



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

Título de la tesis

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN LABORAL SIMULTÁNEA A RUIDO Y VIBRACIÓN MANO-BRAZO BASADA EN UN ÍNDICE COMBINADO. APLICACIÓN A UN CASO DE ESTUDIO

Para la obtención del
GRADO DE DOCTOR POR LA UNIVERSIDAD DE GRANADA
PROGRAMA DE DOCTORADO DE INGENIERÍA CIVIL

Doctoranda:

Raquel Nieto Álvarez

Directores:

Dra. María Dolores Martínez Aires
Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada

Dr. Diego Pablo Ruíz Padillo
Departamento de Física Aplicada. Universidad de Granada

Granada, abril de 2023

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Oscar Enrique Medina Erazo
ISBN: 978-84-1117-906-5
URI: <https://hdl.handle.net/10481/82590>

Para la redacción de esta Memoria de Tesis Doctoral en lo relativo uso de la lengua española. Especialmente, para evitar frases farragosas que nada aportan al contenido científico, en lo referente al género de los sustantivos han sido tenidas en cuenta las normas establecidas por la Real Academia Española (RAE). Ver: <https://www.rae.es/dpd/g%C3%A9nero>, punto 2. Fecha de la consulta: 3 de febrero de 2023.

Créditos:

Autora: Raquel Nieto Álvarez

Editor: Universidad de Granada

COMPROMISO DE RESPETO DE LOS DERECHOS DE AUTOR

La doctoranda Raquel Nieto Álvarez y los directores María Dolores Martínez Aires y Diego Pablo Ruiz Padillo.

GARANTIZAMOS que este trabajo de investigación ha sido realizado bajo la dirección del director y la directora de la Tesis y, hasta donde nuestro conocimiento alcanza, en su redacción se han respetado los derechos de otros autores citándolos cuando se han utilizado sus resultados de investigación y publicaciones.

En Granada, 14 de abril de 2023

Fdo. Raquel Nieto Álvarez

Doctoranda

Fdo. María Dolores Martínez Aires

Directora

Fdo. Diego Pablo Ruiz Padillo

Director

PUBLICACIONES

Parte de los resultados obtenidos durante el desarrollo de la Tesis Doctoral han sido publicados en una revista de alto impacto indexada en JCR (Journal Citation Report)

Artículo en revista de impacto científico

- **Nieto-Álvarez, R.**; de la Hoz-Torres, M.L.; Aguilar, A.J.; Martínez-Aires, M.D. and Ruiz, D.P., Proposal of Combined Noise and Hand-Arm Vibration Index for Occupational Exposure: Application to a Study Case in the Olive Sector. International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 19, no. 21.

Comunicación en Congreso:

- **Nieto-Álvarez, R.**; de la Hoz-Torres, M.L.; Aguilar-Aguilera, A.J.; Martínez-Aires, M.D. and Ruiz, D.P.; A study on exposure of workers to the risks arising from physical agents in the olive sector in Andalusia (south Spain). Congreso AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 969, pp. 252-264

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han hecho posible el desarrollo de esta Tesis Doctoral, sin los que no hubiera sido posible realizarla.

A mis directores de Tesis, Dra. María Dolores Martínez Aires y Dr. Diego Pablo Ruiz Padillo. Gracias por vuestra dedicación, confianza y motivación, habéis sido el motor y el combustible de esta etapa. Sin duda, vuestra dirección, consejos e implicación me han guiado por las distintas etapas, que hoy alcanzan su meta.

A María Luisa de la Hoz y a Antonio Aguilar Aguilera, por ser compañeros en esta andadura que ahora termina, por su colaboración y ayuda incondicional

A Rafael Pérez Gómez porque su empuje y excelencia, puso la primera piedra del camino de la investigación para mí y para otros compañeros. Por su cariño y apoyo siempre.

A mis compañeros Juan Pedro Villegas, José Antonio Benavides, Jesús M^a Rodríguez y especialmente a Ignacio Moreno, allá donde esté, porque mis logros también son vuestros.

A mis padres por enseñarme los principios y valores que me han hecho crecer como persona.

A mis hermanos Eduardo y Yolanda por su inquebrantable confianza y por estar para mí siempre.

A mis hijos Raquel, Beatriz y Fernando de los que me siento muy orgullosa, y por supuesto a mi nuevo hijo, Antonio.

A mis adorables nietas Candela, Cayetana y Casilda quienes, aunque no contribuyeron directamente en este trabajo, me brinda alegría e ilusión para seguir adelante.

En último lugar y, no por eso menos importante, a mi querido Pablo, por quererme, creer en mí y apoyarme siempre.

¡Expreso mi gratitud a Dios por todas estas bendiciones en mi vida!

RESUMEN

Son numerosos los sectores productivos e industriales en los que los trabajadores están expuestos a la acción de “agentes físicos”. En particular, tanto el ruido como la vibración mano-brazo (VMB) son dos de ellos. Científicos, expertos y numerosos organismos oficiales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la Comunidad Económica Europea (CEE), han reconocido este hecho como un peligro para la salud de los operarios y que, además, produce grandes costes económicos y humanos.

El marco normativo de la Unión Europea, a través de sus Directivas, proporciona las herramientas y procedimientos con la intención de minimizar los riesgos para los trabajadores cuando dichos agentes está presentes en los espacios de trabajo, habiéndose desarrollado, además, un amplio abanico de normas por el Organismo Internacional de Estandarización, ISO.

Las Directivas establecen los valores límite máximos, o valores de exposición, para el ruido y las VMB de forma independiente. Sin embargo, existen puestos de trabajo donde ambos factores de riesgo se presentan simultáneamente por desarrollarse en ellos actividades con exposición a VMB y altos niveles de ruido.

La investigación que se presenta en esta Memoria de Tesis Doctoral propone un procedimiento para ayudar al establecimiento de medidas preventivas para los trabajadores con exposición simultánea a ambos agentes físicos, definiendo un Índice Combinado que se basa en la medida de las dosis de energía que cada uno produce. A partir de dicho índice, se desarrolla una metodología que permite calcular el tiempo máximo de exposición recomendado para los trabajadores con exposición simultánea a ruido y VMB. Esta metodología es aplicable a dos posibles situaciones. La primera, cuando en el espacio de trabajo exista una sola fuente que emite ruido y VMB, simultáneamente, y la segunda se refiere a la presencia de dos o varias fuentes, con al menos una de ruido y otra VMB.

La investigación continúa con la validación tanto del Índice Combinado como de la metodología propuesta a un caso de estudio. Para ello, se seleccionó el sector oleícola, dada su importancia económica y el elevado número de trabajadores que emplea. La selección de los puestos de trabajo y la maquinaria objeto del estudio se llevó a cabo mediante una encuesta a un Panel de Expertos. El trabajo de campo previsto en la metodología empleada en la investigación se llevó a cabo realizando una amplia campaña de medición en condiciones reales de trabajo durante las operaciones de recolección del fruto mediante maquinaria manual. Una vez analizados los datos extraídos de las mediciones citadas, se aplicó el índice propuesto en esta investigación a un modelo concreto de maquinaria trabajando en condiciones reales.

Los resultados obtenidos muestran que del procedimiento sugerido se pueden obtener recomendaciones fiables de tiempo máximo de exposición simultánea a ruido y a VMB. Por lo tanto, puede considerarse como una herramienta útil para que quien sea responsable de la Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo establezca las medidas de Prevención correspondientes basándose en indicadores o índices calculados a partir de recomendaciones inspirados en la propia normativa. Esto permitirá mejorar las condiciones de Seguridad y Salud para los trabajadores en estas situaciones.

PALABRAS CLAVE: Agentes físicos; ruido; vibración; VMB, trabajadores

ÍNDICE

1- INTRODUCCIÓN	27
1.1 ANTECEDENTES. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	29
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	32
1.3 PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS	34
1.4 OBJETIVOS.....	34
1.5 METODOLOGÍA	35
1.6 ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
2- ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	43
2.1 EXPOSICIÓN A RUIDO Y VIBRACIÓN EN LOS ESPACIOS DE TRABAJO	45
2.2 EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD	49
2.2.1 PÉRDIDA AUDITIVA. DEFINICIÓN. UMBRALES NORMALES	49
2.2.2 EFECTOS AUDITIVOS DEL RUIDO OCUPACIONAL	52
2.2.3 OTROS EFECTOS SOBRE LA SALUD DEL RUIDO	59
2.3 EFECTOS DE LA VIBRACIÓN SOBRE LA SALUD.....	63
2.3.1 SÍNDROME VIBRATORIO MANO BRAZO (SVMB).....	65
2.3.2 OTROS EFECTOS DE LA VIBRACIÓN TRANSMITIDA A TRAVÉS DE LAS MANOS A LOS BRAZOS	72
2.4 EFECTOS COMBINADOS DE AGENTES FÍSICOS: RUIDO Y VIBRACIÓN	75
2.4.1 PÉRDIDA AUDITIVA POR EXPOSICIÓN A RUIDO Y VMB.....	75
2.4.2 AUMENTO DEL SVMB O SÍNDROME RAYNAUD	80
2.4.3 OTROS EFECTOS SOBRE LA SALUD CON EXPOSICIÓN COMBINADA RUIDO Y VMB.....	82
2.5 EFECTOS MENOS LESIVOS DE LA EXPOSICIÓN COMBINADA A RUIDO Y VIBRACIÓN. VALORACIÓN SUBJETIVA: CONFORT.....	85
3- ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS AGENTES FÍSICOS	101
3.1 INTRODUCCIÓN.....	103
3.2 LEGISLACIÓN INTERNACIONAL Y NACIONAL SOBRE LOS AGENTES FÍSICOS.....	103
3.2.1 NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE RUIDO EN EL TRABAJO	103

3.2.2	<i>NORMATIVA EN ESPAÑA SOBRE RUIDO EN EL TRABAJO</i>	106
3.2.3	<i>NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE VIBRACIONES MECÁNICAS MANO BRAZO</i>	106
3.2.4	<i>NORMATIVA EN ESPAÑA SOBRE VIBRACIONES</i>	108
3.2.5	<i>NORMATIVA PARA FABRICANTES DE MAQUINARIA</i>	109
3.3	EQUIPO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS. SOFTWARE DE ANÁLISIS DE DATOS. CÁLCULO DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN	111
3.3.1	<i>EL SONÓMETRO</i>	111
3.3.2	<i>CÁLCULO DEL VALOR DE EXPOSICIÓN AL RUIDO</i>	113
3.3.3	<i>MEDIDOR DE VIBRACIONES</i>	114
3.3.4	<i>CÁLCULO DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN DE LAS VIBRACIONES</i>	117
3.4	DEFINICIÓN DEL CÓDIGO DE ENSAYO PARA RUIDO Y VIBRACIÓN MANO BRAZO	119
3.4.1	<i>EVALUACIÓN DE RUIDO. CÓDIGO DE ENSAYO</i>	119
3.4.2	<i>EVALUACIÓN DE LAS VIBRACIONES. CÓDIGO DE ENSAYO</i>	121
3.4.3	<i>DEFINICIÓN DEL CÓDIGO DE ENSAYO</i>	124
3.4.4	<i>RESULTADOS PREVIOS PARA VALIDACIÓN DEL CÓDIGO DE ENSAYO</i>	125
4-	PROPUESTA DE UN ÍNDICE COMBINADO	131
4.1	<i>INTRODUCCIÓN</i>	133
4.2	<i>DEFINICIÓN DEL ÍNDICE COMBINADO</i>	136
4.2.1	<i>CÁLCULO DE LA DOSIS DE ENERGÍA COMBINADA</i>	139
4.2.2	<i>DESARROLLO DEL METODO DE CÁLCULO DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN COMBINADO</i>	141
5-	CASO DE ESTUDIO	147
5.1	<i>INTRODUCCIÓN</i>	149
5.2	<i>CONTEXTUALIZACIÓN DE CASO DE ESTUDIO</i>	149
5.2.1	<i>SECTOR OLEÍCOLA: IMPORTANCIA DEL SECTOR</i>	149
5.2.2	<i>SISTEMAS DE PLANTACIÓN Y RECOLECCIÓN</i>	155
5.2.3	<i>CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR. CONSULTA A PANEL DE EXPERTOS SOBRE LOS SISTEMAS Y MAQUINARIAS MÁS UTILIZADOS</i>	160

5.3 EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS, RUIDOS Y VIBRACIÓN EN RECOLECCIÓN DE ACEITUNA	162
5.3.1 ESTADO DEL CONOCIMIENTO. RUIDO Y VMB EN EL SECTOR OLEÍCOLA.....	162
5.3.2 ESTUDIO PREVIO: EXPOSICIÓN A LOS RIESGOS DERIVADOS DE LOS AGENTES FÍSICOS EN EL SECTOR OLEÍCOLA	164
5.4 TOMA DE DATOS EXPERIMENTALES Y CARACTERIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE RUIDO Y VIBRACIÓN EN LA MAQUINARIA DE MANO DEL SECTOR OLEÍCOLA.....	170
5.5 APLICACIÓN DEL ÍNDICE COMBINADO DE RUIDO Y VMB PARA LA DETERMINACIÓN DE TIEMPOS DE EXPOSICIÓN COMBINADOS DE LAS MÁQUINAS MÁS UTILIZADAS.....	183
5.5.1 PUESTO DE TRABAJO CON UNA FUENTE QUE EMITE RUIDO Y VIBRACIÓN. TOMA DE DATOS. APLICACIÓN DEL ÍNDICE COMBINADO PARA UNA MAQUINA DE MANO.....	183
5.5.2 DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS MÁXIMOS DE EXPOSICIÓN COMBINADOS PARA LA MAQUINARIA CARACTERIZADA EN EL SECTOR OLEÍCOLA. APLICACIÓN DEL ÍNDICE PROPUESTO	189
5.4.3 DISCUSIÓN Y LIMITACIONES DE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE COMBINADO.....	196
6. CONCLUSIONES.....	201
7. FUTURAS LÍNEAS.....	211
8- REFERENCIAS	215
9- ANEXOS.....	263
ANEXO I. ENCUESTA SOBRE MAQUINARIA UTILIZADA EN LA RECOGIDA DE ACEITUNA	265
ANEXO II. HOJA DE TOMA DE DATOS	275
ANEXO III. VAREADORES TIPO GANCHO	277
ANEXO IV. VAREADORES TIPO PEINE	289
ANEXO V. SOPLADORAS	301

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Estructura de la Investigación	41
Tabla 2. 1: Prevalencia de la pérdida auditiva inducida por el ruido ocupacional	58
Tabla 2. 2: Apéndice 1: Efectos sobre la salud y factores de riesgo de la exposición a vibraciones. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas.	64
Tabla 2. 3: Clasificación de la gravedad del SVMB según los síntomas VASCULARES propuesta por Griffin	66
Tabla 2. 4: Escala de clasificación de los síntomas NEUROSENSORIALES en VMB modificada por Griffin	67
Tabla 2. 5: Clasificación final propuesta por Griffin, observando los síntomas vasculares y neurosensoriales	68
Tabla 2. 6: Prevalencia del síndrome vibratorio mano-brazo por ciudades y población	69
Tabla 2. 7: Pruebas diagnósticas para determinar el síndrome vibratorio mano-brazo.....	70
Tabla 2. 8: Niveles sonoros continuos equivalentes de ruido aéreo	90
Tabla 2. 9: Valores indicativos del índice PSIL	92
Tabla 2. 10: Valores recomendados del índice NR para diferentes locales	93
Tabla 2. 11: Porcentaje de insatisfechos para ruido de oficinas. Índice IRO. Fuente: Hay, Kemp 1972.....	93
Tabla 2. 12: Escala de respuesta subjetiva a la VMB	98
Tabla 2. 13: Relación entre el confort y la aceleración cuerpo entero. UNE-ISO 2631-1... ..	99
Tabla 3. 1: Regulaciones y recomendaciones de la UE y EE. UU	105
Tabla 3. 2: Límites de horas de utilización de maquinaria en función de la aceleración recibida.....	108
Tabla 3. 3: Características del sistema de grabación SQuadriga	111
Tabla 3. 4: Características de los sistemas de grabación BHS	112
Tabla 3. 5: Características del software Artemis	113
Tabla 3. 6: Características de acelerómetro SV 106	114
Tabla 3. 7.: Resumen de los valores límite diarios VEA y VEL definidos por las Directivas específicas	118
Tabla 3. 8: Normativa de evaluación de ruido en trabajadores que utilizan herramientas que emiten ruido	120
Tabla 3. 9: Normativa de evaluación de VMB con herramientas asidas por las manos.....	123

Tabla 3. 10: Definición del código de ensayo para aplicación a la metodología propuesta	124
Tabla 3. 11: Resultados de la medición de Ruido y Vibración medidos en periodos simultáneos. Sopladora de hojas con motor de combustión	126
Tabla 3. 12: Resultados de la medición de Ruido y Vibración medidos en periodos simultáneos. Sopladora de hojas con motor eléctrico.....	127
Tabla 4. 1: Nomenclatura del Gráficos 4.1.....	138
Tabla 5. 1: Distribución de superficie de olivar cultivada en el mundo por continentes..	150
Tabla 5. 2: Volumen de Negocio, Empleo y Población Activa por Continente. Media de cuatro campañas entre los años 2013-2017.....	150
Tabla 5. 3: Superficie cultivada de olivar en Ha. por comunidades autónomas en España.....	151
Tabla 5. 4: Distribución provincial del total de jornales generados en una campaña media en el olivar andaluz.....	152
Tabla 5. 5: Evolución del consumo de aceite de oliva en España.....	153
Tabla 5. 6: Maquinaria de mano utilizada en recolección de aceituna. Fuente: STIHL ...	162
Tabla 5. 7: Máquinas estudiadas y valores de ruido y vibración declarados por los fabricantes.....	165
Tabla 5. 8: Vareadores tipo gancho medidos. Características y valor de las emisiones de ruido y VMB declaradas por los fabricantes.....	173
Tabla 5. 9: Vareadores tipo Peine medidos. Características y valor de las emisiones de ruido y VMB declaradas por los fabricantes.....	177
Tabla 5. 10: Sopladoras de hojas medidas. Características y valor de las emisiones de ruido y VMB declaradas por los fabricantes.....	180
Tabla 5. 11: Máquina medida: vareador tipo gancho. Valores de ruido y vibración declarados por el fabricante.	184
Tabla 5. 12: Valores de ruido y vibración medidos en períodos de tiempo simultáneos (para cada operador).....	186
Tabla 5. 13: Tiempos máximos de exposición para ruido y vibraciones tomadas de forma independiente.....	187
Tabla 5. 14: Dvibracion y Druido logrado para el tiempo de exposición máximo recomendado combinado	188
Tabla 5. 15: Aplicación del Índice combinado. Vareadores tipo Gancho. Tiempos de exposición a Ruido y VMB, Tiempo combinado. Dosis resultantes. Los tiempos se miden en horas, los niveles de ruido en dBA y las aceleraciones en m/s^2	190

Tabla 5. 16: Aplicación del Índice combinado. Vareadores tipo Peine. Tiempos de exposición a Ruido y VMB, Tiempo combinado. Dosis resultantes. Los tiempos se miden en horas, los niveles de ruido en dBA y las aceleraciones en m/s^2	192
Tabla 5. 17: Aplicación del Índice combinado. Sopladoras de Hojas. Tiempos de exposición a Ruido y VMB, Tiempo combinado. Dosis resultantes. Los tiempos se miden en horas, los niveles de ruido en dBA y las aceleraciones en m/s^2	194

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. 1: Resultado de la encuesta europea de la exposición a ruido y vibración en España por sectores. Fuente: Eurofound-2017	32
Gráfico 1. 2: Fases de las investigaciones llevadas a cabo y capítulos que las desarrollan....	41
Gráfico 2. 1: Resultado de encuesta europea de exposición al ruido por sectores en Europa y España	47
Gráfico 2. 2: Resultado de encuesta europea de exposición a las vibraciones por sectores en Europa y España	47
Gráfico 2. 3: Umbral de audición esperado en hombres, por edad y ruido HTLAN, percentil 10,50 y 90. 3 a 6 kHz, mejor oído según la edad. Con datos de la norma ISO 1999:2013, Anexo B.....	50
Gráfico 2. 4: Umbral de audición esperado en mujeres, por edad y ruido HTLAN, percentil 10,50 y 90., 3 a 6 kHz, mejor oído según la edad. Con datos de la norma ISO 1999:2013, Anexo B.....	51
Gráfico 2. 5: Desplazamiento permanente del umbral auditivo inducido por el ruido (NIPTS) por nivel de exposición al ruido y años de exposición. Hombres y mujeres. Basado en ISO 1999:2013, Anexo E	52
Gráfico 2. 6:Exposición al ruido ocupacional por continentes. Fuente: Health Effects of Occupational Noise. (Pretzsch et al., 2021)	53
Gráfico 2. 7: Curvas NR de evaluación de ruido. Fuente NTP-503	92
Gráfico 2. 8: Efectos sobre el confort según Golmohammadi (Golmohammadi et al., 2022) modelo conceptual de la relación exposición-respuesta para niveles medios de ruido y respuestas no auditivas.	95
Gráfico 3. 1: Curva de ponderación en frecuencia W_h para las vibraciones transmitidas por la mano	116
Gráfico 4. 1: Diagrama de flujo de la metodología de aplicación del Índice Combinado	137
Gráfico 5. 1: Consumo de aceite en litros por persona, por países. Fuente: (IOC, 2020)	153
Gráfico 5. 2: Valores recibidos por el trabajador durante una jornada laboral, obtenidos para 3 tipos de máquinas y 2 modelos de cada tipo	168
Gráfico 5. 3: Valores de vibración VMB recibidos por el trabajador durante una jornada laboral para 3 tipos de máquinas y 2 modelos de cada tipo.....	169
Gráfico 5. 4: Valores de Ruido medidos en campo con Vareadores tipo Gancho	174

Gráfico 5. 5: Valores de VMB medidos en campo con Vareadores tipo Gancho	175
Gráfico 5. 6: Valores de Ruido medidos en campo con Vareadores tipo Peine	178
Gráfico 5. 7: Valores de VMB medidos en campo con Vareadores tipo Peine.....	179
Gráfico 5. 8: Valores de Ruido medidos en campo con Sopladora de hojas	181
Gráfico 5. 9: Valores de VMB medidos en campo con Sopladoras de hojas	182
Gráfico 5. 10: Aplicación del Índice. Vareadores tipo Gancho. Tiempos de exposición..	191
Gráfico 5. 11: Aplicación del Índice. Vareadores tipo Peine. Tiempos de exposición	193
Gráfico 5. 12: Aplicación del Índice. Vareadores tipo Peine. Tiempos de exposición (Ampliación del gráfico 5.11)	193
Gráfico 5. 13: Aplicación del Índice. Sopladoras de Hojas. Tiempos de exposición.....	195
Gráfico 5. 14: Aplicación del Índice. Sopladoras de Hojas. Tiempos de exposición (Ampliación del gráfico 5.13)	195

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1: Amplificador grabador de sonido SQuadriga II	111
Figura 3. 2: Auriculares SQuadriga Headset BHS.....	112
Figura 3. 3: Acelerómetro SV 105.....	115
Figura 3. 4: SV 105 Acelerómetro MEMS de VMB triaxial.....	115
Figura 3. 5: Analizador de sonido y vibraciones de seis canales SVAN 106.....	115
Figura 3. 6: Dirección de ejes definida en relación con la mano del cuerpo (sistema de referencia de la mano).	117
Figura 3. 7: Sopladora de hojas con motor de combustión interna de dos tiempos.....	125
Figura 3. 8: Sopladora de hojas con motor eléctrico y batería colgada en mochila	125
Figura 5. 1: Vibrador de tronco con tractor New Holland.....	156
Figura 5. 2: Vareador con motor combustión.	158
Figura 5. 3: Vareador con batería tipo peine.	158
Figura 5. 4: Vareador de gancho motor de combustión.....	159
Figura 5. 5: Vibrador de troncos con paraguas y vareadores a mano. Medición en finca en Huétor Tajar.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5. 6: proceso de vareado mecánico con vareadores tipo peine y vibrador tipo gancho.....	161
Figura 5. 7: Trabajador con instrumentos de medida. Fuente:.....	167
Figura 5. 8: Operario con Vareador tipo Gancho.....	173
Figura 5. 9: Grupo de operarios con Vareadores tipo peine durante las operaciones de recogida del fruto.....	176
Figura 5. 10: Operario con aparatos de medida utilizando Sopladora de hojas con motor de combustión	180
Figura 5. 11: Auriculares colocados en la cabeza del operario durante el trabajo para la toma de datos de campo.....	183
Figura 5. 12: Trabajador equipado con cosechadoras de aceitunas tipo gancho y sensor de vibraciones SVAN 106	185
Figura 5. 13: a) Diagrama de la posición del trabajador en vista lateral; (b) Diagrama de la posición del trabajador vista en planta.	185

ACRÓNIMOS

INSST	Instituto de Seguridad y Salud en el Trabajo Español
ACGIH	The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales)
BEIs	Biological Exposure Indices (BEIS) (Índices de exposición biológica)
DALYs	Disability Adjusted Life Years (años de vida ajustados por discapacidad)
E_{rec}	Energía media de VMB medida durante el uso de una máquina determinada por el trabajador durante su tiempo de uso laboral
E_{std}	Energía media del VMB derivada de las normas para una jornada laboral de 8h.
EWCS	Eurofound's European Working Conditions Survey (EWCS). (Encuesta europea de condiciones de trabajo)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, conocida como FAO, por sus siglas en inglés: (Food and Agriculture Organization)
IHME	Institute for Health Metrics Evaluation. (Instituto de Evaluación de Métricas de Salud)
IMIS	Integrated Management Information System (Sistema Integrado de Información Gerencial)
I_{rec}	Intensidad media de ruido medida para una jornada laboral de tiempo
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)
I_{std}	Intensidad media de ruido establecida por las normas para una jornada laboral de 8h. T_e
$L_{Aeq,1d}$	Nivel de exposición sonora continuo equivalente en una jornada de 8 h, en dBA
$L_{ex,8h} dB(A)$	Nivel de exposición sonora continuo durante una jornada laboral de 8 h, en dBA
L_{pico}	Nivel de presión acústica de pico, en dBC o en Pascales
NIHL	Noise-Induced Hearing Loss. (Pérdida de Audición Inducida por el ruido)
NIOSH	National Institutes of Occupational Safety and Health. (Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional)
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional.
PEL	Permissible Exposure Limit (Nivel de exposición más alto permitido)

SVMB	Síndrome Vibratorio Mano Brazo
TLV _s	Threshold Limit Values (TLVS). (Valores de Umbral Límite)
VCE	Vibración Cuerpo Entero
VEA	Valor de exposición que da lugar a una acción
VEL	Valor de exposición límite
VMB	Vibración Mano Brazo
VWF	Vibration White Finger (Dedo blanco inducido por vibración)

1- INTRODUCCIÓN

Este capítulo plasma los antecedentes de la situación actual del problema de investigación, que justifica la necesidad del presente trabajo.

El punto de partida de la investigación se soporta en la formulación de las hipótesis.

La formulación del problema de investigación al que se pretende dar respuesta tiene como meta la consecución de los objetivos, general y específicos enunciados en este capítulo.

La investigación se apoya en unas metodologías adecuadas, que garantizan la idoneidad y la propiedad con la que se desarrolla el proceso del presente trabajo. La metodología expuesta en este capítulo conduce a la obtención del objetivo general establecido.

El proceso se concreta en una serie de etapas que corresponden con los capítulos de la Memoria de Tesis. Las fases del proceso conducirán a la consecución de los objetivos

Este capítulo finaliza con la explicación de la estructura de la investigación

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

1.1 ANTECEDENTES. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La revolución industrial tuvo un importante impacto en todos los sectores manufactureros, permitiendo un aumento en la producción y, por consiguiente, en los beneficios empresariales. Fue un proceso de transformación económica, social y tecnológica que supuso una era de gran crecimiento económico, no obstante, no creció de igual forma la consideración por las condiciones laborales o la salud de los trabajadores.

En 1919 se funda la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y a lo largo del siglo XX se va tomando cada vez conciencia de la necesidad de gestionar los riesgos laborales, dado el gran impacto económico y social de los accidentes y enfermedades profesionales. En paralelo, la mecanización y automatización de los procesos ha continuado su desarrollo, modificando los métodos de producción en muchos sectores: la industria, la construcción, el transporte, la agricultura, la hostelería, etc. El uso de maquinaria ha permitido al hombre ejecutar trabajos que no habría podido hacer sin ayuda, provocando que los riesgos a los que están expuestos los trabajadores se diversifiquen.

La tecnología no solo ha supuesto la mejora de la productividad, sino que se han implementado medidas intrínsecas al diseño de las máquinas que las hacen más seguras. Ello ha permitido que gradualmente se haya ido reduciendo la exposición a algunos de los riesgos presentes en algunos puestos de trabajo, pero, desafortunadamente, persisten o han aumentado alguno de ellos, e incluso han aparecido nuevos. Entre los riesgos que no han sido eliminados se encuentran los agentes físicos y, entre ellos, el ruido y la vibración.

Numerosos organismos oficiales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la Comunidad Económica Europea (CEE), continúan contemplando la exposición laboral a ruido y las vibraciones como peligrosos para la salud, considerando sus efectos un problema cada vez más importante. La exposición a ruido y a vibración es la causa de muchas enfermedades¹ laborales y, en ocasiones, accidentes² en el trabajo (Toppila et al., 2009; Kwon et al., 2021). En España, estas enfermedades laborales quedan reconocidas en el Real Decreto 1299/2006 (Ministerio de la Presidencia, 2006a) y en sus posteriores modificaciones (Ministerio de la Presidencia, 2018).

¹ Según la ILO es una enfermedad contraída como resultado de la exposición a factores de riesgo inherentes a la actividad laboral.

² De acuerdo con la ILO es un suceso ocurrido en el curso del trabajo o en relación con el trabajo que causa: a) lesiones profesionales mortales; b) lesiones profesionales no mortales.

Los efectos sobre la salud del ruido y la vibración

Una de las principales consecuencias de la exposición al **ruido** en el lugar de trabajo es la pérdida auditiva, constituyendo un problema de salud pública a nivel mundial que afecta entre el 7 y el 21% a la clase trabajadora (Stucken & Hong, 2014; Lie et al., 2016). Por esta razón, son numerosos los estudios científicos publicados, tal como se recoge en la revisión sobre el ruido ocupacional realizada por Lie et al. (Lie et al., 2016). Además, la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA) alerta de que ruido produce muchos más efectos que la pérdida de audición, como problemas cardiovasculares, estrés, tinnitus, enfermedades cardíacas, etc. (EU-OSHA, 2005). Este hecho queda respaldado por recientes artículos científicos (Pretzsch et al., 2021; Sheppard et al., 2020a; Themann & Masterson, 2019).

Por otro lado, la exposición a vibración mano-brazo (VMB) provoca principalmente el síndrome vibratorio mano-brazo (SVMB) o Síndrome Raynaud³, también conocido como Síndrome del dedo blanco (Vibration White Finger, desde ahora VWF) (Cordeiro & De Andrade, 2019; Rivas-López, 2018). Pero también provoca otros efectos, como trastornos musculoesqueléticos (Barneo-alcántara et al., 2020; Gerhardsson et al., 2020), problemas vasculares (Harada & Mahbub, 2008a), problemas neurosensoriales con pérdida de destreza manual (Kihlberg et al., 1995), déficit de la agudeza visual (INSST, 2013), etc.

Por último, la exposición combinada a ruido y VMB presente simultáneamente en el puesto de trabajo, puede provocar mayor incidencia de efectos sobre la salud o intensificación de algunos de ellos. En este sentido, tanto en estudios de hace décadas como los de Iki et al. (Iki et al., 1989; Iki et al., 1986), como otros más recientes (Sisto et al., 2017) and Duan D. P. et al. (Duan et al., 2020; Weier, 2020), evidencian el aumento de la pérdida auditiva cuando el trabajador está expuesto adicionalmente a vibraciones VMB sin modificar las condiciones de ruido. Golmohammadi et al. (Golmohammadi & Darvishi, 2020) en una revisión exhaustiva de los efectos del ruido y otros factores de riesgo, sugiere efectos sinérgicos para la salud en trabajadores expuestos a vibraciones y ruidos simultáneos. Algo similar ocurre con el principal efecto sobre las vibraciones, el Síndrome Raynaud. El estudio de Miyakita (Miyakita et al., 1990) concluyó que, con la misma dosis de VMB, existe una disminución en la temperatura de los dedos cuando los protectores auditivos no se utilizan. En el mismo sentido, Stjernbrandt et al. (Stjernbrandt et al., 2021) comprobó una mayor probabilidad de desarrollar el Síndrome Raynaud en los individuos expuestos a ruido ocupacional que en los expuestos sólo a VMB. Todas estas investigaciones ponen de manifiesto que los efectos sobre la

³ El Síndrome de Raynaud es una respuesta isquémica, que reduce el flujo sanguíneo y causa decoloración. Fue definido por Maurice Raynaud en 1862 (Tolosa Vilella et al., 2009b).

salud de los trabajadores como consecuencias de la presencia a ruido y VMB, se agravan cuando coexisten en el ambiente laboral. Además, los autores coinciden en que se trata de un tema abierto que necesita más investigaciones, al mismo tiempo que manifiestan la necesidad de realizar esfuerzos dirigidos a reducir y gestionar las exposiciones ocupacionales en dichas circunstancias.

Sectores expuestos a ruido y vibración

Es elevado el número de sectores económicos en los que la exposición laboral a agentes físicos está presente. Un leve repaso sobre la literatura científica pone de manifiesto la variedad de puestos de trabajos en los que existe dosis elevadas de ruido, tal como se recoge en las revisiones llevadas a cabo por Dzhambov et al (Dzhambov, A. &Dimitrova, 2017) y Themann (Themann & Masterson, 2019). Lo mismo ocurre en el caso de la exposición a VMB, como evidencia el recientemente trabajo de Cordeiro (Cordeiro & De Andrade, 2019).

Igual de profusos son los trabajos con exposición simultánea a ambos agentes físicos, como muestra las revisiones relativamente recientes de Behar (Behar & Russo, 2019) o la de Golmohammadi (Golmohammadi & Darvishi, 2020).

Las fuentes de ruido y VMB en el entorno laboral suele ser la maquinaria utilizada, aunque también puede deberse al tipo de trabajo o del sector productivo en el que se realiza la actividad. Se han identificado puestos de trabajo con exposición a ambos agentes en sectores como: construcción (House et al., 2010) agricultura (Thota et al., 2022; Calvo et al., 2019), silvicultura (Turcot et al., 2015), industria textil (Singh et al., 2018), industria química (Rikhotso et al., 2019), industria automovilística (Duan et al., 2020), minería (Behar & Russo, 2019) o ingeniería mecánica (Zheglova, 2021).

Situación actual Europa y España

Aunque la Unión Europea (UE) promueve políticas encaminadas hacia la mejora de las condiciones laborales, los datos de la situación actual ponen de manifiesto importantes deficiencias en la protección de los trabajadores, como queda patente recogidos por la Eurofound⁴ mediante la Sexta Encuesta europea (Eurofound, 2017). Este estudio informa que, en diferentes sectores laborales, el 28% de todos los trabajadores están expuestos a altos niveles de ruido durante más de una cuarta parte de la jornada laboral. Este porcentaje se fija en un 20% los trabajadores que están expuestos a vibraciones (incluyen Vibración Cuerpo Entero, VCE, y VMB) durante más de una cuarta parte del tiempo de trabajo. Por sectores, el ruido

⁴ Fundación Europea para la Mejora de las Condiciones de Vida y de Trabajo

alcanza una incidencia del 47% en la industria y agricultura y un 45% en la construcción y el transporte; por otro lado, la vibración llega a tener una incidencia del 40% en el sector industria y agricultura y un 42% en el sector de la construcción y el transporte. Estos datos ponen de manifiesto la importancia del problema y la necesidad de una correcta evaluación de los riesgos inherentes a la presencia de los agentes físicos en los espacios de trabajo.

Si se analizan los datos segregados de España, se observa que no difiere de los datos globales de los países de la UE. Los sectores con mayor exposición a agentes físicos son la construcción-transporte y agricultura-industria y, en todos ellos, la incidencia de la exposición al ruido es mayor que la de vibración (Gráfico 1.1).

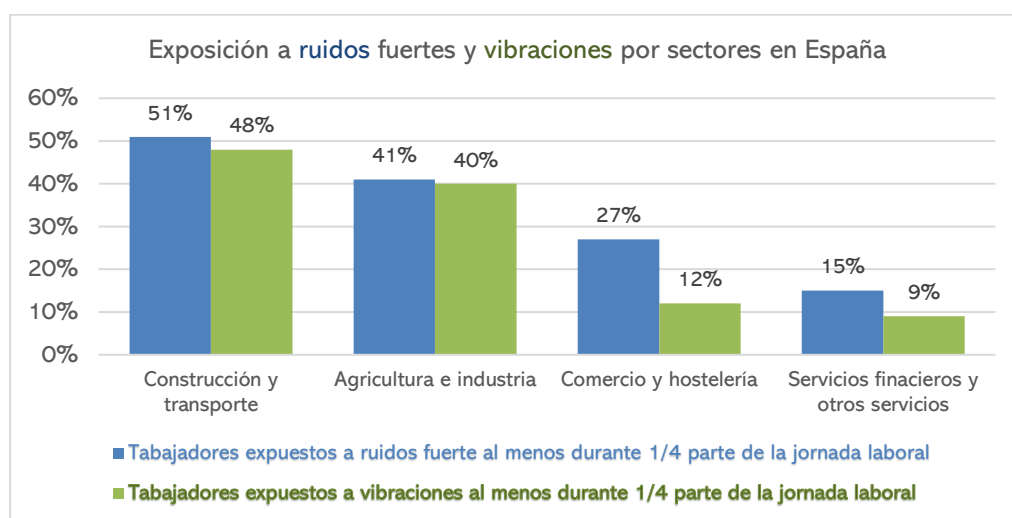


Gráfico 1. 1: Resultado de la encuesta europea de la exposición a ruido y vibración en España por sectores. Fuente: Eurofound-2017

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Tal como se recoge en el apartado anterior, no cabe duda de que los agentes físicos son unos de los riesgos laborales con mayor incidencia en numerosos espacios de trabajo, siendo muchos los sectores productivos en los que los trabajadores se ven sometidos a dosis elevadas y simultáneas de ruido y de VMB. En la mayoría de los casos, los efectos se producen por superar los valores normativos, aunque hay otras ocasiones en las que se producen daños sobre los trabajadores con exposiciones que se encuentran dentro de los límites establecidos. Este hecho ha sido analizado por Sheppard et al (Sheppard et al., 2020a), poniendo de manifiesto que el cumplimiento de la normativa no protege al 100% al trabajador de los posibles riesgos, sólo permite encontrar un equilibrio para los Estados entre el costo de la prevención y la sanidad con el número de días no trabajados.

Las normas internacionales definen los valores de exposición para cada uno de los agentes físicos de forma independiente. En Europa, la Directiva regula las 2003/10/CE (European

Parliament, 2003) regula las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados del ruido, mientras que la Directiva 2002/44/CE los hace para la exposición a vibraciones (European Parliament, 2002). Ambas normas limitan la exposición mediante dos valores fundamentales, tanto para el ruido como para vibración: por un lado, el Valor de Exposición diaria que da lugar a una Acción (VEA), que es la cantidad diaria de exposición (definida en términos de niveles o magnitudes específicas) por encima de la cual los empresarios deben tomar medidas para controlar la exposición; por otro lado, el Valor Límite de Exposición (VEL), que es la cantidad máxima de ruido o vibración a la que un empleado puede estar expuesto durante una jornada laboral.

Además, la Directiva 2006/42/CE regula los requerimientos de las máquinas que se comercialicen o pongan en servicio dentro de la UE (European Parliament, 2006). Esta norma obliga a los fabricantes a diseñar y fabricar de tal manera que los riesgos derivados de la emisión de ruido y vibración sean los mínimos posibles, así como a declarar los valores de exposición en el manual de instrucciones. Estos datos son utilizados por los técnicos preventivistas para establecer los tiempos máximos de uso de cada máquina, aunque solo pueden calcular las duraciones diarias permitidas de exposición al ruido y a VMB de forma independiente. No obstante, de acuerdo con algunos investigadores como Shibata et al. (Shibata et al., 2013), las duraciones de exposición diarias permitidas para las máquinas que generan ruido y VMB deberían considerarse en función de los riesgos para la salud de ambos factores de forma conjunta, así como analizar la influencia entre ellos. De hecho, una de las hipótesis con las que se trabaja en relación con la investigación sobre los efectos aún abierta viene definida por el hecho de que los efectos sobre la salud y las molestias que recibe el operario sometido a ruido y vibración están relacionados con la energía transmitida al cuerpo humano por ambos agentes (Burström & Lundström, 1988; Burström & Lundström, 1994; OSHA, 1974).

