.98
	G4	1.09	1.23	2.7	1.51	1.25	2.99
ESMERIL ANGULAR 7"	G1	1.35	1.23	2.09	1.67	1.89	2.49
	G2	1.57	1.37	2.22	1.65	1.89	2.46
	G3	1.47	1.33	2	1.66	1.89	2.44
	G4	▲ 1.80	1.62	2.41	1.66	1.89	2.51
MARTILLO DEMOLEDOR	G1	3.61	▲ 3.29	6.01	4.92	2.89	6.58
	G2	4.18	▲ 3.59	5.58	4.88	2.88	6.56
	G3	4.39	▲ 3.52	5.29	4.89	2.88	6.61
	G4	4.63	▲ 3.06	6.08	4.82	2.90	6.50
TALADRO PERCUTOR	G1	3.68	3.58	5.47	4.53	4.33	5.49
	G2	3.85	3.4	▲ 5.59	4.54	4.34	5.50
	G3	3.41	3.58	5.4	4.56	4.33	5.50
	G4	4.26	3.99	▲ 5.61	4.57	4.33	5.51
SIERRA CIRCULAR	G1	0.48	0.75	0.51	0.98	1.28	0.88
	G2	0.53	0.84	0.46	0.98	1.28	0.89
	G3	0.59	0.87	0.47	0.98	1.28	0.89
	G4	0.75	1.09	0.66	0.98	1.28	0.89

5.3.2 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN SEGÚN DIRECTIVA 44/2002/CE

La normativa de la Unión Europea, a diferencia de la normativa chilena, posee un límite permisible ELV³ y un límite de acción EAV⁴, con los cuales se calificará la exposición de acuerdo a la Tabla 9. Tal como se señaló en el Capítulos 3 y 4, se utilizará el indicador $a_{eq(8)}$ en cada eje de exposición, calculándose luego un “vector” de aceleración RMS, proyectándose luego la exposición a 8 horas por medio del indicador $A_{eq(8)}$.

Tabla 10.- Criterio de Evaluación y Calificación de la Exposición según Nivel de Riesgo.

Límites de Exposición Diaria	Calificación Riesgo
$A(8) > ELV$	CRITICO
$EAV < A(8) < ELV$	IMPORTANTE
$A(8) < EAV$	BAJO

En la Tabla 10, se muestra el resultado y comparación de las aceleraciones a_{hv} y $A(8)$, para los guantes estudiados y su efecto en la exposición al utilizarse con las herramientas seleccionadas, junto con la calificación de la exposición.

Como en ningún caso se ocasiona aumento o amplificación de la exposición por el uso del guante, sólo reducción, no se visualizará en la tabla el símbolo “▲”.

³ Del inglés Exposure Limit Value

⁴ Del inglés Exposure Action Value

Tabla 11.- Resultado y comparación de Aceleración equivalente combinada medida y proyectada a 8 horas, junto con la reducción de vibración en porcentaje.

HERRAMIENTA	Guante	ahv medida Con Guante [m/s ²]	ahv medida Sin Guante [m/s ²]	A(8) Con Guante [m/s ²]	A(8) Sin Guante [m/s ²]	% Reducción
Sonda Vibradora Hormigón	G1	5.51	6.20	3.89	4.38	10.6
	G2	6.13	6.16	4.33	4.36	0.5
	G3	5.90	6.13	4.17	4.33	4.3
	G4	5.65	6.16	3.99	4.36	8.4
Esmeril Angular 4.5"	G1	3.36	3.62	2.38	2.56	7.3
	G2	3.33	3.61	2.36	2.55	7.8
	G3	3.13	3.56	2.21	2.52	13.5
	G4	3.16	3.58	2.23	2.53	12.9
Esmeril Angular 7"	G1	2.77	3.54	1.96	2.50	22.3
	G2	3.04	3.51	2.15	2.48	14.5
	G3	2.82	3.50	1.99	2.48	21.0
	G4	3.41	3.56	2.41	2.51	4.2
Martillo Demoledor	G1	7.75	8.71	5.48	6.16	11.6
	G2	7.84	8.67	5.55	6.13	10.3
	G3	7.72	8.71	5.46	6.16	11.8
	G4	8.23	8.60	5.82	6.08	5.9
Taladro Percutor	G1	7.50	8.33	5.31	5.89	10.7
	G2	7.59	8.35	5.37	5.90	9.6
	G3	7.32	8.35	5.17	5.91	12.8
	G4	8.10	8.37	5.72	5.92	3.4
Sierra Circular	G1	1.02	1.84	0.72	1.30	44.6
	G2	1.09	1.84	0.77	1.30	40.7
	G3	1.15	1.84	0.81	1.30	37.7
	G4	1.48	1.84	1.04	1.30	19.9

El resultado del cálculo de la Transmisibilidad Ponderada Combinada $TR_{hv}(5\text{Hz}-1250\text{Hz})$, para los guantes estudiados se presenta en la Tabla 11, incluyendo la desviación estandar⁵, destacando para cada herramienta el guante que entregó la menor transmisibilidad o mayor reducción de vibración.

Tabla 11.- Transmisibilidad Ponderada Combinada para los guantes en estudio.

HERRAMIENTA	GUANTE			
	G1 TRhv	G2 TRhv	G3 TRhv	G4 TRhv
Sonda Vibradora Hormigón	0.89 (0.14)	0.99 (0.13)	0.96 (0.11)	0.92 (0.11)
Esmeril Angular 4.5"	0.93 (0.31)	0.92 (0.31)	0.87 (0.24)	0.87 (0.27)
Esmeril Angular 7"	0.78 (0.17)	0.85 (0.23)	0.79 (0.21)	0.96 (0.27)
Martillo Demoledor	0.88 (0.11)	0.9 (0.1)	0.88 (0.09)	0.94 (0.12)
Taladro Percutor	0.89 (0.13)	0.9 (0.13)	0.87 (0.1)	0.97 (0.11)
Sierra Circular	0.55 (0.07)	0.59 (0.08)	0.62 (0.08)	0.80(0.07)

6. ANÁLISIS

6.1 ACELERACION VIBRATORIA EN LA MANO CON Y SIN GUANTE.

6.1.1 Para la herramienta “Sonda Vibradora de Hormigón”, como se observa de los gráficos A1.1, A1.2 y A1.3, la vibración para la condición Sin Guante, presenta componentes de frecuencia dominantes en torno a 200 Hz y 500 Hz para los tres ejes. La mayor amplitud se presenta en el eje Z, dirección perpendicular a la palma de la mano, con un valor de 41.9 m/s^2 en la frecuencia de 200 Hz, seguido por el eje X con un valor de 37.9 m/s^2 en 200 Hz, perpendicular al eje de la sonda y luego el eje Y con 18 m/s^2 , que coincide con la dirección del eje de la sonda.

⁵ Cada valor de transmisibilidad de la Tabla 11 es el promedio de 16 mediciones transmisibilidades.

Para la condición Con Guantes, se observan espectros de vibración con las mismas componentes de frecuencia dominantes en torno a 200Hz y 500 Hz. En el rango de baja frecuencia, 5 Hz a 25 Hz, en todos los gráficos se observan amplitudes similares. En el rango de frecuencia medio, 25Hz a 200 Hz, en los ejes X e Y se observan amplitudes inferiores a las “Sin Guante”, en cambio en el eje Z se observa una tendencia de amplificación o mayores amplitudes vibratorias que la “Sin Guante”, sobre todo para el guante G2 donde se registro una vibración de 45.52 m/s^2 en 200 Hz, amplificación que también ocurre para todos los guantes en la frecuencia de 160 Hz, lo que se atribuye a resonancias o realimentación de energía entre la vibración de entrada y la que incorpora el guante con su respuesta. En el rango de frecuencia alto, 200 Hz a 1250 Hz, las vibraciones tienden a ser menores a las “Sin Guante” en todos los ejes.

6.1.2 Para la herramienta “Esmeril Angular 4.5””, según los gráficos A1.4, A1.5 y A1.6, la vibración para la condición Sin Guante presenta una componente de frecuencia dominante en la banda de 160 Hz con la mayor amplitud en el eje Z de 27.4 m/s^2 , seguida por componentes de alta frecuencia en el eje Y, eje de la empuñadura de la herramienta, con valores de 21 m/s^2 y 22.2 m/s^2 en las bandas de frecuencias de 630Hz y 1000 Hz, respectivamente.