Todo lo anterior justifica la necesidad de realizar propuestas preventivas a partir de que se valoren los efectos globales sobre el operario expuesto a ruido y VMB durante la jornada laboral tomando como base la energía total recibida. En este contexto, la presente Tesis Doctoral aborda el desarrollo de una metodología de evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y a VMB mediante un índice que combine de dosis diaria de ruido y VMB. Dicho índice mantendrá la exposición a ruido y vibración por debajo de los valores normativos, lo que permitirá establecer unos tiempos máximos recomendables de exposición diaria en función de la energía total recibida por los trabajadores.

El índice definido puede servir a los técnicos prevenciónistas a aplicar el denominado “principio de precaución” (COMEST (UNESCO), 2005) en las situaciones en las que los trabajadores estén expuestos simultáneamente a ruido y VMB, garantizando que se definen adecuadamente los límites de exposición.

1.3 PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Tras el análisis inicial de la situación actual sobre la exposición laboral a ruido y VMB, se formulan las siguientes Hipótesis (**H**) de partida:

- **H1:** Existen muchos sectores productivos en los que los trabajadores están expuestos a dosis de ruido y VMB simultáneamente, siendo las dosis elevadas en muchas ocasiones.
- **H2:** La exposición a ruido y/o a VMB produce efectos nocivos sobre la salud de los trabajadores. La exposición conjunta a dosis de ruido y VMB de forma simultánea en la misma jornada laboral aumenta los efectos que produce cada uno de los agentes por separado.
- **H3:** La normativa actual sobre ruido ocupacional y VMB aplicada de forma independiente podría subestimar los efectos adversos para la salud de la exposición combinada a ambos agentes. Se deberían reforzar las medidas preventivas en los trabajadores con exposición simultánea a ruido y VMB, de forma similar a la gestión que se realiza, por ejemplo, con los agentes químicos.
- **H4:** Es factible definir un índice combinado basado en la energía total recibida por el operario, aplicable a las posibles situaciones en las que los trabajadores se exponen, durante la jornada laboral, a ruido y VMB en dos posibles situaciones: cuando existe una sola fuente que produce ambos agentes al mismo tiempo o cuando existen al menos dos fuentes diferentes en el mismo lugar de trabajo, una de ellas emitiendo ruido y otra VMB, aunque no necesariamente de forma simultánea.

1.4 OBJETIVOS

La investigación que se presenta en esta Memoria de Tesis Doctoral tiene como Objetivo General desarrollar una metodología de evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y VMB mediante la propuesta de un índice combinado. Este índice contempla la combinación total de energía que penetra por el cuerpo del trabajador durante la jornada laboral, permitiendo definir unas exposiciones recomendables para cada agente.

Este Objetivo se desglosa en los siguientes Objetivos Específicos (**OE**):

OE 1: Identificar los sectores productivos más comunes donde los trabajadores se encuentran expuestos a ruido y VMB simultáneamente, así como los niveles de riesgo durante la jornada laboral.

OE 2: Identificar los efectos sobre la salud de los trabajadores de la exposición a los agentes físicos objetos de esta memoria: ruido y VMB. Por un lado, se analizarán los efectos cuando solo uno de los agentes está presente y, por otro, cuando ambos agentes se encuentran presente de forma simultánea.

OE 3: Identificar la normativa de aplicación para el ruido y la VMB, así como los valores límites o de control definidos. Además, identificar las normativas que regulan los métodos de ensayo y de cálculos de dosis de ruido y VMB.

OE 4: Sistematizar el código de ensayo a partir de los estándares establecidos. Comprobar la validez del código mediante un trabajo de campo.

OE 5: Proponer un índice combinado que contabilice la energía total recibida por el trabajador procedente tanto del ruido como de la VMB. El índice se basará en el cálculo de la dosis de energía combinada calculada a partir de los valores VEA prescritos por las normas. Desarrollar el método de cálculo de tiempos máximos recomendados de exposición en función de la emisión de ruido y de vibración para cada proceso o puesto de trabajo, dependiendo de la maquinaria utilizada y del entorno de trabajo.

OE 6: Validación del índice combinado definido en el **OE5** en un caso de estudio. Selección del sector productivo para el estudio de caso, en función su importancia económica y de la maquinaria utilizada. Contextualización del sector. Elección del puesto de trabajo expuesto a ruido y VMB.

1.5 METODOLOGÍA

La metodología propuesta conduce al desarrollo de cada uno de los Objetivos Específicos establecido y, por ende, permite alcanzar el Objetivo General.

Metodología 1: para alcanzar el **OE 1** y **OE 2** se ha realizado una revisión del estado del conocimiento para identificar los sectores productivos donde existe exposición a ruido, a vibración y a ambos agentes simultáneamente. Las fuentes de información utilizadas han sido:

Investigaciones recientes

- Bases de datos de TESEO, que recoge las tesis doctorales españolas
- Bases de datos ISBN con la información bibliográfica española

- Bases de datos ISSN con la información de publicaciones seriadas
- Bases de datos de publicaciones científicas Scopus, Web of Science, ScienceDirect, ProQuest.

Datos estadísticos sobre los sectores con exposición a ruido y vibración

- Sitios web de datos internacionales Eurostat. Datos estadísticos de los Estados de la UE.
- Sitio web Organización Mundial de la Salud (OMS).
- Sitio web Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST)

Metodología 2: para alcanzar el **OE 3** se ha realizado una búsqueda de normativa vigente de seguridad y salud en los espacios de trabajo. Se analizó la normativa específica sobre los agentes físicos objeto de esta Memoria, tanto en el ámbito internacional como nacional.

Normativa

- Sitios web de organismos oficiales como la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA).
- Sitio web de normas oficiales internacionales, Organización Internacional de Normalización (ISO).
- Sitios web de normas organismos oficiales de España, Agencia de Normalización Española (UNE).
- Sitio web portal de Derecho de la UE (EUR-Lex).

Además, se identificaron los requerimientos normativos de los equipos de medición y se obtuvo la información sobre los métodos para la evaluación de la exposición, así como las metodologías de cálculo de las dosis de ruido y VMB en los lugares de trabajo.

Metodología 3: para conseguir el **OE 4** se analizaron los diferentes códigos de ensayo dispuestos en las normas que permitirá la definición o sistematización de uno específico para la medición de la VMB apto para maquinaria asida por la mano con cualquier tipo de fuente de energía. En dicho código, se definió el número de operarios y sus características, el número de muestras y la duración de cada una de ellas, así como la situación de los sensores. Además, se cotejó la idoneidad del código seleccionado para que la medición de ruido se pudiera realizar de forma simultánea a la de vibración. Por último, se procede a su validación a partir de una toma de datos con trabajadores de jardinería utilizando máquinas sopladoras de hojas de combustión y eléctricas.

Metodología 4: para alcanzar el **OE 5**, tras la revisión del estado de conocimiento sobre exposición combinada a ruido y VMB definida en la Metodología 2, se definió un índice combinado a partir de la suma ponderada de las dosis de energía de ruido y VMB que recibe el

operario. Se estableció como criterio de partida una igual ponderación para cada una de las dosis y se desarrolló un método de cálculo del tiempo máximo de exposición a partir del índice combinado definido.

Para alcanzar el **OE6**, validación del índice, ha sido necesaria la utilización de distintas metodologías:

Metodología 5: para el caso de estudio se seleccionó el sector agrario y, dentro de él, el sector olivarero por la importancia económica que tiene en el sur de España, el número de trabajadores que emplea y por la exposición a ruido y VMB por maquinaria utilizada. Se analizaron datos económicos y de número de trabajadores afectados en el sector. Para la correcta caracterización inicial del sector se definió un cuestionario que se utilizó con un panel de expertos, del que se obtuvo la información de los tipos de plantación y maquinaria más utilizada para recogida de aceituna.

Metodología 6: Se realizó una evaluación de los niveles de exposición a los agentes físicos, para lo que se realizaron mediciones en situación de trabajo real con varios modelos de herramientas y durante varias campañas de recolección comprendidas entre los meses de noviembre de 2018 a febrero de 2020. Se analizaron las señales tanto de ruido como de vibración y se calculó la dosis para cada modelo de maquinaria. Para identificar los niveles de exposición a ruido y VMB se utilizó el código de ensayo definido en la **Metodología 3**.

Por último, con los datos obtenidos, se utilizó el índice combinado para la exposición a ruido y VMB definido en el **OE5** y así calcular el tiempo recomendado de exposición.

1.6 ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

Como toda investigación, esta Memoria de Tesis nace con el **Planteamiento del Problema**, y la formulación de las hipótesis apriorísticas que conducen al establecimiento del Objetivo General y los Específicos. Además, se estipuló una metodología general conducente a la obtención del Objetivo General. Todos Estos avances han supuesto la **Primera Fase** del trabajo.

En la **Segunda Fase** de la investigación se realizó una revisión del estado del conocimiento sobre los agentes físicos, ruido y VMB, y sus efectos. Éste, condujo a definir la situación actual del problema y punto de partida de las siguientes fases. El examen de la literatura científica se desglosó en varias etapas, que se enumeran a continuación:

- I. Situación actual del grado de exposición ocupacional a agentes físicos, concretamente a ruido y VMB.
- II. Principales efectos sobre la salud de cada uno de los agentes estudiados (hipoacusia y Síndrome de Raynaud), su prevalencia y los métodos de evaluación.

- III. Efectos sobre la salud cuando el ruido y vibración están presente de forma simultánea en la misma jornada laboral.
- IV. Valoración de otros efectos considerados menos lesivos, como la incomodidad, cansancio, problemas psicológicos, etc.

En esta fase se da respuesta a las hipótesis **H1** e **H2**.

En la **Tercera fase** se realizó un estudio pormenorizado de la normativa de ruido y VBM, tanto internacional como nacional. Se identificaron los valores de exposición establecidos en cada una de las normas: valores que dan lugar a una acción, valores máximos diarios y valores de pico. Esta parte concluyó con la validación de la hipótesis de partida **H3**.

Se realizó un estudio de la norma que define los métodos de medición, tipo y situación de sensores, así como el diseño de la toma de datos para la maquinaria con distintas fuentes de energía: combustión y eléctrica. A partir de ello se determinó el código de ensayo aplicable a cualquier maquinaria asida por la mano, independientemente de la fuente de energía. También se definieron los instrumentos para medir y evaluar la exposición a ruido y VMB en el puesto de trabajo.

Posteriormente, se realizó el trabajo de campo para validación del código de ensayo. Para ello, se midieron las emisiones producidas por dos máquinas sopladoras de hojas, una de combustión y otra eléctrica, manejada por operarios experimentados.

En a **Cuarta Fase** se definió el índice de energía combinado a partir de la dosis de energía acústica y la dosis de energía asociada a la aceleración continua equivalente de VMB recibidas por el trabajador. También se realizaron las siguientes acciones: definición de los valores de ponderación de cada una de las energías en la ecuación del índice combinado; desarrollo del método de cálculo para el tiempo máximo permitido con cada uno de los agentes de forma independiente; definición de método de cálculo del tiempo máximo aplicando el índice combinado para una fuente que emite ruido y VMB; definición de método de cálculo de los tiempos máximos para el caso de dos fuentes, una emite ruido y otra VMB y determinación de los tiempos óptimos de exposición para cada fuente en función de la dosis de ruido y vibración. En esta fase, queda validada la hipótesis **H4**.

En la **Quinta Fase** Se abordó la validación de la metodología mediante la aplicación a un caso de estudio y se llevó a cabo en tres subfases:

1ª Subfase: Para la selección del caso de estudio se realizó un análisis de la importancia económica y el número de trabajadores afectados de exposición combinada de ruido y VMB en Andalucía. Se seleccionó el sector agrario y dentro de él, el sector oleícola. Para completar la información se realizó una revisión bibliográfica centrada en ruido y VMB en el sector. Para terminar la caracterización del sector, se definió un cuestionario (Anexo I) con el que se

entrevistó a panel de expertos del sector, con el fin de obtener información sobre el tipo de maquinaria más utilizada.

2ª Subfase: Para la obtención de los datos necesarios para el cálculo del índice combinado se realizó una toma de datos experimentales y caracterización de las medidas de ruido y VMB en la maquinaria de mano del sector oleícola. Concretamente, de los tipos de maquina definidas por el panel de expertos, se midieron: 11 vareadores tipo gancho, 11 vareadores tipo peine y 9 sopladoras de hojas, Para cada una se obtuvieron los valores de exposición que se reflejan en los Anexos III, IV y V.

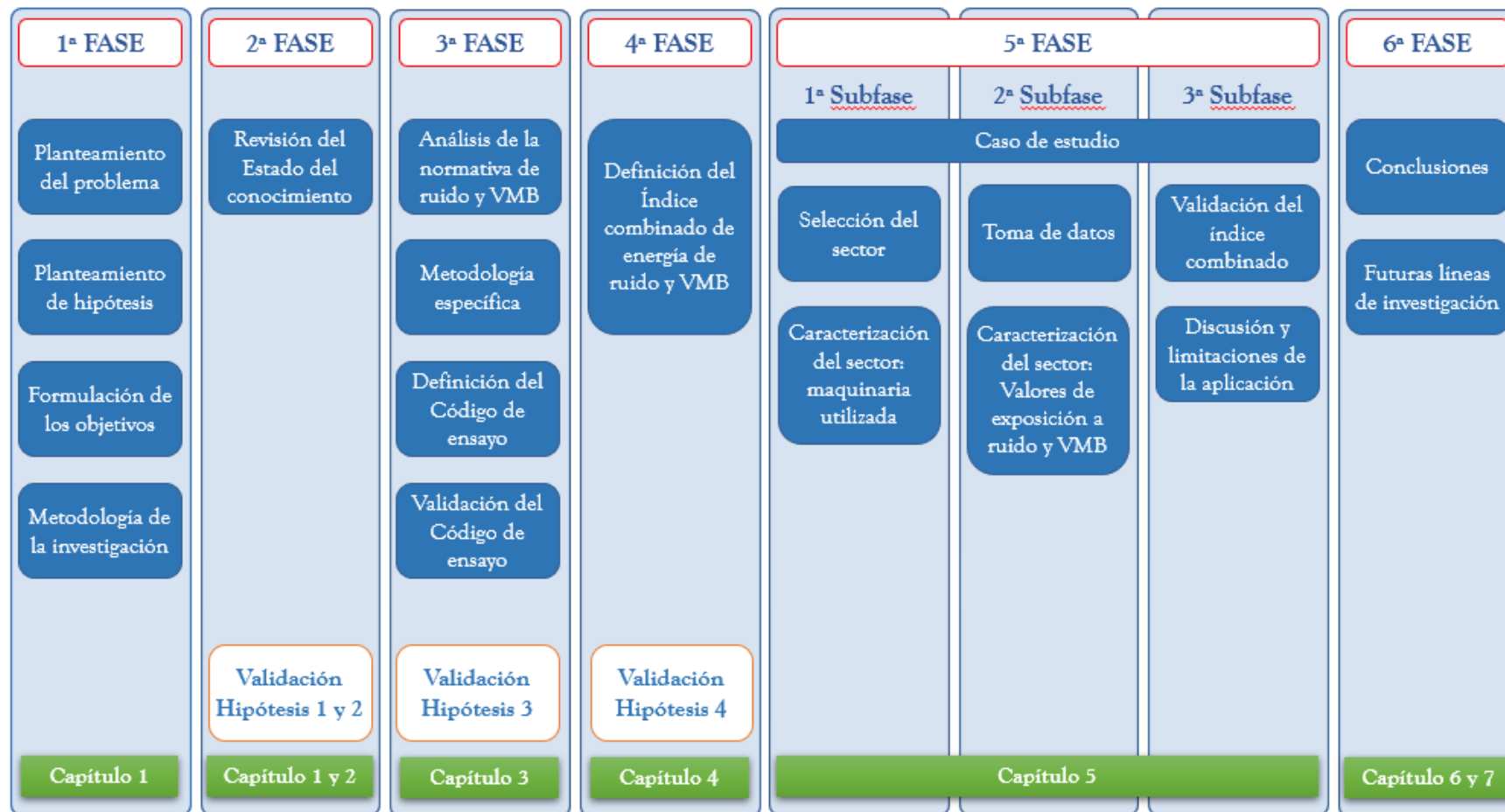
3ª Subfase: Partiendo de los datos obtenidos en el trabajo de campo, se abordó la aplicación del índice desarrollado en la fase anterior. Se obtienen así los valores de exposición de cada uno de los agentes por separado y el tiempo de exposición combinado que mantiene el valor del índice para el caso de una única fuente que emite ruido y VMB al mismo tiempo. Para concluir esta fase, se realizó una discusión de los posibles escenarios que pueden surgir en función de los puestos de trabajos. En esta fase se realizó la implementación de los cálculos de tiempos de exposición recomendados en cada caso y por último se realiza una discusión sobre los posibles límites a tener en cuenta para la aplicación del índice combinado.

Sexta fase: A la vista de los anteriores resultados de investigación, esta fase corresponde a la elaboración de Conclusiones y definición de Futuras Líneas de Investigación.

Los resultados obtenidos en cada una de las fases figuran en los distintos capítulos de definidos en esta Memoria de Tesis Doctoral:

- Capítulo 1: Introducción
- Capítulo 2: estado del conocimiento
- Capítulo 3: Análisis de los métodos de evaluación de los agentes físicos
- Capítulo 4: Propuesta de un índice combinado
- Capítulo 5: Caso de estudio en el sector oleícola
- Capítulo 6: Conclusiones
- Capítulo 7: Futuras líneas
- Capítulo 8: Referencias
- Capítulo 9: Anexos

En el Gráfico 1.2 se muestra un esquema en el que se relaciona las fases de investigación descritas con el capítulo de esta Memoria. Por último, se aporta la Estructura de la Investigación de la Tesis en la Tabla 1.1, relacionado cada hipótesis con Objetivo Específico planteado para su validación, la metodología utilizada y la principal conclusión, así como el capítulo de la Memoria en el que se encuentra la información.



Hipótesis	Objetivos	Metodología	Capítulo
	Objetivo General: Desarrollar una metodología de evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y VMB mediante la propuesta de un índice combinado. Este índice contempla la combinación total de energía que penetra por el cuerpo del trabajador durante la jornada laboral, permitiendo definir unas exposiciones recomendables para cada agente.		
Hipótesis 1- Existen muchos sectores Hay muchos sectores productivos con trabajadores expuestos a Ruido y vibración VMB.	Objetivo 1: Identificar los sectores productivos donde los trabajadores se encuentran expuestos a ruido y VMB simultáneamente, así como los niveles de riesgo durante la jornada laboral.	Metodología 1: Revisión del estado del conocimiento. Consulta bases de datos oficiales	Capítulo 2
Hipótesis 2: La exposición a Ruido o a VMB producen efectos nocivos para la salud. La exposición conjunta a ruido y VMB, aumenta los efectos de cada uno de los agentes por separado.	Objetivo 2: Identificar los efectos sobre la salud de los trabajadores de la exposición a los agentes físicos objetos de esta memoria: ruido y VMB. Por un lado, se analizarán los efectos cuando solo uno de los agentes está presente y, por otro, cuando ambos agentes se encuentran presente de forma simultánea.		Capítulo 2
Hipótesis 3: La normativa actual aplicada de forma independiente podría subestimar los efectos para la salud. Se deberían reforzar las medidas preventivas bajo exposición simultánea, de forma similar a los agentes químicos	Objetivo 3: Identificar la normativa de aplicación para el ruido y la VMB, así como los valores límites o de control definidos. Además, identificar las normativas que regulan los métodos de ensayo y de cálculos de dosis de ruido y VMB.	Metodología 2: Análisis de la normativa de agentes físicos, ruido y VMB. Identificación de los requerimientos de los equipos de medición. Obtención de la información sobre los métodos para la evaluación de la exposición	Capítulo 3 Apartados 3.2, 3.3
	Objetivo 4: Establecer el código de ensayo a partir de los estándares establecidos. Comprobar la validez del código mediante un trabajo de campo.	Metodología 3: Análisis de los códigos de ensayo dispuestos en las normas. Definición de uno específico para la medición de la VMB apto para maquinaria asida por la mano con cualquier tipo de fuente de energía Validación con toma de datos de campo con trabajadores de jardinería utilizando sopladoras de hojas	Capítulo 3 Apartado 3.4

Gráfico 1. 2: Fases de las investigaciones llevadas a cabo y capítulos que las desarrollan

Hipótesis	Objetivos	Metodología	Capítulo
<p>Hipótesis 4: Es factible definir un índice combinado basado en la energía total recibida por el operario a ruido y VMB</p> <p>Se puede aplicar a las posibles:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Una sola fuente que produce ambos agentes al mismo tiempo - Dos fuentes diferentes en el mismo lugar de trabajo, una de ellas emitiendo ruido y otra VMB, aunque no necesariamente de forma simultánea. 	<p>Objetivo 5: Proponer un índice combinado que contabilice la energía total recibida por el trabajador procedente tanto del ruido como de la VMB. El índice se basará en el cálculo de la dosis de energía combinada calculada a partir de los valores VEA prescritos por las normas. Desarrollar el método de cálculo de tiempos máximos recomendados de exposición en función de la emisión de ruido y de vibración para cada proceso o puesto de trabajo, dependiendo de la maquinaria utilizada y del entorno de trabajo</p>	<p>Metodología 4: Definición de un índice combinado como suma ponderada de las dosis de energía de ruido y VMB.</p> <p>Se siguió el criterio de igual ponderación para ambos agentes.</p> <p>Desarrollo del método de cálculo de tiempos máximos de exposición a partir del índice</p>	Capítulo 4
	<p>Objetivo 6: Validación del índice combinado definido en el OE5 en un caso de estudio. Selección del sector productivo para el estudio de caso, en función su importancia económica y de la maquinaria utilizada. Contextualización del sector. Elección del puesto de trabajo expuesto a ruido y VMB.</p>	<p>Metodología 5: Se seleccionó el sector agrario y, dentro de él, el sector olivarero por la importancia económica que tiene en el sur de España, el número de trabajadores que emplea y por la exposición a ruido y VMB.</p> <p>Para la correcta caracterización inicial del sector se definió un cuestionario que se utilizó con un panel de expertos</p>	Capítulo 5 Apartado 5.2
		<p>Metodología 6: Se realizó una evaluación de los niveles de exposición a los agentes físicos, para lo que se realizaron mediciones en situación de trabajo real con las máquinas definidas por el panel de expertos.</p> <p>Para la medición en campo se utilizó el código de la Metodología 3.</p> <p>Con los datos obtenidos se utilizó el índice combinado para la exposición a ruido y VMB definido en el OE5 y así calcular el tiempo recomendado de exposición.</p>	Capítulo 5 Apartado 5.3, 5.4

Tabla 1. 1., Estructura de la Investigación (continuación)

2- ESTADO DEL CONOCIMIENTO

En este capítulo se da respuesta a los **Objetivos Específicos 1 y 2**. Se expone una revisión del estado del conocimiento de los agentes físicos en los espacios de trabajo: ruido y VMB. También recoge la información de la situación actual de los trabajadores, sustentada en datos estadísticos de organismos oficiales y por las investigaciones científicas.

Seguidamente, se abordan las principales alteraciones sobre la salud de cada uno de los agentes estudiados de forma independiente para continuar con los efectos en presencia de ambos agentes simultáneamente. Se ha analizado con especial atención los estudios sobre la interacción entre las exposiciones como causa del aumento o modificación de los efectos.

Para finalizar, se explora el estado del conocimiento de efectos no lesivos del ruido y VMB bajo un enfoque ergonómico, es decir, desde el punto de vista de la percepción o incomodidad de individuo.

Este Capítulo valida las **Hipótesis 1 y 2** enunciadas en el **Capítulo 1**.

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

2.1 EXPOSICIÓN A RUIDO Y VIBRACIÓN EN LOS ESPACIOS DE TRABAJO

Como se ha expuesto en el apartado 1, el ruido y la vibración suponen un riesgo para la salud de la población en general. Nos obstante, si la exposición se produce de forma continuada durante la jornada laboral, puede producir distintas enfermedades profesionales que supondrán una pérdida en la calidad de vida de los trabajadores.

Exposición a Ruido

La OMS ha declarado que se pierden anualmente en Europa por causa de ruido, al menos, un millón de años de vida saludable (OMS, 2011). Una de las fuentes principales de ruido que soporta cualquier persona es el ruido ambiental. Está presente en muchos ámbitos de la vida cotidiana, siendo el más frecuente el procedente del tráfico que, en ocasiones, alcanza niveles de 85dBA (Neitzel et al., 2004). Parte del ruido ambiental procede del tráfico, ya sea rodado (Dzhambov & Lercher, 2019) o aéreo (Lee, W. et al., 2021). Incluso, dentro del tráfico rodado, por su especial interés, hay estudios relativos al ferroviario (Lechner et al., 2020). En todos estos estudios figuran los daños que el ruido produce para la salud.

Además del ruido ambiental, en los espacios de trabajo suele existir otros tipos de ruidos que dependen de cada sector laboral. Así lo corroboran diversos estudios académicos, siendo pioneros los realizados por Keatinge y Laner (Keatinge & Laner, 1958) sobre los niveles de ruido en fábricas de productos alimenticios. Desde entonces han venido publicándose estudios realizados en sectores laborales como: la Construcción (Li, X., et al, 2016; Fernández et al., 2009; Leensen et al., 2011), la producción agrícola, concretamente en el oleícola, (Rubio-Romero et al., 2018), el industrial, en general (Rikhotso et al., 2019); Ahmed, 2012) o el de la metalurgia, en particular, el de fundición de aluminio o de acero (Aliabadi et al., 2015); Martin et al., 1975), el pesquero (Yadav et al., 2021), aserraderos de madera (Bergström & Nyström, 1986; Ajayeoba et al., 2021), las moladoras de café (Al-Arja & Awadallah, 2020), la minería subterránea (Hessel & Sluis-Cremer, 1987), los cuerpos de Seguridad del Estado, como bomberos, (Root et al., 2013) y militares del Ejército (Helfer et al., 2005) o, por cerrar este recorrido, en los cuerpos de Policía Urbana (Nagodawithana et al., 2015).

Sobre la incidencia del ruido en los entornos de trabajo cabe resaltar el estudio encabezado por Sayler (Sayler et al., 2019). Estos estudios, que reúnen información extraída de bases de datos oficiales de ámbito mundial, identifican niveles de ruido por encima de la exposición límite en la industria manufacturera, y niveles medios de ruido altos (93.1 dBA) en las industrias agrícola, forestal, pesquera y cinegética; por otro lado, el grupo de minería, canteras y extracción de petróleo y gas representan otros de los sectores con niveles elevados (93.3 dBA).

El estudio se basa en las mediciones de ruido (OSHA)⁵ recopiladas y almacenadas en la base de datos del Sistema de Información de Gestión Integrada (IMIS)⁶ entre los años 1979 y 2013. Aunque las estadísticas también muestran una tendencia decreciente anualmente de los niveles de ruido en los lugares de trabajo (Burhl et al., 1994), la evolución no es homogénea para todos los sectores ya que en algunas industrias no han descendido nada. Tampoco es homogéneo el decrecimiento por países ya que, si bien está disminuyendo lentamente en países del mundo más desarrollado, está aumentando en muchas zonas en desarrollo a medida que sus economías pasan de una base agrícola a una más industrial (Fuente & Hickson, 2011). Aun así, el porcentaje de trabajadores expuestos a altos niveles de ruido sigue siendo elevado. Según Themann y Masterson (Themann & Masterson, 2019) actualmente el porcentaje de operarios que soportan estos niveles supone el 25 % en EE.UU., el 15 % en Canadá, el 20% en la UE, el 20% en Australia etc.

Definitivamente, muchos puestos de trabajo someten a los empleados a dosis de ruidos elevadas y son profusos los autores que muestran esta realidad en sus estudios. En el apartado 2.2 se recogen los estudios científicos sobre los efectos del ruido.

Exposición a Vibración Mano Brazo

La exposición a la VMB se produce por el uso prolongado de herramientas manuales vibratorias con cualquier tipo de suministro de energía (eléctrica, de combustión, neumática e hidráulica). Estos puestos de trabajo, en los que los operarios utilizan herramientas de mano, se encuentran en muchos sectores productivos. Cronológicamente, la preocupación por los efectos de las vibraciones es relativamente más reciente que sobre los efectos del ruido. Los primeros estudios científicos sobre las vibraciones datan de mediados del siglo XX. Así en 1978 Suzuki (Suzuki, 1978) realiza un estudio en fábricas de fundición de acero situadas en Japón. Posteriormente ha seguido estudiándose en sectores como: perforadores de canteras y talladores de piedra en Italia (Bovenzi, 1994; Rui et al., 2008), trabajadores forestales en Italia (Bovenzi et al., 1996), trabajadores forestales en Finlandia (Sutinen et al., 2006), leñadores finlandeses (Kivekas et al., 1994), la edificación (House, R. A., Sauvé & Jiang, 2010; Lai et al., 2019; Edwards & Holt, 2006), la construcción de carreteras en Pakistán (Moghul et al., 2022), la agricultura, en general (Thota et al., 2022; Bezrukova et al., 2021; Calvo, A., Preti, Caria & Deboli, 2019) y, en particular, la recolección de frutos (Thota et al., 2022), la industria textil (Singh, A. K., Meena & Chaudhary, 2018), las industrias químicas (Rikhotso et al., 2019), la manufactura de automóviles (Duan et al., 2020), la minería (Behar & Russo, 2019), la ingeniería mecánica (Zheglava, 2021), etc.

⁵ OSHA: La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional es una agencia del Departamento de Trabajo de los Estados Unidos.

⁶ IMIS: Integrated Management Information System

Los efectos de la exposición a VMB se recogen en el **apartado 2.3** pormenorizadamente.

Exposición Ruido y Vibración mano brazo

El problema del ruido y las vibraciones en el trabajo es tan relevante que la VI Encuesta Europea de Condiciones de Trabajo (Eurofound, 2017), recoge la información actual sobre las condiciones laborales en Europa, y abarca los 28 países miembros. En el caso de España se gestiona por el INSST⁷ mediante EWCS⁸. Destacan los agentes físicos como uno de los factores de riesgo para la salud en el espacio de trabajo y, entre ellos y con una mayor incidencia, **el ruido y la vibración**. El 28% de los trabajadores en Europa están expuestos a niveles de ruido fuertes que les obliga a elevar la voz para comunicarse durante más de la cuarta parte de su jornada laboral. En sectores como la industria y la agricultura la incidencia llega al 47%, mientras que en la construcción y el transporte alcanza el 51% (ver Gráfico 2.1). Con relación a las vibraciones, la situación es similar. El 20% de los trabajadores europeos están expuestos a VMB, al menos, durante una cuarta parte de la jornada laboral y, en la misma línea que el ruido, en los sectores industrial y agrícola, el porcentaje de trabajadores se eleva al 42% así como en el sector construcción y transportes que llega al 48% (ver Gráfico 2.2).

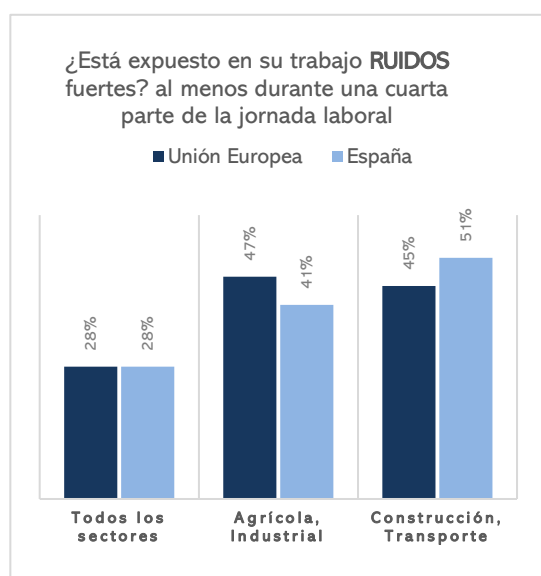


Gráfico 2. 1: Resultado de encuesta europea de exposición al ruido por sectores en Europa y España

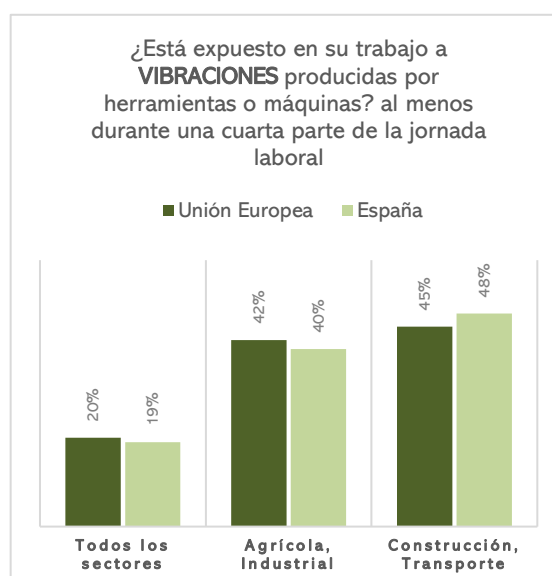


Gráfico 2. 2: Resultado de encuesta europea de exposición a las vibraciones por sectores en Europa y España

En la actualidad, la exposición de los trabajadores a ambos agentes físicos, de forma simultánea o durante la misma jornada laboral, ha aumentado a medida que todos los sectores pro-

⁷ El instituto Español de Seguridad y Salud en el Trabajo

⁸ Eurofound's European Working Conditions Survey (EWCS)

ductivos han evolucionado hacia la mecanización y, por lo tanto, se ha acentuado la probabilidad de sufrir efectos adversos para la salud. Como consecuencia de esta situación, numerosos estudios han puesto de manifiesto cuales son los espacios de trabajo, que exponen a ruido y vibración a los trabajadores. Es necesario aclarar que algunos de estos estudios valoran las dosis recibidas y en otros los efectos de la exposición simultánea. En cualquier caso, es destacable la cantidad de sectores analizados. Así, en la época de los ochenta, Pospiech et al. (Pośpiech & Zalesska-Krecicka, 1982) estudian el ruido y la vibración entre pescadores; en silvicultura, Pyykko et al. (Pyykko et al., 1981) se ocupan de leñadores que usan herramientas de combustión; en carpinteros, Metleyaev et al. (Metlyayev et al., 1983) estudian entre otros riesgos laborales adversos el ruido y la VMB que soportan cuando instalan suelos de madera; en el sector agrícola, Bovezi et al. (Bovenzi et al., 1990) estudian los trabajos en los que se utilizan herramientas eléctricas; en 2007, Riva (Riva et al., 2007) estudia la exposición a estos factores entre trabajadores de la industria de la construcción; en este mismo sector, Shanks (Shanks, 2020) identificó bastantes actividades con valores elevados de ruido y VMB, como son la ejecución de encofrados, la colocación de carpinterías, la colocación de andamios, los trabajos de demolición. Otro de los grandes sectores afectados es el industrial: la industria textil de fabricación de alfombras (Singh et al., 2018; Singh et al., 2019); la fabricación química (Rikhotso et al., 2019); la industria minera (Behar & Russo, 2019); la ingeniería mecánica (Zheglova, 2021); y, por último, la artesanía (Singh et al., 2020)

Por un lado, hay estudios que demuestran la existencia de exposiciones elevadas a ruido y vibración. Por ejemplo, Boschman et al. (Boschman et al., 2011) manifiestan que el 50% de los albañiles están expuestos a vibraciones con valores mayores a 2.8 m/s^2 y el 29% lo están a valores superiores a 5.0 m/s^2 . Con referencia al ruido se reportaron niveles promedio comprendidos entre 84.8 hasta 98.0 dBA y, en muchas ocasiones, niveles máximos de 93.0 y 116.7 dBA.

Por otro lado, hay estudios que se centran en los efectos sobre la salud de los trabajadores que producen las vibraciones y el ruido combinados, Malinowska (Malinowska-Borowska, J. et al., 2012). Estos autores encuentran, en casi la mitad de los trabajadores con años de experiencia en silvicultura, trastornos vasculares, auditivos y neurológicos provocados por el ruido y las vibraciones provenientes de las motosierras. En esta misma línea, Duan et al. (Duan et al., 2020) demuestran que para trabajadores de las fábricas de automóviles la exposición simultánea a vibración y ruido eleva la posibilidad de pérdida auditiva. Resultados similares encuentran las investigaciones realizadas por House et al. (House, R. A., Sauvé & Jiang, 2010). Estos autores comprueban que aumenta la pérdida auditiva cuando se expone a ambos agentes a personas con años de trabajo en la construcción.

En el apartado 2.4 se estudian de forma pormenorizada los efectos combinados de ruido y VMB.

2.2 EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD

El ruido es uno de los agentes físicos del que, tradicionalmente, se ha protegido poco a los trabajadores. Esto se debe, en parte, a que socialmente no estaba identificado como un riesgo para la salud, aunque la causa principal se debe a que muchos procesos productivos integran maquinaria a la que no se le ha exigido atenuación acústica de forma obligatoria o mediante normativa. Este hecho ha desencadenado un número ingente de investigaciones que ponen de manifiesto tanto el exceso nivel de ruido en los espacios de trabajo como las patologías que provoca en los empleados.

En la revisión sistemática realizada por Dzhambov y Dimitrova (Dzhambov, A. & Dimitrova, 2017) de los resultados de 21 estudios sobre el riesgo de lesiones relacionadas con el ruido, se pone de manifiesto que la exposición al ruido en el trabajo duplicó con creces el riesgo de accidentes y lesiones laborales y aumentó la probabilidad de accidentes en el trabajo.

El ruido tiene una dimensión objetiva (física) cuantificable en forma de niveles de sonido o decibelios (dBA) y una dimensión subjetiva (psicológica) determinada por la evaluación individual del oyente de la fuente de sonido (Basner et al., 2013). Así, se puede afirmar que los efectos del ruido pueden clasificarse en dos bloques. Si nos basamos en los estudios de Babisch (Babisch, 2003), hay ruidos que se caracterizan porque su efecto daña el aparato auditivo (sonidos muy fuertes y de larga duración lesionan el aparato auditivo) mientras que otros, considerado como efectos indirectos o no auditivos, desencadenan una cascada de riesgos para la salud como el aumento de presión arterial.

Los efectos sobre el aparato auditivo son, con diferencia, los más frecuentes. La pérdida parcial de la audición, o pérdida auditiva, es el principal efecto negativo sobre la salud, aunque no el único, ya que, frecuentemente, se produce: tinnitus⁹, desplazamiento del umbral auditivo, etc.

2.2.1 PÉRDIDA AUDITIVA. DEFINICIÓN. UMBRALES NORMALES

¿En qué consiste la hipoacusia o pérdida auditiva? Santos et al. (Santos Hernández et al., 2006) la definen como:

“Deficiencia, discapacidad y minusvalía auditiva son términos que engloban todas las características que pueden definir una pérdida auditiva como el estado físico, psicológico o social de un paciente hipoacúsico. El término deficiencia auditiva designa el cambio o desviación fuera de los rangos de normalidad que surge en las estructuras o funciones auditivas.”

En primer lugar, es necesario establecer qué se considera audición normal al objeto de utilizar estos valores como punto de referencia con los que comparar el nivel de audición de cada

⁹ Tinnitus: es una percepción de ruido en los oídos o en la cabeza sin que exista una fuente exterior de sonido

individuo. Así, la norma ISO 1999:2013 (ISO, 2013b) que se basa en estudios estadounidenses entre las décadas de 1960 y 1970, define el umbral auditivo normal en función del sexo y de la edad. Esta norma reconoce que, en general, las mujeres pierden menos audición que los hombres. Además, el umbral de audición aumenta con la edad en el rango de frecuencia de 3 a 8 kHz. El Anexo A de la citada norma tabula la pérdida auditiva esperada, basándose en una muestra de población muy notable y en la que se ha eliminado a las personas con exposición al ruido y enfermedades del oído. El Anexo B, tabula la pérdida auditiva, sin excluir a la población con exposición al ruido y enfermedades del oído, por lo que, la pérdida auditiva esperada es mayor en el anexo B que en A.