Para la condición Con Guantes, se observan espectros de vibración con las mismas componentes de frecuencia dominantes pero con amplitudes distintas dependiendo del rango de frecuencia. En el rango de baja frecuencia, 5 Hz a 25 Hz, en todos los gráficos se observan amplitudes similares, en el rango de frecuencia medio, 25Hz a 200 Hz, en el eje X la vibraciones son menores a las “Sin Guante”, con amplitudes similares en el eje Z y en el eje Y, todas las vibraciones son mayores a las “Sin Guante”, atribuido al fenómeno de resonancia. En el rango de frecuencia Alto, 200 Hz a 1250 Hz, en el eje Y todas las vibraciones son inferiores a las Sin Guante, en los ejes X y Z, las vibraciones tienden a permanecer bajo la curva “Sin Guante”, excepto para el guante G4 que tiene una marcada presencia sobre la vibración de referencia.

6.1.3 Para la herramienta “Esmeril Angular 7”, según los gráficos A1.7, A1.8 y A1.9, la vibración de referencia o condición “Sin Guante” presenta vibración de alta frecuencia con características de banda ancha en el rango entre 250Hz a 1000Hz, con acento en las bandas de 1000 Hz y 800 Hz mostrando las mayores amplitudes en el eje Y de 51.2 m/s^2 y 49.3 m/s^2 , respectivamente, seguida por 20.6 m/s^2 en el eje Z (800Hz) y 16.9 m/s^2 en el eje X (1000Hz). Los tres ejes muestran una componente de vibración en la banda de 100 Hz, asociada a la rotación del disco de corte del esmeril angular, cuya mayor amplitud en el eje Z es de 10.73 m/s^2 , seguido por 7.38 m/s^2 en X y 3.97 m/s^2 en el eje Y.

Para la condición Con Guantes, en el rango de baja frecuencia, 5 Hz a 25 Hz, en todos los gráficos se observan amplitudes similares, en el rango de frecuencia medio, 25Hz a 200Hz, en el eje Y las vibraciones de todos los guantes predominan respecto a la vibración “Sin Guante”, en el eje Z las amplitudes se ajustan o son similares en torno a 100 Hz decayendo bajo la curva de referencia hacia los 200Hz, en el eje X las vibraciones tiende a superar la curva de referencia entre los 63 Hz y los 100 Hz. En la alta frecuencia, 200Hz y 1250 Hz, prácticamente todas vibraciones se ubican bajo la curva de referencia Sin Guante, excepto el espectro del guante G4 que en el eje X y Z, superan o amplifican la vibración en las frecuencias de 250 Hz y 400 Hz respectivamente.

6.1.4 En el caso del “Martillo Demoledor” y tal como se muestra en los gráficos A1.10, A1.11 y A1.12, la vibración de referencia o condición “Sin Guante” presenta una componente dominante en 63 Hz con la mayor amplitud de 20.1 m/s^2 en el eje Z, seguido de 11.4 m/s^2 en el eje X y 9.4 m/s^2 en el eje Y. Luego de los 80 Hz, para todos los ejes el espectro “Sin Guantes” adopta una forma de banda ancha con algunas componentes reconocibles en 125 Hz, 200 Hz en los ejes X y Z, como también una componente en 400 Hz de 9 m/s^2 en el eje Y.

Con Guantes, en el rango de baja frecuencia, 5 Hz a 25 Hz, en todos los gráficos se observan amplitudes similares respecto a la vibración “Sin Guante”, pero las

vibraciones de los guantes G3 y G4 se ubican levemente sobre la curva de referencia en el eje X. En el rango de frecuencia medio, 25Hz a 200 Hz, en los ejes X y Z las vibraciones permanecen bajo la curva de referencia en torno a los 63 Hz, pero en el eje Y todos los guantes superan la vibración Sin Guante en esta banda de frecuencia, por otro lado, sobre los 80 Hz hasta los 200 Hz en el eje Y se observan amplitudes superiores a las de referencia para los guantes G1, G2 y G3. En la alta frecuencia, 200Hz a 1250 Hz, prácticamente todas vibraciones se ubican bajo la curva de referencia, excepto el espectro del guante G4 que en el eje X, bandas de 315 Hz y 800 Hz, que supera la vibración Sin Guante, lo mismo que en el eje Z en las banda de 315 Hz y 400 Hz.

6.1.5 El “Taladro Percutor”, como se presenta en los gráficos A1.13, A1.14 y A1.15, muestra una condición “Sin Guante” con componentes de alta frecuencia y de banda extendida, con predominancia de la energía vibratoria en torno a la banda de 1000 Hz en el eje Y y en las bandas entre 500Hz a 1000Hz en el eje X con amplitudes de 48.8 m/s^2 y 29.9 m/s^2 , respectivamente. En el eje Z, predominan vibraciones en el rango de frecuencia entre 63 Hz y 125 Hz con la mayor amplitud de 15.7 m/s^2 en 100 Hz .

En la situación Con Guantes y en baja frecuencia, 5 Hz a 25 Hz, las amplitudes son del mismo orden en los ejes X e Y, pero en Z las vibraciones sobrepasan levemente la curva de referencia en el rango de frecuencia entre 12.5 Hz y 40 Hz con predominancia de la vibración del guante G4. En el rango de frecuencia medio, 25 a 200 Hz, el eje Y muestra que todos los guantes sobrepasan la curva “Sin Guante”. En la alta frecuencia, 200Hz y 1250 Hz, el guante G4 sobrepasa la curva de referencia en los tres ejes y en el eje Z, se observa que solo el guante G3 se mantiene por debajo de esta curva.

6.1.6 Para la herramienta “Sierra Circular”, como se observa de los gráficos A1.16, A1.17 y A1.18, la vibración Sin Guante, presenta un espectro extendido o de banda ancha con predominancia de la energía vibratoria en alta frecuencia y en

torno a la banda de 400 Hz, que en los ejes Y y Z tiene amplitudes de 14.5 m/s^2 y 13.7 m/s^2 , respectivamente. En el eje X, la vibración tiende a aumentar gradualmente desde la banda de 63 Hz hasta la banda de 1250 Hz, con un valor de 17.1 m/s^2 .

Para la condición Con Guantes, se observa que todos los espectros de vibración en los tres ejes, se mantienen bajo la curva de referencia o Sin Guante, es decir presentando reducción de la vibración en todos los rangos de frecuencia, excepto el guante G4 en el eje Y, que puntualmente supera la curva señalada en la banda de frecuencia de 800 Hz.

6.1.7 A modo general, las amplitudes ponderadas de vibración sin guantes, predominaron en el eje Z, siendo las de los ejes X e Y del orden de un 77% y 60% inferiores a las del eje señalado, respectivamente. Para la condición Con Guante, se mantuvo el porcentaje indicado para el eje Y, pero en X las vibraciones son del orden de un 66% respecto a Z.

6.1.8 Se debe mencionar que las importantes diferencias de aceleración vibratoria obtenidas mediante los dos métodos de acople, acople de palma y acople en T, del orden del 50 % de las amplitudes ponderadas, implica considerar la revisión y estudio de la capacidad de estos dispositivos de entregar un valor de amplitud sin que el mismo acople aporte con vibración propia o, por otro lado, pueda participar en una reducción adicional, absorbiendo energía vibratoria.

6.2. TRANSMISIBILIDAD DE LOS GUANTES EN ESTUDIO.

La Transmisibilidad calculada, es decir, valores resultantes de la razón entre los espectros de vibración ponderada Con Guante y Sin Guante, para los distintos rangos de frecuencia y que se muestran en las tablas 4 a 6, será analizada respecto a la norma ISO10819:2013, que plantea una característica de reducción

de Laboratorio de $TRM_{(25\text{Hz}-200\text{Hz})} \leq 0.9$ para las vibraciones del rango de frecuencia medio y $TRH_{(200\text{Hz}-1250\text{Hz})} \leq 0.6$ para el rango de frecuencia Alto y para el eje Z.

También se analizará la transmisibilidad en el rango de baja frecuencia $TRL_{(5\text{ Hz}-25\text{Hz})}$, como también la transmisibilidad total $TRT_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$ sin ponderar y la transmisibilidad ponderada da ponderada $TRw_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$, esperando que estos indicadores sean ≤ 1 .

6.2.1 Sonda Vibratoria de Hormigón.

Para el rango de frecuencia bajo, 5 Hz a 25 Hz, pese a que en el eje X todos los guantes lograron reducir la vibración, donde el menor valor fue de 0.72 para “G3” con un desempeño de todos los guantes de 0.73 en promedio, en los ejes X e Y, prácticamente todos los guantes amplificaron la vibración, excepto el guante “G4” con TRL de 0.95, fluctuando todos los demás casos de transmisibilidad entre 1.06(G2 en eje Z) y 1.18 (G1 en eje Z).