Esta norma ISO 1999:2013 define “el nivel umbral de audición asociado con la edad y el ruido (HTLAN): Umbral de audición permanente, en decibelios, de toda una población, sin excluir enfermedades auditivas ni exposición al ruido”. En los Gráficos 2.3 y 2.4 figuran el umbral de audición correspondiente a hombres y mujeres, por edad y ruido, según datos del Anexo B.

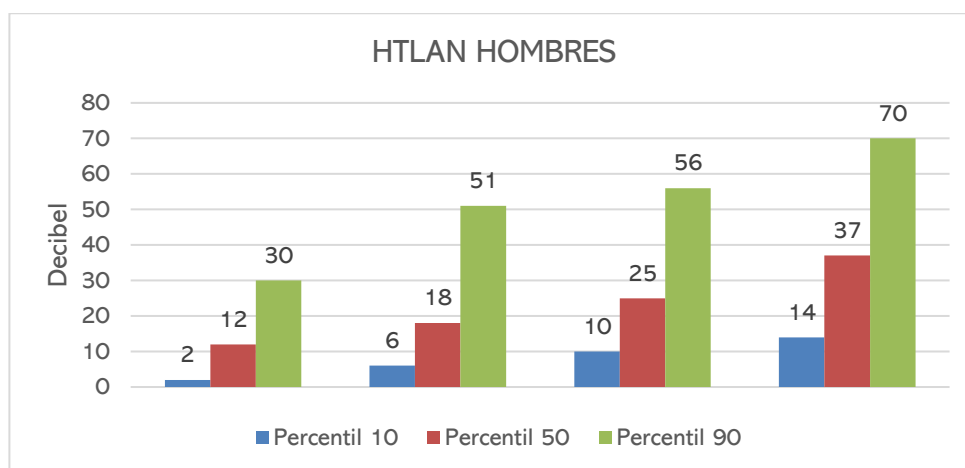


Gráfico 2. 3: Umbral de audición esperado en hombres, por edad y ruido HTLAN, percentil 10,50 y 90. 3 a 6 kHz, mejor oído según la edad. Con datos de la norma ISO 1999:2013, Anexo B

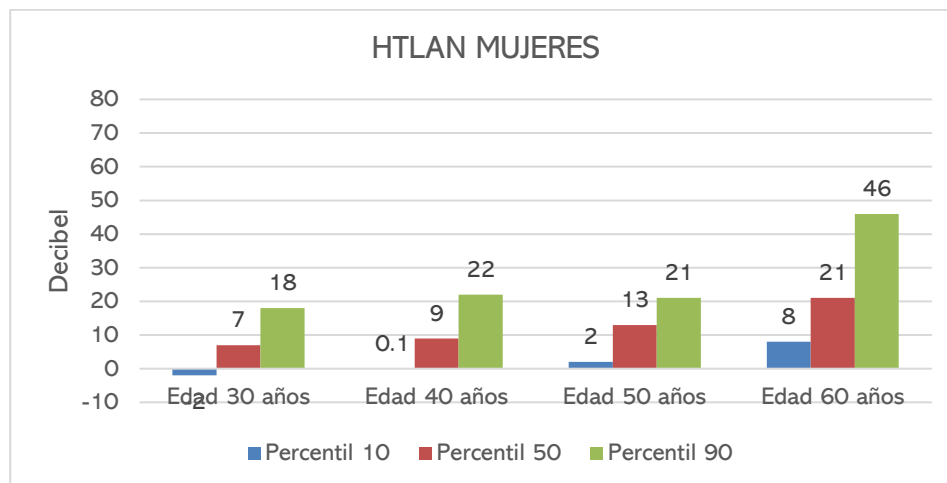


Gráfico 2. 4: Umbral de audición esperado en mujeres, por edad y ruido HTLAN, percentil 10, 50 y 90., 3 a 6 kHz, mejor oído según la edad. Con datos de la norma ISO 1999:2013, Anexo B

En este sentido, estudios de investigación como los de (Nelson et al., 2005) dejan patente la diferencia de pérdida auditiva por sexos, demostrando que existe una mayor incidencia de pérdida auditiva provocada por el ruido ocupacional en hombres que en mujeres. Además, estima que el 16% de las pérdidas auditivas en adultos están ocasionadas por el ruido ocupacional.

La evolución en la hipoacusia no es homogénea a lo largo de los años. Esto queda reflejado en el Anexo E de la citada norma ISO 1999:2013 (ISO, 2013b) donde se estima la pérdida auditiva por exposición al ruido desde 10 hasta 40 años durante los cuales se han recibido valores de exposición diaria entre 85 y 100dB. En el Gráfico 2.5, construido a partir de los datos del Anexo E, se muestra el incremento constante del umbral de audición inducido por el ruido según sus niveles de crecimiento y los años en los que las personas han estado expuestas a él. Es destacable la gran influencia en los 10 primeros años de exposición con cualquiera de los valores de dosis de ruido y la progresión más ralentizada en los siguientes años de exposición, tal y como demuestra la menor pendiente de las líneas. Por otro lado, se puede ver, cómo los niveles inferiores, es decir 85dB diarios, afecta casi igual los primeros 10 años y permanece así, casi hasta los 40. Esto significa que la pérdida auditiva esperada inducida por el ruido a un nivel de exposición diaria al ruido de 85 dB será pequeña en comparación con la pérdida auditiva relacionada con la edad. Por el contrario, los niveles de ruido muy altos, 100 dB siguen una evolución ascendente bastante más pronunciada.

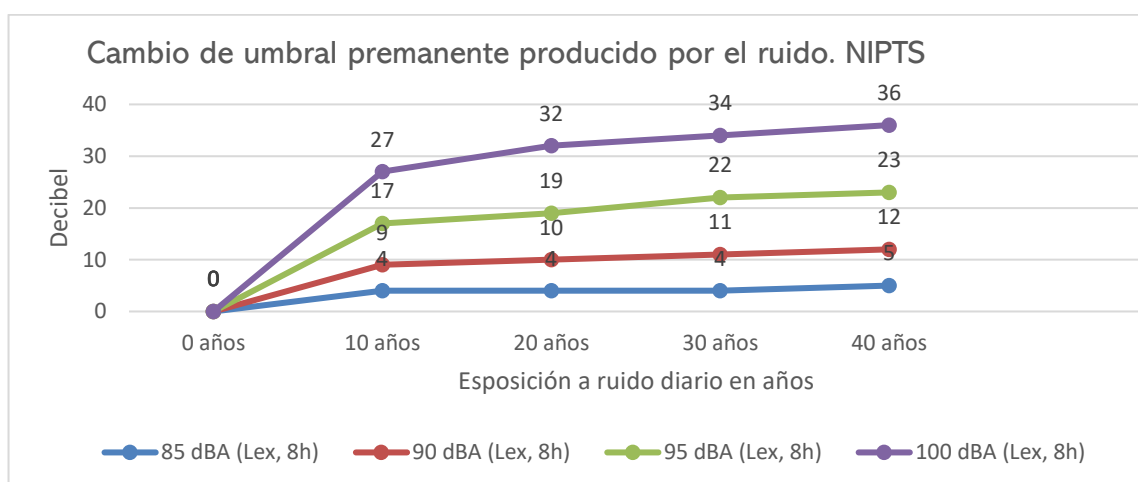


Gráfico 2. 5: Desplazamiento permanente del umbral auditivo inducido por el ruido (NIPTS) por nivel de exposición al ruido y años de exposición. Hombres y mujeres. Basado en ISO 1999:2013, Anexo E

El Gobierno de España aprobó el Real Decreto 1299-2006 (Ministerio de la Presidencia, 2006a) que establece las enfermedades profesionales entre las que se recogen las producidas por los agentes físicos, el ruido y la vibración.

Para la valoración de la hipoacusia provocada por la exposición al ruido, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, órgano científico técnico especializado en prevención de riesgos laborales (PRL), publicó la *Evaluación de la exposición al ruido: determinación de niveles representativos* (INSST, 1991). En ella se propone como principal signo diagnóstico la detección del cambio del umbral auditivo, hecho medible por audiometría. Debe tenerse en cuenta que la hipoacusia puede ser transitoria, lo que sucede cuando se somete al oído a un sonido de intensidad suficiente y se fatiga, pero se recupera pasadas unas horas. El problema surge cuando los cambios son permanentes.

2.2.2 EFECTOS AUDITIVOS DEL RUIDO OCUPACIONAL

Como se ha comentado previamente, el principal efecto del ruido en los espacios de trabajo es la pérdida de audición inducida por el ruido existente en el lugar de trabajo o ruido ocupacional (NIHL¹⁰). Se trata de una de las enfermedades laborales con gran impacto en la mayoría de los países desarrollados (Eurofound, 2017), lo que tiene repercusión económica en los presupuestos de los gobiernos europeos, entre los que está el de España. Así lo pone de manifiesto Nelson et al. (Nelson et al., 2005) que, basándose en informes de las Agencias Europeas en los que se recogen las enfermedades laborales declaradas a nivel mundial, denuncia que el 16% de la pérdida auditiva discapacitante en adultos se atribuye al ruido ocupacional, aunque el porcentaje no es el mismo en todo el territorio de la UE. La incidencia varía de unos países a otros oscilando entre 7% al 21%.

¹⁰ NIHL: Nois-Induced Hearing Loss (pérdida de audición inducida por ruido).

La distribución de la incidencia por continentes no es homogénea, de tal forma que, la evolución a lo largo de los años varía de unos a otros. Ésta aumenta en zonas en desarrollo y se mantiene relativamente estable en países desarrollados. Según datos reales del Instituto de Evaluación de Métricas de Salud (IHME¹¹), recogidos por (Pretzsch et al., 2021) en el Gráfico 2.6, la carga aumenta más en la Región del Pacífico Occidental (que incluye, por ejemplo, China, Japón, Corea del Sur, Filipinas, Australia, Nueva Zelanda), mientras que permanece relativamente estable en el resto del mundo.

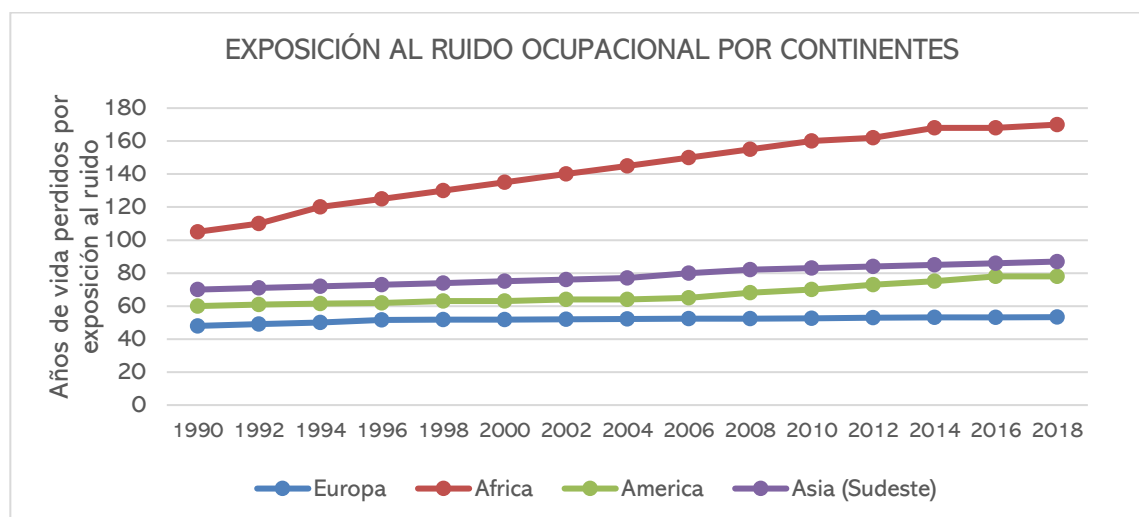


Gráfico 2. 6: Exposición al ruido ocupacional por continentes. Fuente: *Health Effects of Occupational Noise*. (Pretzsch et al., 2021)

Pese a que el ruido ocupacional es el mayor desencadenante de la pérdida de audición, sería necesario tener en cuenta la dosis de ruido de cada individuo en el total diario, incluyendo las actividades fuera del ámbito de trabajo, principalmente actividades lúdicas, de ocio y otros hábitos de vida. Entre las actividades ruidosas están la asistencia a espectáculos deportivos, cines, locales de ocio, trabajos en jardín, escuchar música... es difícil hacer una estimación real del ruido no ocupacional. En estudio de Neitzel et al. (Neitzel et al., 2004) estima que un trabajador del sector de la construcción, que ya de por sí está sometido a una dosis de exposición diaria en el límite máximo permitido, comparado con otro trabajador, con la misma exposición ocupacional pero que soporta altos niveles de ruido episódico y rutinario de actividad lúdica, tiene un nivel anual por encima del límite máximo, dado que añadiría entre 2 y 4 dBA al nivel total de exposición. Este autor concluye que el ruido no laboral, en algunas circunstancias, puede tener una contribución significativa para los NIHL en trabajadores expuestos a ruido.

Las infracciones de las empresas frente a la norma de ruido son, en multitud de ocasiones, la causa del aumento de la dosis de ruido y, por ende, de la pérdida auditiva, lo recoge el estudio

¹¹ IHME siglas en inglés: Institute for Health Metrics Evaluation. Instituto de Evaluación de Métricas de Salud

realizado por Park et al. (Park, S. et al., 2020) en un periodo de 50 años (1972- 2019), en concreto sobre infracciones de las normas OSHA. Los incumplimientos más frecuentes que detecta este estudio son cuatro: exposición al ruido ocupacional en la industria en general, exposición ocupacional al ruido en la construcción, falta de controles administrativos o de ingeniería, programa inadecuado de conservación de la audición. Estos hallazgos evidencian la necesidad de una protección más activa del cumplimiento de la normativa.

Por otro lado, resulta complejo conocer la situación real del ruido ocupacional, dado que las estadísticas del número de trabajadores afectados por la pérdida auditiva resultan poco comparables de unas normativas a otras. Además, los valores de dosis de ruido permitidos se han ido haciendo cada vez más restrictivos y los criterios de valoración han ido cambiando. En las primeras normativas de protección de los trabajadores frente al ruido se quedan fuera muchos casos de enfermedades laborales. Esta deficiencia de la norma se puso de manifiesto cuando las estadísticas de los estados arrojaron un considerable aumento del número de casos. Todo ello a raíz del cambio de los criterios de medición de exposición al ruido, que fueron revisados en el año 2000 por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH¹²) de EE. UU. y los de Conservación de la Audición de la norma de ruido ocupacional (OSHA) (Sriwattanatamma & Breysse, 2000).

Los ruidos que soportan los trabajadores presentan diferentes características. Ante la exposición a diferentes tipos de ruido, se observa variación en los resultados audiométricos. Los ruidos de impulsos cortos, también llamados ‘impulsivos’, afectan en mayor medida que los ruidos continuos. Este hecho está verificado por investigaciones como la realizada en varios procesos productivos en los que hay trabajadores expuestos a diferentes dosis de los dos tipos de ruido (impulsivo y continuo). Autores como Suvorov et al. (Suvorov et al., 2001) comparan la exposición al ruido y la pérdida auditiva entre trabajadores martilladores de forja en dos talleres de una empresa de automóviles, donde los niveles de presión sonora equivalentes (104 y 105 dB) eran los mismos, pero los niveles máximos y el grado de impulsividad eran significativamente diferentes. La pérdida auditiva de los trabajadores expuestos a un alto nivel de ruido impulsivo se correlacionó significativamente con mayor pérdida de audición, en este mismo sentido otro estudio comparativo entre tipos de ruido es el realizado por Zamysłowska (Zamysłowska-Szmytke et al., 2007) los trabajadores de astilleros sometidos a ruido impulsivo y trabajadores en una fábrica de botellas expuestos a ruido continuo. Demostraron que la exposición a un alto nivel de ruido impulsivo puede causar un déficit auditivo mayor de lo esperado y mayor que el ruido continuo para la misma dosis en dBA. El problema del ruido impulsivo se agrava por la frecuencia en la que se soporta, lo que es usual en el personal

¹² National Institute for Occupational Safety and Health

militar. Rezaee et al. (Rezaee et al., 2011) demuestra que, incluso con la utilización de protectores auditivos adecuados y en sujetos sanos, el ruido impulsivo puede provocar trauma acústico, lo que supone un daño auditivo, incluso con una exposición por debajo de los límites permitidos.

En este mismo contexto, se ha demostrado que la exposición al ruido impulsivo, como es el que emiten las armas de fuego, exacerba la pérdida de audición relacionada con la edad y se estima que contribuye con 7 a 8 dBA adicionales de pérdida de audición. Helfer et al. (Helfer et al., 2011; Helfer et al., 2005) observaron una mayor incidencia de pérdida de audición y tinnitus en soldados después de un despliegue militar. Se trata de riesgo intrínseco al trabajo de los militares, pero también queda patente en estudios de armas de fuego para la población en general. De hecho, se estima que el 31% de los hogares estadounidenses poseen un arma de fuego Smith (Smith & Son, 2015) lo que supone un uso generalizado. Además, la población no utiliza protectores auditivos por una cultura de banalización de este tipo de ruidos, por considerarse esporádicos. La necesidad de concienciar sobre la necesidad del uso de protectores auditivos es recogida en el estudio de Bhatt et al. (Bhatt et al., 2017). Basado en las encuestas nacionales de salud de EE.UU. hechas a trabajadores expuestos a ruidos ocupacionales “fuertes” o “muy fuertes”, sólo el 18% y el 43%, respectivamente, usaban protectores, lo que suponía un total de 38,2% de las personas expuestas a ruidos muy fuertes nunca usaron protección.

No obstante, la mayoría de las investigaciones valoran los entornos laborales ruidosos sin diferenciar tipos de ruido, pero lo hacen en una amplia gama de sectores productivos, encontrando niveles de exposición elevados. Una de las primeras en 1986 trabajadores de una empresa de procesamiento de madera Bergström (Bergström & Nyström, 1986) detectan niveles de ruido diario entre 80 y 100 dB.

Desde entonces y hasta ahora, se han realizado multitud de estudios de la pérdida auditiva como el principal efecto del ruido sobre la salud y, de hecho, es el más estudiado desde que se empieza a tomar conciencia del daño que provoca.

Los valores de exposición varían, lógicamente, tanto de unos estudios a otros como por sectores de actividad laboral. Sin embargo, la mayoría encuentran exposiciones por encima del VEA. Es el caso de Camargo et al. (Camargo et al., 2021) al analizar la situación de trabajadores forestales que utilizan máquinas forestales autopropulsadas. En un sistema de corte a medida, destacan que el 36% de los operadores de cosechadoras estuvieron expuestos a valores por encima del límite de acción fijado en 85 dBA. En trabajadores de la construcción, Li et al. (Li et al., 2016) encuentran exposición superior al valor límite que oscila entre 87 y 96 dBA. En canteras y minería, Li et al. (Li, J. et al., 2021) detectan también valores por encima de VEL.

Dentro de la industria agroalimentaria, en los molinos de aceite de oliva en España, Rubio et al. (Rubio-Romero et al., 2018), en una investigación realizada a lo largo de una década, demostraron que los operarios que trabajan cerca de los molinos presentaban mayor diferencia con lo esperado por edad y sexo según la ISO 1999:2013 (ISO, 2013b).

En el sector pesquero, con un estudio en 7 explotaciones pesqueras y 12 embarcaciones en Canadá, en las que los trabajadores no tienen conciencia de que el ruido sea uno de los riesgos para su salud, se identifican riesgos muy peligrosos. Así Burella et al. (Burella et al., 2021) documentaron niveles elevados, a menudo peligrosos, de exposición al ruido en la mayoría de las pesquerías analizadas. Al mismo tiempo encontraron que todos los participantes desconocían, parcial o completamente, que estaban expuestos.

En la mayoría de las industrias que utilizan maquinaria con altos índices de emisión de ruido como, por ejemplo, la industria de fabricación de productos químicos, los operarios están sometidos a niveles superiores al límite para el que requieren las acciones que deben llevar a cabo. Así lo ha probado la investigación realizada por Rikhotso et al. (Rikhotso et al., 2019) aplicada, en concreto, a los operarios de maquinaria y de mantenimiento en diferentes procesos de fabricación.

En la industria automotriz, Kakavandi et al. (Kakavandi et al., 2021) encontraron que el 23,3% de los trabajadores de talleres de carrocería tenía una pérdida auditiva leve y el 3,3% tenía una pérdida auditiva grave. Según Wuhan et al. (Li, W. et al., 2021) en China la pérdida auditiva afectaba directamente al 25% de los trabajadores de la industria de fabricación de automóviles.

Dentro de este marco, revisiones sistemáticas recientes corroboran la diversidad de espacios de trabajo y la incidencia del ruido sobre la pérdida auditiva. Cabe destacar las siguientes:

- Lie et al. (Lie et al., 2016) muestra 192 estudios que describen la hipoacusia en diversas profesiones, producto de exposición a ruido en distintos niveles y espacios de trabajo. Concluyen que entre el 7 y el 21% de la pérdida auditiva de trabajadores es atribuible al ruido ocupacional.
- Zhou et al. (Zhou et al., 2020) publicaron un resumen de 88 estudios de NIHL ocupacionales en China en los últimos 26 años. Su investigación encontró una pérdida auditiva en el rango de alta frecuencia del 95% para los grupos expuestos (con niveles de ruido promedio de $102.2 \pm 7,2$ dBA) frente a los grupos de control (con niveles de ruido medio de $63,5 \pm 3,8$ dBA).
- En una reciente revisión sobre trabajadores sometidos a ruido industrial, Pilco (Pilco, 2021) encuentra que el 32.75% del total de la población estudiada presentaba daño auditivo. Según los artículos analizados, el total de trabajadores estudiados y que estuvieron expuestos a ruido industrial fueron 58.821. Todos fueron analizados con audiometría

tonal vía área, y se confirmó que 19.234 trabajadores presentaron daño auditivo relacionado con la exposición a ruido industrial. Esto corresponde al 32,75% del total de la población estudiada. Aunque la distribución de la población por países no es homogénea, la mayor cantidad de trabajadores estudiados se encuentran en EE. UU. con un 88,36 %, le siguen: Colombia con un 6,12 %, Perú con un 2,62 % y Ecuador con apenas un 0,18 % de población estudiada.

- En una revisión más reciente Pretzsch (Pretzsch et al., 2021) recoge parte de las revisiones anteriores y concluye que los datos recientes muestran que la pérdida de audición inducida por el ruido no sólo es un problema de salud en todo el mundo como un efecto auditivo de la exposición al ruido ocupacional, sino que existe una evidencia creciente de las consecuencias no auditivas provocadas por la exposición al ruido ocupacional.
- Por último, centrándose en el impacto del ruido ocupacional para la salud de los pescadores, Yadav et al. (Yadav et al., 2021) analizan la literatura publicada hasta la fecha y detectan que, en la mayoría de los estudios, el nivel de ruido registrado superaba el valor recomendado en la reglamentación y que la evidencia de pérdida auditiva oscilaba entre 19,47% y 60,2%. En paralelo, destacan que el personal de la sala de máquinas se vio más afectado en comparación con otros miembros de la tripulación.

Recapitulando, la literatura científica demuestra la prevalencia de NIHL en todas las actividades que se desarrollan en ambientes ruidosos y, de hecho, se han encontrado casos en casi todas las profesiones o ámbitos laborales. Puede suponerse que, actualmente, los trabajadores están más protegidos frente a los efectos del ruido ya que hay más educación y conciencia del riesgo que supone. No obstante, todos los estudios realizados denuncian que sigue siendo un problema.

En la Tabla 2.1 se muestran algunos estudios sobre la prevalencia de la pérdida auditiva ordenados cronológicamente y clasificados por países y sector productivo.

Tabla 2. 1: Prevalencia de la pérdida auditiva inducida por el ruido ocupacional

Año	País	Sector Productivo	Periodo Exposición	Prevalencia		Referencia
				Población de estudio	Población afectada	
1957	Reino Unido	Fábrica de mantequilla	10 años		32%	(Keatinge & Laner, 1958)
1989	Egipto	Fábrica con martillos de forja metal	8 años	88 varones	80% varones	(Kamal et al., 1989)
1994	Suecia	Empresas metalúrgicas	25 años	150 varones	58%	(Burhl et al., 1994)
2011	Holanda	Construcción		29644		(Leensen et al., 2011)
2017	Canadá	Población trabajadora general	10 años	3666	42%	(Feder et al., 2017)
2019	EE. UU.	Sectores con exposición al ruido en el trabajo		22 millones	33%	(Themann & Masterson, 2019)
2020	China	Industrias de transporte, minería y manufactura		71865	30.2%	(Zhou et al., 2020)
2020	Myanmar	Fábrica textil	> 9 años	226	25.7%	(Zaw et al., 2020)
2021	Pakistán	Dispensario farmacéutico	6-10 años	300	30%	(Pattafi et al., 2021)
2022	India	Sectores productivos	10 años	2050	30%	(Basu et al., 2022)

Exposición al ruido incrementada con otros factores de riesgo: efectos auditivos

El efecto del ruido se agrava cuando existe exposición simultánea a otros factores que afectan a la salud de los trabajadores. Uno de ellos es la temperatura. La investigación de Aliabadi et al. (Aliabadi et al., 2015) se centra en los efectos de las altas temperaturas que soportan los operarios de la industria metalúrgica unidas al ruido en sus puestos de trabajo. Un estudio similar fue llevado a cabo por Singh et al. (Singh, L. P. et al., 2010) en trabajadores de la industria de fundición y forja, relacionando la mayor pérdida de audición, en las frecuencias más altas, entre los trabajadores que soportaban además estrés térmico y los mismos trabajadores no sometidos a altas temperaturas en el espacio de trabajo.

En este mismo contexto, Chen et al. (Chen, C. et al., 2007) encuentran la relación entre la temperatura y el ruido sobre el cambio temporal en el umbral auditivo. En este caso, no se trata de una patología permanente. Demuestran que, para igual dosis de ruido, la combinación con el efecto de altas temperaturas aumenta el desplazamiento del umbral auditivo y, por tanto, el tiempo de recuperación.

Por el contrario, los efectos del ruido combinados con bajas temperaturas están poco estudiados. Así Chao et al. (Chao et al., 2013) estudiaron los efectos combinados del ruido, el frío y la vibración en los parámetros fisiológicos de 23 sujetos jóvenes sanos. Esta combinación podría conducir al cambio del umbral del SVMB, en cambio no se encontraron indicios significativos sobre los efectos auditivos cuando se combina ruido con baja temperatura.

2.2.3 OTROS EFECTOS SOBRE LA SALUD DEL RUIDO

Alteraciones de la tensión arterial

No se puede limitar el efecto del ruido sobre los trabajadores a problemas de audición ya que el ruido provoca muchas más afecciones y alteraciones de la salud. Afecta también a funciones fisiológicas consideradas normales, al sistema nervioso y provocan cambios en la frecuencia cardíaca y, como consecuencia, provoca un aumento de la tensión arterial. Según el estudio de Chen et al. (Chen, F. et al., 2021), el riesgo de hipertensión es mayor en los trabajadores con más de cinco años con exposición al ruido.

Según la OMS, se estima que la hipertensión causa, aproximadamente, el 12,8% de todas las muertes. La hipertensión supone un problema de salud mundial. Autores como Vos et al. (Vos et al., 2016) lo ponen de manifiesto en un estudio sobre la incidencia de esta enfermedad desde 1990 a 2015. La hipertensión está relacionada con el ruido ocupacional según se recoge en la revisión sistemática de Wang et al. (Wang, H. Et al., 2016). En ella se identificó la exposición al ruido ocupacional como un factor de riesgo potencial para un mayor riesgo de hipertensión basándose en estudios, en la época comprendida entre los años 1980 y 2015. Así mismo, autores como Falian y Kusnoputranto (Falian & Kusnoputranto, 2018) encuentran mayor probabilidad de alteraciones de la presión arterial, en los trabajadores por la no utilización de protectores auditivos. De igual forma, autores como Wang et al. (Wang, D. et al., 2018) consideran que la exposición al ruido ocupacional es un factor de riesgo potencial de hipertensión. Estudian una amplia muestra de población China y encuentran que los participantes con pérdida auditiva inducida por ruido ocupacional presentaban un mayor riesgo de hipertensión. En este caso, la pérdida auditiva, que fue un indicador de exposición a ruidos fuertes, se asoció positivamente con la hipertensión. El estudio de revisión realizado por Bolm-Audorff et al. (Bolm-Audorff et al., 2020) destaca la evidencia científica, suficientemente contrastada y comparada, entre los grupos expuestos a ruido y los no expuestos, lo que pone de manifiesto la relación dosis-respuesta entre exposiciones al ruido ≥ 80 dBA y la hipertensión (presión arterial sistólica/diastólica $\geq 140/90$ mmHg), concluyendo con que hay una evidencia muy probable de que la exposición al ruido ocupacional aumenta el riesgo de hipertensión.

En este sentido, los altos niveles de ruido ocupacional se postulan como uno de los principales factores de riesgo de enfermedades de tipo vascular, así lo constata Yaghoubi et al. (Yaghoubi et al., 2018) sobre individuos sometidos a ruido en el trabajo en una cadena de ensamblaje de automóviles, con mediciones antes y después de la exposición, mediante la evaluación de tres valores indicativos: presión arterial sistólica (PAS), presión arterial diastólica (PAD) y concentración de cortisol salival, que presentan un aumento significativo después de la exposición al ruido.

Como se ha dicho antes, la combinación del ruido con otros agentes físicos, como son las altas temperaturas, aumenta los efectos auditivos, pero también los no auditivos. Dehghan et al. (Dehghan et al., 2017) demuestran en un estudio entre sujetos jóvenes y sanos, sometidos a ruido y alta temperatura, en el que se midieron valores de presión arterial, que los resultados eran más elevados bajo la exposición a ruido y a alta temperatura que los niveles medidos en sujetos expuestos a la influencia del ruido sólo, lo cual prueba que aumentan los problemas de hipertensión.

Enfermedad cardiovascular y cardiopatía

La exposición al ruido ocupacional también provoca problemas cardíacos, entre ellos, cardiopatía isquémica, estudiada desde hace años. Los primeros estudios no fueron suficientemente concluyentes ya que Van Kempen et al. (Van Kempen et al., 2002) encontraron que el mecanismo biológico de la relación entre exposición al ruido y sus efectos cardiovasculares es plausible, aunque es muy complejo.

Posteriormente, Gan et al. (Gan et al., 2011) encuentran que la exposición crónica al ruido en el lugar de trabajo puede estar asociada con un mayor riesgo de enfermedades cardíacas: enfermedad coronaria, angina de pecho e infarto de miocardio, lo que pone de manifiesto la relación exposición-respuesta de dichas enfermedades. En este mismo sentido, Virkkunen et al. (Virkkunen et al., 2005) descubren que existe una frecuencia mayor de enfermedades coronarias en trabajadores del sector industrial cuando, asimismo, están sometidos a niveles elevados de ruido impulsivo.

Conviene señalar que en estas patologías influyen otras fuentes de ruido fuera del ambiente laboral como, por ejemplo, el ruido en la actividad cotidiana. Dimakopoulou et al. (Dimakopoulou et al., 2017) demostraron que, para personas que viven en las cercanías del aeropuerto de Atenas, la exposición al ruido de aeronaves y del tráfico rodado, principalmente durante la noche, inciden en problemas cardiovasculares como arritmia cardíaca y el riesgo de accidente cerebrovascular.

En este mismo sentido, en 2016, Dzhambov et al. (Dzhambov, Angel M. &Dimitrova, 2016), en una revisión sistemática sobre cardiopatía isquémica, encontraron que los pacientes con

cardiopatía isquémica incidente presentaron empeoramiento de la enfermedad isquémica del corazón debido a la exposición al ruido.

Por último, según una revisión sistemática reciente sobre estudios prospectivos de ruido ocupacional auto-informado o valores medidos superiores a 85 dBA, Teixeira et al. (Teixeira et al., 2021) encontraron un riesgo estadísticamente mayor de incidencia de cardiopatía isquémica entre individuos sometidos a ruido, aunque, por el contrario, no detectaron un aumento estadísticamente significativo del riesgo de mortalidad por cardiopatía isquémica.

Alteraciones del sueño

Hay muchísimos factores que influyen en el tiempo y la calidad del sueño, los altos niveles de ruido que se soportan en bastantes trabajos son uno de ellos. Así lo demuestran estudios como el de Lin et al. (Lin et al., 2018) en trabajadores pertenecientes al gremio de la hostelería. En esta investigación se evalúan los efectos del ruido ocupacional sobre la calidad del sueño, encontrando alteraciones cuya explicación reside en el ruido recibido en el trabajo.

De igual forma, Azadboni et al. (Azadboni et al., 2018) consideran el caso de la industria textil y observan que, aunque no manifiesta una relación lineal causa-efecto, la exposición al ruido juega un papel importante que afecta el sueño de los trabajadores, sumándose a otros factores como la edad y la experiencia laboral: a mayor edad y duración de la experiencia laboral más desordenes del sueño, y, en sentido contrario, el uso de protectores auditivos mejora la calidad de sueño al disminuir la dosis de ruido percibida.

Sobre el sueño inciden otras fuentes de ruido como el ruido no ocupacional. Un ejemplo es el ruido del tráfico rodado durante la noche causa fragmentación del sueño. Munzel et al. (Münzel et al., 2021), investigaron el ruido de aeronaves, también durante el horario de sueño, concluyendo que este ruido, si bien no se recibe en el ambiente laboral, se suma a la dosis diaria y puede implicar otras alteraciones del sueño y, consecuentemente, con efectos secundarios sobre el rendimiento y concentración de los operarios en el trabajo, lo que supone un mayor riesgo de accidentes laborales.

Rendimiento cognitivo, problemas de concentración

Entre efectos no auditivos de la exposición al ruido están los que afectan al comportamiento y a la capacidad de reacción de los operarios. En trabajadores de minas de carbón bajo tierra, Li et al. (Li, J., Qin, Yang & Wang, 2021) han demostrado que el aumento del nivel de ruido tiene un impacto en la atención, la reacción y la capacidad de respuestas. Estos autores manifiestan que el ruido se relaciona positivamente con la fatiga y, como consecuencia, el ruido se relaciona negativamente con la atención, la respuesta y la velocidad de reacción. Los indicadores de prueba de atención, fatiga y reacción cambian significativamente para ruidos de niveles entre 70 y 80 dB. En cambio, la ralentización de reacción afectará negativamente a la

seguridad y puede aumentar el riesgo de accidentes laborales. Existe cierta variación de los efectos del ruido sobre el rendimiento cognitivo, dependiendo su magnitud, según Szalma y Hancock (Szalma & Hancock, 2011), de la intensidad y duración del ruido; también Irgens-Hansen et al. y Mucci et al. relacionan el efecto del ruido con el desempeño de la tarea (Irgens-Hansen et al., 2015; Mucci et al., 2021).

El rendimiento cognitivo puede ser susceptible al ruido, incluso con niveles inferiores a los que establece la reglamentación. En este sentido, Golmohammadi et al. (Golmohammadi et al., 2022) verifican la influencia del ruido en el rendimiento cognitivo durante una jornada laboral de 8h en la que se llevan a cabo tareas en las que el nivel de ruido es de 65, 68, 73 y 80 dBA. El estudio se realizó en varones sanos, en los que se detectaron variaciones en las respuestas mentales ante niveles de ruido superiores a 55 dBA y variaciones psicofisiológicas con niveles superiores a 70dBA.

Los tipos de ruido afectan de distinta forma sobre el rendimiento cognitivo. El ruido impulsivo molesta más que un ruido estable. Así se deduce de la investigación desarrollada por Radun et al. (Radun et al., 2022) en el que se demuestra que el ruido impulsivo causa una mayor carga de trabajo, más falta de energía, estrés fisiológico y psicológico y, sobre todo, disminución del rendimiento cuando existe una fuente de ruido continuo.

En relación con la concentración en el trabajo, los índices de ruido soportados pueden aumentar la fatiga mental, lo que provoca que los trabajadores expuestos tengan dificultad para concentrarse y percibir diferentes señales de advertencia auditivas, lo que puede conducir a errores humanos (Morata et al., 2005). Además, estudios epidemiológicos muestran un riesgo elevado de lesiones leves y accidentes que conducen a la hospitalización (Amjad-Sardrudi et al., 2012; Yoon et al., 2016). Como estrategia para reducir accidentes y lesiones laborales debería considerarse la mitigación del ruido. En este sentido, los protectores auditivos benefician la protección auditiva, aunque en realidad puede disminuir la inteligibilidad del habla, lo que agravaría la posibilidad de accidentes en algunos entornos, según deja patente Toppila et al. (Toppila et al., 2009), que sugiere el uso de dispositivos que permitan la comunicación o que se agreguen señales visuales de advertencia en el entorno de trabajo.

El estrés, cansancio y el bajo rendimiento en el trabajo también aumentan cuando se soportan altas temperaturas bajo las mismas condiciones del ruido ocupacional. En un estudio experimental llevado a cabo con 30 personas, jóvenes y sanas (16 mujeres, 14 hombres), Tiller et al. (Tiller et al., 2010) examinaron los efectos combinados del ruido y el estrés por calor sobre la sensación de comodidad y el rendimiento. Encontraron que el **confort térmico** se vio fuertemente afectado por el ruido. En este mismo sentido, Witterseh et al. (Witterseh et al., 2004) confirmaron el efecto de interacción de altas temperaturas y el ruido, en la percepción subjetiva de angustia y la fatiga entre los empleados masculinos en una oficina.

Efecto del “bajo peso” en recién nacidos

Otro de los efectos, ampliamente estudiados, son los del ruido sobre la gestación. En el trabajo de mujeres embarazadas expuestas a ruido ocupacional por debajo del límite de exposición diario no se obtuvo ninguna alteración al término de embarazo. En cambio, según demuestra Hartikainen et al. (Hartikainen et al., 1994), en mujeres sometidas a dosis de 90 dBA, normalmente en puestos laborales asociados a posturas de pie y a largos turnos de trabajo, se constató una disminución en el peso y estatura del recién nacido a término del tiempo de gestación. Hallazgos similares encuentran autores como Ristovska et al. (Ristovska et al., 2012) que evidencian asociaciones entre la exposición al ruido ocupacional y bajo peso al nacer, parto prematuro y tamaño pequeño del recién nacido para la edad gestacional. Igualmente, el estudio de Magann et al. (Magann et al., 2005) muestra una tendencia hacia un parto prematuro en 814 mujeres militares en servicio activo cuando ocupaban puestos con exposición a ruido.

En este mismo sentido un metaanálisis de Dzhambov et al. (Dzhambov, A. M. et al., 2014) confirma algunos hallazgos previos con respecto a un mayor riesgo de recién nacidos pequeños para la edad gestacional. También se destaca la importancia de la exposición al ruido residencial y ocupacional para desarrollar hipertensión gestacional y especialmente malformaciones congénitas cuando la madre está expuesta a niveles de ruido ≥ 80 dB. Se considera prioritario, para las mujeres que trabajan en ambientes muy ruidosos, mayor vigilancia de la salud en los estados gestacionales.

2.3 EFECTOS DE LA VIBRACIÓN SOBRE LA SALUD

Las vibraciones, provocadas por la utilización de herramientas manuales, se transmiten a través de las manos, pasan por los brazos y, dependiendo de la intensidad, se transmiten al resto del cuerpo desencadenando la aparición de varios síntomas. Frecuentemente se materializan como síntomas vasculares, conocido como SVMB, o Raynaud, síntomas neurosensoriales, con hormigueo y pérdida de sensibilidad, y problemas musculoesqueléticos como disminución de la fuerza de agarre que, incluso, pueden disminuir la capacidad de trabajo (Sauni et al., 2010). Por otro lado, pueden ocasionar problemas en las articulaciones y en los huesos, como el desarrollo de osteoporosis y quistes óseos (Hagberg, 2002), sin dejar de lado los problemas en la musculatura como dolor y disminución de la fuerza de agarre (Sakakibara et al., 2005).

En la Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de las Vibraciones (INSST, 2007a) se recogen los efectos tanto de las VMB como de las VCE (ver Tabla 2.2).

Tabla 2. 2: Apéndice 1: Efectos sobre la salud y factores de riesgo de la exposición a vibraciones. Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos Relacionados con las Vibraciones Mecánicas.