En el rango de frecuencia medio, 25Hz a 200Hz, en el eje Z, todas las transmisibilidades superaron el valor de referencia, variando éstas entre 1.08 (G4) hasta 1.31(G2). En el eje X todos los valores no superaron el valor de referencia de transmisibilidad 0.9 de la norma ISO10819:2013, variando desde 0.70 (G1) hasta 0.9 (G3). En el eje Y, los guantes G1 y G2 presentaron transmisibilidades superiores a 0.89, las que fueron 1.02 y 0.95 respectivamente, en cambio los guantes G3 y G4 tuvieron transmisibilidades de 0.88 y 0.8 respectivamente.

Para el rango de frecuencia Alto, 200Hz a 1250 Hz, se observa que en el eje Z, todos los guantes dieron valores que superaron el de referencia de 0.6, variando entre 0.86 (G4) y 10.6(G2). En el eje X dos guantes, G1 y G2 dieron valores de transmisibilidad bajo el valor de referencia esperado de 0.6 según ISO10819:2013, siendo éstos de 0.50 y 0.47 respectivamente, en cambio los guantes G3 y G4 dieron valores de transmisibilidad sobre los esperado, de 0.64 y 0.68

respectivamente. En el eje Y, todos los valores de transmisibilidad superaron el valor de referencia, variando entre 0.68 (G3) y 0.84 (G1).

La Transmisibilidad Total o de Banda Ancha $TRT_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$, muestra reducción de vibración para todos los guantes en los ejes X e Y con una variación en X desde 0.52(G1) hasta 0.74(G4) y en el eje Y desde 0.67 (G3) hasta 0.81(G1). En el eje Z, los guantes G1 y G4 dieron transmisibilidades inferiores al valor uno, con 0.99 en ambos casos y los guantes G2 y G3 dieron valores sobre uno con 1.16 y 1.02 respectivamente.

En el caso de la Transmisibilidad Ponderada TRw , sólo en el eje Z de cada guante se superó el valor 1, siendo la mayor transmisibilidad el valor de 1.24 en el guante G2, seguido de 1.09 (G3), luego el valor de 1.05 (G1) y 1.03 (G4). Todos los demás valores de transmisibilidad fueron inferiores a 1, es decir, ocasionaron una reducción de vibración para los ejes de exposición X e Y, donde las mayores reducciones se ocasionaron en el eje X, con valores de 0.64 para G1 y G2 y 0.81 para los guantes G3 y G4, seguido por el eje Y con valores de 0.78 (G4), 0.83 (G3), 0.89 (G2) y finalmente 0.96 (G1).

6.2.2 Esmeril Angular 4.5''

Para el rango de frecuencia bajo, en el eje Y se obtuvieron valores de $TRL_{(5\text{Hz}-25\text{Hz})}$, inferiores a uno, para todos los guantes, siendo la menor transmisibilidad de 0.67 (G3 en eje Y) y con un desempeño promedio de transmisibilidad de 0.77 para todos ellos. En los ejes X y Z, prácticamente todos los guantes amplificaron la vibración, excepto el guante "G3" con TRL de 0.96, fluctuando todos los demás casos entre 1.02 (G2 en eje X) y 1.19 (G1 en eje Z).

En el rango de frecuencia medio, 25Hz a 200Hz, en el eje Z, los guantes G1 y G2 presentaron transmisibilidades $TRM_{(25\text{Hz}-200\text{Hz})}$ superiores a 0.9, las que fueron 0.95 y 0.91 respectivamente, en cambio los guantes G3 y G4 tuvieron transmisibilidades de 0.79 y 0.86 respectivamente. En el eje X todos los valores

de transmisibilidad no superaron el valor de referencia de 0.9 de la norma ISO10819:2013, variando desde 0.66 (G4) hasta 0.73 (G1). En el eje Y, todas las transmisibilidades superaron el valor de referencia, variando éstas entre 1.24 (G4) hasta 2.07(G3).

Para el rango de alta frecuencia, 200 Hz a 1250 Hz, en el eje X los guantes G2 y G3 dieron valores $TRH_{(200Hz-1250Hz)}$ inferiores al valor de referencia de 0.6 según ISO10819:2013, con 0.52 y 0.44 respectivamente y los guantes G1 y G4 dieron valores sobre los esperado con transmisibilidades de 0.85 y 1.16 respectivamente. En el eje Y los guantes G1 , G2 y G3 dieron valores de transmisibilidad bajo los esperado con valores de 0.33, 0.25 y 0.28 respectivamente y solo el guante G4 presentó una transmisibilidad sobre lo esperado con 0.78. En Z, tres guantes dieron transmisibilidades sobre el valor de referencia de 0.6, correspondiendo a G1, G3 y G4 con valores de 1.03, 0.94 y 1.11, y solo el guante G3 dio un valor igual al de referencia.

La Transmisibilidad Total de Banda Ancha $TRT_{(5Hz-1250Hz)}$, en todos guantes y ejes de exposición fueron inferiores al valor 1, observándose una reducción de vibración en el eje X que fluctuó desde 0.51(G3) a 0.93 (G4), en Y desde 0.29(G1) a 0.65(G4) y en Z desde 0.71 (G3) a 0.93(G1).

En el caso de la Transmisibilidad Ponderada $TRw_{(5Hz-1250Hz)}$, sólo en el eje Y de los guantes G3 y G2 se superó el valor esperado de 1 ocasionándose una amplificación de la vibración, con valores de 1.15 y 1.36 respectivamente. Todos los demás valores en todos los guantes fueron igual a uno o inferior a este valor, variando en X desde 0.67 (GH3) a 0.75 (G1), en Y desde 0.9 (G1) a 1.0 (G4) y en Z desde 0.8 (G3) a 0.97 (G1).

6.2.3 Esmeril Angular 7''

Para el rango de frecuencia bajo, todos los guantes superaron el valor 1 de transmisibilidad $TRL_{(5Hz-25Hz)}$ en los ejes de exposición. Los mayores valores

predominan en Z, dirección perpendicular a la palma de la mano, con el mayor valor de 1.23 (Z) para el guante G3, seguido del guante G2 con 1.19 y 1.17 para G1. Luego, los valores de los ejes X e Y son del mismo orden, los que fluctúan desde 1.02 (G1 en X) hasta 1.5 (G2 en X).

En el rango de frecuencia medio, en Z, los guantes G1 y G3, presentaron valores de transmisibilidad $TRM_{(25\text{Hz}-200\text{Hz})}$ igual o bajo 0.9, y los dos restantes G2 y G4 superaron este valor, con 0.94 y 0.99 respectivamente. En el eje X tres de los cuatro guantes presentaron valores sobre el de referencia que fueron 1.04 (G2), 0.97(G3) y 1.11(G4), siendo el guante G1 el único que logro una transmisibilidad de 0.88. En el eje Y, todos los valores de transmisibilidad superaron el valor de 0.9 de la norma ISO 10819:2013, variando entre 1.19 (G3) hasta 1.46 (G2 y G3).

En el rango de alta frecuencia, en Z, solo el guante G3 presento un valor de transmisibilidad $TRH_{(200\text{Hz}-1250\text{Hz})}$ bajo lo esperado con 0.54, y los otros tres restantes superaron el valor de referencia de 0.6 según ISO10819:2013 con una variación desde 0.63 (G1) hasta 0.92 (G4). En el eje X los guantes G2 y G4 dieron transmisibilidades superiores a 0.6, con 0.61 y 0.96 respectivamente y los guantes G1 y G3 dieron valores inferiores a 0.6. En el eje Y los guantes G1, G2 y G3 dieron valores de transmisibilidad bajo lo esperado con valores de 0.48, 0.46 y 0.40 respectivamente y solo el guante G4 presentó una transmisibilidad sobre lo esperado con 0.79

La Transmisibilidad Total o de Banda Ancha $TRT_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$, en todos guantes y ejes de exposición fueron inferiores al valor 1, observándose una transmisibilidad de vibración en el eje X que fluctuó desde 0.39(G1) a 0.81 (G4), en Y desde 0.16(G3) a 0.68(G4) y en Z desde 0.44 (G3) a 0.88(G4).

En el caso de la Transmisibilidad Ponderada $TRw_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$, sólo en el eje X del guante G4 se superó el valor esperado de 1, ocasionándose una leve amplificación del orden de u 4% de la vibración, con un valor de transmisibilidad de 1.04. Todos los demás casos presentaron valores de transmisibilidad inferiores

al valor uno, con transmisibilidades en X desde 0.78 (G1) a 0.91 (G21), en Y desde 0.65 (G1) a 0.86 (G4) y en Z desde 0.8 (G3) a 0.96 (G4).