VIBRACIONES MANO-BRAZO	VIBRACIONES CUERPO ENTERO
<p>Afecciones osteoarticulares:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osteonecrosis del escafoides - Necrosis del semilunar - Artrosis hiperostósica del codo <p>Afecciones neurológicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Neuropatía periférica de predominio sensitivo <p>Afecciones vasculares</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fenómeno Raynaud - Síndrome del martillo hipotenar <p>Alteraciones musculares</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dolor - Entumecimiento - Rigidez - Disminución de la fuerza muscular 	<p>Afecciones de la columna vertebral</p> <ul style="list-style-type: none"> - Discopatías dorsolumbares - Lumbalgias - Ciática <p>Otras alteraciones</p> <ul style="list-style-type: none"> - Digestivas - Vasculares periféricas (hemorroides, varices) - Esfera reproductiva (abortos espontáneos, desórdenes menstruales)

2.3.1 SÍNDROME VIBRATORIO MANO BRAZO (SVMB)

El término SVMB se emplea por parte de la comunidad científica para describir los síntomas asociados a la exposición a vibraciones a través de las extremidades superiores, como resultado del uso de herramientas manuales en el trabajo.

El SVMB provoca trastornos en las articulaciones, síntomas vasculares y neurosensoriales, etc., lesiones susceptibles de incapacidad laboral. Así se recoge en el Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro (Ministerio de la Presidencia, 2006a) y en el Real Decreto 257/2018, de 4 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 1299/2006 (Ministerio de la Presidencia, 2018).

Como se ha comentado, el síntoma vascular más frecuente de SVMB, o fenómeno Raynaud, que consiste en el blanqueamiento de las extremidades de los dedos. Maurice Raynaud, en 1862, lo describe como la respuesta isquémica transitoria, localizada en la piel de los extremos de los dedos, causada por el frío, por falta de circulación de la sangre en las extremidades o por el estrés emocional. Clínicamente se produce un aumento de la actividad del sistema nervioso simpático y una vasoconstricción de las arterias que riegan las extremidades en esa zona, lo que provoca una reducción del flujo sanguíneo y por lo tanto la aparición de falta de coloración, de ahí el color blanco (Heaver et al., 2011). La extensión de la zona afectada varía en intensidad y superficie de los dedos. Es más común que comience en los dedos índice, medio y anular, y rara vez afecta al pulgar (Pelmear, 2003). El cambio cromático se produce por fases, tres fases secuenciales: comienza por un blanqueamiento de algunas zonas de los dedos, provocada por la vasoconstricción arterial. Griffin (Griffin M.J., 1990) desarrolló una escala para evaluar los síntomas de SVMB, basado en puntuaciones para el blanqueado de diferentes falanges.

Aunque normalmente el SVMB es producido por el frío, también está relacionado con los efectos de la vibración en herramientas manuales. En estadios poco avanzados, la enfermedad es reversible si cesa la vibración que la produce. Griffin¹³ (Griffin M.J., 1990) planteó una escala para evaluar los síntomas del SVMB, con una gama de puntuaciones sobre el blanqueamiento de los dedos, basándose en la escala reconocida internacionalmente que es la del Grupo de Trabajo de Estocolmo, que resulta de las conclusiones de la Conferencia en 1986 sobre los efectos de la exposición a la vibración. En esta Conferencia se definieron dos escalas en función de los síntomas, unos neurosensoriales y otros vasculares.

La escala usada para clasificar la severidad de los síntomas vasculares elaborada por el Equipo de trabajo del taller de Estocolmo en 1986, que no se publicó hasta un año después por

¹³ Griffin MJ, Handbook of human vibration. Londres: Academic press, 1990

Gemne et al. (Gemne et al., 1987). En esta escala se establecen 4 niveles de afección de la enfermedad, desde leve, en el que se aprecian ataques ocasionales que afectan solo las puntas de un dedo, hasta muy severo, con cambios tróficos en la piel de la yema de los dedos. El estadio de la enfermedad se diagnostica evaluando cada mano de forma separada. El índice de afectación se estima por los estadios de ambas manos y por el número de dedos afectados.

Esta escala está internacionalmente reconocida y utilizada para la evaluación de efectos por muchos autores. Desde 1987 (Gemne et al., 1987; Brammer, Anthony J. et al., 1987) hasta 2008 (Griffin, 2008). En la Tabla 2.3 se muestra una clasificación de la gravedad del SVNB según los síntomas vasculares propuesta por Griffin. Esta nueva clasificación permite una evaluación más precisa del estadio en que se encuentra y de la gravedad de la situación de este fenómeno.

Tabla 2. 3: Clasificación de la gravedad del SVNB según los síntomas VASCULARES propuesta por Griffin. Fuente: (Griffin, 2008)

Estado	Síntomas y signos
0V	No hay síntomas vasculares
0C	Frialdad inusual en los dedos Y evidencia de aumento de la sensibilidad al frío con la prueba de provocación al frío realizada bajo los estándares actuales
1V	Blanqueamiento de los dedos con demarcación clara en los últimos 24 meses en 1 dedo de cada mano Y evidencia de vasoespasm inducido por frío en el dedo sintomático
2V	Blanqueamiento de los dedos con demarcación clara en los últimos 24 meses en 2 dedos de cada mano Y evidencia de vasoespasm inducido por frío en dedos sintomáticos
3V	claro de los dedos en los últimos 24 meses en 3 dedos de cada mano Y evidencia de vasoespasm inducido por frío en dedos sintomáticos
4V	Blanqueamiento de los dedos con demarcación clara en los últimos 24 meses en 4 dedos de cada mano Y evidencia de vasoespasm inducido por frío en dedos sintomáticos

La evaluación se complementa con los síntomas neurosensoriales, para los que de igual forma se establecieron unos estadios por el grupo de trabajo de Estocolmo. En esta clasificación se establecen tres niveles de afección: en el primer nivel se detecta entumecimiento intermitente con o sin hormigueo, y en el nivel más elevado, entumecimiento persistente y discriminación táctil reducida o pérdida de destreza manipuladora, igual que para los vasculares, se trata de una escala internacionalmente reconocida.

En este tipo de síntomas, aún hay más indefinición pues en gran medida depende de la evaluación subjetiva de la persona que los sufre, este mismo autor encuentra una serie de indefiniciones en los niveles establecidos en la escala de Estocolmo para los síntomas neurosensoriales:

- Síntomas indefinidos: Problemas de entumecimiento y hormigueo

- Signos indefinidos: problemas de percepción sensorial, Discriminación táctil, pérdida de destreza manipuladora
- Adjetivos indefinidos: Intermitente, persistente, reducido,
- Otros problemas: distinción poco clara entre “intermitente” y “persistente”, Una mezcla poco clara de síntomas y signos, La etapa de la enfermedad no indica de manera única los signos o síntomas presentes. La etapa no indica discapacidad del paciente

Por lo que, nuevamente, Griffin propone una matización en la escala y aporta una valoración más pormenorizada de los síntomas neurosensoriales que se refleja en la Tabla 2.4.

Tabla 2. 4: Escala de clasificación de los síntomas NEUROSENSORIALES en VMB modificada por Griffin. Fuente: Griffin 2008

Etapa	Síntomas y signos
0PN	Expuesto a vibraciones, pero sin síntomas
1PN	Entumecimiento u hormigueo inusual (es decir, entumecimiento de los dedos con o sin puntuación de hormigueo >0) en 1 de cada mano Y signos de trastorno probable en el dedo sintomático según lo indicado por la percepción vibrotáctil o termotáctil
2PN	Entumecimiento u hormigueo inusual (es decir, entumecimiento de los dedos con o sin puntuación de hormigueo >0) en 2 de cada mano Y signos de trastorno probable en el dedo sintomático según lo indicado por la percepción vibrotáctil o termotáctil
3PN	Entumecimiento u hormigueo inusual (es decir, entumecimiento de los dedos con o sin puntuación de hormigueo >0) en 3 de cada mano Y signos de trastorno probable en el dedo sintomático según lo indicado por la percepción vibrotáctil o termotáctil
4PN	Entumecimiento u hormigueo inusual (es decir, entumecimiento de los dedos con o sin puntuación de hormigueo >0) en 4 de cada mano Y signos de trastorno probable en el dedo sintomático según lo indicado por la percepción vibrotáctil o termotáctil

Por último y aglutinando signos y síntomas, en la Tabla 2.5 figura la propuesta de Griffin teniendo en cuenta los efectos vasculares y sensoriales con una escala más detallada sobre la evolución de la afectación.

Tabla 2. 5: Clasificación final propuesta por Griffin, observando los síntomas vasculares y neurosensoriales. Fuente: Griffin 2008.

Etapa	Síntomas y signos
0 _v	Sin síntomas vasculares actuales
0 _c	Frialdad “inusual “en los dedos y evidencia aceptable de mayor sensibilidad al frío (por ejemplo, un signo de <i>probable</i> trastorno en un dedo sintomático en una prueba de provocación por frío realizada según los estándares actuales)
1 _v	Un informe de palidez en los dedos con límites claramente demarcados durante los últimos 24 meses (es decir, puntuación de palidez en los dedos > 0) en un dedo de cada mano y evidencia aceptable de vasoespasmo inducido por frío en el dedo sintomático (por ejemplo, evidencia de un testigo independiente o fotografía de dedos y cara, o un signo de <i>probable</i> trastorno en el dedo sintomático en una prueba de provocación por frío realizada según los estándares actuales)
2 _v	Un informe de palidez en los dedos con límites claramente demarcados durante los últimos 24 meses (es decir, puntuación de palidez en los dedos > 0) en 2 dedos de cada mano y evidencia aceptable de vasoespasmo inducido por frío en los dedos sintomáticos (por ejemplo, evidencia de un testigo independiente o fotografía de dedos y cara, o un signo de <i>probable</i> trastorno en el dedo sintomático en una prueba de provocación por frío realizada según los estándares actuales)
3 _v	Un informe de palidez de los dedos con límites claramente demarcados durante los últimos 24 meses (es decir, puntuación de palidez de los dedos > 0) en 3 dedos de cada mano y evidencia aceptable de vasoespasmo inducido por frío en los dedos sintomáticos (por ejemplo, evidencia de un testigo independiente o fotografía de dedos y cara, o un signo de <i>probable</i> trastorno en el dedo sintomático en una prueba de provocación por frío realizada según los estándares actuales)
4 _v	Un informe de palidez en los dedos con límites claramente demarcados durante los últimos 24 meses (es decir, puntuación de palidez en los dedos > 0) en 4 dedos de cada mano y evidencia aceptable de vasoespasmo inducido por frío en los dedos sintomáticos (por ejemplo, evidencia de un testigo independiente o fotografía de dedos y cara, o signo de <i>probable</i> desorden en el dedo sintomático en una prueba de provocación por frío realizada según los estándares actuales).

Aunque esta clasificación parecía definitiva Poole et al. (Poole, C. J. M. et al., 2019), 30 años después de la publicación de la Escala de taller de Estocolmo (SWS), lleva a cabo una investigación conducente a desarrollar una clasificación actualizada basada en evidencia para VMB mediante la búsqueda de consenso entre expertos en el campo, se eliminaron los descriptores y pruebas ambiguos sin una metodología adecuadamente desarrollada. Concluyendo con el desarrollo de una nueva clasificación con tres etapas para la clasificación clínica de VMB vasculares y neurológicos basada en el consenso internacional.

Hay que destacar que este fenómeno no afecta de igual forma a la población, sino que es diferente en función del sexo y del clima, en muchos estudios queda patente esta diferencia entre hombres y mujeres y con climas fríos y cálidos. En la Tabla 2.6 se recogen algunos

estudios en los que se constata la prevalencia epidemiológica (proporción de personas que sufren la enfermedad) con respecto al total de la población de estudio.

Tabla 2. 6: Prevalencia del síndrome vibratorio mano-brazo por ciudades y población

Año	Ciudad, País	Clima	Prevalencia		Prevalencia Mayor Edad	Referencia
			Hombres	Mujeres		
1975	Carolina del Sur USA	Cálido	10.3%	17.2%	-----	(Fessel, 1976)
1983	Reino Unido	Frío	5%	10.5%	-----	(Heslop et al., 1983)
1986	Carolina del Sur USA	Cálido	3.8%	4.9%	-----	(Maricq et al., 1986)
1990	Carolina del Sur USA	Cálido	4.3%	2.7%	aumenta con la edad. rango > 18 años	(Weinrich et al., 1990)
1993	Charleston, Carolina del Sur USA	Cálido	4.3%	5.7%		(Maricq et al., 1993)
1993	Terentaise, Francia	Frío, Húmedo	13.5%	20.1%		(Maricq et al., 1993)
1993	Girona, España	Cálido húmedo	3.2%	4.7%		(Riera et al., 1993)
1997	Lyons, Francia	Frío	10.7%	10.5%		(Maricq et al., 1997)
1998	Grecia	Cálido	0.9%	6.4%		(Voulgari et al., 2000)
2001	Valencia, España	Cálido	2.8%	3.4%	Aumenta	(Román Ivorra et al., 2001)
2003	Manchester, Reino Unido	Frío	12%	18%	Aumenta, rango de edad de 12 a 15 años	(Jones et al., 2003)
2006	Italia	Cálido	0.5%	3.4%	Aumenta	(De Angelis et al., 2006)
2008	Edirne, Turquía	Templado	1.9%	4.8%	Aumenta	(Çakır et al., 2008)
2009	España	Cálido		Mayor sin especificar %	Aumenta	(Tolosa Vilella et al., 2009a)
2009	Nueva Zelanda	Cálido	4.9%	18.8%	Aumenta	(Purdie et al., 2009)
2010	Suecia	Frío	9.8%	-----	Aumenta	(Burstrom et al., 2010)
2014	Suecia	Frío	8.4%	17%	Aumenta	(Pettersson, Burstrom & Nilsson, 2014)

La clasificación de la gravedad en la que el trabajador está afectado por la VMB y la incidencia de los síntomas se realiza a partir de distintos métodos de evaluación, aunque en la mayoría de las ocasiones se utilizan varios métodos. Las pruebas médicas para la evaluación del SVMB utilizan gammagrafía de perfusión con estimulación de temperatura (Chong, 2020), medición del flujo sanguíneo (Anderson et al., 2002) y un largo etcétera.

En la Tabla 2.7 se recogen los métodos de evaluación de los daños derivados de exposición a las vibraciones mano-brazo.

Tabla 2. 7: Métodos de evaluación de los daños derivados de exposición a VMB y referencia de estudios.

MÉTODO DE EVALUACIÓN		SÍNTOMA	REFERENCIA
Prueba en laboratorio			
Provocación de frío	Medición de la presión sanguínea sistólica	SVMB	(Griffin et al., 2003) (Maricq et al., 1998)
Provocación de frío	Medición de la presión sanguínea sistólica	Vasoconstricción	(Harada &Mahbub, 2008b)
Provocación de frío	Medición del tiempo de recuperación de la temperatura del dedo	Vasodilatación	(Laskar &Harada, 2005)
Provocación de frío	Medición del tiempo de recuperación de la temperatura del dedo	Decrecimiento del flujo sanguíneo	(Poole, K. et al., 2004)
Provocación de frío	Tiempo de recuperación de la temperatura del dedo	Deterioro vascular y de la función neurológica	(Lindsell &Griffin, 2002)
Provocación de frío	Observación de la coloración del dedo	SVMB, desórdenes vasculares	(Olsen, 2002)
Umbral de percepción de la vibración	Medición del flujo sanguíneo tras inducir vibración	Alteraciones en la circulación	(Mahbub &Harada, 2008)
Umbral de percepción de la vibración	Umbral de percepción actual de la vibración	Daños neurológicos	(House, R. et al., 2009)
imágenes láser Doppler	Aplicación de vibración y medición flujo sanguíneo y pulso arterial	Disminución del Flujo sanguíneo	(Krajnak et al., 2019)
imágenes láser Doppler	Aplicación de trinitrato de glicerilo tópico	Disminución del Flujo sanguíneo	(Anderson et al., 2002)
Gammagrafía de perfusión ¹⁴	Provocación de frío	Disminución de la perfusión/ de la acumulación de sangre después de la estimulación	(Chong, 2020)

¹⁴ La exploración de perfusión o gammagrafía de perfusión es el proceso mediante el cual se puede observar, registrar y cuantificar la perfusión. La perfusión es el paso de un fluido a través del sistema linfático y los vasos sanguíneos, hacia un órgano o tejido. El término exploración de perfusión incluye una amplia gama de modalidades de imagen médica.

MÉTODO DE EVALUACIÓN		SÍNTOMA	REFERENCIA
Prueba en laboratorio			
Destreza manual	Pruebas de destreza manual	Daños neurológicos	(Rui et al., 2008)
RAYOS-X	Radiografías	Daños de las partes óseas	(Kivekas et al., 1994)
Protocolo de evaluación estandarizado HAVS, Stockholm Workshop Scale (SWS)	los estudios de conducción nerviosa	neuropatías compresivas medianas y cubitales	(Ahmad et al., 2022)
Examen neurológico	Angiografía por resonancia magnética	anomalías arteriales anatómicas, síntomas de palidez	(Poole, CJM & Cleveland, 2016)

Independientemente de la escala utilizada y el método de evaluación, los efectos de las vibraciones sobre el sistema vascular, nervioso, articulaciones, tendones, etc. se han estudiado ampliamente demostrando las alteraciones que provocan en el flujo sanguíneo, con distintas frecuencias de vibración, normalmente las frecuencias más altas provocan mayores reducciones del flujo sanguíneo que las frecuencias más bajas, según Thompson y Griffin (Thompson & Griffin, 2009) no sólo en la mano que recibe la vibración sino en la mano que queda libre.

Ese mismo deterioro, provoca desplazamiento en la sensación de escalas de temperatura en las extremidades afectadas, la pérdida de sensibilidad al frío, o insensibilidad al frío, es una manifestación de un problema vascular frecuente en los individuos sometidos a este tipo de vibración. Harada y Mahbub (Harada & Mahbub, 2008a) consideran razonable utilizar las pruebas de provocación con frío como parte del enfoque integral para evaluar a los pacientes. Además de los métodos objetivos, el índice de frialdad de los dedos puede ser útil al diagnosticar el componente vascular del SVMB.

Ciertamente hay una mayor prevalencia del fenómeno Raynaud entre los trabajadores que utilizan herramientas que emiten vibración en comparación con los trabajadores no expuestos. Lo que parece demostrado, según Cordeiro y De Andrade (Cordeiro & De Andrade, 2019), es que el número de casos aumenta cuanto mayor es el nivel de vibración recibido y mayor el tiempo de exposición. Así demuestran Griffin et al. (Griffin et al., 2003) que el 70% de los trabajadores que reciben VMB presenta algún problema vascular, encontrando, como principal factor desencadenante que agrava el fenómeno, el frío.

Cronológicamente, los estudios sobre los problemas vasculares de la vibración comienzan desde que Raynaud descubre la enfermedad asociada primeramente al frío en el siglo XIX. Entre los primeros estudios encontrados, es destacable el de Kivekas et al. (Kivekas et al., 1994) en un estudio longitudinal que permitió analizar los efectos durante siete años, con

leñadores expuestos y otros de control, no expuestos. Los resultados revelaron en una primera evaluación el 18% entre los leñadores y del 3% entre los de control presentaban SVMB, siete años después fue del 24,9% entre los leñadores y del 5,7% entre los de control y la incidencia acumulada a siete años fue del 14,7% entre los leñadores y del 2,3% entre los de control. En este mismo sentido (Bovenzi, 1994) encuentra la relación dosis-respuesta para la VMB, entre una gran población de trabajadores de la piedra en Italia. Sugiere reducir a la mitad los años de exposición lo que permite duplicar la vibración de energía equivalente. Este aspecto resulta interesante desde el punto de vista de las medidas correctoras que se pueden adoptar para modificar agarres o disminuir dosis.

También en el sector de la silvicultura, pocos años después, Bovenzi (Bovenzi et al., 1996) relacionó, de forma homogénea, la intensificación del riesgo de SVMB con el aumento de la dosis de vibración, mostrando una relación dosis-respuesta lineal. También se encontró que la capacidad de respuesta al frío en las arterias digitales de los trabajadores forestales aumenta con el aumento de la dosis de vibración. En este estudio, la relación exposición-respuesta estimada mostró que la magnitud de la aceleración de la vibración duplicaba el valor normativo por lo que debería reducirse el tiempo de exposición. Este sector es uno de los que tradicionalmente ha superado los valores normativos, en estudio de Andrade et al. (Andrade Lima et al., 2022) sobre las actividades del trabajo en jardinería, en el que se utilizan motosierras y desbrozadoras, donde detectaron valores de aceleración superiores a los límites normativos

Otros estudios posteriores relacionan la vibración con el efecto del fenómeno Raynaud, (Amaro et al., 2019; Riera et al., 1993; De Angelis et al., 2006; Purdie et al., 2009; Sutinen et al., 2006) lo que refuerza la relación causa efecto.

2.3.2 OTROS EFECTOS DE LA VIBRACIÓN TRANSMITIDA A TRAVÉS DE LAS MANOS A LOS BRAZOS

Trastornos musculoesqueléticos

Otro grupo de alteraciones sobre la salud provocadas por la VMB son las ocasionadas en el sistema musculoesquelético: dolor, rigidez o contracturas y disminución de la fuerza muscular, afectación de estructuras adyacentes como ligamentos, tendones e incluso tejidos blandos, tendinitis, etc.

Uno de los primeros autores en estudiar estos trastornos fueron Bovenzi et al. (Bovenzi et al., 1990), quienes demostraron la relación entre la utilización de herramientas de mano (como, por ejemplo, la sierra de cepillo en trabajadores agrícolas) y la sobrecarga de la presión en los nervios, músculos y articulaciones del sistema mano-brazo. De su investigación se deduce que

el uso de estas herramientas desencadena mayor riesgo de trastornos musculoesqueléticos con cambios en las funciones circulatoria, neurosensorial y muscular periférica.

En este mismo sentido, en 2006, Sutinen et al. (Sutinen et al., 2006) prestaron especial interés al entumecimiento y los trastornos musculoesqueléticos de las extremidades superiores y el cuello de trabajadores en silvicultura en Suomussalmi, Finlandia. Mediante un estudio desarrollado entre los años 1976-1995 comprobaron que el dolor de cuello y de la zona lumbar fue diagnosticado en el 38% de los trabajadores expuestos a VMB, lo que supone una incidencia elevada.

A los trastornos musculoesqueléticos provocados por las herramientas se suman los problemas posturales y los sobreesfuerzos que implica el trabajo. En el estudio de Barneo-Alcántara et al. (Barneo-Alcántara et al., 2020), llevado a cabo sobre trabajadores del sector olivarero del sur de España, muy expuestos a riesgos musculoesqueléticos debido al carácter manual de la mayoría de las tareas que realizan, se muestra como resultado que el 88.76% de los trabajadores presentaba algún tipo de dolencia de tipo musculoesquelética que, en este caso, se asocia la vibración y los problemas de las posturas en que se trabaja.

Landsbergis et al. (Landsbergis et al., 2021), tras comprobar la falta de investigación sistemática sobre los trastornos musculoesqueléticos provocados por el uso de herramientas con motor eléctrico, realizaron un estudio en casi 4000 trabajadores de mantenimiento de vías de ferrocarril que utilizaban herramientas eléctricas, encontrando, en los trabajadores con más de 5.2 años de manejo de herramientas eléctricas, una asociación causa-efecto con dolor de hombros, codos, muñecas y manos. Lo que deja patente, como en otros muchos estudios, la necesidad de mejorar los programas de Prevención.

El sector de la minería representa uno de los que acumulan más riesgos para la salud derivados de los valores elevados de vibración VMB que exigen sus trabajos. En el estudio de Sridhar et al. (Sridhar et al., 2022) analizan la salud de los operadores de equipos móviles de minería de un grupo de trabajadores expuestos a la VMB (estudio de caso) y otro no expuesto (grupo de control). La presencia de trastornos musculoesqueléticos (TME) asociados con la exposición VMB presenta un 12.8% más de probabilidad de sufrir molestias en hombro y muñeca que el grupo de control.

Llama la atención que los trastornos musculoesqueléticos suelen presentarse en aquellos sectores donde se superan los valores normativos de forma habitual. Así lo deja patente el estudio de Quamruddin et al. (Qamruddin et al., 2022) entre trabajadores de talleres de neumáticos en Malasia, para el que midieron niveles de exposición elevada superando el límite máximo de 5ms^2 y en comparación con un grupo con menor exposición con valores por debajo de los 5ms^2 se encontró una alta prevalencia de casi el 50% de trastornos musculoesqueléticos de las extremidades superiores y del cuello.

Pérdida de destreza manual y problemas en el sistema nervioso

En primera instancia las vibraciones provocan una deformación en la yema de los dedos que supone una reducción de la sensibilidad vibrotáctil y provoca un aumento en el umbral temporal de la sensibilidad de los dedos, que en estados repetitivos puede convertirse en un cambio permanente del umbral. Los cambios de umbral temporal (TTS¹⁵) se han utilizado para investigar la relación exposición-respuesta por autores como Maeda y Griffin o Kihlbert et al. (Maeda & Griffin, 1993; Kihlberg et al., 1995). En un estudio posterior, Wu et al. (Wu et al., 2006) desarrollan un modelo de análisis de las deformaciones de los dedos que corrobora los estudios anteriores y permite predecir las respuestas de los tejidos blandos en diferentes profundidades a la exposición a vibraciones, además del TTS inducido por las vibraciones.

Algunos autores como Lindsell y Griffin (Lindsell & Griffin, 2002) han demostrado la relación entre la dosis de VMB y la pérdida de destreza manual provocada por daños neurovasculares. Estos autores afirman, que la percepción sensorial y la habilidad manual dependen del completo funcionamiento del sistema sensorial, desde los receptores situados en la piel de los dedos pasando por las fibras nerviosas situadas bajo la piel. Según Rui et al. (Rui et al., 2008), al deteriorarse la destreza manual y la consiguiente dificultad para manejar la propia herramienta, implica problemas de seguridad.

Anteriormente, Banister y Smith (Banister & Smith, 1972) realizaron pruebas de laboratorio, (con el tablero de clavijas Purdue como el número de elementos colocados correctamente a bordo con la mano dominante) y encontraron una pérdida significativa en la habilidad de manipulación en un grupo de 22 operadores de sierra en comparación con 46 usuarios sin sierra. Además, Sakakibara et al. (Sakakibara et al., 2005) observaron una destreza manual deteriorada (probada midiendo el tiempo de ejecución en una tarea) en un grupo de 29 pacientes afectados con el SVMB en comparación con 30 controles masculinos. Similar estudio el de Popevic et al. (Popević et al., 2014) sobre 31 trabajadores varones sanos, con ensayo en laboratorio, encuentran una pérdida de destreza manual, aunque sin pérdida de fuerza de agarre en las manos.

Otro síntoma del sistema nervioso es la pérdida de la fuerza de agarre. Está demostrado por autores como Löfgren et al. (Löfgren et al., 2020), que investigaron los efectos agudos de las vibraciones mano-brazo en las funciones nerviosas de las manos y el impacto de la fuerza de agarre aplicada a la herramienta vibratoria durante la exposición, concluyen que: la exposición a vibraciones mano-brazo tiene efectos agudos en la función nerviosa, modificando la fuerza de agarre de las manos aplicada durante la exposición.

¹⁵ Cambios de Umbral Temporal (TTS the Temporal Threshold Shifts).

Agudeza visual

La vibración que se transmite a través de las manos se reparte por todo el cuerpo humano y llega a órganos que se encuentran a distancia, algunos estudios comprueban la influencia, que la vibración, tiene sobre la agudeza visual. Lo hacen a partir del conocimiento de los efectos que la modificación de cada una de las variables de la vibración (amplitud, frecuencia y dirección) tienen en las tareas que exigen concentración visual. En el estudio de Griffin y Lewis (Griffin & Lewis, 1978), sobre la VCE, se encuentra una relación clara con la pérdida de agudeza visual.

Similares resultados obtuvieron Gómez et al. (Gómez et al., 2003) sobre sujetos sanos, expuestos a VMB controlada y de frecuencia constante de 7 Hz, con ensayo realizado en laboratorio y, con pruebas pre y post VMB, se obtuvo un aumento, estadísticamente significativo, de los errores visuales después de la vibración, aunque no detectaron disminución de la fuerza de agarre hecho que los autores justifican por el limitado tiempo de exposición de 1h.

2.4 EFECTOS COMBINADOS DE AGENTES FÍSICOS: RUIDO Y VIBRACIÓN

En los apartados anteriores del presente capítulo se han analizados los efectos que cada uno de los agentes, ruido y VMB, tienen sobre la salud de los trabajadores de forma independiente, quedando demostrado que son muchas las alteraciones que provocan en el cuerpo humano.

Llegados a este punto es necesario estudiar los efectos sobre que sobre los trabajadores se producen cuando reciben dosis de ruido y VMB de forma simultánea.

En los apartados 2.4.1 y 2.4.2 se analiza el estado del conocimiento sobre las interacciones que la VMB tiene con el principal efecto del ruido, la pérdida auditiva, y, viceversa, la influencia del ruido sobre el principal efecto de las VMB que es el SVMB. Para terminar, se recogen las investigaciones sobre otros efectos para la salud con exposición simultánea a ambos factores.

2.4.1 PÉRDIDA AUDITIVA POR EXPOSICIÓN A RUIDO Y VMB

Ha quedado demostrado que la pérdida auditiva es el efecto del ruido sobre la salud por excelencia, aunque en ella también influyen otros factores de riesgo como son las circunstancias personales y del entorno de trabajo.

Demostrar la influencia de la VMB sobre la pérdida auditiva producida por el ruido es un tema de interés para la investigación. Entre los primeros estudios en detectar la relación entre

la exposición a la vibración en el uso de herramientas eléctricas y la pérdida auditiva se encuentra, en 1981, el de Pyykko et al. (Pyykko et al., 1981), que supone una modificación en la perspectiva con la que se estudiaba hasta entonces la influencia de las vibraciones en los trabajadores. Pyykko et al. examinaron la exposición de los leñadores que talan con motosierras y que utilizaban protectores auditivos, es decir, todos recibían la misma exposición al ruido. Descubrieron que, en las mismas condiciones de trabajo, aquellos que padecían VMB tuvieron una pérdida auditiva, alrededor de 10 dB mayor que aquellos sin VMB, con resultados estadísticamente significativos. Esto supuso un avance en cuanto a la protección de los riesgos asociados a la vibración, entendiendo que pueden provocar trastornos vasoconstrictores de los vasos sanguíneos que afectarían a las manos y otros órganos del cuerpo como los oídos.

Otro de los primeros estudios fue realizado por Iki et al. Iki (Iki et al., 1989) examinando la asociación entre el SVMB inducido por vibración y la pérdida de audición. El estudio se hizo mediante el seguimiento de 108 trabajadores forestales masculinos que usaban regularmente herramientas vibratorias con experiencia de cinco años. Estos autores seleccionaron pares de casos y controles emparejados por edad, nivel de audición y tiempo de exposición al ruido durante el período de estudio y separaron en grupos de hombres con y sin VMB. Midieron los niveles de audición y encontraron un empeoramiento significativo durante el período de seguimiento, por lo que la audición de las personas con SVMB era peor. Según este estudio, puede deducirse que la consecuencia del cambio patológico que causa SVMB también podría aumentar la susceptibilidad al daño auditivo producido por el ruido.

En este mismo sentido, otras investigaciones tratan de cuantificar la prevalencia de la pérdida auditiva influida por la vibración VMB como por ejemplo Palmer et al. (Palmer et al., 2002) observó que la discapacidad auditiva era aproximadamente el doble de común entre las mujeres y hombres que habían informado del blanqueamiento en los dedos, incluso entre aquellos que nunca habían estado expuestos al VMB. Esto presta más apoyo a la hipótesis de que el blanqueamiento de los dedos y la discapacidad auditiva pueden tener un subyacente similar, y los mismos mecanismos predisponentes y fisiopatológicos, aunque la naturaleza exacta de esta relación no es conocida, aunque ni en este estudio ni en los siguientes se consigue demostrar.

En general, los trabajos que suponen el manejo de herramientas sujetas con la mano y con varios tipos de alimentación, bien por combustión o eléctricas, mantienen a los trabajadores soportando dosis superiores a las permitidas, la coincidencia de que los trabajadores con índice de “dedo blanco” tienen mayor pérdida auditiva que los que han estado sometidos a los mismos niveles de ruido pero sin soportar VMB, supone la correspondencia de causalidad que encuentran estudios como el de Neitzel y Yost (Neitzel & Yost, 2002) y, años después, el

de Iftime et al. (Iftime et al., 2020) que coinciden, con años de diferencia, en encontrar relación entre la pérdida auditiva y la VMB de los trabajos en silvicultura y bosques.

Se han realizado relativamente pocos estudios en las casi cuatro décadas desde que Pyykkö et al. examinaron por primera vez la asociación entre la exposición a vibraciones de manos y brazos por el uso de herramientas eléctricas por parte de los trabajadores y la pérdida auditiva, años después, estos mismos autores, Pyykkö et al. (Pyykkö et al., 2007), estudiaron a trabajadores de astilleros, forestales, metalúrgicos y los pacientes remitidos a una clínica. Informaron que los trabajadores con enfermedad de Raynaud (debido a la vibración) eran más susceptibles a la pérdida de audición a 4 kHz que los trabajadores expuestos solo al ruido.

En este mismo contexto, otros muchos han examinado la asociación entre la exposición ocupacional a la vibración de la mano-brazo y la pérdida auditiva, es destacable de estos estudios la diversidad de sectores productivos en los que se producen estas circunstancias. A modo de ejemplo, enumeramos algunos sectores.

En el sector de la construcción, House et al. (House, R. A., Sauvé & Jiang, 2010) detectaron que, lógicamente, a más años de experiencia laboral mayor es la pérdida auditiva. Lo que no era tan lógico, pero que también reveló este estudio, es que a igualdad de años y de dosis de ruido media, es mayor el deterioro auditivo en todas las frecuencias audio-métricas cuando los trabajadores presentaban SVMB, con un número estadísticamente significativo.

Así mismo, Shibata et al. (Shibata et al., 2013) examinaron en trabajadores del sector de la construcción, con operarios que utilizan muchas herramientas de mano, el nivel de dosis de ruido y VMB de las herramientas comúnmente utilizadas. Los niveles de ruido con las distintas herramientas estaban en el rango de 88-101 dB(A), en cambio los niveles de A8 de VMB cambiaron dependiendo de las herramientas, mostrando magnitudes de aceleración particularmente altas en lijadoras y grapadoras. Obtuvieron similares resultados que los estudios anteriores, es decir, los trabajadores expuestos al ruido y la VMB presentaban con más frecuencia pérdida de audición que aquellos expuestos solo al ruido. Los autores concluyen sugiriendo que las duraciones de exposición diarias permitidas de las herramientas que generan ruido/vibración deben considerarse en función del riesgo para la salud del ruido y la VMB a la vez, tanto de la pérdida auditiva como del síndrome Raynaud y la influencia entre ellos.

En los oficios artesanales, Singh et al. (Singh et al., 2020) estudiaron el cambio del umbral de audición entre trabajadores artesanos debido al uso prolongado de herramientas manuales utilizadas en tres ocupaciones artesanales diferentes. Artesanos expuestos a niveles de ruido que oscilaron entre 87,2 dB(A) y 100,4 dB(A) y a VMB, lo que no evalúa es la interacción entre los agentes y sobre el desplazamiento auditivo permanente.

En fabricación de automóviles, la pérdida auditiva causada por la exposición combinada de vibraciones y ruido, transmitidos por las manos, es mayor que la de la exposición al ruido puro, en estos espacios de trabajo además conviven otros riesgos laborales como las altas temperaturas, los metales pesados y los disolventes orgánicos en el lugar de trabajo, éstos pueden promover la aparición y el desarrollo de NIHL según Duan et al. (Duan et al., 2020).

La pérdida de audición normalmente comienza con desplazamiento temporal del umbral auditivo, que desaparece al transcurrir un tiempo de la perturbación. Para evidenciar este efecto se utilizan pruebas de laboratorio con sujetos sanos, siendo uno de los primeros estudios Zhu et al. (Zhu et al., 1997) en sujetos sanos que fueron expuestos, primero, a la VMB solamente, después solo al ruido y, finalmente, tanto a la combinación de ambos, obteniendo que la exposición a la VMB fue capaz de aumentar en aproximadamente 3,5 dB el desplazamiento temporal del umbral inducido solamente por el ruido. Así quedó demostrado que la presencia simultánea de ruido y vibración aumenta el efecto del ruido. Lo que apoya la hipótesis de que la combinación de VMB y ruido agrava el cambio de umbral temporal inducido por el ruido más que la exposición únicamente al ruido. Aunque no todos los autores coinciden en este efecto. Pettersson et al. (Pettersson et al., 2011) realizaron un estudio muy completo de la influencia de la vibración en la pérdida auditiva que quedó plasmado en cuatro artículos. En el primero estudiaron este mismo caso, es decir, los cambios temporales del umbral auditivo en sujetos sanos, sometidos a ruido y VMB, por separado y de forma combinada, con dosis significativamente elevadas (VMB $A_8=6,7 \text{ m/s}^2$ y ruido 99dBA). Contrariamente a lo que cabría esperar, los resultados indicaron que no hay diferencia en el cambio del umbral auditivo después de la exposición combinada en comparación con la exposición al ruido solo, por lo que no encontró efecto de la vibración en este caso. A pesar de no haber encontrado evidencia de cambio temporal, sí encuentra pérdida auditiva de forma permanente bajo la exposición combinada a ruido y VMB en trabajadores de una industria de ingeniería pesada, lo que es objeto del segundo de los trabajos publicados (Pettersson et al., 2012). Los resultados mostraron que el trabajo con máquinas vibratorias en un entorno con exposición al ruido aumenta el riesgo de pérdida auditiva, estableciendo una asociación entre la exposición al ruido y VMB, y la pérdida auditiva. La tercera investigación (Pettersson et al., 2014) la realizaron sobre trabajadores con lesiones previas provocadas por la VMB, o sea, con SVMB, confirmando la hipótesis de que el SVMB aumenta el riesgo de pérdida auditiva entre los trabajadores que utilizan herramientas portátiles vibratorias en un entorno ruidoso. Por último, prosigue el estudio sobre este tema que se plasmó en un cuarto artículo (Pettersson, Burstrom & Nilsson, 2014). En este caso, el estudio examinó la aparición del fenómeno de Raynaud entre hombres y mujeres con pérdida auditiva inducida por ruido en relación con la exposición a vibraciones. los participantes que ya tenían pérdida auditiva inducida por el ruido con el uso diario de herramientas manuales vibratorias. Más del doble reportaron síndrome Raynaud en comparación con los participantes que no usaron herramientas manuales

vibratorias. Los autores interpretan que el fenómeno de Raynaud podría estar asociado con un mayor riesgo de pérdida de audición inducida por ruido.

La pérdida de audición provocada por el efecto combinado no es homogénea en todas las frecuencias audibles, sino que es más elevada en frecuencias altas, según los estudios antes citados, (Miyakita et al., 1987; Iki et al., 1986; Iki et al., 1989; Pyykko et al., 1981), realizados entre trabajadores forestales, aquellos con SVMB presentaban una pérdida de audición más severa que sus compañeros sin SVMB.

El estudio posterior de Turcot et al. (Turcot et al., 2015) recoge la información de estas publicaciones y analiza los resultados audiométricos de trabajadores entre 25 y 64 años que se sometieron, al menos, a un examen audiométrico 1983 y 1996 con un historial documentado de exposición al ruido ocupacional de 80 dBA (Laeq 8 h) o más. La población de estudio fue un subconjunto con casi 16000 trabajadores mineros y forestales, observó diferencias significativas en los umbrales de audición entre el grupo SVMB y el grupo sin SVMB no sólo a frecuencias >2000 Hz, sino también a las frecuencias más bajas de 500 y 1000 Hz. Destaca que, en estudios de seguimiento de cinco años, se encontró que la pérdida de audición a 4 kHz en sujetos con SVMB progresión más rápida que en sujetos sin SVMB. Turcot et al. opinan que no está claro si es el resultado de una exposición a las vibraciones el que confiere un mayor riesgo de pérdida auditiva o si la pérdida auditiva se debe a que el SVMB es un marcador de mayor susceptibilidad individual, concluyendo que se debe prestar especial atención a los esfuerzos preventivos primarios en las industrias que se sabe que exponen a los trabajadores a altos niveles de ruido y VMB. Se requiere investigación adicional para investigar la relación entre la exposición simultánea al ruido y la vibración y el desarrollo de medidas preventivas para reducir la exposición al ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo. Estos estudios han sugerido un riesgo incrementado de pérdida de la audición en los trabajadores con SVMB, aunque la interacción que entre ellos se produce en el cuerpo humano, sigue siendo poco conocida.

A pesar de que la mayoría de los autores encuentran aumento de los efectos sobre la pérdida auditiva cuando se añade vibración, en las mismas condiciones de ruido, autores defienden que no existe esa relación. Así, como Chao et al. (Chao et al., 2013) manifiestan que los efectos combinados de factores físicos, como ruido y vibración y bajas temperaturas son complicados de determinar y, al contrario que otros autores, no encuentran una relación directa entre el aumento de la pérdida auditiva cuando se añade vibración en el mismo ambiente de ruido.

La revisión de Behar y Russo, así como la de Weier, (Behar & Russo, 2019; Weier, 2020), se ocupan del riesgo de pérdida auditiva cuando también se aplican vibraciones mecánicas a los cuerpos de los trabajadores expuestos al ruido. Esas vibraciones surgen de una amplia varie-

dad de procesos y operaciones realizadas en la industria, la minería, la construcción, la silvicultura, la jardinería y la agricultura y los servicios públicos. Los artículos mencionados por estos autores respaldan la teoría de que el riesgo de pérdida auditiva aumenta cuando también hay vibraciones, aunque no cuantifican la influencia entre las dosis y los efectos. Además, estos autores ponen de manifiesto las limitaciones significativas de los estudios analizados por las diferencias en el diseño de las investigaciones, lo que supone una dificultad para comparar los estudios, razón por la cual no realizaron un metaanálisis adecuado. Aconsejan la realización de pruebas estandarizadas para la pérdida auditiva y para medir la exposición a vibraciones.

En otra revisión exhaustiva reciente sobre los efectos derivados de la exposición combinada del ruido y otros factores -factores personales (es decir, edad, sexo, antecedentes genéticos, etc.), agentes químicos y factores físicos (es decir, iluminación, calor, etc.)- Golmohammadi y Darvishi (Golmohammadi & Darvishi, 2020) informa de una mayor incidencia de efectos sobre la salud en trabajadores expuestos a vibraciones y ruidos simultáneos. Entre ellos está en un lugar destacado la pérdida auditiva. Estos autores, que se basan en los estudios de Sisto et al. (Sisto et al., 2017), concluyen que los efectos sobre la pérdida auditiva son sinérgicos, es decir, que los efectos no se suman o aumentan, sino que se multiplican.

2.4.2 AUMENTO DEL SVMB O SÍNDROME RAYNAUD

Como ya se ha visto, las vibraciones transmitidas a través de las manos provocan el síndrome Raynaud. Es el efecto más estudiado y conocido con respecto a la VMB, aunque no es el único, pues la vibración que se transmite a través de las manos, y el sistema mano brazo recorre el resto del cuerpo que disipa o absorbe esa energía.

Hay poca literatura que analice la influencia del ruido sobre el SVMB. Dicho de otra forma, hay pocos estudios que arrojen luz sobre si el ruido incide, aumenta o altera los efectos sobre la principal secuela de la vibración.

Uno de los primeros indicios del SVMB es la disminución de la temperatura de las yemas de los dedos, por lo que encontrar que el ruido reduce el flujo sanguíneo en las extremidades confirmaría esa relación. Esto es lo que demuestran autores como Miyakita et al. (Miyakita et al., 1990) mediante ensayo en laboratorio, con sujetos sanos a los que se expuso a tres tipos diferentes de experimentos, con combinaciones de vibración VMB y ruido. Se detectó una disminución en la temperatura de los dedos de las manos en sujetos expuestos a las mismas condiciones de dosis de vibración sin protectores auditivos. Hay que aclarar que esta medida es un indicador del flujo circulatorio periférico. La eliminación de los protectores auditivos implicaba un aumento de la dosis de ruido por la falta de aislamiento acústico.

En el mismo sentido, sobre el SVMB, Stjernbrandt et al. (Stjernbrandt et al., 2021) encontraron que existe mayor probabilidad de desarrollar el fenómeno Raynaud entre individuos expuestos a ruido ocupacional que los expuestos sólo a VMB. Estos autores llevan a cabo un estudio de casos y controles en sujetos que reportaron el fenómeno de Raynaud (N=461) y controles (N=763) emparejados por edad, sexo y ubicación geográfica. Confirmaron la existencia de una tendencia positiva hacia una probabilidad razonable para el aumento del fenómeno de Raynaud con mayor exposición al ruido, aunque no fue estadísticamente significativa. En conclusión, la exposición al ruido ocupacional auto informada no se asoció estadísticamente de manera significativa con el fenómeno de Raynaud, pero hubo una tendencia de dosis-efecto. Además, el modelo múltiple mostró una fuerte asociación entre la pérdida auditiva y el fenómeno de Raynaud. Estos hallazgos ofrecen algún apoyo para considerar que hay un antecedente fisiopatológico común para el fenómeno de Raynaud y la pérdida auditiva, posiblemente a través de la vasoconstricción inducida por el ruido.

Lo que ponen de manifiesto los estudios sobre efectos combinados de ruido vibración y otros agentes, es la dificultad de cuantificar o encontrar una relación linear entre las dosis de exposición a ruido y VMB y el aumento en la incidencia de los efectos más frecuentes, en reciente estudio de Iftiem et al. (Iftiem et al., 2020) entre 107 trabajadores forestales, el 30% presentaba patologías profesionales, mientras que todos soportaban dosis de exposición al ruido por encima del límite legal y el 13% superaban el límite de $2,5 \text{ m/s}^2$ para VMB. Los hallazgos superaban los valores esperados para cada una de las dosis evaluadas de forma independiente: el 25.2% con trastornos óseos y musculoesqueléticos, el 0.93% con síndrome Raynaud y el 3.74% con hipoacusia bilateral.

Los espacios de trabajo con ruido y vibración son ambientes donde se trabaja con maquinaria industrial, que emite ruido y vibración durante la realización de las actividades laborales que implican su manejo. Además, es frecuente encontrar que los espacios de trabajo no son tales, sino que se trabaja en exteriores, por lo que a los riesgos normales hay que sumar la climatología, en ocasiones extrema. En consecuencia, además del ruido y la vibración, se somete al trabajador a otros agentes físicos: temperatura, radiación y presión. Los estudios que los relacionan se centran en el SVMB y ambientes fríos, de ahí la escala de Estocolmo para el síndrome Raynaud. No obstante, son poco frecuentes los estudios que relacionen los tres agentes: ruido, vibración y temperatura. Horvath y Bedi (Horvath & Bedi, 1990) defienden que, cuando están presentes el ruido, la vibración y la temperatura en niveles que exceden los estándares normales, los trabajadores pueden sufrir el síndrome de estrés general y que, en situaciones extremas, puede producirse morbilidad y mortalidad.

2.4.3 OTROS EFECTOS SOBRE LA SALUD CON EXPOSICIÓN COMBINADA RUIDO Y VMB

Alteraciones del ritmo cardíaco

Las alteraciones del ritmo cardíaco se han detectado como efecto para cada uno de los agentes por separado. Autores como Björ et al. (Björ et al., 2007) investigaron los posibles efectos sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca cuando las personas están expuestas a ruidos y vibraciones VMB de forma individual y simultánea. Lo hacen sobre sujetos sanos sometidos a ruido y a vibración de forma simultánea. Estar expuesto sólo a vibraciones y estar expuesto sólo a ruido parece generar efectos opuestos, las pulsaciones se redujeron con la exposición sólo a vibraciones y aumentaron durante la exposición al ruido. Aunque estos autores no evalúan la interacción entre las dosis ni la relación con los efectos.

Problemas cognitivos, psicológicos y de estrés

Por otro lado, un gran número de investigaciones se han centrado en el efecto sobre el confort laboral de los trabajadores y sus efectos psicológicos. Kwon et al. (Kwon et al., 2021) estudiaron que los problemas psicológicos y estresantes, originados tanto por el ruido como por la vibración de todo el cuerpo, pueden provocar accidentes en los conductores profesionales y afectar a la capacidad de trabajo, lo que lleva a una reducción del rendimiento físico y mental. En un estudio experimental sobre los efectos psicológicos, Huang y Griffin (Huang & Griffin, 2014) presentaron un modelo de regresión para predecir las molestias causadas por la exposición simultánea al ruido y a la vibración, en este caso, en todo el cuerpo y llegaron a la conclusión de que las molestias causadas por una combinación de ruido y vibración eran mayores que cada uno de los factores por separado. Además, el ruido tuvo un efecto de enmascaramiento sobre el juicio de las molestias causadas por la vibración.

Para estimar los efectos psicológicos, sobre el rendimiento, la atención o el estrés de forma que sea medible, se necesita una exposición controlada sobre sujetos sanos. Así fue como se llevaron a cabo los estudios realizados por Ljungberg y Neely (Ljungberg, J. K. & Neely, 2007) sobre el rendimiento de la atención después de la exposición al ruido y la vibración en relación con la sensibilidad subjetiva al ruido. Los datos combinados revelaron una degradación del rendimiento en la tarea de atención después de la exposición a la vibración, independientemente de si se presentaba sola o en combinación con el ruido. También se encontraron índices de alerta aumentados después de la exposición a vibraciones e índices de alerta disminuidos después de la exposición al ruido. Ljungberg et al. (Ljungberg, J. et al., 2004) valoran el rendimiento cognitivo y la opinión subjetiva, bajo los dos agentes. Los participantes de este ensayo en laboratorio calificaron significativamente la exposición combinada como más molesta y difícil. Según Ljungberg et al. no se puede afirmar que los efectos de la exposición combinada al ruido y la vibración sean sinérgicos ni antagónicos.

Las investigaciones Lee et al. y Kim et al. (Lee, S. Et al., 2017; Kim et al., 2017), que fueron realizadas independientemente una de la otra, detectaron que tanto la exposición al ruido ocupacional como a la vibración están asociadas trastornos relacionados con el sistema nervioso como fatiga general, dolor de cabeza y cansancio ocular, pero, cuando las dos exposiciones se presentan combinadas, aumentan de forma significativa los dolores de cabeza y la fatiga visual.

También se han encontrado efectos psicológicos, como ansiedad psicológica y problemas mentales, en trabajadores sometidos simultáneamente a VMB y al ruido. Así lo afirman Park et al. (Park, M. Et al., 2022), con relación dosis-respuesta, bajo diversos grados de exposición combinada. Problemas de salud mental como insomnio por depresión y ansiedad fueron detectados por Kwon et al. (Kwon et al., 2021), demostrando que estas asociaciones son más prominentes en los trabajadores hombres que en mujeres, incluso con niveles por debajo de los límites recomendados por las normas. Así lo manifiestan autores como Nari et al. (Nari et al., 2020) que revelaron una asociación entre la exposición al ruido ocupacional y a las vibraciones y el insomnio, tanto en presencia de cada agente de forma individual como simultáneamente, aunque demuestra un efecto sinérgico con exposición simultánea en mujeres, pero no en hombres.

Además, pueden dar lugar a otros trastornos que, aunque puedan parecer menos importantes, causan molestias al operador, como un aumento de la sudoración de las manos al manipular herramientas manuales que transmiten vibración en presencia de ruido (Sakakibara et al., 1989). Entre este tipo de trastornos, la sensación de fatiga aparece como uno de los destacables. Según Rinawati (Rinawati, 2022), en su estudio en máquinas tejedoras, la combinación de vibración y ruido provoca una resonancia en los órganos y tejidos corporales de todo el cuerpo, lo que induce sensación de fatiga en los trabajadores. Esto se produce aún con valores por debajo del VEL, como se demuestra en su estudio sobre operarios divididos en tres bloques con valores de exposición, $< 1 \text{ m/s}^2$, $1-4 \text{ m/s}^2$ y $> 4 \text{ m/s}^2$, para vibraciones, y $< 80 \text{ dBA}$, entre $80-85 \text{ dBA}$ y superior a 85 dBA , para ruido, existe una relación significativa entre la exposición a la vibración y al ruido con la fatiga.

En general, todos los estudios experimentales de los efectos psicológicos del ruido y la vibración combinados incluyen aumento del estrés, molestia y malestar que se traduce en una disminución del rendimientos y estado de alerta. En términos de confort y efectos psicológicos, la investigación actual muestra que es muy probable la aparición de una mayor incomodidad cuando ambos agentes físicos están involucrados, pero también se necesita más investigación para cuantificar estos efectos y se requieren estudios e investigaciones adicionales para comprender mejor esta relación.

Podemos concluir este apartado diciendo que es altamente probable la aparición de más efectos bajo la exposición combinada a ruido y vibración. En este sentido, interesantes investigaciones han tratado de analizar asociación entre ellos, valorando tanto la probabilidad de aumento de los efectos sobre la salud como la aparición de otros distintos. Haciendo un recorrido por la literatura en los efectos de la exposición combinada al ruido y a la VMB, una de las primeras investigaciones sobre los efectos de la exposición combinada fue la de Pettersson et al. (Pettersson et al., 2011; Pettersson et al., 2012) Sugirieron que trabajar con máquinas vibratorias en un entorno con exposición al ruido aumenta el riesgo de pérdida auditiva, lo que respalda una asociación entre la exposición al ruido y VMB, y la pérdida auditiva inducida por el ruido. En el mismo sentido, posteriores trabajos (Pettersson et al., 2014; Pettersson, Burstrom & Nilsson, 2014) entre los participantes con pérdida auditiva con el uso diario de herramientas manuales vibratorias, más del doble presentaron síndrome Raynaud en comparación con los participantes que no usaron herramientas manuales vibratorias.

Una visión adicional de la literatura publicada para buscar esta posible relación o cuantificación de este efecto, en la exposición simultánea al ruido y la vibración, encontró varias investigaciones interesantes. Como ejemplos ilustrativos de los hallazgos en este tema, la investigación de Sisto et al. (Sisto et al., 2017) es destacable. Estos autores realizaron un estudio experimental con 12 voluntarios, concluyen que parece haber un efecto sinérgico del ruido y la vibración en la inducción del daño coclear y será posible hacer estimaciones cuantitativas de este efecto. Esta idea contradice las de Ljungberg y Neely, (Ljungberg, J. K. & Neely, 2007) quienes afirman que no se observaron efectos sinérgicos ni antagónicos de la exposición combinada al ruido y la vibración. En discordia con los dos anteriores, el trabajo realizado por Zhu et al (Zhu et al., 1997) concluyó que la exposición al ruido es esencial para producir un aumento en el cambio temporal del umbral de audición y, junto con la exposición al ruido, la VMB puede aumentar el efecto del ruido en la audición, al producir una mayor actividad simpática, que podría causar una mayor vasoconstricción en el oído interno, pero no se informó una cuantificación clara de los límites de exposición.

2.5 EFECTOS MENOS LESIVOS DE LA EXPOSICIÓN COMBINADA A RUIDO Y VIBRACIÓN. VALORACIÓN SUBJETIVA: CONFORT

Otros efectos, considerados menos lesivos, aunque no menos importantes, son los relativos al bienestar del trabajador. El trabajo debe desarrollarse de tal forma que el operador no sufra incomodidad. La valoración que el trabajador tiene de su puesto de trabajo bajo exposición a ruido y VMB es, en muchas ocasiones, negativa. Normalmente, los técnicos prevenciónistas adecúan los espacios de trabajo y las herramientas para dar solución a este aspecto de forma que el trabajo se desarrolle de forma confortable. El concepto de confort está dentro del campo de estudio de la Ergonomía. La Ergonomía es una disciplina que tiene en consideración todos los factores de puesto de trabajo, tanto de la persona como del entorno, para que el trabajo se desarrolle en condiciones adecuadas. Con ese fin, se sirve de los “métodos ergonómicos”. Se analizan en este apartado de la Memoria de Tesis aquellos que están relacionados con los agentes físicos: ruido y vibración.

Descripción de métodos de la Ergonomía

La Prevención y la Higiene Industrial tratan de evitar que se produzcan enfermedades profesionales y lesiones en los trabajadores durante el desarrollo del trabajo, así como de su bienestar. Trabajar de forma adecuada y sin incomodidades es el objetivo de la Ergonomía. La RAE define Ergonomía como: *Estudio de la adaptación de las máquinas, muebles y utensilios a la persona que los emplea habitualmente, para lograr una mayor comodidad y eficacia.* Agentes físicos como el ruido, las vibraciones y condiciones climáticas, entre otros, influyen tanto cualitativa como cuantitativamente en el desarrollo de la actividad laboral. El ambiente físico del espacio de trabajo puede influir negativamente en el operario, desencadenando una serie de sensaciones subjetivas de molestia y falta de confort, pudiendo empeorar su rendimiento laboral. El confort, definido por la RAE como: *Bienestar o comodidad material*, es un concepto subjetivo y, desde el punto de vista de la Higiene Industrial, difícil de valorar o cuantificar pues depende de muchos factores y, sobre todo, de la percepción del individuo.

Algunos métodos tratan de baremar los elementos ergonómicos en los puestos de trabajo mediante una descripción sistemática de cada tarea o función. Para ello utilizan información obtenida de entrevistas y cuestionarios a los trabajadores, así como la derivada de mediciones del entorno con sonómetros, luxómetros y termómetros. Aun así, los resultados son bastante subjetivos.

La Ergonomía ha desarrollado métodos de evaluación que han sido utilizados de forma tradicional. De entre ellos cabe citar los siguientes:

- REBA: Rapid Entire Body Assessment. Hignett y McAtamney (Hignett & McAtamney, 2000) realizan un análisis postural haciendo observaciones por partes de cuerpo. Por un lado, el tronco, piernas y cuello, por otro mano, muñeca, antebrazo, brazo.
- OCRA: Occupational Repetitive Action. Nicoletti et al. y Ruddy et al., (Nicoletti et al., 2008; Ruddy et al., 2012), evalúan los movimientos repetitivos de los brazos, mediante una fórmula con cuatro factores: recuperación, frecuencia, fuerza, postura y un valor multiplicador.
- Ecuación NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health. Este Instituto desarrolló una ecuación para evaluar los riesgos de manejo de cargas con factores de peso, distancia horizontal, altura, desplazamiento vertical... Se centra en detectar problemas de lumbalgias asociados a cargas físicas. Según Dasari y Balasubramanian (Dasari & Balasubramanian, 2021) sigue siendo utilizado, aunque no evalúa otro tipo de factores interesantes para nuestro estudio.
- Método Sue Rodgers para la Evaluación de los puestos de trabajo. Estudia el nivel de esfuerzo para el desarrollo de una tarea. Consiste en dar una calificación a cada una de las partes del cuerpo, para lo que las agrupa en seis zonas basadas en las consideraciones de la doctora Rodgers: cuello-hombros, espalda, brazos-codos, muñecas-dedos, piernas-rodillas y tobillos-pies-dedos. Presentado en el libro¹⁶ en 1993, y utilizado como método de evaluación en muchas investigaciones como, por ejemplo, la de Maciel et al. (Maciel et al., 2012).
- Guía Técnica del INSST sobre Lugares de Trabajo. La guía deriva del Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores. Está basada en las recomendaciones de dicho Decreto y en los proyectos de normas ISO y CEN2. Consiste en la simple observación de unos parámetros objetivos que están bien definidos y se pueden cuantificar. Manipulación de cargas observando directamente el peso de la carga, peso aceptable, distancia a recorrer, esfuerzo de la postura, etc.
- Método FANGER: P.O. Fanger (Fanger, 1973; 1986) elaboró un procedimiento que contempla las diferentes variables que influyen en la valoración del confort térmico en un entorno laboral. Centrado en las condiciones ambientales estacionarias, resulta una buena aproximación ante pequeñas variaciones de dichas condiciones. Utiliza valores medios ponderados en el tiempo (INSST, 1983). Este método supuso un avance al incluir en el proceso de valoración de puestos de trabajo todas las variables que influyen en los intercambios térmicos entre trabajador y medio ambiente y que contribuyen a la sensación de confort. Las variables que utiliza son:

¹⁶ Rodgers, S. (1993). Ergonomics process manual. Genium Publishing, New York, EEUU.

- Aislamiento de la ropa: se mide en una unidad denominada “clo”, con puntuación dependiendo del tipo de vestimenta, en ligera, media o pesada.
- Tasa metabólica: energía que consume el trabajador al desarrollar su actividad y que transforma en calor desprendido.
- Humedad relativa: es el porcentaje de presión de vapor de agua medida en Pa.
- Temperatura del aire: medida en grados Celsius
- Temperatura radiante; como intercambio de calor entre el cuerpo del trabajador y las superficies que lo rodean. Utiliza una fórmula a partir de los valores medidos de la temperatura seca, velocidad relativa del aire...
- Velocidad relativa del aire medida en m/s

El método sólo calcula la confortabilidad del ambiente térmico de forma global.

$$V_{ar} = V_a + 0.0052 \text{ (M-58)}$$

Es el único método que considera el concepto de confort para evaluar el puesto de trabajo, aunque lo hace sólo respecto al intercambio de temperatura que recibe el trabajador.

El cálculo del Voto Medio Estimado (PMV- predicted mean vote) se realiza con los datos obtenidos mediante la resolución de la “ecuación de confort” de Fanger o consultado tablas normalizadas. Se obtendrán calificaciones de: muy caluroso, caluroso, ligeramente caluroso, neutro, ligeramente fresco, frío.

También es utilizable para obtener valoraciones ambientales en el puesto de trabajo como el “Porcentaje de Insatisfechos” (PPD), que indica el número de trabajadores que no está conforme con el valor del índice.

- Método LEST: Fue desarrollado en el Laboratorio de Economía y Sociología del Trabajo de Aixen por el equipo de condiciones en el trabajo. Condujo a la publicación de Guelaud et al. (Guelaud et al., 1975) *Pour une analyse des conditions de travail ouvrier dans l'entreprise*. Evalúa el entorno de trabajo con dieciséis criterios, a los que asigna valores entre 0 y 10, agrupados en cinco bloques: espacio físico, carga física, carga mental, aspectos psicosociales y tiempo de trabajo. Es aplicable a los puestos de trabajo fijos del sector industrial poco, o nada, cualificados y, sobre todo, a los trabajos en cadena. Resulta poco aplicable a puestos con condiciones ambientales como los que son objeto de estudio en esta investigación.
- Método EPR: Evaluación Postural Rápida. No es en sí un método que permita conocer los factores de riesgo, sino una herramienta para valorar las posturas adoptadas por el trabajador a lo largo de la jornada (Lasota, 2014). Puede determinar un nivel de carga estática elevado. El método EPR emplea el sistema de valoración de la carga

estáticas del método LEST ya mencionado. Determina un análisis postural, con dieciséis variables relativas al puesto de trabajo numeradas del 1 al 16, agrupadas en 5 bloques de información (de la A a la E) relativos al puesto de trabajo y de un cuestionario del puesto de trabajo. Los bloques se clasifican en situación satisfactoria, débiles molestias, molestias medias, molestias fuertes o situación nociva.

- Método OWAS: Ovako Work Posture Analyzing System. Se considera el método de carga postural por excelencia. Consigue una valoración de las posturas de trabajo a partir de observaciones de la tarea y las clasifica siguiendo unos parámetros sistemáticos. Fue desarrollado en los años sesenta en la industria de del acero en Finlandia (Karhu et al., 1977). Codifica la postura del trabajador mediante cuatro dígitos, evaluando la carga postural en función de la posición de los brazos, piernas y espalda, en combinación con la existencia o no de cargas. Identifica posturas inadecuadas. Se obtienen así un conjunto de 252 posturas, que se clasificarán en función del riesgo que presentan. Cada código postural se valora del 1 al 4 y así establece las categorías de acción para cuantificar el riesgo musculoesquelético.

Como la mayoría de los métodos, no tiene en cuenta la influencia de agentes físicos en los problemas de bienestar del trabajador.

Todos los métodos anteriores no son aplicables a la influencia de los agentes físicos en los trabajadores, se han encontrado algunos que evalúan los aspectos relacionados con las extremidades superiores, en aquellos trabajos que utilizan herramientas, aunque no son métodos específicos sobre la vibración que se transmite a través de ellas. Entre ellos:

- Método RULA: Rapid Upper Limb Assessment (‘evaluación rápida de las extremidades superiores’). Es nombrado por los autores como “RULA: a survey method for de investigation of work-related upper limb disorders” (McAtamney & Nigel Corlett, 1993).

Se centra en la evaluación de los esfuerzos a los que son sometidos los miembros superiores de los trabajadores. Analiza posturas, función muscular y las fuerzas que ellos ejercen. Lo hace con observación directa de las posturas adoptadas de la tarea por las extremidades superiores, cuello, espalda y piernas, se analizan los movimientos y giros efectuados por brazo, antebrazo, muñeca, hombro, codo, cuello, tronco y piernas. Divide el cuerpo en dos grupos, el A, formado por los superiores (brazos, antebrazos y muñecas), y el B, compuesto por los inferiores (piernas, tronco y cuello) asigna una puntuación a cada zona corporal a partir del ángulo que forman las partes del cuerpo del operario. El resultado es una puntuación que permite clasificar la actividad en cuatro niveles, a cada uno se le aplica una acción correctora enfocada a disminuir el riesgo de lesión.

Requiere de un equipo de medición de ángulos y estudia el lado derecho e izquierdo del cuerpo por separado.

Como los métodos anteriores se limita a análisis postural y de la fuerza ejercida por el trabajador, pero nunca de las fuerzas que se ejercen sobre él, como serían la energía que recibe de agentes físicos.

- Método JSI: Job Strain Index (‘Índice de tensión laboral’). Se basa en la evaluación de la repetitividad de movimientos.

Evalúa la probabilidad de desarrollar desordenes musculoesqueléticos en tareas en las que se usa intensamente el sistema mano-muñeca. Este método es conocido también como Método Moore y Garg (Moore & Garg, 1995) por haber sido propuesto previamente por estos autores.

Es uno de los más utilizados para analizar los riesgos en las extremidades superiores. Analiza el riesgo de lesiones en la extremidad superior distal, muñeca-mano, mediante el análisis de seis variables de tarea = intensidad del esfuerzo, duración del esfuerzo, esfuerzos por minuto, postura de la muñeca-mano, velocidad y duración.

Una vez estimada cada una de las variables, se les asigna un factor multiplicador con lo que obtiene un valor denominado “índice de carga” o “puntuación SI”.

Inconveniente: no considera las vibraciones ni los golpes en el desarrollo de la tarea. los parámetros dependen en gran medida de la subjetividad del observador. Los niveles de riesgo que arroja son sólo tres y poco concluyentes:

- $SI < 3$ - situación probablemente segura
- $3 < SI < 7$ - situación de incertidumbre
- $SI > 7$ - situación probablemente peligrosa

Uno de los inconvenientes es que los parámetros dependen de la subjetividad del observador, arrojando resultados poco concluyentes, con clasificaciones como “probablemente segura”.

Entre las variables estimadas no se encuentra la transmisión de VMB ni los golpes recibidos por la herramienta utilizada.

Después de analizar los métodos ergonómicos clásicos, se puede concluir que hay un vacío importante en los efectos del ruido y de la vibración. Alguno de ellos, como RULA, diferencian como índice las cuestiones ergonómicas provocadas por la fuerza que hace el trabajador en el uso de herramientas, pero como se ha visto antes y no evalúan la fuerza de la herramienta sobre el trabajador ni las vibraciones que recibe el trabajador a través de las manos.

Las condiciones del entorno de trabajo sólo son observadas por uno de los métodos, el Método FANGER, que tienen en cuenta el espacio que rodea al trabajador, aunque sólo evalúa las condiciones térmicas en el espacio de trabajo

Se puede concluir que los métodos ergonómicos prestan poca atención, o ninguna, sobre la confortabilidad del ruido y la VMB en los puestos de trabajo.

Efectos menos lesivos de la exposición a ruido. Confort

Desde el punto de vista del confort, en función del tipo de trabajo y de si se requiere o no concentración, el ruido convierte el ambiente en molesto para el trabajador. La normativa que regula las condiciones de los espacios de trabajo Real Decreto 486/1997 (Ministerio de la Presidencia, 1997a) hace referencia a este aspecto y establece unos valores recomendables para el ruido en oficinas, hospitales... En cambio, la normativa de protección de los trabajadores frente al ruido no diferencia entre puestos de trabajo ya que su fin es proteger la salud, por lo que se sólo establece el valor de dosis máxima y valor de pico, además de los VEA laboral en la que el ruido está presente. Es decir, establece los límites para que el ruido no afecte a la salud. La Ergonomía va más allá, pues valora el bienestar del individuo en límites muy inferiores a los que producen lesiones. El planteamiento ergonómico del ruido se centra en cómo percibe el trabajador el ruido en el puesto de trabajo, de modo que la evaluación es siempre subjetiva. El INSST (INSST, 2021) publicó un cuestionario para la evaluación del ruido en el puesto de trabajo desde el punto de vista ergonómico, es decir, enfocado a que el desarrollo del trabajo se realice de forma cómoda, pero sólo en los trabajos donde es necesaria una comunicación verbal. La percepción del ruido y las molestias producidas serán variables en función de características de cada persona como son: la edad, sexo, estatus social, conductas, etc.

La Nota Técnica de Prevención sobre confort acústico en oficinas, NTP 503 (INSST, 1998), recomienda límites de ruido en función del uso y del local. Está basada en la NBE-CA-82, ya derogada y sustituida por el CTE-DB HR. Los límites de ruido se expresan como niveles sonoros continuos equivalentes de ruido aéreo y se recogen en la Tabla 2.8.

Tabla 2. 8: Niveles sonoros continuos equivalentes de ruido aéreo. Fuente: NTP 503

Niveles sonoros continuos equivalentes de ruido aéreo (NBE-CA-82)		
TIPO DE EDIFICIO	LOCAL	LAeq (dBA) (8 - 22 h)
Residencial (público y privado)	Zonas de estancia	45
	Dormitorios	40
	Servicios	50
	Zonas comunes	50
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales.	40
	Oficinas	45
	Zonas comunes	50
Sanitario	Zonas de estancia	45
	Dormitorios	30
	Zonas comunes	50
Docente	Aulas	40
	Salas de lectura	35
	Zonas comunes	50

Los valores de la tabla anterior son el resultado de la diferencia de los niveles de inmisión exteriores y los objetivos de calidad acústica interior para distintos tipos de edificios: residencial, hospitalario, docente, administrativo y cultural. Fija los niveles de aislamiento acústico de los cerramientos exteriores del edificio: fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior. Valores que no son de interés para este trabajo.

En la vigente Ley de Ruido, Real Decreto 1367/2007 (Ministerio de la Presidencia, 2007), se diferencian los niveles de inmisión límite en función de tramos horarios. Los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones, diferenciando índice de ruido de día, de tarde y de noche

La NTP-503 define el **confort acústico** como aquella situación en la que el nivel de ruido resulta adecuado para el descanso, la comunicación y la salud de las personas. Para conocer y evaluar el malestar de una persona o de un colectivo en un ambiente de ruido es necesario crear una escala que relacione la respuesta subjetiva de los individuos con los valores alcanzados por un indicador, que dependa de las características físicas del ruido.

Existen diferentes índices de valoración de ruido:

- el Nivel de Presión Sonora (NPS),
- el Nivel Sonoro Continuo Equivalente,
- el Nivel Sonoro Diario Equivalente,
- el Nivel de Interferencia Conversacional (PSIL),
- las Curvas de valoración NR (Noise Rating),
- el Tiempo de reverberación (TR),
- el Índice de ruido en oficinas (IRO),
- etc.

El **nivel de presión sonora (NPS)** determina la intensidad del sonido que genera una presión sonora, se mide en decibelios (dB).

Nivel de interferencia conversacional (PSIL) Con este método se valora la capacidad de un ruido estable de interferir en la conversación entre dos personas en un entorno libre de superficies reflectantes que pudieran reforzar las voces de las personas. La ISO/TR-3352 contiene la Tabla 2.9 que relaciona el nivel de interferencia verbal y la máxima distancia en la se puede mantener una conversación que sea inteligible.

Tabla 2. 9: Valores indicativos del índice PSIL. Fuente: ISO/TR-3352

Valores indicativos del índice PSIL		
PSIL (dB)	Distancia máxima a la que se considera satisfactoriamente inteligible una conversación normal (m)	Distancia máxima a la que se considera satisfactoriamente inteligible una conversación en voz muy alta (m)
35	7.5	15
40	4.2	8.4
45	2.3	4.6
50	1.3	2.6
55	0.75	1.5
60	0.45	0.85
65	0.25	0.5
70	0.13	0.26

Curvas de valoración NR (Noise Rating)

Estas curvas establecen límites aceptables de confortabilidad en diferentes espacios en los que existen unos niveles de ruido de fondo estables. El método permite asignar al espectro de frecuencias de un ruido, medido en bandas de octava, un sólo número NR (según método recogido en las normas ISO R-1996 y UNE 74-022), que corresponde a la curva que queda por encima de los puntos que representan los niveles obtenidos en cada banda del ruido medido. Ver el Gráfico 2.7 (INSST, 1998).

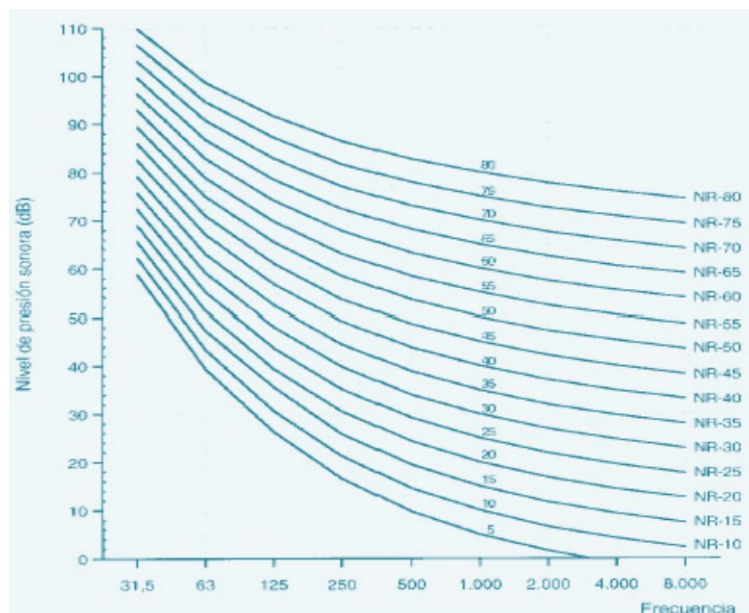


Gráfico 2. 7: Curvas NR de evaluación de ruido. Fuente NTP-503

En la Tabla 2.10 se muestran los valores recomendados para el índice de NR en diferentes locales.

Tabla 2. 10: Valores recomendados del índice NR para diferentes locales. Fuente NTP 503

VALORES RECOMENDADOS DEL ÍNDICE NR PARA DIFERENTES LOCALES	
Tipos de recintos	Rango de niveles NR que pueden aceptarse
Talleres	60-70
Oficinas mecanizadas	50-55
Gimnasios, salas de deporte, piscinas	40-50
Restaurantes, bares y cafeterías	35-45
Despachos, bibliotecas, salas de justicia	30-40
Cines, hospitales, iglesias, pequeñas salas de conferencias	25-35
Aulas, estudios de televisión, grandes salas de conferencias	20-30
Salas de concierto, teatros	20-25
Clínicas, recintos para audiometrías	10-20

El **Índice de Ruido en Oficinas (IRO)** se basa en los resultados obtenidos en un estudio realizado por Hay y Kemp (Hay & Kemp, 1972). Este estudio está reflejado en la Nota Técnica de Prevención NTP-503 y se realizó con la curva NR-40. Estos mismos autores realizan un estado de opinión, mediante encuesta, sobre el ruido a los ocupantes y obtienen porcentaje de insatisfechos del índice IRO. Está recogido en la NTP y adjuntado en la Tabla 2.11.

$IRO = L_{90} + 2,4 (L_{10} - L_{90}) - 14$ Donde: L_{10} = el nivel de presión acústica (dB(A)) que se sobrepasa durante el 10% del tiempo de observación. L_{90} = el nivel de presión acústica (dB(A)) que se sobrepasa durante el 90% del tiempo de observación, que representa el ruido de fondo.

Tabla 2. 11: Porcentaje de insatisfechos para ruido de oficinas. Índice IRO. Fuente: Hay, Kemp 1972

Porcentaje de insatisfechos con el ruido de las oficinas									
L10 (dBA)	Porcentaje de insatisfechos para los valores (L10 - L90) (dBA)								
	7	8	9	10	11	12	13	14	15
55	14	17	20	22	25	28	31	34	37
56	16	19	22	24	27	30	33	36	39
57	18	21	23	26	29	32	35	38	40
58	20	23	25	28	31	34	37	40	42
59	22	25	27	30	33	36	39	42	44
60	24	27	29	32	35	38	41	44	46
61	26	29	31	34	37	40	43	46	48
62	28	30	33	36	39	42	45	47	50
63	30	32	35	38	41	44	47	49	52
64	32	34	37	40	43	46	49	51	54
65	34	36	39	42	45	48	51	53	56

La Nota Técnica de Prevención sobre confort acústico en espacios de trabajo, para los que se requiere una concentración y unas actitudes cognitivas específicas, plantean cuestionarios que en raras ocasiones son respondidos por los trabajadores, acostumbrados a dosis de ruido

elevadas y a procesos de trabajo en los que se necesita esfuerzo, pero poca o escasa concentración o esfuerzos cognitivos

Para la evaluación del confort acústico, el INSST publica la encuesta de evaluación acústica en la se estima la percepción del ruido que tiene el trabajador.

“También pueden producirse distracciones, interferencias en la comunicación o alteraciones psicológicas, disminución del rendimiento y efectos en el desempeño de la tarea. El ruido puede llegar a provocar un efecto de enmascaramiento de señales acústicas y alarmas, generando condiciones de trabajo peligrosas. Hay que destacar que todos estos efectos además tienen importantes consecuencias económicas y sociales.”

Las investigaciones sobre los aspectos ergonómicos del ruido fuera de los ámbitos descritos en NTP 503 son escasos. No hay suficientes estudios que valoren este aspecto a pesar de su interés, pues llega a relacionar unos valores de ruido con niveles de efectos no auditivos. La investigación realizada por Golmohammadi et al. (Golmohammadi et al., 2022) trata sobre los efectos no auditivos inducidos por el ruido que varían en función del nivel de ruido diario que se soporta, examina la influencia del ruido en jornada laboral de 8h cuando los valores son inferiores a los VEA en la que el ruido está presente (65, 68, 73 y 80 dB(A)). Su trabajo de investigación tiene como objetivo presentar los límites de exposición ocupacional para los efectos no auditivos inducidos por el ruido en hombres sanos, aunque va más allá al establecer grados en función de niveles de exposición. Los resultados indicaron variaciones en las respuestas mentales a niveles superiores a 55dBA y variaciones psicofisiológicas a niveles superiores a 70dB(A) por lo que Golmohammadi et al. concluyen que se les pueden presentar los límites de exposición probables. Con base en los resultados de los modelos, los niveles <55dB(A) establecen la probabilidad del límite de comodidad acústica mientras que los niveles que oscilan entre 55 y 65dB(A) son los límites de seguridad acústica. El límite de precaución acústica es la probabilidad de que los niveles oscilen entre 65 y 75 dB(A). Los niveles en el rango de 75 a 80dB(A) son, probablemente, los niveles de acción o límites de control, y el límite de exposición ocupacional son la probabilidad de niveles > 80dB(A). Los niveles se reflejan en el Gráfico 2.8 de estos mismos autores.

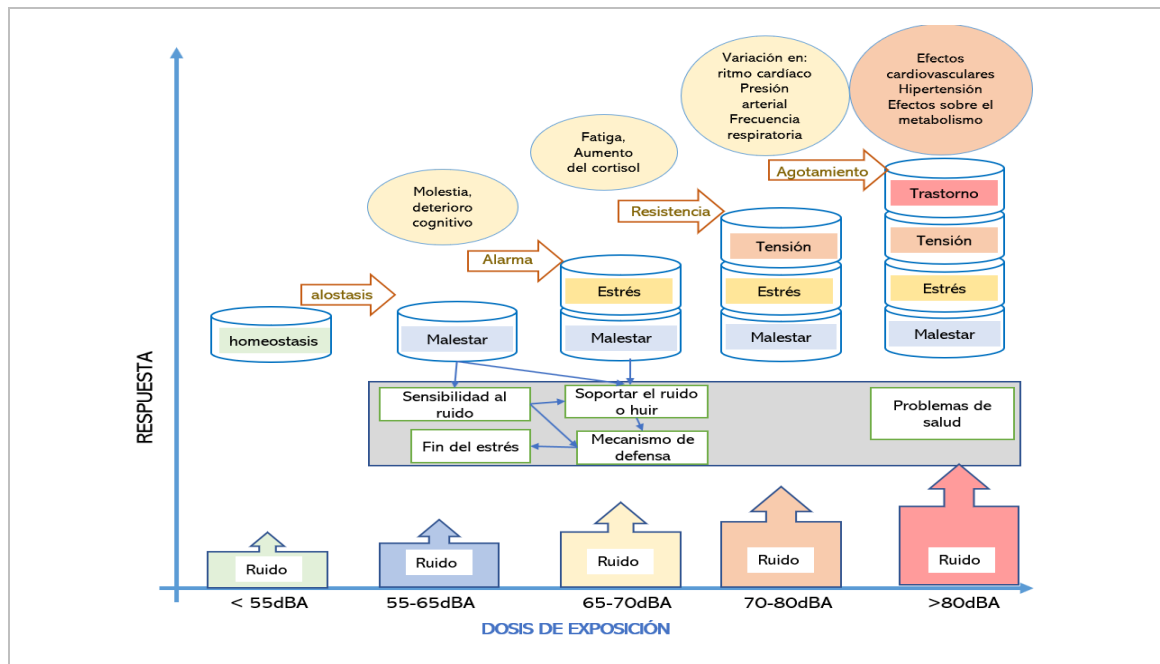


Gráfico 2. 8: Efectos sobre el confort según Golmohammadi (Golmohammadi et al., 2022) modelo conceptual de la relación exposición-respuesta para niveles medios de ruido y respuestas no auditivas.