6.2.4 Martillo Demoledor

Para el rango de frecuencia bajo, todos los guantes presentaron al menos un eje donde se superó el valor 1 de transmisibilidad $TRL_{(5\text{Hz}-25\text{Hz})}$. Los menores valores se observan en el eje Z como promedio, siendo la menor transmisibilidad de 0.87 para G4 y la más alta de 1.04 en para G1. Los ejes X e Y dieron en tres de cuatro guantes valores de transmisibilidad del mismo orden y superiores a 1, siendo los menores valores los proporcionados por G1 para ambos ejes, 0.96 y 0.93 respectivamente y el mayor valor de transmisibilidad de 1.14 en X para G4.

En el Rango de frecuencia medio, en el eje Z, solo el guante G4 presentó una transmisibilidad $TRM_{(25\text{Hz}-200\text{Hz})}$ mayor a lo esperado, siendo esta de 0.94, todos los demás guantes tuvieron valores entre 0.8 (G3) y 0.9 (G1). En el eje X todos los valores de transmisibilidad resultaron menores a 0.9, variando éstos entre 0.66(G1) y 0.89(G4). En Y, todas las transmisibilidades superaron el valor de referencia señalado, variando entre 1.09(G4) y 1.32(G2).

En el rango de alta frecuencia, en el eje Z, todos los guantes dieron transmisibilidades $TRH_{(200\text{Hz}-1250\text{Hz})}$ que superaron el valor de referencia de 0.6 según ISO10819:2013 con una variación desde 0.72 (G2) hasta 1.03(g4). En el eje X los guantes G1 y G2 dieron transmisibilidades inferiores a 0.6, con 0.58 y 0.54 respectivamente y los guantes G3 y G4 dieron valores sobre los esperado con transmisibilidades de 0.7 y 0.94 respectivamente. En el eje Y los guantes G1 , G2 y G3 dieron valores de transmisibilidad bajo los esperado con 0.58, 0.44 y 0.53 respectivamente y solo el guante G4 presentó una transmisibilidad sobre lo esperado con 0.79.

La Transmisibilidad Total o de Banda Ancha $TRT_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$, en todos guantes y ejes de exposición fueron inferiores al valor 1, observándose una reducción de

vibración en el eje X que fluctuó desde 0.64(G1) a 0.95 (G4), en Y desde 0.72(G2 y G3) a 0.89(G4) y en Z desde 0.74 (G3) a 0.96(G4).

En el caso de la Transmisibilidad Ponderada $TRw_{(5Hz-1250Hz)}$, en todos los guantes y en el eje Y, se superó el valor esperado de 1, ocasionándose una amplificación, con valores de transmisibilidad del orden de 1.23 en los guantes G2 y G3, de 1.12 en el guante G1 y 1.05 en el guante G4. En los demás ejes, todos los valores de transmisibilidad fueron inferiores a uno con variaciones en X desde 0.73 (G1) a 0.94(G4) y en Z desde 0.79 (G3) a 0.91(G4).

6.2.5 Taladro Percutor

Para el rango de frecuencia bajo, las mayores transmisibilidades $TRL_{(5Hz-25Hz)}$ se presentaron en Z, con valores desde 1.19 (G3) hasta 1.26 (G2 y G4). Luego sigue el eje X con un solo valor sobre uno de 1.07 (G2) y tres de 0.96 en promedio. Para el eje Y, todos los valores son inferiores a uno, variando entre 0.64 (G2) hasta 0.68 (G3 y G4).

Para el Rango de frecuencia medio, en el eje Z, todos los guantes superaron la transmisibilidad $TRM_{(25Hz-200Hz)}$ de referencia de 0.9 según la norma ISO10819:2013 con valores que fluctuaron entre 0.91(G1) y 0.95 (G4). El eje X presentó valores de transmisibilidad bajo el valor esperado para todos los guantes con variación desde 0.75(G1) hasta 0.89 (G4). En Y, todos los guantes arrojaron transmisibilidades superiores al valor de referencia, con variación entre 1.06(G2 y G4) y 1.12 (G3).

Para el rango de alta frecuencia, en el eje Z todos los guantes dieron transmisibilidades $TRH_{(200Hz-1250Hz)}$ que superaron el valor esperado de 0.6 según ISO10819:2013, con una variación desde 0.74 (G3) hasta 1.09 (G4). En el eje X los guantes G2 y G3 dieron transmisibilidades inferiores al valor de referencia, con 0.51 y 0.42 respectivamente y los guantes G1 y G4 dieron valores sobre lo esperado con transmisibilidades de 0.7 y 1.04 respectivamente. En el eje Y los

guantes G1 , G2 y G3 dieron valores de transmisibilidad bajo los esperado con valores de 0.53, 0.44 y 0.37 respectivamente y solo el guante G4 presentó una transmisibilidad sobre lo esperado con 0.97.

La Transmisibilidad Total o de Banda Ancha $TRT_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$, solo el guante G4 en el eje Z dio mayor al valor 1 con 1.03, luego, los demás valores en todos los casos fueron inferiores a 1, fluctuando en X desde 0.29 (G3) a 0.92 (G4), en Y desde 0.23(G3) a 0.80 (G4) y en el eje Z desde 0.70 (G3) a 0.79 (G2).

En el caso de la Transmisibilidad Ponderada $TRw(5\text{Hz}-1250\text{Hz})$, sólo en los guantes G2 y G4 del eje Z se superó el valor 1 de transmisibilidad, ocasionándose una leve amplificación en este eje con un valor de transmisibilidad de 1.02 para ambos guantes. En todos los demás ejes y guantes, la transmisibilidad fue igual o inferior a 1 uno, variando en X desde 0.74 (G3) a 0.93 (G4), en Y desde 0.78 (G2) a 0.92 (G4) y en Z valores del orden de 1 para los guantes G1 y G3.

6.2.6 Sierra Circular.

Para el rango de frecuencia bajo, en el eje X todos los valores $TRL_{(5\text{Hz}-25\text{Hz})}$ fueron inferiores a uno, con variación de la transmisibilidad entre 0.84 (G2) hasta 0.91 (G4). En Y solo un valor dio sobre uno, correspondiendo a 1.07 (G3), siendo los demás del orden de 0.97 en promedio. En el eje Z, todos los valores fueron superiores a uno y del mismo orden, 1.08 en promedio para todos los guantes.

En el Rango de frecuencia medio, en el ejes Z todos los guantes dieron transmisibilidades $TRM_{(25\text{Hz}-200\text{Hz})}$ inferiores al valor de referencia de ISO10819:2013 de 0.9, con variaciones desde 0.79(G2) hasta 0.87(G4). En el eje X las transmisibilidades también fueron menores a la de referencia, variando desde 0.52(G1) hasta 0.77(G4), y en Y solo el guante G4 dio un valor de 0.92, sobre lo esperado.

En el rango de alta frecuencia, en todo los ejes sólo el guante G4 superó el valor de $TRH_{(200\text{Hz}-1250\text{Hz})}$ de referencia de 0.6 de la norma ISO 10819:2013, con valores de 0.73, 0.78 y 0.67 para X, Y y Z respectivamente. Los demás valores de transmisibilidad variaron entre 0.26 (G1 en eje X) y 0.43 (G2 en Y).

La Transmisibilidad Total o de Banda Ancha $TRT_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$, en todos los guantes dieron menor al valor 1, para todos los ejes, fluctuando en X desde 0.18 (G1) a 0.55 (G4), en Y desde 0.40(G1) a 0.80 (G4) y en el eje Z desde 0.25 (G3) a 0.64 (G4).

En el caso de la Transmisibilidad Ponderada $TRW_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$, todos los guantes dieron una transmisibilidad menor al valor 1, para todos los ejes, ocasionándose una reducción de la vibración, fluctuando la transmisibilidad en X desde 0.48 (G1) a 0.76 (G4), en Y desde 0.58(G1) a 0.85 (G4) y en el eje Z desde 0.51 (G2) a 0.74 (G4).