Efectos considerados menos lesivos de la exposición a VMB. Confort

Tal y como ha quedado probado en el punto anterior, en los métodos ergonómicos no se contempla enfocar el bienestar de los trabajadores desde el punto de vista del confort en los puestos de trabajo en los que se recibe VMB.

Como ocurre con el ruido, los efectos subjetivos de la VMB son difícilmente evaluables por depender de la recepción del individuo y de otros factores del trabajo que favorecen la sensación de desagrado. Incluso por debajo de los límites admitidos por la normativa, la exposición a las vibraciones puede provocar sensación de incomodidad y malestar. Las características personales, con variables, como la edad, el sexo, consumo de tabaco, enfermedades y medicación, etc., añadidos a la tarea que se realiza y, la propia vibración, modificarán la percepción del individuo. La percepción subjetiva de las vibraciones está influida por parámetros físicos como la **intensidad** y la **frecuencia según el INSST** (INSST, 2014) son los siguientes:

- **“Intensidad:** la mayoría de los estudios relacionan el aumento de los efectos subjetivos con el aumento en forma lineal de la intensidad, si bien hay algún estudio que indica que esta relación lineal no está totalmente demostrada.
- **Frecuencia:** hay estudios contradictorios, parece ser que, en el caso de cuerpo entero, la máxima sensibilidad para las vibraciones se produce en el rango de 1 a 80 Hz y en el caso de mano-brazo, en el de 8-1000 Hz, aunque estudios como el de Zimprich et al. (Zimprich et al.,

2021) encuentran las frecuencias en el rango de 2000 Hz como las que mayor grado de malestar provocan

- **Tiempo de exposición:** hay estudios que indican que, a mayor tiempo de exposición, mayor malestar, por lo menos durante la primera hora.”

Uno de los componentes que influye en la percepción de la vibración, es el sexo. Neely y Burström (Neely & Burström, 2006) demuestran que, para los mismos valores de medición absoluta del umbral vibrotáctil, las calificaciones tanto de la intensidad percibida como de la incomodidad fueron más altas para las mujeres. Es decir, las mujeres se mostraron significativamente más sensibles, subjetivamente, que los hombres a niveles de intensidad física más fuertes en las frecuencias más altas.

En la influencia de la forma y la superficie de contacto del mango de la herramienta y la mano que recibe VMB, las investigaciones coinciden en encontrar alguna relación con la sensación de incomodidad. Desde finales de siglo pasado, autores como Malinowska-Borowska, Jolanta y Zieliński (Malinowska-Borowska, Jolanta & Zieliński, 1986) relacionan la gravedad de los efectos de la VMB cuando se modifica la fuerza que el operario ejerce al asir el mango de la herramienta, en este caso la variable es la experiencia de los taladores. Comparan los resultados entre un grupo de trabajadores expertos y otro de aprendices, demostrando que los segundos ejercen mayor fuerza en el acoplamiento entre la herramienta y la mano. Así que la transmisibilidad de la vibración y la incomodidad aumentan con la fuerza que ejerce el trabajador en el acoplamiento de la mano con la herramienta, por lo que proponen una mejora en el diseño de las herramientas, confirmando que la modificación del mango hacia un diseño más ergonómico supone una mejora en la confortabilidad de utilizar la herramienta. Sobre la relación entre la fuerza que ejerce el operario y la sensación de incomodidad, parece haber consenso entre los investigadores. Con distinto enfoque, pero sobre esta misma relación, Matthiesen (Matthiesen, 2017) crea un modelo de simulación computacional para analizar las fuerzas que ejerce el trabajador sobre una herramienta eléctrica y deduce que cuanto mayor sea la fuerza que recibe, mayor será la influencia negativa y la sensación del malestar del trabajador.

Otros estudios establecen distintos enfoques metodológicos para determinar la comodidad en el uso de herramientas como es su usabilidad. Freund et al. (Freund et al., 2000) mejoran la percepción que tiene el trabajador realizando modificaciones en la forma de la zona de sujeción y la textura de la superficie de la herramienta que emite vibración. Un estudio similar es el de Kuijt-Evers et al. (Kuijt-Evers et al., 2005). Estos autores modifican el diseño de la herramienta haciéndolo más ergonómico, identifican la mejora en la percepción de comodidad de los usuarios, antes y después de utilizar la herramienta, mediante dobles cuestionarios.

En estudios posteriores se actúa sobre el diseño de la forma y el material con el que se fabrican las partes de las herramientas por las que se deben asir. Singh et al. (Singh, A. K., Meena &

Chaudhary, 2019) fabrican dos prototipos de mangos para herramientas, encontrando una mejora sustancial en la facilidad con la que se trabaja, lo que es valorado como mejora de la confortabilidad y, como ventaja, destaca el bajo coste de la modificación de la herramienta a cambio de una considerable reducción de la VMB recibida.

En la misma línea, en 2019 Tony et al. (Tony et al., 2019) utilizan tecnología de impresión 3D para fabricar 7 mangos con la forma anatómica de las manos, miden la vibración recibida VMB y, para la calificación subjetiva de la percepción de la vibración y la comodidad con la “Escala Borg de Esfuerzo Percibido”, obtienen medidas de valores de vibración diferentes para cada mango. Además, la valoración cualitativa de los sujetos no va en concordancia con la dosis recibida.

En resumen, las investigaciones encuentran relación entre la fuerza de agarre y la confortabilidad, pero no llegan a establecer una escala de valores de comodidad.

La influencia de las bajas, o altas, frecuencias en la comodidad es un aspecto en el que algunos autores muestran desacuerdo. Zimprich et al. (Zimprich et al., 2021) cuestionan la idoneidad de la ponderación en frecuencia y de los valores de aceleración, según la norma, para medir la comodidad que percibe el trabajador, dado que no se perciben de igual forma las frecuencias altas que las bajas, lo que consideran es un aspecto fundamental en la sensación de comodidad. Aunque no son los primeros que se cuestionan la forma de ponderar de la ISO. En 2012, Brammer y Pitts (Brammer, A. J. & Pitts, 2012) encontraron evidencias de que la ponderación resulta inapropiada para evaluar el riesgo a desarrollar SVMB. Zimprich midió la emisión de vibraciones y su intensidad en herramientas eléctricas, obteniendo los valores a_{hv} según norma (ISO, 2002) mediante el filtro a_{hv} ¹⁷. Se cuestiona si “¿es el valor a_{hv} adecuado para la evaluación de la comodidad en aplicaciones de herramientas eléctricas?” La respuesta la encuentra en la aplicación de medición del valor de aceleración, que es común para evaluar la exposición diaria a las vibraciones de la mano, pero no diferencia rangos de frecuencias fuera de los límites de 8Hz a 1000Hz. Para suplir esto, introduce el valor ACV (valor de vibración de confort de aceleración), que se calcula con un factor de ponderación constante para cada rango frecuencias entre 5 a 2000 Hz, que está basado en el cálculo de los valores de a_{hv} . Evalúa la percepción consciente de la vibración recibida con un cuestionario sobre el ruido, el manejo de la herramienta, la ergonomía, el rendimiento y confort de vibración en una escala (1 muy malo - 9 muy bueno). Llega a la conclusión de que para las vibraciones fuera del rango de la norma (por debajo de 8 y por encima de 1000Hz) el valor ACV muestra que existe un alto nivel de incomodidad debido a la vibración en frecuencias altas.

¹⁷ para cada uno de los tres ejes de referencia se obtiene su valor de aceleración continua equivalente ponderado en frecuencia (a_{hwz} , a_{hwz} , a_{hwz}) y a partir de ellos se determina el valor total de aceleración equivalente ponderada en frecuencia mediante la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las aceleraciones: a_{hv}

De todo lo anterior se deduce que sería adecuado desglosar las aceleraciones que recibe el operador por rango de frecuencias. De este modo se podría evaluar la percepción de incomodidad recibida por el individuo para establecer una posible correlación entre vibración recibida y sensación de incomodidad en función del rango de frecuencia. Aunque el objetivo podría ser establecer un rango de frecuencias en las que se producen determinadas molestias. Actualmente no se han encontrado estudios que avalen una escala de molestias.

Los únicos estudios encontrados en los que se propone una escala de confort para VMB son los de Maeda et al. (Maeda & Shibata, 2008; Maeda et al., 2011a; Maeda et al., 2011b) en los que realiza ensayo con doce sujetos sanos sin dosis de VMB en su actividad habitual. Los autores aportan una escala de respuesta subjetiva de la VMB se puede utilizar para los valores objetivos de diseño. Utilizaron el *Método de juicio de categoría (The category judgment method)*: la relación entre los valores psicológicos y la aceleración RMS ponderada en frecuencia W_h de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 5349-1:2001 (ISO, 2001). Obtuvieron la relación entre los valores psicológicos y la aceleración RMS ponderada en frecuencia. Por último, proponen una escala de respuesta subjetiva de la VMB, que se refleja en la Tabla 2.12, con el fin de utilizarla para los valores objetivos de diseño herramientas de mano que producen vibración.

Tabla 2. 12: Escala de respuesta subjetiva a la VMB. Fuente: (Maeda & Shibata, 2008; Maeda et al., 2011a)

Escala de respuesta subjetiva a la VMB	
Aceleración RMS Ponderada a_{hw} (m/s^2)	Reacción al Confort
$a_{hw} < 0.747$	No incómoda
$0.747 \leq a_{hw} < 1.73$	Un poco incómoda
$1.73 \leq a_{hw} < 3.06$	Bastante incómoda
$3.06 < a_{hw} < 6.59$	Incómoda
$a_{hw} \geq 6.59$	Muy incómoda

En un estudio posterior, estos mismos autores validan la escala propuesta. Maeda et al. (Maeda et al., 2011b) afirman, al contrario que Zimprich et al. (Zimprich et al., 2021), que, a partir de este experimento, queda claro que la curva de ponderación de frecuencia de la norma actual, UNE-EN ISO 5349-1:2001, es adecuada para evaluar la comodidad de las vibraciones transmitidas a mano.

Por el contrario, para la VCE, la Norma UNE-EN-ISO 2631-1 y la UNE-ISO 2631-1:2008/Amd.1:2013 (ISO, 2008c) estudian el efecto de las vibraciones sobre el confort y la percepción de cuerpo entero, y la NTP (INSST, 2007b) lo hace sobre la percepción y mareo producido por el movimiento. La relación lineal entre la aceleración ponderada recibida y la reacción al confort se puede ver en la Tabla 2.13.

Tabla 2. 13: Relación entre el confort y la aceleración cuerpo entero. UNE-ISO 2631-1

Escala de respuesta subjetiva a la VEC	
Aceleración Ponderada (m/s^2)	Reacción al Confort
< 0.315	Aceptable
0.315 - 0.63	Ligera Molestia
0.5 - 1.00	Poco incómodo
0.8 - 1.6	Incómodo
1.25 - 2.5	Muy incómodo
≥ 2.00	Extremadamente incómodo

También se han realizado estudios sobre la evaluación de la incomodidad por VEC. En el realizado por Deprez et al. (Deprez et al., 2005) se estudia el efecto que la VCE tiene sobre los conductores en función del tipo de suspensión de la cabina hidroneumática en vehículos de uso agrícola.

Efectos subjetivos de la exposición al ruido y la VMB simultáneamente

Como se ha comprobado en el apartado anterior, hay poca literatura que se ocupe de los efectos sobre el confort provocado por el ruido y la VMB. Aún hay menos investigaciones que se centran en la incomodidad bajo la exposición a ruido y vibración. Una de ellas es la de Huang y Griffin (Huang & Griffin, 2014) que analiza la VCE sobre 24 sujetos sanos en ensayo de laboratorio que informaron sobre la incomodidad causada por siete niveles de ruido (70-88 dBA), 7 magnitudes de vibración (0,146-2,318 ms) y las 49 combinaciones posibles de estos estímulos de ruido y vibración. La vibración no influyó significativamente en los juicios de incomodidad por ruido, pero el ruido redujo la incomodidad por vibración en una cantidad que aumentó con el aumento del nivel de ruido, es decir, existe un “*efecto de enmascaramiento*” del ruido en los juicios de incomodidad por vibración.

Casi es nula la investigación sobre la evaluación ergonómica, o desde el punto de vista del confort, en las que se valore el ruido y la VMB de forma simultánea. En el estudio de Cecchini et al. (Cecchini et al., 2022), realizado con trabajadores forestales sobre los que hacen una evaluación ergonómica mediante el método REBA y se valora la influencia sobre la comodidad del trabajador expuesto a VMB y ruido, llegan a la conclusión de que ningún método es idóneo para estos trabajos y sería deseable un índice específico que tenga en cuenta las posturas y los equipos de trabajo. En este mismo sector, el forestal, Schettino et al. (Schettino et al., 2021) evalúan ergonómicamente a trabajadores forestales, en este caso, expuestos a la combinación de factores, además del ruido excesivo y la VMB, como son los ambientales, la irregularidad de los terrenos, el levantamiento y manejo de cargas por encima de los límites tolerables y la sobrecarga térmica. Estos autores manifiestan que las condiciones de trabajo

del aprovechamiento forestal suponen riesgos ergonómicos y para la salud de los trabajadores forestal y que éstas son muy preocupantes.

Discusión de la valoración ergonómica de la exposición a ruido y vibración. Confort

La valoración ergonómica, desde el punto de vista del confort, de la exposición a ruido y VMB tiene poco recorrido en la literatura científica. Si las dosis de ruido y vibración están limitadas a valores normativos, no ocurre igual con los aspectos subjetivos que recibe el trabajador.

Desde el punto de vista del ruido, la valoración del confort establecida en la NTP-503 sólo es aplicable a los lugares de trabajo interiores, que no es el usual cuando se trabaja en los sectores como los que son objeto de este trabajo de investigación.

Respecto a las vibraciones, la escala de confort, establecida en la norma UNE-ISO-2631-1 (ISO, 2008c), relaciona el confort y la VCE. Por el contrario, no define escala de confortabilidad para las VMB.

La literatura científica relaciona el confort y la VMB a través de la fuerza que ejerce la mano del trabajador al asir la herramienta estableciendo que a mayor fuerza más incomodidad. También se ha ligado a las frecuencias, es decir, a mayor grado de malestar en frecuencias elevadas (2000Hz) aumenta la incomodidad en el trabajador. No se ha hecho relacionándola al tiempo de exposición, lo que va intrínsecamente ligado con la dosis, sin llegar a establecer una correspondencia ente dosis e incomodidad. En este aspecto, sólo se ha encontrado el trabajo de Maeda et al. (Maeda & Shibata, 2008; Maeda et al., 2011a) que propone una escala subjetiva, utilizando el Método de juicio de valor “The category judgment method”. La escala propuesta por Maeda et al. se hace a partir del estudio de la vibración realizado sobre un número limitado de sujetos sanos (6 hombres y 6 mujeres). Para su validación por género, edad, raza, etc., se necesitan más investigaciones que examinen efectos multieje de VMB sobre una muestra suficiente de sujetos. Llegados a este punto, se considera que se necesitan más investigaciones que avalen, o mejoren la escala propuesta por Maeda et al. ara evaluar el grado de incomodidad.

3- ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS AGENTES FÍSICOS

Este capítulo se estructura en cuatro puntos en el que se describen todas las herramientas necesarias para la definición de la metodología de evaluación propuesta en el Capítulo 4.

Por un lado, se hace un análisis de la normativa de ruido y VMB en el trabajo, comparándose los valores de exposición en las normas americanas y europeas, identificando los valores límites de exposición definidos, dando así respuesta al **Objetivo Específico 3**.

En el apartado 3.3 se describen los equipos para la adquisición de datos utilizados, así como software de análisis y el procedimiento de cálculo del nivel de exposición, tanto para ruido como VMB.

Para concluir el capítulo, se define el código de ensayo para las herramientas que serán utilizadas en el caso de estudio recogido en el Capítulo 5. Para ello se realiza un estudio de las normas UNE-ISO relacionadas, tras lo que se propone un procedimiento de ensayo que es validado en dos máquinas con distinta fuente de energía. Con todo ellos se alcanza el **Objetivo Específico 4**.

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

3.1 INTRODUCCIÓN

La evolución de la normativa sobre seguridad y salud en el trabajo persigue la prevención de las lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo, y de la protección y la promoción de la salud de los trabajadores. Todo ello debe redundar en calidad de vida e, indirectamente, en la mejora del rendimiento en el trabajo, ya que las enfermedades profesionales tienen un impacto negativo durante la vida laboral y la jubilación de los trabajadores, sin olvidar el costo social para las empresas y para los Estados (Dura et al., 2018).

La UE ha desarrollado un importante marco normativo para promover políticas que protejan la seguridad y salud de la población trabajadora y, por un lado, reducir los costos relacionados con enfermedades y accidentes laborales. En 1989 el Parlamento Europeo aprueba la Directiva Marco 89/391/CEE sobre salud y seguridad en el trabajo (European Parliament, 1989), con el fin de garantizar unos requisitos mínimos en materia de salud y seguridad en toda Europa y, al mismo tiempo, permite a los Estados miembros mantener esos mínimos o establecer medidas más restrictivas. La Directiva promueve que todos los trabajadores de la UE tengan un mínimo nivel de protección cuando están realizando su trabajo, incorporando un nuevo enfoque que prima la eliminación del riesgo en origen frente a la protección. Para ello asigna un papel muy importante a los empleadores y a la necesidad fundamental de realizar la evaluación de los riesgos presentes en el trabajo.

Cada país realiza su la trasposición de la Directiva Marco a su corpus legislativo nacional en los años sucesivos y con distintas características (Martínez-Aires et al., 2010), en España se realiza en el año 1995 mediante la Ley 31/1995, de 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales (Ministerio de Trabajo y asuntos Sociales, 1995).

3.2 LEGISLACIÓN INTERNACIONAL Y NACIONAL SOBRE LOS AGENTES FÍSICOS

3.2.1 NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE RUIDO EN EL TRABAJO

En general, la normativa actual de ámbito internacional tiene como objetivo reducir el riesgo de pérdida auditiva producida por el ruido ocupacional. Existen diferentes organismos que regulan dicho aspecto, destacando la EU-OSHA en la UE y en Estados Unidos (EE. UU.) la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) y National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Hay que aclarar que NIOSH, a diferencia de OSHA, no es entidad reguladora.

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) que, aunque no se trata de un organismo regulador, es el organismo de las Naciones Unidas que está especializado en gestionar políticas de prevención y promoción de la salud en todo el mundo.

En EE. UU. La OSHA define el *Nivel de exposición permisible* (Permissible Exposure Limit, PEL) como 90 dB (A) durante 8 h. El PEL se ajusta para duraciones de exposición inferiores o superiores a 8 h utilizando una tasa de cambio de 5 dB (A). Esta tasa se basa en la energía recibida por el trabajador, obligando a que cada aumento de 5 dB (A) reduzca a la mitad el tiempo de exposición permitido. Además, OSHA limita el nivel máximo de presión sonora de la exposición al ruido a 140 dB(C), independientemente de la duración de la exposición. Además, define las siguientes obligaciones para el empleador:

- *Deber de establecer un programa de conservación de la audición cuando el nivel de exposición llega a los ≥ 85 dB(A).*
- *Necesidad de hacer Evaluaciones audiométricas anuales.*
- *Programar cursos de formación de empleados sobre riesgos por la exposición excesiva al ruido.*

En el mismo sentido, la NIOSH como responsable de proporcionar recomendaciones para promover la seguridad y salud en el trabajo, define las pautas aconsejables cuando existe exposición peligrosa al ruido ocupacional. NIOSH define los límites de exposición recomendados, que son ligeramente más estrictos que los regulados por OSHA. NIOSH fija el Nivel de exposición recomendable (Recommended exposure limits, REL) en 85 dB (A) durante 8 h y utiliza una tasa de cambio de 3 dB (A), recomendado el nivel máximo de presión sonora de la exposición al ruido en 140 dB(C). NIOSH estima que, aproximadamente, uno de cada cuatro trabajadores expuestos a 90 dB(A) (límite permisible por OSHA) durante una vida laboral de 40 años, sufrirá pérdida de audición, en cambio, el límite de 85 dB(A) disminuirá ese valor a sólo uno de cada doce trabajadores expuestos.

Por otro lado, en la UE, la Directiva 2003/10/EC (European Parliament, 2003) establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido) (decimoséptima Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva Marco 89/391/CEE (European Parliament, 1989). En ella se definen los parámetros de Presión acústica de pico L_{pico} , Nivel de exposición diaria al ruido $L_{ex,8h}$ dB(A) y Nivel de exposición semanal al ruido $L_{ex,8h}$ dB(A). Estos mismos parámetros son recogidos en la norma internacional ISO 1999/2013 para la estimación del riesgo auditivo (ISO, 2013b).

La Directiva establece los siguientes niveles distintos:

- a) Valor límite máximo de exposición: no se puede superar bajo ningún concepto, $L_{Aeq,d} = 87$ dB(A) y valor de pico $L_{pico} = 200$ Pa, o lo que es lo mismo $L_{pico} = 140$ dB(C).

- b) Valor de nivel inferior que da lugar a una acción: si $L_{Aeq,d}$ (denominado nivel de exposición al ruido diario $L_{EX,8h}$) alcanza los 80 dB (A) o un valor de presión máxima de 135 dB(C) o 112 Pa.
- c) Valor de nivel superior que da lugar a una acción: si $L_{Aeq,d}$ 85 dB (A) o un valor de presión máxima de 137 dB (C) o 140 Pa.

Como resumen de los valores regulados por las distintas normativas comentadas, se aporta la Tabla 3.1 basada en la investigación de Sheppard et al. (Sheppard et al., 2020b), además se recogen las medidas para la conservación de la audición que definen.

Tabla 3. 1: Regulaciones y recomendaciones de la UE y EE. UU. Fuente: adaptado y completado (Sheppard et al., 2020)

Organismo regulador	Reglamentación/Niveles de referencia	Conservación de la audición
EE. UU.- OSHA	Nivel de exposición permisible (PEL): 90 dB(A) para 8 h; con una tasa de cambio de 5-dB(A) Nivel límite de pico $L_{pico} = 140$ dB(C)	Programa de conservación de la audición con ruido ≥ 85 dB(A): <ul style="list-style-type: none"> • evaluación audiométrica anual • formación de los empleados en materia de riesgos • los empleados deben usar protectores auditivos
EE. UU.- NIOSH	Nivel de exposición recomendable (REL): 85dB(A) para 8 h; con una tasa de cambio de 3-dB(A) Nivel límite de pico $L_{pico} = 140$ dB(C)	Programa de conservación de la audición con ruido ≥ 85 dB(A): <ul style="list-style-type: none"> • evaluación de la exposición al ruido • monitorización audiométrica • controles de ingeniería y organización • los empleados con capacitación anual deben usar protectores auditivos
Unión Europea EU-OSHA	Directiva 2003/10/CE Establece dos niveles que dan lugar: -Nivel de exposición diaria inferior: $L_{EX,8h}$: 80 dB(A). Nivel de pico inferior $L_{pico} = 135$ dB(C) -Nivel de exposición diaria superior: $L_{EX,8h}$: 85 dB(A) Nivel de pico superior $L_{pico} = 137$ dB(C) Niveles límite de exposición máximo diario: $L_{EX,8h} = 87$ dB(A). Nivel límite de pico máximo $L_{pico} = 140$ dB(C)	Conservación de la audición en el nivel de acción inferior: <ul style="list-style-type: none"> • monitoreo auditivo anual proporcionado • protectores auditivos disponible Conservación auditiva adicional en el nivel de acción superior: <ul style="list-style-type: none"> • reducir activamente los niveles de ruido a través de controles o prácticas organizacionales (tiempos de exposición reducidos)

La mayor parte de los países han mantenido los valores definidos en la Directiva europea, como es el caso de España, pero algunos países europeos han adoptado medidas más restrictivas, como por ejemplo Alemania, Suecia y Polonia.

3.2.2 NORMATIVA EN ESPAÑA SOBRE RUIDO EN EL TRABAJO

Tal como se ha comentado, España realiza la transposición de la Directiva Europea 2003/10/CE, (European Parliament, 2003) mediante el Real Decreto 286/2006 sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido (Ministerio de la Presidencia, 2006b), derogando hasta entonces vigente Real Decreto 1316/1989. Esta nueva normativa supuso una mejora en la protección de los trabajadores frente a la exposición a ruido, estableciendo valores de exposición inferiores y definiendo las acciones establecidas en la Directiva europea tanto para los VEA como para los valores límites:

- Valores inferiores que dan lugar a una acción: $80 \text{ dB(A)} \leq L_{Aeq,8h} \leq 85 \text{ dB(A)}$
ó $135 \text{ dB(C)} \leq L_{Pico} \leq 137 \text{ dB(C)}$
- Valores superiores que dan lugar a una acción: $85 \text{ dB(A)} \leq L_{Aeq,8h} \leq 87 \text{ dB(A)}$
ó $137 \text{ dB(C)} \leq L_{Pico} \leq 140 \text{ dB(C)}$
- Valores límite:
 $L_{Aeq,8h} = 87 \text{ dB(A)}$
 $L_{Pico} = 140 \text{ dB(C)}$

3.2.3 NORMATIVA INTERNACIONAL SOBRE VIBRACIONES MECÁNICAS MANO BRAZO

La normativa internacional para la prevención de los efectos sobre la salud de la exposición es de vibración son más recientes que las del ruido Europa se promulga la Directiva 2002/44/CE (European Parliament, 2002) sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones), decimosexta Directiva específica dentro del marco definido por la Directiva 89/391/CEE. En ella se definen las medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores expuestos a vibraciones en el trabajo, tanto VCE como VMB.

La Directiva 2002/44/CE marca como magnitud medida de la vibración el valor total de la aceleración ponderada en frecuencia, a_{hv} , que equivale a la raíz cuadrada de la aceleración ponderada en frecuencia de las tres direcciones ortogonales x y z (Ecuación 3.1).

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (3.1)$$

Define dos niveles para a_{hv} :

1. VEL, que no se puede superar bajo ningún concepto $a_{hv} = 5m/s^2$
2. VEA se fija en $a_{hv} = 2.5m/s^2$

Por otro lado, la Dosis diaria (8h) de vibración equivalente, $a_{hv,eq}$ queda definida por la Ecuación (3.2):

$$a_{hv,eq} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{hwi}^2 \times t_i} \quad (3.2)$$

Donde,

t_i El tiempo de duración de la operación i

a_{hwi} es la magnitud vector suma de las vibraciones de la operación i

T es el tiempo de la duración total diaria de la exposición a las vibraciones = 8h= 28.800seg

Aunque el valor de la exposición sea inferior al VEALA, se exige que se garantice la reducción al mínimo de los riesgos de las VMB. Para ellos establece las acciones cuando se alcancen dichos valores:

- Obtener medida de la vibración mediante con información del fabricante o medición.
- Realizar una evaluación del riesgo.
- Se obliga al empleador a controles de salud de los trabajadores.
- En función del riesgo el empleador deberá determinar las medidas que deban adoptarse, bien sean técnicas, organizativas de protección o de formación de los trabajadores.

Por otro lado, y aunque no se trata de un organismo gubernamental, se valora como referente las directrices que publica la conferencia de higienistas (ACGIH) (Governmental Industrial Hygienists,2022) donde se establecen protocolos de actuación para la protección de los trabajadores. La Tabla 3.2. recoge los tiempos de utilización máximas para alcanzar el VEA y el VEL, límites que son iguales a los que define la Directiva.

Tabla 3. 2: Límites de horas de utilización de maquinaria en función de la aceleración recibida. Fuente: (Governmental Industrial Hygienists, 2022)

Tiempo de exposición a vibración en horas para calcular el valor de aceleración	Aceleración a_{hv} en ms^2 para alcanzar los VEL durante el tiempo de exposición	Aceleración a_{hv} en ms^2 para alcanzar los VEA durante el tiempo de exposición
0.25	28.28	14.14
1	14.14	7.07
2	10.0	5.0
4	7.07	3.54
6	5.77	5.89
8	5	2.5

A diferencia de ANSI y ACGIH, NIOSH define estándar específico para medición y cálculo de las dosis de vibración diaria de VMB, pero no proporciona un límite de exposición recomendado (NIOSH, 1998b), ya que considera que los datos de exposición-respuesta para SVMB son insuficientes para establecer una recomendación que proteja a los trabajadores. Por esta razón, NIOSH indica que el enfoque para controlar SVMB debe ser a través de:

- Atención médica temprana para reconocer los primeros signos y síntomas del desarrollo de SVMB, y baja médica cuando presenta los primeros síntomas.
- Controles de ingeniería para minimizar el nivel de vibración producido por las herramientas.
- Establecimiento de un régimen de trabajo para reducir la exposición a un mínimo factible
- Diseño ergonómico de herramientas y lugares de trabajo.
- Capacitación de trabajadores para reconocer e informar signos tempranos de SVMB, y supervisión para garantizar la optimización al mantenimiento y uso de herramientas.

Hay que desatacar los estándares internacionales UNE-EN ISO 5349 sobre vibraciones mecánicas. Su primera parte versa sobre la medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano (ISO, 2001) y la segunda parte proporciona una guía práctica para la medición en el lugar de trabajo (ISO, 2002).

Por último, el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares tiene publicado el ANSI S2.70 (ANSI, 2016) que especifica el procedimiento de medición de VMB.

3.2.4 NORMATIVA EN ESPAÑA SOBRE VIBRACIONES

La transposición de la Directiva 2002/44/CE al ordenamiento jurídico español se lleva a cabo mediante el Real Decreto 1311/2005 de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud

y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas (Ministerio de la presidencia, 2005). En 2009 es modificado parcialmente por Real Decreto 330/2009 (Ministerio de la Presidencia, 2009).

Además, el INSST ha redactado la “Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas” (INSST, 2007a), documento que proporciona criterios y recomendaciones que pueden facilitar la interpretación y aplicación del Real Decreto 1311/2005. Por último, más recientemente se ha publicado una guía de buenas prácticas para la aplicación de la Directiva 2002/44/CE (Dirección General de Empleo, Asuntos Sociales e Inclusión, 2007).

3.2.5 NORMATIVA PARA FABRICANTES DE MAQUINARIA

La Directiva 2006/42/CE (European Parliament, 2006) establece que los fabricantes deben producir máquinas seguras, que eliminen en la medida de lo posible los riesgos, mediante diseño, protecciones y que declaren los riesgos que no se puedan evitar. Por ello establece:

1.5.8 Ruido: “La máquina se debe diseñar y fabricar de manera que los riesgos que resulten de la emisión del ruido aéreo producido se reduzcan al nivel más bajo posible, teniendo en cuenta el progreso técnico y la disponibilidad de medios de reducción del ruido, especialmente en su fuente.

El nivel de ruido emitido podrá evaluarse tomando como referencia los datos de emisión comparativos de máquinas similares”

1.5.9 Vibraciones: “La máquina se debe diseñar y fabricar de manera que los riesgos que resulten de las vibraciones que ella produzca se reduzcan al nivel más bajo posible, teniendo en cuenta el progreso técnico y la disponibilidad de medios de reducción de las vibraciones, especialmente en su fuente. El nivel de vibraciones producidas podrá evaluarse tomando como referencia los datos de emisión comparativos de máquinas similares.”

El fabricante para prevenir los riesgos debidos a la emisión de ruido y de vibraciones deberá tener en cuenta los principios integración de la seguridad siguientes:

1. Deberá diseñar y fabricar las máquinas de forma que reduzcan las emisiones de ruido y de vibraciones en su fuente
2. Integrará las medidas de protección adoptando medidas de aislamiento para impedir la emisión de ruido y la transmisión de vibraciones.
3. Además, deberá aportar un informe sobre la emisión de ruido y de vibraciones residuales para que pueda adoptar las medidas de protección necesarias, como medidas

relativas al tiempo máximo de uso, medidas relativas a la instalación de la máquina o la impartición de formación adecuada.

La evaluación del nivel de exposición a ruido y vibraciones se puede efectuar mediante una estimación basada en las informaciones relativas al nivel de emisión de los equipos de trabajo utilizado que deben ser proporcionadas por los fabricantes.

En el caso del ruido, la declaración del fabricante debe incluir en la información de la máquina sobre emisiones, definiendo en qué condiciones se realiza el ensayo para obtener los valores declarados respecto al ruido y los valores siguientes:

- *El nivel de presión acústica de emisión ponderado A en los puestos de trabajo, cuando supere 70 dB(A); si este nivel fuera inferior o igual a 70 dB(A), deberá mencionarse,*
- *El valor máximo de la presión acústica instantánea ponderado C en los puestos de trabajo, cuando supere 63 Pa (130 dB con relación a 20 μ Pa),*
- *El nivel de potencia acústica ponderado A emitido por la máquina, si el nivel de presión acústica de emisión ponderado A supera, en los puestos de trabajo, 80 dB(A).*

En el caso de VMB, el manual de instrucciones incluirá los datos de emisión de las máquinas portátiles y las máquinas guiadas a mano. Se deben medir utilizando el código de medición que mejor se adapte a la máquina y deberán describirse las condiciones de funcionamiento de la máquina durante la medición, así como los métodos utilizados para esta, o la referencia a la norma armonizada aplicada. Se indicará lo siguiente sobre las vibraciones:

- *El valor total de la vibración a la que esté expuesto el sistema mano-brazo, cuando exceda de 2,5 m/s². Cuando este valor no exceda de 2,5 m/s², se deberá mencionar este particular*
- *La incertidumbre de la medición*

Sin embargo, estos valores no siempre son claramente declarados y mostrados por el fabricante, como se recoge en el estudio de López-Alonso et al. (López-Alonso et al., 2016), lo que dificulta que los responsables de la seguridad tomen las medidas adecuadas para proteger a los trabajadores.

En el caso del tipo de maquinaria guiada manual que se va a evaluar, las condiciones de medición de ruido emitido por la maquinaria se realizarán según norma ISO 11201:2010 (ISO, 2010a) y UNE EN ISO 3744 (ISO, 2010b) con las que se determina el nivel de potencia acústica ponderada-A en un hemisferio alrededor de la máquina. Para vibración se aplicará la norma ISO-20643:2008 (ISO, 2008b).

3.3 EQUIPO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS. SOFTWARE DE ANÁLISIS DE DATOS. CÁLCULO DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN

3.3.1 EL SONÓMETRO

El equipo utilizado para las mediciones de ruido emitido por la maquinaria y que recibe el trabajador, ha sido el analizador SQquadriga II (Figura 3.1). Es un sistema de grabación y reproducción de 24 bits, mediante grabaciones binaurales con frecuencia de muestreo de 48KHz. Los datos son almacenados y posteriormente se descargan a través de un cable USB. Las principales características técnicas del SQquadriga se muestran en la Tabla 3.3.



Figura 3. 1: Amplificador grabador de sonido SQquadriga II

Tabla 3. 3: Características del sistema de grabación SQquadriga

Características	Sistema de grabación SQquadriga II
Modos de funcionamiento	modo autónomo modo front-end (a través de USB)
Grabación, análisis y reproducción	Formato de grabación: 16 o 24 bits Tasas de muestreo: 8; dieciséis; 32; 44,1; 48; 51,2; 64; 88,2; 96kHz Disparos de grabación (disparos de inicio/parada de señales A/D, pulsos, señales CAN o FlexRay, etc.) Tarjeta de memoria SD extraíble
Configuración	Configuración virtual de SQquadriga a través del Simulador SQquadriga
Frecuencias de muestreo (digitales)	32; 44.1; 48; 51.2; 64; 88.2; 96 kHz (different sampling rates adjustable: each with ½ and ¼ of fS)
AES interno o externo:	48 kHz
HEADlink: ADAT externo (opcional):	48 kHz

La recepción se realiza con cascos BHS II calibrados, capaces de realizar grabaciones y reproducciones binaurales al disponer de unos micrófonos incorporados a los auriculares (Figura 3.2). Constan de un sensor automático integrado de los extremos frontales portátiles, lo que garantiza una reproducción ecualizada con el nivel correcto, ya que cuando se conecta a la entrada de auriculares de SQuadriga II se configuran y ecualizan automáticamente. Las características de los auriculares se aportan en la Tabla 3.4.



Figura 3. 2: Auriculares SQuadriga Headset BHS.

Tabla 3. 4: Características de los sistemas de grabación BHS

Características Headset BHS.	
Conexión a SQuadriga II	Grabación y reproducción binaural de eventos de sonido Conexión directa a través de la entrada de auriculares a Squadriga II Configuración y ecualización del BHS II cuando se conecta a las entradas de auriculares de SQuadriga II y SQobold (plug & play)
Conexión a los extremos frontales con el apoyo de la acústica HEAD	Configuración y ecualización del BHS II a través de SQuadriga II, SQobold el software HEAD Recorder Frontales soportados por acústica HEAD: HEADlab (labV6, labV12 a través de CDB II.1, labM6 a través de CBL X.01); Squadriga II
Ecualización	El filtro de ecualización con SQuadriga II, y el software Grabador HEAD. Opciones de ecualización de reproducción: ID, FF, DF, USER, LIN (sin ecualización)
Grabación	Nivel de ruido equivalente: típ. 27dB(A) Respuesta de frecuencia: 20 Hz a 20 kHz Suministro de micrófono (ICP): 2 mA a 10 mA Nivel máximo de presión sonora: 130 dBSPL (THD ≤1%)

Las señales de sonido almacenadas se han tratado con el software Artemis, con el que se han analizado las mediciones de sonido, importando los datos almacenados directamente desde el SQuadriga II y otros datos como: Transformada de Fourier VS, Tiempo/Media/RPM, Niveles vs. tiempo, Análisis de la composición en frecuencia de la señal (bandas de tercio de octava) y Aplicación de ponderaciones. Las características del software Artemis se aporta en la Tabla 3.5, resaltando que además del análisis de las señales permite obtener índices psicoacústicos.

Tabla 3. 5: Características del software Artemis

Artemis características	
Análisis	Análisis FFT vs. Tiempo / promedio / vs. RPM Nivel vs. Tiempo / vs. RPM Sonoridad frente a tiempo / frente a RPM Espectro de 3ra Octava (FFT) Ordenar Espectro vs. RPM Nivel(es) de pedido frente a RPM Nitidez frente a tiempo / frente a RPM
Herramientas adicionales	Superposición de esquemas de tolerancia Visualización de resultados de un solo valor en tabla con un clic de un botón Ponderación A de los resultados del análisis para canales de sonido aéreo Reproducción Reproducción del archivo HDF seleccionado a través del reproductor

La instrumentación utilizada cumple la norma electroacústica de sonómetros UNE-EN-61672-2013 (ISO, 2013a).

3.3.2 CÁLCULO DEL VALOR DE EXPOSICIÓN AL RUIDO

La evaluación del nivel de exposición al ruido se basa en la Directiva 2003/10/CE (European Parliament, 2003) y en la norma ISO-1999:2013 (ISO, 2013b).

La exposición al ruido se establece para todas las actividades que se realizan a lo largo de una jornada laboral, a partir del nivel de ruido y el tiempo de cada actividad. Se calcula a partir de la presión sonora recibida por el trabajador durante una jornada (8h), independientemente de lo que dure la actividad, es lo que se denomina Nivel de ruido equivalente ponderado. El nivel continuo equivalente ponderado, $L_{Aeq,T}$, se obtiene a partir de la Ecuación (3.3).

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} PA^2(t) dt}{P_0^2} \right] dB(A) \quad (3.3)$$

Donde PA es la presión acústica ponderada y P_0 es el valor de presión de referencia que corresponde según la normativa con ($20\mu\text{Pa}$) durante un intervalo de tiempo especificado de duración T , donde $T = t_2 - t_1$ es el tiempo de exposición del trabajador al ruido. Para el cálculo de la dosis es necesario obtener el Nivel de exposición diaria, $L_{Aeq,d}$, para una jornada laboral de 8 horas, tal como muestra la Ecuación (3.4):

$$L_{Aeq,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \left[\frac{T}{T_0} \right] \text{ dB(A)} \quad (3.4)$$

Donde ($L_{Aeq,T}$) se obtiene de la Ecuación (3.3), T es la duración real del tiempo y T_0 es la duración del tiempo de referencia de la jornada laboral ($T_0=8\text{h}$). $L_{Aeq,d}$ es el parámetro utilizado como predictor de riesgo, depende del tiempo y los niveles de exposición al ruido durante una jornada laboral nominal de 8 h. Los parámetros VEL y VEA definidos en la Directiva 2003/10/CE. (European Parliament, 2003) (ver apartado 3.2.1), se fijan con respecto al $L_{Aeq,d}$.

3.3.3 MEDIDOR DE VIBRACIONES

El equipo elegido para medir las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo ha sido el acelerómetro triaxial SV 106 de Svantek (ver Figura 3.3 y 3.4). Se trata de un medidor y analizador de vibraciones humanas de seis canales cumple con los requisitos de la norma ISO 8041-1:2017 (ISO, 2017). Permite realizar las mediciones de acuerdo con las normas sobre vibraciones mecánicas para VCE, ISO 2631 (ISO, 2008c), y VMB, ISO 5349 (ISO 2001; ISO 2002), así como con la Directiva 2002/44/EC (European Parliament, 2002). Las principales especificaciones técnicas del acelerómetro utilizado se reflejan en la Tabla 3.6.

Tabla 3. 6: Características de acelerómetro SV 106

Estándares	ISO 8041-1:2017; ISO 2631-1:2008; ISO 2631-2:2003; ISO 2631-5:2004; ISO 5349-1:2001; ISO 5349-2:2002
Modo medidor	ahw (RMS Mano-Brazo), ahv (Vector Hand-Arm), aw (RMS Cuerpo Entero), awmax (RMS MAX Cuerpo Entero), VDV, MaxVDV, awv (Vector De Cuerpo Entero), A(8) Exposición diaria, ELV Time (Tiempo que queda para limitar), VEA Time (tiempo que queda para la acción) MTVV, Max, Peak, Peak-Peak
Detectores	Detectores digitales Verdadero RMS y RMQ con detección de picos, resolución 0,1 dB
Rango de medición	Dependiente del transductor: 0.01 m/s ² RMS ÷ 50 m/s ² Pico (con SV 38V y filtro Wd) 0.1 m/s ² RMS ÷ 2000 m/s ² Pico (con SV 105 y filtro Wh)
Rango de frecuencia	0.1 Hz ÷ 2 kHz (Dependiente del transductor)
Analizador	Análisis en tiempo real de 1/1 octava de 6 canales con frecuencias centrales de 0,5 Hz a 2000 Hz Análisis en tiempo real de 1/3 de octava de 6 canales con frecuencias centrales de 0,4 Hz a 2500 Hz
Entrada	2 x LEMO 5 pines: seis canales tipo Directo o IEPE y 2 canales para transductores de fuerza
Condiciones ambientales	Temperatura desde -10 °C a 50 °C (14 °F a 122 °F) Humedad Hasta 90 % HR, No condensada

Las aceleraciones se midieron tanto para la mano derecha como para la izquierda. El acelerómetro SV 105 MEMS de VMB triaxial (Figura 3.3), se colocó en la mano del trabajador, tal como muestra la Figura 3.4, en el centro de la zona de agarre del mango de la máquina, ya que es donde se realiza la evaluación más representativa de las vibraciones transmitidas a la mano.



Figura 3. 3: Acelerómetro SV 105



Figura 3. 4: SV 105 Acelerómetro MEMS de VMB triaxial

Figura 3. 5: Analizador de sonido y vibraciones de seis canales SVAN 106

La Figura 3.5 muestra el Analizador de sonido y vibraciones de seis canales SVAN 106.

Para cumplir los requisitos de la normativa se graba la señal de dominio sin procesar en formato WAV y, posteriormente, se calcula la dosis a partir de la señal en el dominio del tiempo. Los resultados RMS, Peak, Peak-Peak, VDV, MTVV o de dosis como A(8) y Vector con todos los filtros de ponderación necesarios para las mediciones de vibraciones humanas se almacenan en una tarjeta microSD. Con el software Supervisor se han descargado los datos y analizados los datos. Las medidas en m/s^2 , son directamente comparables con los límites establecidos por la Directiva Europea 2002/44/CE.

Por otro lado, el análisis de la señal se realiza con la aplicación para PC SVAN PC++ y se aplica la ponderación en frecuencia W_h que establece la normativa y, además, es la que más se adapta a la probabilidad de daño sobre el sistema mano brazo.

Según el Anexo A de ISO 5349-1:2001 (ISO, 2001) “las medidas de a_{hv} requieren la aplicación de ponderación en frecuencia y de banda limitante. La ponderación en frecuencia W_h refleja la importancia asumida de las diferentes frecuencias que pueden causar daños a la mano. El intervalo de aplicación de los valores medidos para la predicción de los daños de las vibraciones está restringido al intervalo de frecuencia de trabajo cubierto por las bandas de octava que van desde 8Hz hasta 1000Hz (es decir el intervalo de frecuencias nominales desde 5.6Hz a 1400Hz). Los filtros de banda limitante de paso alto y paso bajo se restringen el efecto sobre el valor de la medida de las frecuencias de las vibraciones fuera de ese intervalo donde la dependencia de la frecuencia no está acordada todavía.” (ver Grafica 3.1).

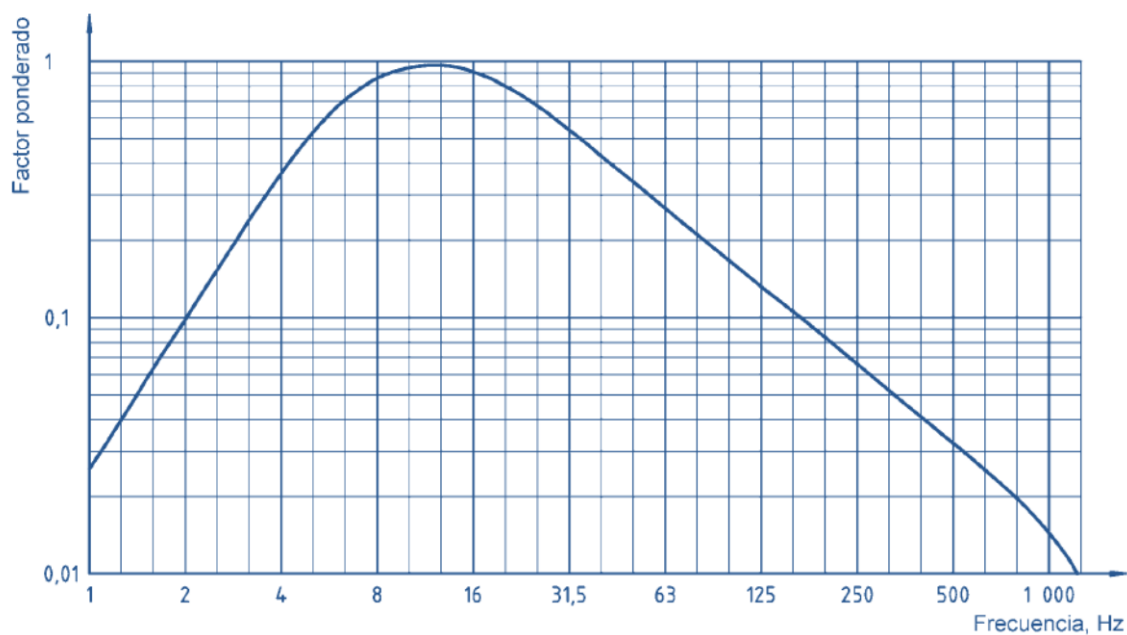


Gráfico 3. 1: Curva de ponderación en frecuencia W_h para las vibraciones transmitidas por la mano. Fuente: (ISO, 2002)

La ponderación en frecuencia W_h supone dar importancia a las frecuencias que pueden causar daño en las manos, obteniéndose los valores comparables con las dosis máximas establecidas en la norma y, por último, el intervalo de bandas de octava se restringe a las que van desde 8Hz hasta 1000Hz.

3.3.4 CÁLCULO DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN DE LAS VIBRACIONES

Para realizar la evaluación del nivel de exposición al VMB se realiza la medición en los tres ejes ortogonales según las normas ISO 5349-1:2001 (ISO, 2001) e ISO 5349-2:2002 (ISO, 2002), en las que se especifican los requisitos generales para la medida e información de la exposición a las vibraciones transmitidas por la mano (Figura 3.6).



Figura 3. 6: Dirección de ejes definida en relación con la mano del cuerpo (sistema de referencia de la mano).

En primer lugar, se calcula el Valor total de la aceleración eficaz de las vibraciones ponderado en frecuencia, denominado a_{hv} , también conocido como vector suma o suma de aceleraciones ponderadas en frecuencia. Se obtiene mediante la Ecuación (3.5):

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (3.5)$$

Donde a_{hwx} , a_{hwy} a_{hwz} son los valores rms de la aceleración eficaz de las vibraciones transmitidas a la mano, ponderados en frecuencia y medidos en la superficie vibratoria en contacto con la mano en tres ejes ortogonales x, y, z, expresados en m/s^2 . En el caso de VMB, aunque la dependencia de la frecuencia de las respuestas a las vibraciones no tiene por qué ser la misma en todos los ejes, en la actualidad no se han definido distintas ponderaciones para los cada eje.

Una vez obtenido el valor de a_{hv} , se calcula la aceleración continua equivalente durante un período de ocho horas, denomina A(8), valor que se expresa como raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores eficaces de aceleración ponderada en frecuencia determinados según los ejes ortogonales x,y,z, ver Ecuación (3.6)

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T_{exp}}{T_0}} \quad (3.6)$$

Donde el término a_{hv} es la magnitud de la vibración de la fuente que la produce expresada en m/s^2 ; T_{exp} es la duración de la exposición a la vibración a_{hv} en segundos; T_0 es el período

de referencia, es decir, el periodo de exposición a las vibraciones en una jornada normal de 8 horas

Tras los apartados 3.2 y 3.3, ha quedado definido la metodología de medición, así como los valores de la exposición diaria VEL y VEA que se tendrán en cuenta, definidos para el ruido con respecto al $L_{Aeq,d}$ según la Directiva 2003/10/CE.(European Parliament, 2003) y, en el caso de VMB, respecto del **A(8)** de acuerdo con la Directiva 2002/44/CE (European Parliament, 2002). La Tabla 3.7 muestra los valores definidos en ambas directivas.

Tabla 3. 7.: Resumen de los valores límite diarios VEA y VEL definidos por las Directivas específicas

Directiva 2002/44/CE (European Parliament, 2002)		Directiva 2003/10/CE (European Parliament, 2003)		
Valores límite diarios	A(8)	Valores límite diarios	$L_{Aeq,d}$ [dBA]	L_{ppico} [dBC]
-----	-----	VEA inferior	80	135
VEA	2,5 m/s ²	VEA superior	85	137
VEL	5 m/s ²	VEL	87	140

3.4 DEFINICIÓN DEL CÓDIGO DE ENSAYO PARA RUIDO Y VIBRACIÓN MANO BRAZO

El método de ensayo para determinar la dosis de ruido y la de VMB y el tiempo de muestreo dependerá del tipo de máquina utilizada. Los estándares de medición definidos en las normas ISO, establecen diferentes tiempos mínimos total de señal, números de medidas, tiempos de duración de cada una de las mediciones y números de operadores. Por ello, es necesario realizar un análisis de las normas para poder de diseñar el código de ensayo que se debe utilizar, que deberá ser aplicable a todos los casos de estudio que se pretenden evaluar y, dado que se miden a la vez ruido y vibración en una jornada laboral, el número de muestras y el tiempo de duración deben ser aplicables a ambos agentes.

3.4.1 EVALUACIÓN DE RUIDO. CÓDIGO DE ENSAYO

En el Capítulo 5, en el que se aplica a un caso de estudio, concretamente del sector oleícola, la metodología desarrollada para la evaluación de exposición simultánea a ruido y VMB definida en el Capítulo 4, se identifican la maquinaria más utilizada tras la consulta a un panel de expertos (apartado 5.2.). Por ello, en este apartado se sistematiza el código de ensayo para la maquinaria que se utilizará en dicho caso de estudio.

La evaluación de ruido se lleva a cabo de acuerdo con la norma ISO 1999:2013 para estimación del ruido (ISO, 2013b), no obstante, sólo define que el tiempo de medición debe ser representativo de la dosis de ruido a la que está sometido el trabajador, sin definir el tiempo de medición,

De forma general, para la determinación de la exposición al ruido en el lugar de trabajo, será de aplicación la norma UNE EN ISO 9612:2009 (ISO, 2009), en la que establece el código de ensayo completo: posición de los sensores, duración y el número de las muestras. Otros estándares regulan algunas maquinarias en particular, como es el caso de UNE-EN- ISO 22868:2011 (ISO, 2011) para la evaluación de ruido de maquinaria portátil con motor de combustión (máquinas forestales). El código de ensayo que en ella se describe que obliga a realizar 4 mediciones que sumen un total de más de 20s, es decir, la suma del tiempo de duración de las 4 señales debe superar los 20s. Además, cada señal debe durar al menos 2s y no debe haber diferencias superiores a 2 dB en los valores de las señales obtenidas.

En el caso maquinaria con motor eléctrico, la UNE EN 60745-1:2007 (ISO, 2007) define los requisitos generales, pero remite a la norma UNE EN ISO 3744:2010 (ISO, 2010b) sobre determinación de los niveles de potencia acústica y de los niveles de energía acústica de fuentes de ruido utilizando presión acústica, en la que se mide el entorno acústico sobre una superficie de medición semiesférica cilíndrica. A esta misma norma remite la UNE-EN ISO 15744:2008 (ISO, 2008a) para las herramientas con motor no eléctrico. No obstante, dado que no se tiene en cuenta la distancia a la que se encuentra el operador de la máquina de

mano, no se aplicará en el caso que nos ocupa, pero sí para la declaración de ruido de los fabricantes.

Un resumen de la normativa de ruido que se ha analizado se aporta en la Tabla 3.8

Tabla 3. 8: Normativa de evaluación de ruido en trabajadores que utilizan herramientas que emiten ruido

TIPO DE MAQUINARIA A LA QUE SE APLICA	NORMA RUIDO	TÍTULO DE LA NORMATIVA	CÓDIGO DE ENSAYO	MUESTRAS
Cualquier tipo de maquinaria	ISO 1999:2013	Acústica: estimación de la pérdida auditiva inducida por el ruido	El tiempo de medición debe ser representativo de la dosis.	No definido
Cualquier tipo de maquinaria	ISO 9612:2009	Acústica. Determinación de la exposición al ruido en el trabajo. Método de ingeniería	La duración de las muestras debe proporcionar el nivel sonoro continuo equivalente ponderado A.	No definido
Maquinaria forestales portátiles asidas por la mano con motor de combustión	UNE-EN-ISO 22868:2011	Maquinaria forestal. Código de ensayo de ruido para maquinas portátiles con motor de combustión interna. Métodos de ingeniería (grado 2)	No especifica operador Necesita 4 mediciones que sumen mínimo 20s. cada señal debe durar al menos 2 s. No debe haber diferencias superiores a 2 dB	4 mediciones que sumen 20s. 4x5s=20s
Maquinarias manuales con motor eléctrico. Requisitos generales	UNE EN 60745:2007	Herramientas manuales eléctricas accionadas por motor eléctrico. Seguridad Parte 1: Requisitos generales	El nivel de potencia acústica debe medirse según la norma UNE EN ISO 3744. Se mide el entorno acústico sobre una superficie de medición semiesférica cilíndrica.	
Herramientas portátiles de accionamiento no eléctrico	UNE-EN ISO 15744:2008	Herramientas portátiles de accionamiento no eléctrico Código para medición del nivel de ruido Método de ingeniería (clase 2)	El nivel de potencia acústica debe medirse según la norma UNE EN ISO 3744. Se mide el entorno acústico sobre una superficie de medición semiesférica cilíndrica.	

3.4.2 EVALUACIÓN DE LAS VIBRACIONES. CÓDIGO DE ENSAYO

En el caso evaluación de la exposición humana a las vibraciones en los lugares de trabajo se utilizan los estándares ISO 5349-1:2001 e ISO 5349-2:2002 (ISO, 2001; ISO, 2002). En ellas se especifica las condiciones generales para evaluar la medición de las vibraciones transmitidas por la mano en los tres ejes ortogonales, definiendo la ponderación W_h para analizar la señal y obtener valores uniformes comparables de unas máquinas a otras. Los valores se estudian en el rango de frecuencias cubiertos por las bandas de octava de 8Hz a 1000Hz

En los casos de VMB se establece tiempo mínimo de medición 1 min en total a partir de tres muestras como mínimo con una duración mayor a 8s para cada muestra. Textualmente dice:

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

Para una evaluación real será necesario realizar mediciones y se realizará un registro según se establece en la norma ISO-5349-1:2001

1. Operario de la evaluación
2. Operaciones que causan las exposiciones a vibraciones
3. Las herramientas implicadas
4. El valor total de las vibraciones para cada operación
5. Duración diaria de cada operación

La UNE-EN ISO 20643:2008 (ISO, 2008b) sobre vibraciones mecánicas en maquinaria sujeta y guiada con la mano, concreta un poco más se la metodología de la evaluación con todo tipo de fuentes de energía (eléctrica, hidráulica, neumática, máquina de combustión interna, etc.). En el punto 8.5 descripción del operador, exige que el operador esté entrenado y sea capaz de utilizar de forma adecuada la herramienta. También indica que las medidas deben efectuarse con, al menos, tres operadores, aunque si se puede demostrar que las vibraciones no están afectadas por las características del operador, es aceptable desarrollar medidas con un único operador. A menos que sea especificado en el código de ensayo de las vibraciones según dicho punto, se deben desarrollar tres series de cinco ensayos consecutivos, utilizando un operador diferente para cada serie y el resultado de las medidas ah se obtiene, como la media aritmética de los valores totales de las vibraciones sobre todas las series y operador”

El problema que se plantea es que no especifica cómo se puede demostrar que las vibraciones no están afectadas por las características del operador. En el apartado 3.4.3 de este capítulo se realiza una medición y resultados previos para el cumplimiento del código de ensayo

Para la maquinaria que se utiliza en el caso de estudio, se puede aplicar la norma UNE-EN ISO 22867:2022 (ISO, 2012) sobre maquinaria de combustión interna (de uso forestal y de jardinería). En el punto 7 se define el número de ensayos mínimo:

“el valor de vibración está afectado por el operador, por lo que éste debe ser experimentado, la máquina no debe estar en contacto con el cuerpo. El ensayo debe consistir en un mínimo de cuatro mediciones, con pausa entre ellas con un cambio del régimen del motor (como mínimo del 20%)”

Como se observa, no especifica en ningún caso que el operador se distinto, sino que se deben hacer cuatro mediciones con un operador experimentado:

“El mínimo son 4 mediciones en cuatro periodos diferenciados de régimen de motor que sumen un total de 20seg, cada una de las vibraciones debe durar como mínimo 2s.”

Y por último, para maquinarias manuales eléctricas accionadas por la mano con motor eléctrico es de aplicación la norma UNE EN 60745:2006 (ISO, 2007), en la que se define que los ensayos se ha de realizar respetando la norma UNE EN ISO 5349-1:2001 (ISO, 2001), especifica textualmente:

“Deben efectuarse tres series de cinco ensayos consecutivos con un operador distinto para cada serie. Si se puede demostrar que la vibración no está afectada por las características del operador, se acepta realizar las 15 mediciones con un solo operador”

En la siguiente Tabla 3.9 aparecen una síntesis de la normativa aplicable a las herramientas asidas por las manos, para evaluar las vibraciones mecánicas en el sistema mano-brazo, junto con la definición del código de ensayo.

Tabla 3. 9: Normativa de evaluación de VMB con herramientas asidas por las manos

TIPO DE MAQUINARIA A LA QUE SE APLICA	NORMA VIBRACIÓN	TÍTULO DE LA NORMATIVA	CÓDIGO DE ENSAYO	MUESTRAS
Cualquier tipo de maquinaria que expone al operario a vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo.	UNE EN ISO 5349-1:2001	Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano Parte 1: Requisitos generales Parte 2: Guía práctica para la medición en el lugar de trabajo	El tiempo total de la medida (es decir, el número de muestras multiplicada por la duración de cada medida) debe ser, al menos de 1 min. De cada operación deben tomarse al menos tres muestras. 3 muestras que sumen 1 minuto de tiempo, luego cada muestra podría ser de 20 segundos mínimo. Se deben evitar medidas de menos de 8 segundos	3 muestras que sumen 60s 3x20s=60s
Maquinaria sujeta con la mano que transmita vibración al sistema mano-brazo, con alimentación eléctrica, de combustión e hidráulica y cualquier tipo de energía	ISO 20643:2005	Vibraciones mecánicas Maquinaria sujeta y guiada con la mano Principios para la evaluación de la emisión de las vibraciones	El operador debe tener experiencia en el uso de la herramienta. Las medidas deben efectuarse tres series de cinco ensayos, cada serie con un operador distinto. Tiempo mínimo de cada medida 8s Si se puede demostrar que las vibraciones no están afectadas por las características del operador, es aceptable desarrollar medidas con un único operador.	3 operarios y 5 ensayos para cada operario. 3 series de 5x 8s= 40s
Maquinaria forestales portátiles asidas por la mano con motor de combustión	UNE-EN-ISO 22867:2022	Maquinaria forestal y de jardinería. Código de ensayo de vibraciones para maquinas portátiles con motor de combustión interna. Vibraciones en la empuñadura	Se pide 1 operador con experiencia. Necesita 4 mediciones que sumen mínimo 20s. cada señal debe durar al menos 2 s.	4 mediciones que sumen 20s. 4x5s=20s
Maquinarias manuales eléctricas accionadas por la mano con motor eléctrico. Requisitos generales	UNE EN 60745:2007	Herramientas manuales eléctricas accionadas por motor eléctrico. Seguridad Parte 1: Requisitos generales	Deben efectuarse tres series de cinco ensayos consecutivos con un operador distinto para cada serie. Si se puede demostrar que la vibración no está afectada por las características del operador, se acepta realizar las 15 mediciones con un solo operador	3 operarios y 5 ensayos para cada operario. 3 series de 5x 8s= 40s

3.4.3 DEFINICIÓN DEL CÓDIGO DE ENSAYO

Tras analizar los códigos de ensayos especificado en las distintas normativas, se ha considerado que la medición debe durar el tiempo suficiente para garantizar una precisión estadística razonable y para que la vibración sea típica de la exposición que se evalúa, por lo que la duración total de la señal de vibración debe ser de al menos 1 minuto (ISO 5349-1:2001 e ISO 5349-2:2002 (ISO, 2001; ISO, 2002). Para herramientas y máquinas guiadas a mano con todo tipo de fuentes de energía (eléctricas, hidráulicas, neumáticas, de combustión interna, etc.) se observa la norma ISO-20643: 2008 (ISO, 2008b) que establece que las mediciones deben realizarse en tres series de cinco pruebas cada una, con un operador experimentado diferente para cada serie.

Por esta razón, se han seleccionado tres series, cada una con un operador distinto. Los operadores seleccionados tienen experiencia en el manejo de la herramienta. En el proceso de trabajo, para cada serie, o, lo que es lo mismo, para cada operador, se tomaron 5 periodos de al menos 20", de forma que cada muestra duró al menos 100", por lo que supera el tiempo mínimo de 1 minuto de duración.

La evaluación del ruido se llevó a cabo de acuerdo con la norma ISO 1999:2013 (ISO, 2013b). No indica el tiempo de medición de la señal de ruido recibida por el trabajador, pero debe medirse para un tiempo representativo de la dosis. La UNE-EN-ISO 22868/2011, aplicable sólo a máquinas forestales de combustión, no especifica número de operadores, sólo 4 mediciones que sumen 20s, cada señal debe durar al menos 2s. Tiempo inferior al que estima por vibración y como el objetivo es determinar ambas dosis ruido y vibración para un puesto de trabajo, se ha medido el ruido en paralelo durante los mismos 20" en los que se adquiere la señal de vibración, es decir, en períodos de tiempo simultáneos. Se resume en la Tabla 3.10.

Tabla 3. 10: Definición del código de ensayo para aplicación a la metodología propuesta

Número de operarios	Número de medidas por operario	Tiempo mínimo de cada medida o señal	Tiempo para cada operador	Tiempo total de la muestra
3	5	20"	100"	300"

Para medir los valores de ruido y vibración recibidos por el operador, las mediciones se realizaron cuando se utilizaba la herramienta manual durante la jornada laboral real, en condiciones habituales de uso, y sobre operadores experimentados. Los sensores se colocaron sobre el operador tal y como se ha definido en el apartado 3.3.

3.4.4 RESULTADOS PREVIOS PARA VALIDACIÓN DEL CÓDIGO DE ENSAYO

Para establecer el código de ensayo definitivo, se realizó una toma de datos de campo, con maquinaria asida con la mano con dos fuentes de alimentación diferentes: una máquina con suministro eléctrico y otra de combustión interna. En este caso se escogieron sopladoras de hojas, utilizadas en jardinería y en otros trabajos agrícolas.



Figura 3. 7: Sopladora de hojas con motor de combustión interna de dos tiempos

Se realizaron tres ensayos con personal cualificado y experimentado en el manejo de la maquinaria, jardineros de profesión que trabajan en la Universidad de Granada. Los operarios eran todos hombres con edades comprendidas entre 40 y 60 años que trabajan habitualmente con esa herramienta. La maquina seleccionada para medir fueron dos sopladoras de hojas: una de combustión interna (Figura 3.7) y otra con suministro eléctrica mediante batería (Figura 3.8).



Figura 3. 8: Sopladora de hojas con motor eléctrico y batería colgada en mochila

Se realizaron las series de medición descritas en el punto anterior. Los resultados de las mediciones figuran en las siguientes tablas, en las que se aportan los valores de dosis y análisis de las señales según los índices psicoacústicos. Los valores de la sopladora con motor de combustión figuran en la Tabla 3.11 y, los de la sopladora con batería eléctrica en la Tabla 3.12.

Tabla 3. 11: Resultados de la medición de Ruido y Vibración medidos en periodos simultáneos. Sopladora de hojas con motor de combustión

	X m/s^2	Y m/s^2	Z m/s^2	Vibración a_{HV}	Media aritmética	volumen	asperesa	Nitidez	Tonalidad	Fuerza de fluctuación	Ruido dB $L_{Aeq,T}$	Ruido dBA $L_{Aeq,T}$	Media logarítmica $L_{Aeq,T}$
Operario 1	0.581	1.074	0.442	1.299		160.4	5.87	5.50	0.338	0.0349	105.4	103.00	
	0.808	1.151	0.736	1.587		159.1	5.90	5.32	0.350	0.0359	105.1	102.60	
	0.685	1.052	0.581	1.383		160.9	5.92	5.43	0.350	0.0324	105.1	102.70	
	0.727	1.090	0.560	1.425		158.2	5.92	5.28	0.345	0.0321	105.1	102.70	
	0.573	0.989	0.456	1.231	1.356	156.8	5.95	5.33	0.343	0.0350	104.6	102.20	102.6
Operario 2	0.566	1.357	0.590	1.584		143.7	5.70	5.04	0.332	0.0548	102.9	99.70	
	0.619	1.189	0.614	1.474		140.6	5.59	4.97	0.343	0.0339	102.2	99.50	
	0.536	0.880	0.581	1.183		138.1	5.60	4.95	0.331	0.0420	102.0	98.80	
	0.550	1.022	0.594	1.304		137.4	5.63	4.94	0.326	0.0430	101.9	98.70	
	0.585	1.009	0.603	1.313	1.360	136.5	5.68	5.02	0.315	0.0492	101.9	99.10	99.2
Operario 3	0.413	1.233	1.125	1.719		141.0	5.47	4.88	0.387	141.0	102.6	99.70	
	0.436	1.227	1.13	1.724		139.8	5.60	5.00	0.360	139.8	102.6	99.50	
	0.471	1.193	1.19	1.750		136.6	5.45	4.87	0.361	136.6	102.0	98.80	
	0.473	1.169	1.211	1.748		136.1	5.41	4.84	0.358	136.1	102.0	98.70	
	0.449	1.193	1.159	1.723	1.733	137.1	5.42	4.83	0.368	137.1	102.3	99.10	99.2
Operario 4	0.691	1.168	0.709	1.531		163.4	5.81	5.48	0.385	0.0333	105.2	102.30	
	0.776	1.042	0.781	1.516		156.1	5.67	5.39	0.371	0.0328	103.9	100.70	
	0.766	0.925	0.769	1.426		155.1	5.80	5.39	0.362	0.0347	103.9	100.70	
	0.845	1.108	0.658	1.541		153.1	5.79	5.33	0.358	0.0362	104.0	101.00	
	0.708	1.094	0.376	1.356	1.460	157.1	5.87	5.46	0.368	0.0342	104.2	101.30	101.2
Operario 5	0.491	0.981	0.478	1.197		130.2	5.53	4.80	0.337	0.0324	100.7	98.10	
	0.546	1.098	0.465	1.311		133.6	5.64	4.98	0.330	0.0334	101.1	98.70	
	0.528	1.175	0.486	1.377		130.5	5.63	4.86	0.324	0.0338	100.7	98.10	
	0.532	1.242	0.476	1.433		132.7	5.54	5.02	0.332	0.0343	101.0	98.30	
	0.606	1.186	0.531	1.434	1.350	130.3	5.56	4.89	0.324	0.0315	100.8	98.20	98.3

Tabla 3. 12: Resultados de la medición de Ruido y Vibración medidos en periodos simultáneos. Sopladora de hojas con motor eléctrico

	X m/s^2	Y m/s^2	Z m/s^2	Vibración a_{HP}	Media aritmética	volumen	aspereza	Nitidez	Tonalidad	Fuerza de fluctuación	Ruido dB $L_{Aeq,T}$	Ruido dBA $L_{Aeq,T}$	Media Logaritmica $L_{Aeq,T}$
Operario 1	0.334	0.458	0.409	0.699		29.1	2.00	3.41	0.129	0.0243	77.0	72.1	
	0.342	0.473	0.418	0.718		33.1	2.59	3.93	0.1000	0.0172	77.1	73.8	
	0.685	0.735	0.666	1.205		26.3	1.90	3.32	0.0723	0.0241	75.7	73.3	
	0.307	0.506	0.348	0.687		35.7	2.87	4.19	0.0876	0.0188	77.2	75.5	
	0.289	0.465	0.342	0.646		33.3	2.73	3.72	0.0774	0.0170	76.8	74.2	
					0.791								72.9
Operario 2	0.356	0.348	0.469	0.684		31.4	2.17	3.21	0.131	0.0649	81.4	79.0	
	0.321	0.374	0.462	0.676		39.5	2.99	3.93	0.132	0.0211	79.5	76.5	
	0.293	0.366	0.458	0.655		39.9	3.03	4.25	0.127	0.0159	79.3	76.8	
	0.345	0.366	0.457	0.680		41.8	3.12	4.27	0.132	0.0158	79.9	77.5	
	0.299	0.345	0.365	0.585		30.1	2.02	3.41	0.0982	0.0213	77.9	75.4	
					0.656								76.6
Operario 3	0.463	0.281	0.395	0.670		28.5	1.96	3.20	0.139	0.0154	77.2	71.6	
	0.42	0.287	0.416	0.657		31.9	2.38	3.48	0.133	0.0135	78.2	73.2	
	0.399	0.308	0.445	0.672		29.5	2.09	3.34	0.140	0.0152	77.8	72.3	
	0.401	0.354	0.482	0.720		29.0	2.04	3.22	0.143	0.0138	77.3	72.0	
	0.437	0.369	0.511	0.767		29.0	2.00	3.13	0.156	0.0144	77.1	72.1	
					0.697								71.3
Operario 4	0.538	0.532	0.513	0.914		31.4	2.18	3.45	0.175	0.0204	75.9	73.9	
	0.516	0.513	0.453	0.857		32.0	2.22	3.54	0.175	0.0184	76.0	73.9	
	0.546	0.454	0.478	0.856		32.3	2.36	3.62	0.155	0.0191	76.1	73.8	
	0.445	0.43	0.407	0.741		32.7	2.34	3.71	0.167	0.0180	75.9	74.0	
	0.44	0.357	0.341	0.661		32.1	2.21	3.58	0.172	0.0173	76.0	74.0	
					0.806								72.9
Operario 5	0.311	0.241	0.361	0.534		36.0	3.07	4.07	0.0841	0.0185	77.3	75.3	
	0.348	0.245	0.418	0.597		39.2	3.23	4.47	0.0636	0.0159	78.6	76.5	
	0.28	0.277	0.447	0.596		40.7	3.32	4.62	0.0596	0.0225	79.4	77.8	
	0.292	0.305	0.432	0.604		35.3	2.98	3.94	0.0818	0.0190	77.6	74.7	
	0.319	0.323	0.505	0.679		29.5	2.28	3.33	0.0884	0.0703	78.4	74.2	
					0.602								75.3

Se han analizado las señales de ruido con el software Artemis con el uso de indicadores físicos y psicoacústicos. Las variables analizadas son las siguientes:

- Nivel equivalente (L_{eq}) expresado en dB
- Nivel equivalente ponderado en frecuencia A (L_{Aeq}) expresado en dBA
- Volumen se mide en escala de sones
- Nitidez expresada según la escala ACUM
- Aspereza se mide en la escala de ASPER
- Fuerza de fluctuación, variaciones de sonoridad en la escala VACIL
- Tonalidad, expresada en unidad de tonalidad TU

Los indicadores físicos y psicoacústicos analizados se pueden resumir en tres aspectos (Coen-sel et al., 2011; Jeon & Hong, 2015). La intensidad del sonido, el contenido espectral y la estructura temporal. En este estudio se han analizado los siguientes; volumen, aspereza nitidez fuerza de fluctuación. A continuación, se describen brevemente cada uno de ellos:

El **nivel equivalente** (L_{eq}) es la media energética del nivel sonoro promediado en el tiempo de medida. Puede considerarse como el nivel de un sonido, constante en todo el periodo de medida, que tuviese la misma energía acústica que el sonido que se está valorando. Este parámetro es básico para cualquier medida de ruido y un indicador tradicionalmente utilizado para la caracterización de ambientes sonoros exteriores. Ponderado en frecuencia A para aproximarlos a la curva de audición humana.

El **volumen** se refiere a la experiencia de intensidad del sonido (Fletcher & Munson, 1933). El volumen se define en la norma ISO 532B y se mide en la escala de los Sones. Puede dar información de la incomodidad con la que se percibe el ruido, pues los sonidos de alta frecuencia se perciben como más fuertes que los sonidos de baja frecuencia cuando tiene la misma presión sonora (dB).

La **nitidez** mide la energía de la señal acústica y se refiere a la proporción de energía de alta frecuencia con respecto a la energía total. Los valores más altos de nitidez (escala Acum) son los sonidos que contienen una mayor proporción de altas frecuencias (Zwicker, E., & Fastl, H., 1999).

La **asperereza** puede ser utilizado en las evaluaciones subjetivas de las personas. Se mide en la escala de Asper. Los valores elevados se asocian a ruidos molestos (Hall et al., 2013). Se asocia con modulaciones rápidas de amplitud.

La **fuerza de fluctuación**, aunque parecida a la aspereza, viene dada por las variaciones de la señal con frecuencias de modulación muy bajas. La intensidad de las modulaciones de amplitud perceptibles está representada en la escala Vacil. Se refiere a la calidad del sonido percibido cuando las fluctuaciones de sonoridad individuales son audibles (Hall et al., 2013).

La **tonalidad** es una sensación de timbre que indica si un sonido contiene componentes tonales o ruido de banda ancha. Ésta depende de la frecuencia a unos 700 Hz se alcanza la impresión de máxima tonalidad. La unidad de tonalidad es (tu).

Estos parámetros psicofísicos pueden usarse para realizar una evaluación subjetiva desde el punto de vista de la psicoacústica, para conectarlo con el confort percibido por el trabajador. Este análisis subjetivo basado en el confort está fuera de los objetivos establecidos en esta tesis doctoral y dado que se obtienen en el proceso de medición sistematizado en este capítulo, constituyen una de las posibles líneas de investigación futura que surgen de esta tesis doctoral.

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

4- PROPUESTA DE UN ÍNDICE COMBINADO

En este capítulo se da respuesta al **Objetivo 5**. Se propone un índice combinado de las dosis de energía de Ruido y VMB que permite obtener tiempos de exposición a los agentes combinados. Para la implementación del Índice se ha desarrollado un método de cálculo del tiempo de exposición, que contempla dos posibles situaciones, una que exista una sola fuente que emite ruido y VMB simultáneamente otra que haya dos fuentes, una de ellas emite VMB y otra Ruido.

Como consecuencia se obtendría el **Objetivo Principal** que es reforzar las medidas preventivas en trabajadores con exposición simultánea a Ruido y VMB.

En este capítulo se valida la **Hipótesis 4**.

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

4.1 INTRODUCCIÓN

Cuando se produce una interacción de las ondas mecánicas con la materia (un objeto o una persona) o se establece un contacto de elementos vibrantes con un objeto, parte de la energía que transporta la onda o que contiene el elemento vibrante se transmite al objeto con el que se establece el contacto o la interacción. Esta energía transmitida puede ser la causante de diversos efectos, cuya gravedad y tipología dependerán de múltiples factores relacionados tanto con las características de la vibración o de la onda mecánica como de la respuesta del objeto o cuerpo que recibe esa energía. La respuesta del cuerpo humano al ruido y la vibración (efectos sobre la salud y molestias) está relacionada, pues, con la energía transmitida al cuerpo.

Por un lado, el **ruido** es sonido, es decir, es una onda mecánica que transporta energía y que es originada por un fenómeno vibratorio. Esta onda mecánica tiene la frecuencia y la intensidad suficiente para ser detectada por el oído y puede provocar una sensación de molestia, entre otros efectos (Balleteros & Daponte, 2011). El Nivel de presión sonora continuo equivalente, $L_{Aeq}(T)$, expresa el nivel medio energético de un sonido en un intervalo de tiempo, es decir, representa el nivel de presión que habría sido producido por un ruido constante con la misma energía que el ruido realmente recibido, durante el mismo intervalo de tiempo. Dado que este índice está relacionado con la energía media recibida por un sujeto (expresado como nivel en dBA), constituye un buen indicador para valorar los efectos del ruido sobre el trabajador o persona expuesta, de ahí que se adopte en todas las legislaciones (o indicadores similares basados en la energía del sonido) como indicador base para establecer límites o recomendaciones. Como se ha comentado en el apartado 3.1 la Directiva 2003/10/CE (European Parliament, 2003) estableció para la jornada laboral de (8 h), fijando los valores límite de exposición (nivel de exposición diario equivalente) $L_{Aeq,d} = 87 \text{ dB(A)}$ y los que dan lugar a una acción $L_{Aeq,d} = 85 \text{ dB(A)}$, limitando la cantidad de energía que recibe un trabajador durante su jornada laboral. Es conveniente recordar que en la legislación de riesgos laborales actual se toma, con relación al ruido, la pérdida de audición como efecto control y es para este efecto concreto para el que se establece la normativa correspondiente

otro indicador de la cantidad de energía sonora que recibe el oído dependiendo del nivel de ruido y del tiempo de exposición es la **Dosis de ruido**. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de EE.UU, OSHA, define la Dosis de ruido como la **cantidad de energía** sonora que un oído normal puede recibir durante la jornada laboral para que el riesgo de pérdida auditiva al cabo de un día laboral esté por debajo de su valor establecido. Se expresa en tanto por ciento de la dosis máxima permitida (OSHA, 1974).