6.3 EFECTO DE LA TRANSMISIBILIDAD DE LOS GUANTES EN LA EXPOSICIÓN DEL OPERADOR.

6.3.1. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN SEGÚN D.S.N°594/1999

6.3.1.1 Sonda Vibradora de Hormigón

Tal como se muestra en la Tabla 9 del capítulo 5 de resultados, para la vibración de entrada o condición Sin Guante, cuyas amplitudes promedio son del orden de 3.97 m/s^2 en X, 1.95 m/s^2 en Y y 4.29 m/s^2 en Z, todos los guantes ocasionaron exposiciones reducidas en los ejes X e Y con la disminución de las amplitudes de vibración ponderadas de 27.8 % para el eje X y de 11.8% para el eje Y. En X, la reducción de la exposición vario desde un 36.9 % (G1) a un 19% (G4), en Y desde un 19% (G4) a un 4.28 % (G1).

Pese a lo anterior, en el eje Z solo ocurrieron aumentos o amplificación de las vibraciones, que fueron en promedio de un 9.9%, con variaciones desde 2.48%(G4) a un 23.08% (G2).

Respecto al riesgo asociado a la exposición y su evaluación con el D.S. N°594 de Chile, tal como se observa en la Tabla 9, la condición Sin Guante presentó vibración que no superó en ningún caso el límite máximo permisible de 6 m/s^2 . Por otra parte, la condición Con Guante igualmente presentó valores que no superaron el Límite Máximo Permisible pese a la amplificación de las amplitudes ponderadas ocurrida en el Eje Z. Finalmente la Calificación de la Exposición resultó “BAJO EL LÍMITE” para todos los casos.

6.3.1.2 Esmeril Angular 4.5”

Para la vibración de entrada o condición Sin Guante, cuyas amplitudes promedio son del orden de 1.53 m/s^2 en X, 1.24 m/s^2 en Y y 3.0 m/s^2 en Z, todos los guantes ocasionaron exposiciones reducidas en los ejes X y Z con disminuciones promedio de 29.4 % para las vibraciones del eje X y de 9.2% para las del eje Z. En X, la reducción de la exposición vario desde un 26 % (G1) a un 32.23%(G3) y en Z desde un 2.1% (G1) a un 18.5 % (G3).

Pese a lo anterior, en el eje Y ocurrieron aumentos de las vibraciones, para los guantes G2 y G3 en un 14.5 % y 37.15%, respectivamente. En el mismo eje, los guantes G1 y G4 entregaron una reducción de la vibración en un 9.8% y un 2.17% respectivamente.

Respecto al riesgo asociado a la exposición y su evaluación con el D.S. N°594 de Chile, tal como se observa en la Tabla 9, la condición Sin Guante presentó vibración que no superó el límite máximo permisible de 6 m/s^2 para todos los casos. La condición Con Guante, igualmente presentó valores que no superaron el Límite Máximo Permisible pese a la amplificación de las amplitudes ponderadas

ocurrida en el Eje Y. Finalmente la Calificación de la Exposición es “BAJO EL LÍMITE”, para las dos condiciones, Con y Sin Guante.

6.3.1.3 Esmeril Angular 7”

Para la vibración de entrada o condición Sin Guante, cuyas amplitudes promedio son del orden de 1.66 m/s^2 en X, 1.89 m/s^2 en Y y 2.48 m/s^2 en Z, los guantes G1, G2 y G3 ocasionaron exposiciones reducidas en todos los ejes debido a la disminución de las amplitudes de vibración ponderadas que fluctuaron en X entre un 4.4% (G2) hasta 19.13% (G1), en el eje Y desde un 27.5 % (G2) hasta 29.41(G3) y en Z desde un 10% (G2) hasta un 18% (G3).

Sólo el guante G4, presentó un aumento o amplificación de la vibración en el eje X que fue del un 8% respecto a la vibración Sin Guante. Este guante, en los ejes Y y Z, redujo la vibración y exposición en un 14.4% y 3.9% respectivamente.

Respecto al riesgo asociado a la exposición y su evaluación con el D.S. N°594 de Chile, la condición Sin Guante presentó vibración que no superó el límite máximo permisible de 6 m/s^2 para todos los casos. Por otra parte la condición Con Guante igualmente resultó en todos los casos con valores que no superaron el Límite Máximo Permisible pese a la amplificación de las amplitudes ponderadas ocurrida en para el guante G1. Finalmente la Calificación de la Exposición es “BAJO EL LÍMITE”, para las dos condiciones, Con y Sin Guante.

6.3.1.4 Martillo Demoledor

Para la vibración de entrada o condición Sin Guante, cuyas amplitudes promedio son de 4.88 m/s^2 en X, 2.98 m/s^2 en Y y 6.56 m/s^2 en Z, todos los guantes ocasionaron exposiciones reducidas en los ejes X y Z debido a la disminución de las amplitudes de vibración ponderadas, con reducciones promedio de 13.9 % para las vibraciones del eje X y de 12.5% para las del eje Z. En X, la reducción de la exposición vario desde un 4.03% (G4) a un 26.6% (G1), y en Z desde un 6.46% (G4) a un 20% (G3).

En el eje Y, y para todos los guantes, ocurrió un aumento o amplificación de las vibraciones promediado en 16.6%, con variaciones desde 5.6% (G4) hasta un 24.7 % (G2) de aumento respecto a la condición Sin Guante.

Respecto al riesgo asociado a la exposición y su evaluación con el D.S. N°594 de Chile, tal como se observa en la Tabla 9, la condición Sin Guante presentó vibración que superó en el eje Z y para todos los guantes, el límite máximo permisible de 6 m/s^2 . La condición Con Guante, debido a la reducción proporcionada en el eje Z, del orden del 15% y 20%, para los guantes G2 y G3, respectivamente, proporcionó valores de vibración bajo el Límite Permisible de 6 m/s^2 . En el caso de los guantes G1 y G4, la reducción no fue suficiente para lograr una vibración bajo el Límite Máximo Permisible, por lo tanto la calificación para el uso de estos dos guantes resultó SOBRE EL LÍMITE, con valores en el eje Z de 6.01 m/s^2 y 6.08 m/s^2 respectivamente.

6.3.1.5 Taladro Percutor

Para la vibración de entrada o condición Sin Guante, cuyas amplitudes promedio son del orden de 4.55 m/s^2 en X, 4.43 m/s^2 en Y y 5.5 m/s^2 en Z, todos los guantes ocasionaron exposiciones reducidas en los ejes X e Y debido a la disminución de las amplitudes de vibración ponderadas, que en promedio fueron de 16.4 % para las vibraciones del eje X y de 16.1% para las del eje Y. En X, la reducción de la exposición vario desde un 6.7 % (G4) a un 25.1% (G3), en Y desde un 8% (G4) a un 21.7% (G2).

En el eje Z ocurrieron aumentos o amplificación de las vibraciones, para los guantes G2 y G4 de 1.58% y de 1.75 % respectivamente. Para los guantes G1 y G3, las vibraciones fueron disminuidas en 0.4% y 1.9% respectivamente.

Respecto al riesgo asociado a la exposición y su evaluación con el D.S. N°594 de Chile, la condición Sin Guante presentó vibración que no superó en ningún caso el límite máximo permisible de 6 m/s^2 . Por otra parte, la condición Con Guante

igualmente presentó valores que no superaron el Límite Máximo Permisible pese a la amplificación de las amplitudes ponderadas ocurridas en el Eje Z. Finalmente la Calificación de la Exposición es “BAJO EL LÍMITE”, para todos los guantes y ambas condiciones.

6.3.1.1 Sierra Circular

Para la condición Sin Guante, las amplitudes ponderadas fueron en promedio de 0.98 m/s^2 en X, 1.28 m/s^2 en Y y 0.89 m/s^2 en Z, amplitudes que para todos los guantes y ejes de exposición fueron reducidas por los guantes, en un promedio de 40% en el eje X, 30.6% en Y, y 41.2% en el eje Z, con variaciones en X desde un 24% (G4) a un 51.4% (G1), en Y desde un 14.7% (G4) a 41.7% (G1) y en el eje Z desde un 26.3% (G4) a 48.6% (G2).

Respecto al riesgo asociado a la exposición y su evaluación con el D.S. N°594 de Chile, tanto la condición Sin Guante y Con Guante presentaron vibración que no superó en ningún caso el límite máximo permisible de 6 m/s^2 , obteniendo una Calificación de la Exposición “BAJO EL LÍMITE”, para todos los guantes y ejes.

6.4 EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN SEGÚN DIRECTIVA 44/2002/CE.

6.4.1 Sonda Vibradora de Hormigón

Los valores de aceleración vibratoria normalizada a 8 horas A(8), obtenida para la condición Con Guante y Sin Guante, presentados en la Tabla 11, muestran una reducción de la vibración de 10.6 % para el guante G1, 8.4% para el guante G4, 4.3% para el guante G3 y de 0.5% para el guante G2, a partir de la condición Sin Guante, donde la vibración A(8) promedio fue de 4.36 m/s^2 .

Respecto a la evaluación de la exposición según la Directiva 44/2002/CE, la vibración A(8), para las dos condiciones, se encuentra entre el Límite de Acción

EAV de 2.5 m/s^2 y el Límite de Exposición ELV de 5 m/s^2 , siendo el nivel de riesgo IMPORTANTE, según lo señalado en la Tabla 11.

6.4.2 Esmeril Angular 4.5'

Los valores de aceleración vibratoria normalizada a 8 horas A(8), obtenida para la condición Con Guante y Sin Guante, presentados en la Tabla 11, muestran una reducción de la vibración de 13.5% para el guante G3, de 12.4 % para el guante G4, 7.8% para el guante G2, 7.3% para el guante G1, a partir de la condición Sin Guante, donde la vibración A(8) promedio fue de 2.54 m/s^2 .

Respecto a la evaluación de la exposición según la Directiva 44/2002/CE, la vibración A(8), para las condición Sin Guante, se encuentra entre el Límite de Acción EAV de 2.5 m/s^2 y el Límite de Exposición ELV de 5 m/s^2 , siendo el nivel de riesgo IMPORTANTE, en cambio, para la Condición Con Guante, la exposición para todos los casos se encuentra bajo el Límite de Acción EAV de 2.5 m/s^2 , por lo tanto, la Calificación de la exposición es un nivel de riesgo BAJO.

6.4.3 Esmeril Angular 7'

Los valores de aceleración vibratoria normalizada a 8 horas A(8), obtenida para la condición Con Guante y Sin Guante, presentados en la Tabla 11, muestran una reducción de la vibración de 22.3% para el guante G1, de 21.0 % para el guante G3, 14.5% para el guante G2 Y 4.2% para el guante G4, a partir de la condición Sin Guante, donde la vibración A(8) promedio fue de 2.5 m/s^2 .

Respecto a la evaluación de la exposición según la Directiva 44/2002/CE, la vibración normalizada a 8 horas A(8), para las condición Sin Guante, los guantes G1 y G4 presentaron valores de vibración entre el Límite de Acción EAV de 2.5 m/s^2 y el Límite de Exposición ELV de 5 m/s^2 , siendo el nivel de riesgo IMPORTANTE para su operador, por otro lado, los guantes G2 y G3 presentan vibración bajo el Límite de Acción EAV de 2.5 m/s^2 , por lo tanto, la Calificación de

la exposición es un nivel de riesgo BAJO para su operador. Para la condición de exposición Con Guante, y debido a las reducciones señaladas, todas las vibraciones A(8) obtenidas son menores al Límite de Acción EAV de 2.5 m/s^2 , por lo tanto, la Calificación de la exposición es un nivel de riesgo BAJO para su operador.

6.4.4 Martillo Demoledor

Los valores de aceleración vibratoria normalizada a 8 horas A(8), obtenida para la condición Con Guante, presentados en la Tabla 11, muestra una reducción de la vibración de 11.8% para el guante G3, de 11.6 % para el guante G1, 10.3% para el guante G2 y 5.9% para el guante G4, a partir de la condición Sin Guante, donde la vibración A(8) promedio fue de 6.13 m/s^2 .

Respecto a la evaluación de la exposición según la Directiva 44/2002/CE, la vibración normalizada a 8 horas A(8) para las condiciones Con y Sin Guante, en todos los casos superó el Límite de Exposición ELV de 5 m/s^2 , calificando la exposición con un nivel de riesgo ALTO para su operador.

6.4.5 Taladro Percutor

Los valores de aceleración vibratoria normalizada a 8 horas A(8), obtenida para la condición Con Guante, presentados en la Tabla 11, muestra una reducción de la vibración de 12.8% para el guante G3, de 10.7 % para el guante G1, 9.6% para el guante G2 y 3.4% para el guante G4, a partir de la condición Sin Guante, donde la vibración A(8) promedio fue de 5.91 m/s^2 .

Respecto a la evaluación de la exposición según la Directiva 44/2002/CE, la vibración normalizada a 8 horas A(8) para las condiciones Con y Sin Guante, pese a la reducción obtenida, en todos los casos se superó el Límite de Exposición ELV de 5 m/s^2 , manteniendo un nivel de riesgo ALTO para su operador.

6.4.6 Sierra Circular

Los valores de aceleración vibratoria normalizada a 8 horas A(8), obtenidos para la condición Con Guante, presentados en la Tabla 11, muestran una reducción de la vibración de 44.6% para el guante G1, de 40.7 % para el guante G2, 37.7% para el guante G3 y de 19.9% para el guante G4, a partir de la condición Sin Guante, donde la vibración A(8) promedio fue de 1.3 m/s².

Respecto a la evaluación de la exposición según la Directiva 44/2002/CE, la vibración normalizada a 8 horas A(8), para las condiciones Con y Sin Guante, en todos los casos no superó el Límite de Acción Ocupacional EAV de 2.5 m/s², calificándose la exposición con un nivel de riesgo BAJO para su operador.

6.4.7 TRANSMISIBILIDAD PONDERADA COMBINADA.

Como se señaló en los antecedentes, para la caracterización de la reducción de vibración de un guante, la norma ISO10819:2013 propone los indicadores de reducción TRM_(25Hz-200Hz), y TRH_(200Hz-1250Hz) que cubren solo los rangos de frecuencia medio y alto, asumiendo que el efecto de la transmisión en baja frecuencia es poco significativo. Por otro lado, estos indicadores solo se proponen para el eje Z, o dirección perpendicular a la palma de la mano, no considerando el efecto que proporcionan los ejes X e Y.

Los valores señalados en la Tabla 7, representan la reducción de cada guante sobre la exposición final del trabajador, en los mismos porcentajes que se presentan en la Tabla 11, por lo tanto, la Transmisibilidad Ponderada Combinada al ser una medida de la reducción de la magnitud del “vector vibración”, se constituye como el indicador que relaciona directamente la reducción del guante con su efecto en la exposición del trabajador.

7. CONCLUSIONES

7.1 TRANSMISIBILIDAD DE LOS GUANTES

Para el rango de baja frecuencia bajo, se observó mayores valores de transmisibilidad ponderada $TRL_{(5\text{Hz}-25\text{Hz})}$ en el eje Z, superando el valor uno en un 87.5% de los casos. En los ejes X e Y, un 45.8% de los casos superaron el valor uno. La transmisibilidad promedio en Z fue de 1.11 (amplificación de vibración de 11%) y en los ejes X e Y 0.95 (reducción de 5%) respectivamente.

En el rango de frecuencia medio, los valores de transmisibilidad ponderada $TRM_{(25\text{Hz}-200\text{Hz})}$ predominaron en el eje Y, donde un 79.2% de los casos superaron el valor esperado de 0.9 de ISO10819:2013, seguido por el eje Z con un 54.2% de los resultados en este eje para finalizar con el eje X con un 12.5% de los casos superando el valor de 0.9. La transmisibilidad promedio en Y fue de 1.16 (amplificación de vibración de 16%), en Z de 0.93 (reducción de 7%) y en X de 0.78 (reducción de 22%). Lo descrito anteriormente evidencia que no solo en el eje Z, como indica ISO10819:2013, se producen vibraciones y transmisibilidades de consideración.

Para el rango de alta frecuencia, la transmisibilidad ponderada $TRH_{(200\text{Hz}-1250\text{Hz})}$ presentó mayores valores en el eje Z superando el valor esperado de 0.6 de ISO10819:2013 en un 79.2% de los casos. En los ejes X e Y, el valor de 0.6 se superó en un 45.8% y un 37.5% de los casos respectivamente. La transmisibilidad promedio en Z fue de 0.79 (reducción de vibración de 21%), en X de 0.63 (37% de reducción) y en Y de 0.55 (45% de reducción).

Respecto a la transmisibilidad global o sin ponderar⁶ $TRT_{(5\text{Hz}-1250\text{Hz})}$, de todos los guantes sobre las herramientas seleccionadas, la mayoría de los casos, 96.9%, presentó una reducción de energía vibratoria en banda ancha con una

⁶ Sin incorporar la ponderación o respuesta humana de mano-brazo ISO5349-1:2001.

transmisibilidad promedio de 0.55 en X , 0.52 en Y y 0.75 en Z, es decir un 44.3%, 47.9% y 24.6% de reducción, respectivamente.

En el caso de la Transmisibilidad Ponderada $TRw_{(5Hz-1250Hz)}$, limitada por la sensibilidad normalizada de mano-brazo, según ISO5349-1:2001 y relacionada con la exposición ocupacional del operador de la herramienta, se observa que en 13 casos (18.1%) de 72 mediciones se superó el valor 1, amplificándose la vibración, de los cuales uno ocurre en el eje X y los otros 12 en partes iguales ocurren en los ejes Y y Z, hecho que confirma la relevancia de considerar otros ejes distintos al Z en la caracterización de la reducción de un guante antivibración. La transmisibilidad promedio en Z e Y fue del orden de 0.89 (reducción de vibración de 11%) y en X de 0.76 (24% de reducción).

La Transmisibilidad Ponderada Combinada $TR_{h,v}$, que compara el vector de vibración (combinación de las amplitudes de los tres ejes), para la condición Con Guante y Sin Guante, entregó valores de transmisibilidad que en todos los casos estuvieron bajo el valor 1, observándose con este indicador una reducción de vibración para todos los guantes y herramientas, cuya fluctuación fue desde 0.55 (G1 - Sierra Circular) a 0.99 (G2 – Sonda Vibradora de Hormigón) y que en promedio fue de 0.85 para todos los casos, es decir un 15% de reducción de vibración.

7.2 DESEMPEÑO DE GUANTES POR HERRAMIENTA.

Utilizando el mismo indicador $TR_{h,v}$, fue posible comparar el desempeño de los guantes por cada herramienta seleccionada, que se indica a continuación:

Para la Sonda Vibradora de Hormigón, el guante **G1** fue el que entregó el valor más bajo de transmisibilidad de **0.89** (11.1% de reducción), siendo el valor más alto el proporcionado por el guante G2 de 0.99 (0.56% de reducción).

Para el Esmeril Angular de 4.5'', los guantes **G3** y **G4** fueron los que presentaron el valor más bajo de transmisibilidad de **0.88** (12.27% de reducción), siendo el valor más alto el entregado por el guante G1 de 0.93 (7% de reducción).

Para el Esmeril Angular de 7'', el guante **G1** fue el que entregó el valor más bajo de transmisibilidad de **0.78** (21.78% de reducción), siendo el valor más alto el proporcionado por el guante G4 de 0.96 (3.9% de reducción).

Para el Martillo Demoledor, los guantes **G1** y **G3** fueron los que presentaron el valor más bajo de transmisibilidad de **0.88** (12% de reducción), siendo el valor más alto el proporcionado por el guante G4 de 0.94 (5.6% de reducción).

Para el Taladro Percutor, el guante **G3** fue el que entregó el valor más bajo de transmisibilidad de **0.87** (13% de reducción), siendo el valor más alto el proporcionado por el guante G4 de 0.97 (3.27% de reducción).

Para la Sierra Circular, el guante **G1** fue el que entregó el valor más bajo de transmisibilidad de **0.55** (44.5% de reducción), siendo el valor más alto el proporcionado por el guante G4 de 0.80 (20% de reducción).

7.3 RELACION DE LA TRANSMISIBILIDAD Y LA EXPOSICIÓN DEL OPERADOR.

No se presentó una relación directa entre los valores de transmisibilidad medidos, $TRM_{(25Hz-200Hz)}$ y $TRH_{(200Hz-1250Hz)}$ de ISO10819:2013, y la exposición de mano brazo del trabajador obtenida, debido a que la norma propone estos indicadores sólo para el eje Z o dirección perpendicular a la palma de la mano, comprobándose que pueden presentarse amplitudes de vibración y transmisibilidades significativas en direcciones distintas al eje Z, particularmente en el eje Y, por lo que se señala en el punto 7.1.

Por otro lado, los valores de $TRM_{(25Hz-200Hz)}$ y $TRH_{(200Hz-1250Hz)}$ obtenidos en terreno, son dependientes del espectro de frecuencia de cada herramienta en particular, espectro que difiere considerablemente del espectro estándar (ver Figura 5), utilizado en laboratorio, explicando el resultado obtenido con reiterados sobrepasamientos de las transmisibilidades de los guantes sobre los valores de referencia tanto en el eje Z, como en los otros ejes, no encontrándose relación entre la transmisibilidad de laboratorio y terreno.

Si se aplica la transmisibilidad ponderada TRw de manera independiente a cada eje de exposición, se puede relacionar este indicador de reducción del guante de manera directa con la reducción de la exposición del operador. De manera integrada o combinada, esta relación no ocurre, pudiendo la transmisibilidad en al menos un eje implicar una amplificación y la exposición final resultante o combinada (ahv) puede implicar una disminución de vibración.

La Transmisibilidad Ponderada Combinada $TRhv$ puede relacionar el conjunto de reducciones ponderadas, de manera directa con la exposición final del operador de la herramienta, dado que considera la relación entre la magnitud del vector de vibración de entrada (Sin guante) y el de salida (Con Guante), representando la energía vibratoria total que es capaz de transmitir el guante. Este indicador se considera adecuado para estudiar la efectividad de la reducción o protección de un guante en terreno y además se alinea con el método de evaluación del riesgo de la directiva 2002/44/CE y norma ISO5349-1:2001, al utilizar los mismos indicadores de medición usuales.

7.2.1 RESPECTO A LA EXPOSICION D.S. N°594.

Respecto a la exposición ocupacional y evaluación del D.S. N°594 para el operador de las herramientas manuales seleccionadas, a modo general se observó una reducción de la vibración en los ejes Z e Y en un 75 % de los casos

(18 de 24 mediciones en cada eje) mientras que en el eje X se presentó una reducción de vibración en un 95.8% de los casos (23 mediciones de 24).

Todos los guantes tuvieron desempeños similares, cuya reducción promedio de la vibración y exposición por eje, fue de 22.3% en X, 9.7% en Y, y de 10.7% en el eje Z. El indicador TRw permite relacionar directamente la reducción de los guantes con una reducción de la exposición a vibraciones.

La exposición más severa la ocasionó el martillo demoledor, que para la condición Sin Guante alcanzó valores sobre el LMP en el eje Z, los que fueron reducidos por todos los guantes en porcentajes que fluctuaron entre un 8.7% y 9.7% para G4 y G1, hasta un 16.2 % y 20.6% para G2 y G3, lo que permitió cambiar la calificación del riesgo para las exposiciones con estos dos últimos guantes. Pese a lo anterior, en el eje Y, todos los guantes ocasionaron amplificaciones que para G2 y G3 fueron de 22.6% y 20.2%, del orden de lo reducido en el otro eje, pero que amplificaron las vibraciones del eje menos contribuyente, siendo los valores resultantes calificados como Bajo el LMP.

Algunos guantes permitieron reducciones simultáneas en los tres ejes como fue para los guante G1 y G4 en la exposición al esmeril angular de 4.5"; guantes G1, G2 y G3 para la exposición al esmeril de 7"; guantes G2 y G3 para el martillo demoledor; guantes G1, G3 y G4 para el taladro percutor; todos los guantes para la exposición a la sierra circular, siendo ésta la menos severa de todas.

Se hace presente que lo anterior ocurre bajo la suposición de un tiempo de exposición de 4 horas efectivas dentro de una jornada diaria de trabajo.

7.2.2 RESPECTO A LA EXPOSICION 2002/44/CE.

Todos los guantes, proporcionaron una disminución de vibración y de la exposición del operador de herramientas, siendo ésta del orden de 14.5% en

promedio, con una reducción mínima de 1% para la Sonda Vibradora de Hormigón (guante G2), hasta una reducción de 45% para la Sierra Circular (Guante G1).

En el caso de Sonda Vibradora de Hormigón la mayor disminución de la exposición fue de un 11%, proporcionada por el guante G1 y la menor disminución, la que entregó el guante G2 con 0.6%.

Como se señaló anteriormente, la reducción de vibración proporcionada por los guantes, es posible determinarla a partir de los indicadores normalizador ahv o A(8) de ISO5349-1:2001 y directiva 2002/44/CE para la valoración del riesgo, y a partir de ellas efectuar la razón entre la vibración triaxial combinada Sin Guante y Con Guante, logrando caracterizar la reducción con la transmisibilidad ponderada combinada TRhv. De esta manera, es posible predecir una exposición a partir de la medición de vibración triaxial en la palma de la mano con y sin guante.

El desempeño general de cada guante para el total de las herramientas seleccionadas, calculado⁷ en función de TRhv fue de 0.82 para G1, 0.83 para G3, 0.86 para G2 y 0.91 para G4, es decir la reducción de la exposición a vibración fue del orden de 18%, 17%, 14% y 9%, respectivamente.

Para las herramientas seleccionadas, las reducciones de la exposición más importantes fueron dadas por G1 (11%) para la sonda vibradora de hormigón; G3 y G4 (13%) para el esmeril de 4.5"; G1(22%) para el esmeril angular de 7"; G1 y G3 (12%) para el martillo demoledor; G3 (13%) para el taladro percutor; finalmente G1(45%) para la sierra circular.

La reducción de vibración de los guantes señaladas, permitieron cambiar el estado de la evaluación del riesgo para los esmeriles angulares de 4.5" y 7", desde una calificación de riesgo IMPORTANTE , a una de riesgo BAJO.

⁷ Promedio de todas las transmisibilidades obtenidas para las herramientas del rubro construcción seleccionadas.

Pese a la reducción obtenida, conservaron su calificación de riesgo IMPORTANTE Y BAJO, las herramientas Sonda Vibradora de Hormigón y Sierra Circular respectivamente. La calificación de riesgo CRÍTICO, también se conservó para las herramientas Martillo Demoledor y Taladro Percutor (ver Tabla 10).

Se hace presente que lo anterior ocurre bajo la suposición de un tiempo de exposición de 4 horas efectivas dentro de una jornada diaria de trabajo.

8.- RECOMENDACIONES

Al no encontrarse una relación directa entre la transmisibilidad del guante anti-vibración publicada por el fabricante según ISO10819:2013, y la exposición ocupacional del operador, en el proceso de asignación de un guante anti-vibración, se recomienda medir la vibración ponderada en la palma de la mano con y sin guante en cada eje de exposición para calcular la transmisibilidad ponderada TRw. Este indicador representará el factor de reducción o amplificación de la vibración por eje, lo que será particularmente útil en la estimación de la condición de riesgo según el D.S.Nº594 que aborda la exposición en cada eje de manera independiente.

Otra manera de asignar un guante antivibración, y la que mejor se ajusta con el indicador actualizado de evaluación del riesgo ahv de la directiva 2002/44/CE, que combina la vibración de los tres ejes, es medir este indicador con y sin guante para calcular la transmisibilidad ponderada combinada TRhv, que representará el factor de reducción o amplificación de la energía vibratoria en su totalidad. Dicho de otra manera la transmisibilidad TRhv es la medida de la reducción del “vector de vibración” por el uso del guante.

Dado que, para la mayoría de las herramientas estudiadas, la reducción del guante fue limitada y en un porcentaje promedio de 14.5% para la transmisibilidad TRhv, se recomienda poner especial atención en la amplitud y frecuencia de vibración de las herramientas o fuentes de vibración, la que debería ser informada

por su fabricante para anticipar eventuales condiciones de riesgo. La gestión del profesional de prevención de riesgos es importante para asegurar que la herramienta con el menor nivel vibratorio sea utilizada en un lugar de trabajo, para que posteriormente y sobre este nivel de riesgo, aplicar el guante anti-vibración si fuese requerido. Lo anterior también conlleva asegurar que la condición vibratoria original de la herramienta se conserva en el tiempo, mediante un plan de mantenimiento según lo indicado por el fabricante.

Otro aspecto importante a considerar es que en la determinación de la reducción de un guante en terreno o laboratorio, se considera el guante en su estado nuevo o sin uso, desconociéndose el cambio de su respuesta en el transcurso de su utilización por períodos prolongados de tiempo, por lo que se propone, verificar el desempeño del guante, además de su estado “nuevo” en una condición de uso intermedia y en una condición próxima a un recambio, comparando los resultados, lo que ayudará de establecer su vida útil en función del desempeño de protección entregado. Esta información se podrá complementar con lo que señale el fabricante.

Para futuras investigaciones, se recomienda profundizar en la medición de laboratorio de la transmisibilidad en los tres ejes, no solo el eje Z considerado en ISO10819, obteniendo los espectros de transmisibilidad en todo el rango de vibración que afecta a la mano, 5 Hz a 1250 Hz. Con la Información anterior se podría predecir de mejor forma la exposición del trabajador si se conoce el espectro de vibración triaxial de una herramienta en particular, utilizando una técnica de asignación similar a la usada para asignar protección auditiva según NCh1331-6.

Adicionalmente se propone ampliar esta investigación a otras herramientas vibratorias del rubro construcción que no fueron incluidas en este estudio, para conocer el desempeño de los guantes utilizados para la reducción de vibración y protección de sus operadores.

9.- REFERENCIAS

[1] Instituto de Salud Pública de Chile, Protocolo para la aplicación del D.S. N° 594/1999 del MINSAL, Título IV, párrafo 3° Agentes Físicos – Vibraciones.”, diciembre, 2012 versión 2.0.

[2] ISO10819:2013 / ANSI S2.73-2014, Mechanical vibration and shock -- Hand-arm vibration -- Measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand.

[3] Bernard BP. 1997, Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors. A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Technical Report 97-141.

[4] Norma Técnica de Identificación y Evaluación de Factores de Riesgo de Trastornos Musculo-esqueléticos Relacionados al Trabajo (TMERT) – Extremidades Superiores, Departamento de Salud Ocupacional, MINSAL 2012.

[5] Tendon Disorders, Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2010, https://www.ccohs.ca/oshanswers/diseases/tendon_disorders.html

[6] PHILIPPE DOUILLET AND MICHEL APTEL, prevención de los trastornos musculo-esqueléticos:hacia un planteamiento global, Magazine 3 , Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, ISSN 1608-4152.

[7] RECOMENDACIÓN 2003/670/CE relativa a la lista europea de enfermedades profesionales. Diario Oficial de la Comunidad Europea n° L 238 de 25/09/2003 p. 0028 – 0034, año 2003.

[8] Protocolos de vigilancia para trabajadores expuestos a factores de riesgo de trastornos musculoesqueléticos de extremidades superiores relacionados con el trabajo, división de políticas públicas saludables y promoción departamento de salud ocupacional Santiago, Ministerio de Salud – Chile, 2012.

[9] Alonso Carrillo M., Exposición a Vibración, Módulo 4 , Guía Técnica para la Evaluación del Trabajo Pesado, Superintendencia de Seguridad Social, 2010.

[5] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Aspectos ergonómicos de las vibraciones, Gobierno de España, 2014.

[10] Massimo Bovenzi, Hand-Transmitted Vibration, Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Geneva, 2011.

[11] Santurio J., Rodríguez J., Argüelles E., Estudio de la exposición a vibraciones mano-brazo en el trabajo con máquinas-Herramientas portátiles, Universidad de Oviedo, 2006.

[12] ISO 8041:2005, Human response to vibration — Measuring instrumentation.

[13] Directiva 2002/44/CE. Disposiciones Mínimas de Seguridad y de Salud Relativas a la Exposición de los Trabajadores a los Riesgos Derivados de los Agentes Físicos, vibraciones, Parlamento Europeo, Decimosexta Directiva, 25 de junio de 2002, Diario Oficial L 177 de 6.7.2002.

[14] European Union (EU). 2006. Guide to Good Practice on Hand-Arm Vibration. V 7.7.

[15] Antonio de la Iglesia Huerta, Nota Técnica de Prevención N°963, Vibraciones: vigilancia de la salud en trabajadores expuestos, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, España.
(<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/961a972/ntp-963w.pdf>)

[16] Worried about your hands, Health and Safety Executive HSE, <http://www.hse.gov.uk/vibration/hav/yourhands.htm>.

[17] Vibration in construction work, Union for workers in the construction industry UCATT, 2016, <https://www.ucatt.org.uk/vibration-construction-work>.

[18] I. Pinto, N. Stacchini, M. Bovenzi, G.S. Paddan and M.J. Griffin, Protection effectiveness of anti-vibration gloves: field evaluation and laboratory performance assessment, Vibration Injury Network, Appendix H4C to Final Report May 2001.

[19] ISO 5349-1:2001. Mechanical vibration -- Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration -- Part 1: General Requirements.

[20] Uwe Kaulbars, Corina Walther, "Certified anti-vibration gloves: Test methods and the limits to their effectiveness", The 20th Japan Conference on Human Response to Vibration , 2012

[21] Hewitt, Dong, Wellcome, McDowell, "Antivibration Gloves?", Ann. Occup.Hy.,2014

[22] Dong RG, McDowell TW, Welcome DE et al. (2004b) Effects of hand-tool coupling conditions on the isolation effectiveness of air bladder anti-vibration gloves. J Low Freq Noise Vibration Active Control 23: 231–48.