Dado que este indicador se expresa como porcentaje de una energía máxima recibida, cabe señalar, por un lado, que un porcentaje mayor del 100% no equivale necesariamente a la superación de un límite o recomendación, pues muchas veces la dosis de ruido está definida como referencia a máximos normativos antiguos. Por lo tanto, siempre hay que comprobar la definición de este indicador y su referencia al valor máximo de energía que conlleva. Por otra parte, las regulaciones de ruido establecidas para entornos ocupacionales no protegen al 100% de los trabajadores de la pérdida auditiva, sino que logran un equilibrio entre la conservación de la audición y el gasto económico que supone para los estados el tratamiento de esta patología y la pérdida de horas laborales según autores como Shepard et al. (Sheppard et al., 2020a)

En relación con la **vibración**, (Mansfield, 2004) la define como un movimiento mecánico que oscila en torno a un punto fijo. El movimiento oscilatorio se caracteriza por variables tales como la velocidad de vibración, la aceleración o la propia energía del movimiento. Dado que cualquier movimiento oscilatorio conlleva una energía de oscilación susceptible de ser transmitida a un objeto en contacto con el oscilador, son numerosas las investigaciones que sugieren que la medición de la absorción de energía por vibración puede proporcionar información más relevante que la medición de la aceleración a la hora de decidir sobre el riesgo de sufrir trastornos por exposición a vibraciones (Burström & Lundström, 1988; Burström & Lundström, 1994). En cualquier caso, aceleración y energía vibratoria son magnitudes relacionadas y se usan para describir un movimiento oscilatorio

Ya en la década de los sesenta, varios investigadores (Pradko et al., 1965; Lidström, 1977) demostraron que la prevalencia de las lesiones por vibración estaba relacionada con la energía absorbida. Cundiff (Cundiff, 1976) llevó a cabo un estudio epidemiológico en el que se concluyó que los efectos perjudiciales dependen de la energía de vibración transmitida y absorbida por el sistema mano-brazo, de modo que las mediciones de la energía absorbida constituirían un método mejor y más objetivo para la evaluación de riesgos.

Cabe resaltar los estudios de Reynolds. En su trabajo de 1977 (Reynolds, 1977) afirma que, en un sistema ideal, es decir, sin amortiguación, la vibración revierte en la transferencia de energía entre el sistema mano-brazo y el mango de la herramienta y la transferencia media temporal de energía es, por tanto, cero. Sin embargo, el brazo es un sistema muy amortiguado, y dicha amortiguación hace que se absorba la mayor parte de la energía.

Más recientemente, diversos estudios han seguido analizando la absorción de energía durante la exposición a VMB. Hay que destacar el estudio llevado a cabo por Dong et al. (Dong et al., 2004), en el que propone una metodología para medir la energía de vibración absorbida en los dedos y la palma de la mano, con el fin de explorar su posible asociación con SVMB.

Por otra parte, tal como se analizó en el Capítulo 2, apartado 2.4; son numerosas las investigaciones que analizan los efectos sobre la salud cuando existe una exposición combinada a ruido y VMB. Actualmente, La Directiva 2003/10/CE (European Parliament, 2003) establece para la jornada laboral (8 h) el VEA como el valor la exposición diaria a las vibraciones A(8); por otro lado, la Directiva 2002/44/CE (European Parliament, 2002) el valor VEA exposición diaria a las vibraciones A(8). Igualmente, la Directiva 2003/10/CE (European Parliament, 2003) estableció para la jornada laboral de (8 h), fijando los valores límite de exposición (nivel de exposición diario equivalente). En función de la emisión de ruido y de vibración de la maquinaria utilizada, ya sea de una única fuente con ambos agentes físicos o dos fuentes cada una con prevalencia de uno de ellos, se alcanzará un valor de tiempo de exposición distinto: uno para ruido y otro para VMB. Para no superar dichos valores de ambos VEA sin que haya que adoptar acciones, para garantizar el cumplimiento de la normativa, se deberá elegir el menor de los dos de tiempos.

Dado que los límites normativos o las recomendaciones tanto para el ruido como para las VMB están basados en la energía recibida por el trabajador, y la aplicación de estas normas da lugar al establecimiento de tiempos máximos o recomendados de exposición independientemente para cada uno de estos dos agentes, resulta plausible contemplar una exposición combinada a estos agentes, de forma que se establezca un criterio para el tiempo de exposición combinado (T_{Cexp}). Este tiempo combinado se establecerá cuando en el puesto de trabajo están presentes ambos de agentes físicos, algo frecuente, tal como se ha documentado ampliamente en el Capítulo 2, apartado 2.4. Este tiempo combinado se establecerá considerando que las dosis de energía producida por el ruido y por la vibración pueden considerarse aditivas en referencia a sus propios límites normativos. La justificación del enfoque propuesto en esta investigación se fundamenta en la metodología actual de evaluación dosis-respuesta utilizada anteriormente en otros contextos de evaluación de riesgos, como en el caso de otros agentes físicos (radiaciones) o químicos (ISO, 2019; European Parliament, 1998). Por otro lado, el marco conceptual que respalda esta propuesta proviene de los conocimientos actuales sobre los efectos en la salud derivados de la exposición combinada (ver apartado 2.4).

Además, respeta el denominado “principio de precaución” (COMEST (UNESCO), 2005) para garantizar que se aborde adecuadamente la exposición simultánea de ruido y las vibraciones bajo sus valores límite de exposición. Realmente la propuesta que se realiza en esta Tesis doctoral está basada en dicho principio, pues asume un tiempo máximo de exposición recomendado teniendo en cuenta los límites normativos basados en la energía máxima que da lugar a efectos relevantes, teniendo en cuenta los efectos de control que se toma en la legislación para ruido y VMB.

En el apartado siguiente se define el índice propuesto y, como ejemplo de la aplicación de la metodología propuesta, en el Capítulo 5 se realiza un estudio experimental en el sector oleícola, concretamente en la recolección de aceituna.

4.2 DEFINICIÓN DEL ÍNDICE COMBINADO

En este apartado se desarrolla la metodología propuesta cuando los agentes físicos de ruido y vibración están presentes en un puesto de trabajo. El Gráfico 4.1 muestra un diagrama de flujo de la metodología para las dos posibles situaciones: una sola fuente de exposición (es decir, una máquina genera tanto ruido como VMB) y el caso en que la exposición a estos agentes físicos se origina a partir de diferentes fuentes de ruido y VMB. Para ambos casos, se debe calcular la Dosis de energía combinada, $D_{combinada}$. Posteriormente, en el caso de dos fuentes, se han definido tres pasos: 1º. Calcular el tiempo máximo para el ruido, 2º. Calcular de tiempo máximo de vibración y 3º Establecer los pares de tiempos de exposición, dependiendo de las dosis (cuanto mayor sea la dosis de ruido, menor será la dosis de vibración y viceversa). En el caso de una única fuente, el cálculo del tiempo de exposición es más sencillo, tal como se verá a continuación. En la Tabla 4.1 se muestra la nomenclatura que aparece en el Gráfico 4.1.

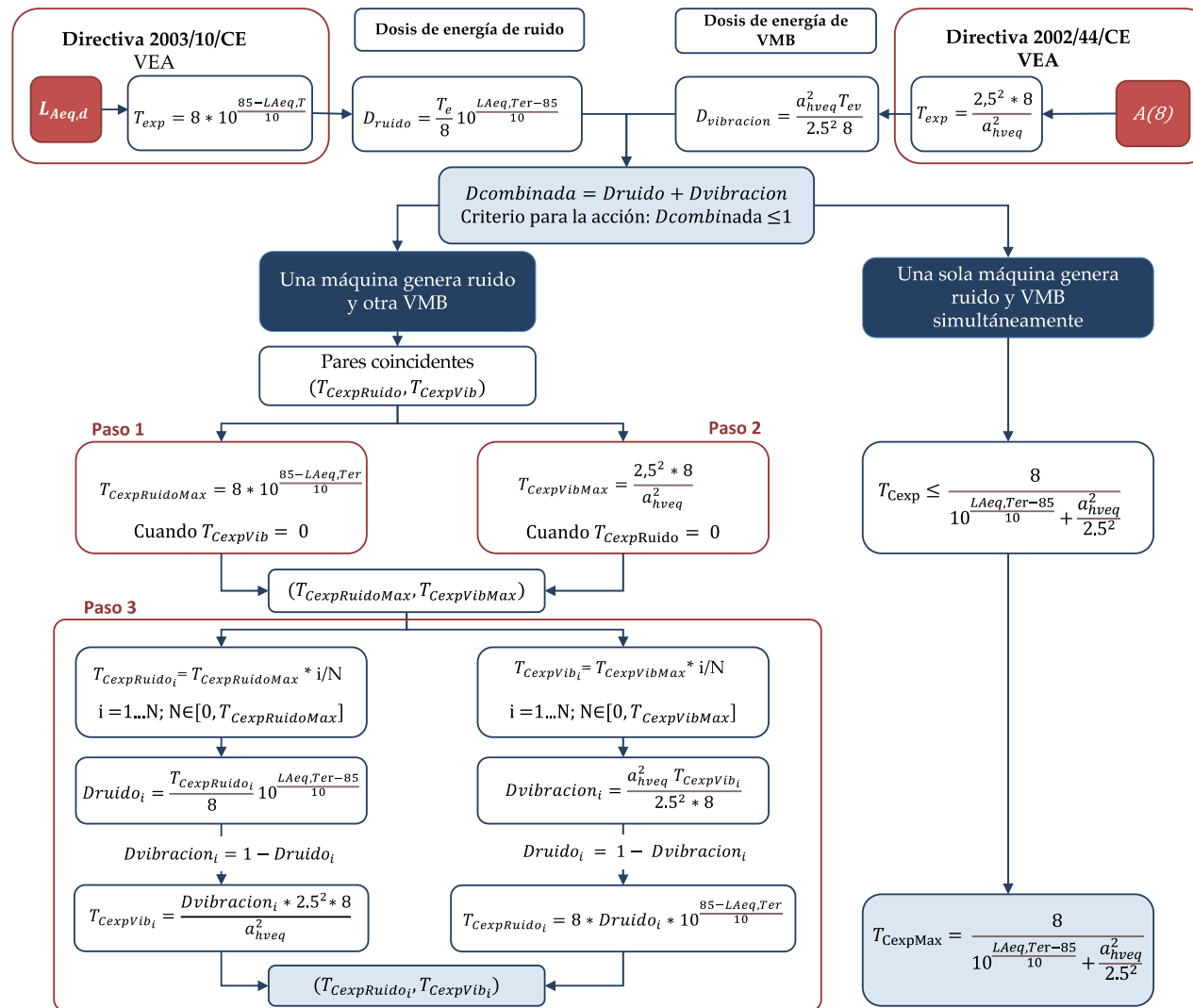


Gráfico 4. 1: Diagrama de flujo de la metodología de aplicación del Índice Combinado

Tabla 4. 1: Nomenclatura del Gráficos 4.1.

Nomenclatura	Concepto	Unidades
$L_{Aeq,d}$	Nivel de exposición a ruido equivalente para un día de trabajo 8 h	dBA
$T_{CexpMax}$	Tiempo combinado de exposición máximo	horas
T_{er}	Tiempo exposición a ruido medido utilizado para calcular el nivel de ruido equivalente $L_{Aeq,Ter}$	horas
T_{ev}	Tiempo de exposición a vibración medido y utilizado para calcular el valor de la aceleración A(8)	horas
T_e	Tiempo de trabajo expuesto	horas
a_{hv}	Aceleración continua equivalente durante el periodo de exposición	m
T_{expR}	Tiempo de exposición al ruido para no superar el VEA con la maquinaria medida	horas
D_{ruido}	Dosis de ruido calculada a partir del tiempo de exposición T_{expR}	
T_{expV}	Tiempo de exposición a la VMB para no superar el VEA con la maquinaria medida	horas
$D_{vibracion}$	Dosis de vibración VMB calculada a partir del tiempo de exposición T_{expV}	
$i = 1 \dots N$ $N \in [0, T_{CexpRuidoMax}]$	Intervalos de tiempo establecidos a partir del tiempo T_{expR} , va desde 0 hasta tiempo máximo de ruido combinado	
$i = 1 \dots N$ $N \in [0, T_{CexpVibMax}]$	Intervalos de tiempo establecidos a partir del tiempo T_{expV} , va desde 0 hasta tiempo máximo de vibración VMB combinado	
D_{ruido_i}	Serie de Dosis de ruido a partir de los tramos de tiempo de exposición i que van desde 0 hasta $T_{CexpRuidoMax}$	
$D_{vibracion_i}$	Serie de Dosis de VMB a partir de los tramos de tiempo de exposición i que van desde 0 hasta $T_{CexpVibMax}$	
$(T_{CexpRuido_i}, T_{CexpVib_i})$	Series de pares de tiempos para Ruido y VMB obtenidos de forma que la suma de las dosis es inferior a 1	
$T_{CexpMax}$	Tiempo único de exposición combinado máximo para ruido y VMB, que mantiene la suma de las dosis por debajo de 1	

4.2.1 CÁLCULO DE LA DOSIS DE ENERGÍA COMBINADA

Para el cálculo del Tiempo de exposición combinado (T_{Cexp}) de ruido y de VMB, en primer lugar, necesitamos definir la Dosis de energía para los agentes físicos del ruido y la VMB. Inicialmente se calculará las dosis de energía de forma independiente para cada agente (D_{ruido} y $D_{vibración}$) y, posteriormente, la Dosis de energía combinada de ambos agentes ($D_{combinada}$) como suma de ambas energías (en las derivaciones posteriores todas las unidades de tiempo son en horas):

- **Cálculo de la Dosis de energía de ruido.** La dosis de energía acústica recibida por un trabajador se define como: la relación entre la intensidad media de ruido en el tiempo de trabajo y la intensidad media de ruido que establecen las normas, según se muestra en la Ecuación (4.1):

$$D_{ruido} = \frac{I_{rec}}{I_{std}} \quad (4.1)$$

Donde I_{rec} representa la intensidad media de ruido (vatios por metro cuadrado, W/m^2) recibida por el trabajador en su tiempo de trabajo, siendo el tiempo de trabajo T_e y I_{std} es la intensidad media de ruido establecida por las normas para una jornada laboral de 8h.

Si un trabajador ha estado expuesto a un único nivel de exposición $L_{Aeq, Ter}$ durante un tiempo de medición de T_{er} (tiempo de exposición medido utilizado para calcular el nivel de ruido equivalente $L_{Aeq, Ter}$), la intensidad recibida en el período de referencia temporal (8 h) es equivalente a la Ecuación (4.2).

$$I_{rec} = 10^{-12} \frac{1}{8} T_e 10^{\frac{L_{Aeq, Ter}}{10}} \quad (4.2)$$

El criterio de protección de la salud de los trabajadores de acuerdo con la Directiva 2003/10/CE (European Parliament, 2003) implica tomar acciones cuando el nivel de intensidad media equivalente superior sea superior a 85 dBA para 8h (VEA superior $I_{std} = 85$ dBA), como se recoge en la Ecuación (4.3):

$$I_{std} = 85 \text{ dBA} \quad (4.3)$$

La Dosis de energía de ruido (D_{ruido}) para este caso se obtiene de la Ecuación (4.4):

$$D_{ruido} = \frac{T_e}{8} 10^{\frac{L_{Aeq, Ter} - 85}{10}} \quad (4.4)$$

Un valor de 1 o 100% significa que, en términos de energía, el trabajador alcanza la cantidad total de energía permitida por el estándar elegido.

- **Cálculo de Dosis de energía de VMB.** La dosis de energía del VMB. $D_{vibración}$ se define como la evaluación del nivel de exposición a VMB basada en el cálculo de la exposición diaria, que puede medirse utilizando los métodos de ISO 5349-1:2001 e ISO 5349-2:2002.(ISO, 2001; ISO, 2002). De igual forma que se ha planteado con la energía de ruido, la Dosis de energía de vibración $D_{vibracion}$ se define como: la relación entre la intensidad media medida de vibración en el tiempo de trabajo y la intensidad media de vibración que establecen las normas, según se muestra en la Ecuación (4.5)

$$D_{vibración} = \frac{E_{rec}}{E_{std}} \quad (4.5)$$

Donde E_{rec} representa la energía media de VMB medida durante el uso de una máquina determinada por el trabajador durante su tiempo de uso laboral T_e y E_{std} es la energía media del VMB derivada de las normas. En nuestro caso, la Directiva 2002/44/CE (European Parliament, 2002) define el VEA para la exposición diaria como la aceleración continua equivalente A(8) para (8h) con un valor de $2,5 \text{ m/s}^2$. Por lo tanto, si un trabajador ha estado expuesto a un único nivel de exposición utilizando una máquina que genera una aceleración continua equivalente de VMB durante un T_{ev} (período en horas), calculado como un valor rms, $a_{hv,eq}$, la energía medida durante el uso de la maquinaria se obtiene de la Ecuación (4.6):

$$E_{rec} = \frac{a_{hveq}^2 T_{ev}}{8} \quad (4.6)$$

El valor E_{std} el es establecido por la normativa Ecuación (4.7):

$$E_{std} = 2.5\text{m/s}^2 \quad (4.7)$$

La Dosis de energía de VMB en el período de referencia temporal de (8 h) se calcula según la Ecuación (4.8):

$$D_{vibracion} = \frac{a_{hveq}^2 T_{ev}}{2,5^2 8} \quad (4.8)$$

Un valor de 1 o 100% significa que, en términos de energía, el trabajador ha alcanzado la cantidad total de energía permitida por el estándar elegido.

- **Cálculo de Dosis combinada de energía de ruido y energía VMB.** Este índice se define mediante una combinación de los dos índices definidos anteriormente. Dado que un valor de cualquiera de los índices anteriores igual a 1 significa que, en términos de energía, el trabajador obtiene la cantidad total de energía permitida por la regulación, la dosis

combinada de ruido y energía VMB ($D_{combinada}$) se define, en consecuencia, como la media aritmética ponderada de ambas dosis de energía según la Ecuación (4.9):

$$D_{combinada} = k \frac{w_1 D_{ruido} + w_2 D_{vibracion}}{w_1 + w_2} \quad (4.9)$$

Donde w_1 y w_2 representa los factores de ponderación seleccionados para la dosis de energía de ruido y VMB respectivamente, y k es un factor normalizador. Estos factores pueden ser seleccionados por los profesionales de la prevención como un valor que va de 0 a 1, dependiendo de la relevancia relativa asignada a cada factor físico por los profesionales de la prevención, por lo que la relación w_1/w_2 indica la relevancia relativa de un agente físico en comparación con el otro. El técnico prevencionista, de acuerdo con la historia clínica del trabajador, puede ajustar los pesos para que la importancia relativa de ambos agentes pueda tenerse en cuenta a discreción del técnico prevencionista. En este caso, se va a considerar que ambos agentes tienen la misma relevancia, es decir, se da la misma relevancia a la exposición al ruido y a la energía VMB.

Por esta razón, se eligen ambos factores de ponderación como los mismos y para mantener la exposición energética máxima recomendada como el valor de 1 (como en el caso de las dosis individuales), en este caso el $D_{combinada}$ finalmente se define como la suma aritmética de ambas dosis, Ecuación (4.10):

$$D_{combinada} = D_{ruido} + D_{vibracion} \quad (4.10)$$

4.2.2 DESARROLLO DEL METODO DE CÁLCULO DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN COMBINADO

Una vez definido la $D_{combinada}$, el siguiente paso es proponer un método para obtener el tiempo de exposición combinado T_{Cexp} . Para ello, si el trabajador está expuesto tanto al ruido (medido como el nivel de exposición al ruido $L_{Aeq, Ter}$) como al VMB (medido como la aceleración continua equivalente al VMB $a_{hv, eq}$ a lo largo del tiempo de exposición a la vibración T_{ev}), debe cumplirse el siguiente requisito:

$$\text{Criterio para la acción: } D_{combinada} \leq 1$$

Este criterio, de hecho, también implica que se debe cumplir la siguiente condición expresada en la Ecuación (4.11):

$$D_{vibracion} < 1 \quad (4.11)$$

$$D_{ruido} < 1$$

Por lo tanto, si se elige este criterio, el profesional de prevención de riesgos laborales debe seleccionar los tiempos de exposición para el VMB y el ruido solo para asegurarse de que la dosis de energía combinada $D_{combinada}$ es inferior a 1. Estos tiempos se denominarán: el tiempo combinado de exposición al ruido $T_{CexpRuido}$ y el tiempo combinado de exposición a la vibración $T_{CexpVib}$ y estarán ensamblados, y ligados con el valor total del índice. En este caso, supongamos que un trabajador está expuesto en su lugar de trabajo al ruido (caracterizado por el nivel de exposición de ruido equivalente $L_{Aeq, Ter}$, medido durante un tiempo prescrito T_{er}) y VMB (medido como la aceleración continua equivalente de VMB $a_{hv, eq}$ durante un tiempo prescrito T_{ev}). El objetivo es seleccionar los subconjuntos de pares coincidentes ($T_{CexpRuido}, T_{CexpVib}$) que mantendrán el $D_{combinada}$ del índice por debajo de 1, como los criterios que se han establecido previamente.

El método propuesto funciona de la siguiente manera:

Paso 1: dado el nivel de exposición al ruido del trabajador $L_{Aeq, Ter}$, se calcula el tiempo máximo permitido con este agente solo, es decir, el valor correspondiente a este par ($T_{CexpRuido}, 0$). Para este cálculo D_{ruido} es igual a 1, el tiempo combinado máximo de exposición al ruido $T_{CexpRuido}$ viene dado por la Ecuación (4.12):

$$T_{CexpRuidoMax} = 8 * 10^{\frac{85 - L_{Aeq, Ter}}{10}} \quad ; \text{ para el caso de } T_{CexpVib} = 0 \quad (4.12)$$

Paso 2: de igual forma se mide se calcula el tiempo máximo de exposición a vibración, $T_{CexpVibMax}$. La aceleración continua equivalente $a_{hv, eq}$ durante un tiempo prescrito T_{ev} se muestra en la Ecuación (3.5). El cálculo $T_{CexpVibMax}$, solo con este agente, se calcula el valor correspondiente a este par ($0, T_{CexpVib}$). Para este cálculo, $D_{vibracion}$ es igual a 1 y $T_{CexpVib}$ viene dado por la Ecuación (4.13):

$$T_{CexpVibMax} = \frac{2,5^2 * 8}{a_{hveq}^2} \quad ; \text{ para el caso de } T_{CexpRuido} = 0 \quad (4.13)$$

Paso 3: Una vez establecidos los números máximos de los pares coincidentes de tiempo de exposición ($T_{CexpRuido}, T_{CexpVib}$), se calculan los valores intermedios de los pares coincidentes temporales. Para esta tarea, se puede proceder de la siguiente manera:

Paso 3.1. En los intervalos de números que van desde 0 y $T_{CexpVibMax}$, se fija un conjunto de valores (es decir N valores) para los que se desea calcular los pares coincidentes

$(T_{CexpRuido}, T_{CexpVib})$. Estos valores se denominan como $T_{CexpVib_i} = T_{CexpVibMax} * i/N$, $i = 1... N$. Así que para cada uno de los N valores de $T_{CexpVib_i}$, el par correspondiente de $T_{CexpRuido_i}$ se calcula de la siguiente manera, Ecuación (4.14):

- Las Dosis de energía VMB ($Dvibracion_i$) se calculan para el tiempo de exposición a la vibración a partir de los intervalos de tiempo establecidos $T_{CexpVib_i}$, $i = 1 ... N$.

$$Dvibracion_i = \frac{a_{hveq}^2 T_{CexpVib_i}}{2,5^2 * 8} \quad (4.14)$$

Por otro lado, la Dosis de energía de ruido, $Druido_i$, se obtiene para cada uno de los valores de $i = 1... N$, manteniendo el criterio de que la dosis combinada de energía de ruido y VMB debe ser de 1 como máximo, Ecuación (4.15):

$$Druido_i = 1 - Dvibracion_i \quad (4.15)$$

- Por último, se calcula $T_{CexpRuido_i}$, el tiempo máximo dada la dosis calculada $Druido_i$, es decir, el valor correspondiente a este par $(T_{CexpRuido_i}, T_{CexpVib_i})$. El cálculo $T_{CexpRuido_i}$ viene dado por la Ecuación (4.16):

$$T_{CexpRuido_i} = 8 * Druido_i * 10^{\frac{85 - LAeq, Ter}{10}} \quad (4.16)$$

Este procedimiento también se puede reproducirse para el otro caso, es decir, cuando el conjunto fijo de valores proviene de tiempos de exposición al ruido. En este caso, el procedimiento será el siguiente:

Paso 3.2. En los intervalos de números que van desde 0 hasta $T_{CexpRuidoMax}$, se fija un conjunto de valores (es decir, N valores) para los que se desea calcular los pares coincidentes $(T_{CexpRuido}, T_{CexpVib})$. Estos valores se denominan como $T_{CexpRuido_i} = T_{CexpRuidoMax} * i/N$, $i = 1... N$. Así que para cada uno de los N valores de $T_{CexpRuido_i}$, el par correspondiente de $T_{CexpVib_i}$ se calcula de la siguiente manera a partir de la dosis de energía de ruido:

- Las dosis de energía de ruido $Druido_i$ se calculan para el $T_{CexpRuido_i}$, $i = 1 ... N$ mediante la Ecuación (4.17)

$$Druido_i = \frac{T_{CexpRuido_i}}{8} 10^{\frac{LAeq, Ter - 85}{10}} \quad (4.17)$$

La dosis de energía VMB se calcula para $i = 1 \dots N$, manteniendo el criterio de que la dosis combinada de energía de ruido y VMB debe ser de 1 como máximo. $Dvibracion_i$ se calcula con la Ecuación (4.18):

$$Dvibracion_i = 1 - Druído_i \quad (4.18)$$

• Finalmente, se calcula $T_{CexpVib_i}$, el tiempo máximo para $Dvibracion_i$, es decir, el valor correspondiente al par $(T_{CexpRuido_i}, T_{CexpVib_i})$. El cálculo de $T_{CexpVib_i}$ viene dado por la Ecuación (4.19):

$$T_{CexpVib_i} = \frac{Dvibracion_i * 2,5^2 * 8}{a_{hveq}^2} \quad (4.19)$$

Por último, para cada caso concreto, se calculan los pares coincidentes $(T_{CexpRuido_i}, T_{CexpVib_i})$. Estos valores mantendrán el índice de energía $D_{combinada}$ por debajo de 1. Si el trabajador mantiene por debajo de sus tiempos de exposición en estos pares, se asegura que la dosis combinada se mantendrá por debajo de 1, por lo que la energía recibida tanto por vibraciones como por ruido está por debajo de los valores que las normas consideran como VEA.

En el caso de que la exposición del trabajador proceda de una máquina determinada que genere ruido y vibraciones, el caso más común, el procedimiento para el cálculo del tiempo de exposición recomendado en función del índice combinado pasa a ser el siguiente:

1. Supongamos que un operario utiliza una máquina que genera exposición a ruido y a VMB de forma simultánea. Esta máquina se caracteriza por el nivel de ruido (nivel equivalente de ruido $L_{Aeq, Ter}$ durante un tiempo de medición T_{er}) y la vibración VMB (medida como la aceleración continua equivalente $a_{hv, eq}$ durante el tiempo de medición T_{ev}).

El criterio establecido es que $D_{combinada}$ permanezca menor que 1, es decir, se cumple la Ecuación (4.20):

$$D_{combinada} = D_{ruido} + D_{vibracion} = \frac{T_{Cexp}}{8} 10^{\frac{L_{Aeq, Ter} - 85}{10}} + \frac{a_{hveq}^2 T_{Cexp}}{2,5^2 * 8} \leq 1 \quad (4.20)$$

Por lo tanto, el tiempo de exposición recomendado T_{Cexp} se puede obtener como se define en la Ecuación (4.21):

$$T_{Cexp} \leq \frac{8}{10^{\frac{L_{Aeq, Ter} - 85}{10}} + \frac{a_{hveq}^2}{2,5^2}} \quad (4.21)$$

2. El tiempo máximo de exposición $T_{CexpMax}$, se puede calcular a partir de la ecuación anterior cuando se logra la igualdad, calculado a partir de la Ecuación (4.22):

$$T_{CexpMax} = \frac{8}{10^{\frac{LAeq, Ter-85}{10}} + \frac{a_{hveq}^2}{2,5^2}} \quad (4.22)$$

En este caso la Dosis combinada se mantendrá como 1, por lo que la energía recibida por las vibraciones y el ruido está por debajo de los valores que las normas consideran como VEA.

El índice definido es una herramienta preventiva, en aras de evitar o disminuir los riesgos derivados de los trabajos en los que el trabajador está expuesto a ruido y VMB y en la que se aplica el “principio de precaución” (COMEST (UNESCO), 2005), ante los estudios que evidencia que los efectos sobre la salud del trabajador se ven agravados cuando existe presencia de ambos agentes forma simultánea. simultánea

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

5- CASO DE ESTUDIO

Este capítulo, da respuesta al OE 6. Se contextualiza el caso de estudio, en función del volumen de negocio y del número de trabajadores que emplea. Además, se recogen los resultados de la consulta realizada a panel de expertos del sector oleícola, para lo que se concretó un cuestionario que se aporta en Anexo I. Estas pesquisas suponen el punto de partida para la selección del caso de estudio.

La secuencia de esta investigación parte de una evaluación de los riesgos a ruido y VMB en el sector. En primer lugar, mediante la búsqueda realizada en la bibliografía científica, que conduce al estado de conocimiento sobre la incidencia del Ruido y VMB en el sector oleícola. En segundo lugar, mediante la realización de un estudio previo, que supuso la medición en campo de las dosis de Ruido y VMB con tres de las maquinarias más utilizadas.

Posteriormente, partiendo de ese estudio previo, se continúa con la toma de datos experimentales que caracteriza las medidas de ruido y VMB en las maquinarias más usuales, justamente aquellas indicadas por el panel de expertos. Partiendo de estas medidas experimentales se realiza la aplicación del índice combinado definido en el capítulo anterior sobre la exposición de un trabajador del sector oleícola a la maquinaria. De lo que se deriva la discusión y las limitaciones de aplicación del Índice.

Finalmente se aplica el índice a todos los modelos medidos.

Para la toma de datos de campo se siguió la metodología descrita en el **Capítulo 3**.

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

5.1 INTRODUCCIÓN

El índice combinado propuesto en el capítulo anterior se podría aplicar para evaluar la exposición en cualquier sector productivo en el que los trabajadores utilicen herramientas asidas con las manos, que transmitan vibración a través del sistema mano-brazo y a la vez emitan ruido.

Para la elección del sector donde realizar el caso de estudio, se ha considerado relevante la envergadura a nivel económico del sector o subsector y el número de operarios y de jornadas de trabajo que implican las labores propias. También se ha tenido en cuenta la evolución en el uso de maquinaria de mano, y es por ello que la agricultura es uno de los sectores que más ha implementado la utilización de maquinaria. La mecanización de los procesos provoca la diversificación de riesgos para los trabajadores, por un lado, implica la disminución de los riesgos provocados por el esfuerzo físico, pero por otro lado entraña riesgos nuevos derivados del manejo de máquinas, como son los agentes físicos ruido y vibración.

Establecido el sector agrícola, y en concreto el oleícola donde se va a realizar la aplicación al caso de estudio, se procede a la contextualización de este sector en el siguiente apartado, para posteriormente realizar la aplicación en los siguientes subapartados.

5.2 CONTEXTUALIZACIÓN DE CASO DE ESTUDIO

5.2.1 SECTOR OLEÍCOLA: IMPORTANCIA DEL SECTOR

Superficie mundial

La envergadura del sector oleícola se puede conocer a partir de los datos de la superficie de cultivo dedicado a este producto a nivel mundial.

Las estadísticas muestran que la evolución ha sido ascendente en el número de hectáreas cultivadas, así lo hacen constar los autores Vilar, J. et al (Vilar J., 2018). Estos autores recogen información de estadísticas mundiales, datos aportados por centros de investigación y universidades, la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAOSTAT, 2020) y el Consejo Oleícola internacional (IOC, 2020) y hacen un recorrido por la evolución del sector durante diez años hasta 2018. El cultivo del olivo se extiende por un total de 11,5 millones de hectáreas, repartidas por todo el mundo.

La distribución no es homogénea entre todos los continentes, destaca como la principal región mundial, Europa, seguida de África. Entre ambas aglutinan el 85,3% de la superficie internacional de olivar. El resto se sitúa en Asia y, con porcentajes muy bajos en América y Oceanía. Los datos basados en (Vilar J., 2018) se reflejan en la Tabla 5.1.

Tabla 5. 1: Distribución de superficie de olivar cultivada en el mundo por continentes. Fuente: Vilar et al , 2018

CONTINENTE	ÁFRICA	AMÉRICA	ASIA	EUROPA	OCEANÍA	TOTAL
Superficie de olivar en ha	3 514 800	298 150	1 394 219	6 265 896	38 950	11 512 015
Proporción (%)	30.53%	2.59%	12.11%	54.43%	0.34%	100%

Volumen de negocio en la economía agroalimentaria mundial

Resulta difícil fijar un volumen económico anual, pues depende de la campaña, y la producción fluctúa influida por muchos aspectos de unos años a otros.

La fluctuación de precios del producto es considerable, y el precio está condicionado por demanda y oferta y otros factores de economía mundial y mercados fuera del alcance de esta investigación. Se puede considerar representativa del volumen de negocio la estimación media de cuatro años de producción. Según Villar et al (Vilar J., 2018) en los años comprendidos entre 2013 y 2017, se estima que la cifra de negocios anual estaría entre 9.500M€ y 13.500M€, empleando a 35 millones de personas. Este dato representa cerca del 1,2% de la población activa mundial. Europa es la región a nivel mundial en la que más impacto tiene este sector, con casi el 70% del sector oleícola. En la siguiente Tabla 5.2 se aportan los datos del volumen de negocio por continentes a partir de la información de bases de datos oficiales.

Tabla 5. 2: Volumen de Negocio, Empleo y Población Activa por Continente. Media de cuatro campañas entre los años 2013-2017. Fuente: (Vilar J., 2018)

CONTINENTE	VOLUMEN DE NEGOCIO (en miles de euros)	EMPLEO (número de personas)	POBLACIÓN ACTIVA (Porcentaje %)
AFRICA	2.147.466,53 €	4.526.248	1,84
AMÉRICA	470.239,22 €	7.053.588	1,32
ASIA	1.049.581,21 €	7.926.098	0,44
EUROPA	9.004.411,43 €	14.610.552	8,01
OCEANÍA	68.728,83 €	1.030.933	5,34
TOTAL	12.740.427,22 €	35.147.419	1,18

La superficie de cultivo ocupada por olivar en España es de 2.623.721 Ha, según datos estadísticos del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación para el año 2020, obtenidos a partir las Superficies y producciones anuales de cultivo de acuerdo con el Reglamento (CE)

543 / 2009¹⁸, (este Reglamento establece un marco común para la elaboración sistemática de estadísticas comunitarias sobre la utilización del suelo con fines agrícolas y los productos agrícolas) lo que sitúa a España en el primer puesto de los productores a nivel mundial.

Dentro de España la distribución de superficie de olivar se concentra en la comunidad autónoma de Andalucía, según datos del Ministerio a partir de la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de cultivos, (ESYRCE): definiciones y usos del suelo consultada en el año 2020.

En términos de superficie cultivada, según datos de las campañas de siete años comprendidos entre 2016-2020, en términos de la superficie cultivada en Ha. por comunidades autónomas en España, Andalucía es la región que supone casi el 60% de la superficie total en España dedicada a este cultivo (Tabla 5.3). Es por tanto uno de los motores de la economía de esta zona.

Tabla 5. 3: Superficie cultivada de olivar en Ha. por comunidades autónomas en España. Fuente: elaboración propia con los resultados de 2020. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos ESYRCE.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Porcentaje respecto al total nacional
	Superficie cultivada de olivar en Hectáreas							
Castilla y León	6.325	6.417	6.478	6.281	6.329	6.259	6.256	0.23%
Madrid	28.214	28.254	28.728	28.761	29.539	29.425	29.453	1.06%
Castilla La Mancha	410.825	410.825	410.825	419.792	428.850	435.816	443.702	15.98%
Andalucía	1.555.475	1.567.375	1.580.802	1.601.295	1.630.473	1.652.489	1.662.801	59.89%
Aragón	59.261	58.901	59.315	59.547	59.918	60.314	60.266	2.17%
Extremadura	272.530	272.963	274.374	278.081	283.416	287.207	287.754	10.36%
La Rioja	3.461	3.298	3.359	3.256	3.318	3.358	3.383	0.12%
Comunidad Valenciana	94.916	94.516	94.540	94.368	94.764	95.649	95.431	3.44%
Región de Murcia	29.423	29.765	29.103	28.630	28.743	29.054	28.936	1.04%
Galicia	26.022	25.997	25.950	25.823	25.715	25.189	25.208	0.91%
Navarra	7.697	7.780	7.827	8.446	8.782	9.165	9.375	0.34%
Baleares	9.170	8.677	8.916	8.525	8.643	8.780	8.933	0.32%
Cataluña	115.786	113.820	113.936	113.372	114.038	115.398	114.228	4.11%
Canarias	104	122	136	107	292	365	379	0.01%
País Vasco	319	319	320	322	321	322	322	0.01%
TOTAL ESPAÑA	2.593.523	2.605.252	2.623.156	2.650.801	2.697.445	2.733.620	2.751.255	100%

¹⁸ Reglamento (CE) 543 / 2009: este Reglamento establece un marco común para la elaboración sistemática de estadísticas comunitarias sobre la utilización del suelo con fines y los productos agrícolas

La incidencia económica del sector, tanto por el trabajo que genera como por la producción depende principalmente de la superficie cultivada, pero también varía en gran medida de unas campañas a otras, dado que se trata de un árbol vecero¹⁹, sumado a otros factores, como climatología, año hidrológico, plagas, vientos, tiempos de recogida, etc. Para la campaña 2020/2021 la recolección de aceituna ha supuesto unas 6.5 millones de toneladas de aceituna de las que se obtienen unas 1.348.200 Tm. de aceite, esto equivale a un aumento respecto a la campaña anterior del 50,2%, valorándose como una producción alta, que comparada con la campaña anterior 2019/2020 considerada de producción media-baja, confirma la variabilidad de la producción de unas cosechas a otras. El empleo de trabajadores en el total de la campaña registró unos 19,2 millones de jornales en labores asociadas al cultivo, de los que un 52,13% corresponden a la recolección (datos basados en “el Aforo de Producción del Olivar en Andalucía 2020/2021 (Junta de Andalucía, 2022)).

El número de jornales dependerá de la mayor o menor producción de cada campaña. El Departamento de prospectiva, de la Agencia de gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (Junta de Andalucía, 2019) realizó una estimación del reparto de jornales dedicados al olivar andaluz para una campaña de producción media, y cabe suponer que se podría extrapolar a producciones mayores y menores. El número de jornales totales asciende a más de 19 millones, si se efectúa un reparto por provincias: la primera con el 35% sería Jaén, seguida de Córdoba con el casi 21%, Sevilla ronda el 20%, Granada (11,5%) y Málaga (8,0%), Con un menor número de jornales, Huelva (2,4%), Cádiz (1,3%) y Almería (1,0%). Los datos se reflejan en la Tabla 5.4.

Tabla 5. 4: Distribución provincial del total de jornales generados en una campaña media en el olivar andaluz. Fuente: Modelo de explotaciones olivareras. Dpto de Prospectiva. Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo rural. (Junta de Andalucía, 2019)

PROVINCIA	JORNALES Recolección aceituna para aceite	JORNALES Recolección aceituna de mesa	JORNALES TOTALES recolección de olivar	% RESPECTO AL TOTAL
ALMERÍA	173.149	22.127	195.276	1,0%
CÁDIZ	251.597	4.711	256.308	1,3%
CÓRDOBA	3 834 896	183 822	4 018 718	20,9%
GRANADA	2 196 681	7 248	2 203 929	11,5%
HUELVA	226 725	238 972	465 697	2,4%
JAÉN	6 756 805	1 345	6 758 150	35,2%
MÁLAGA	1 300 321	243 011	1 543 332	8,0%
SEVILLA	1 533 534	2 248 086	3 781 620	19,7%
ANDALUCIA	16 173 709	2 949 321	19 233 030	100,00%

¹⁹ Definición de planta que un año da mucho fruto y poco o ninguno en otro. **la vecería** puede estar ocasionada por la tendencia a producir mayor número de frutos de los que en un futuro podrá nutrir, por lo que tras la cosecha el árbol se encuentra totalmente agotado, con un escaso crecimiento de brotes, que son los portadores de la futura cosecha

Evolución de la demanda del consumo de aceite de oliva en el mundo.

Es de esperar que los países donde se concentra la mayor producción de aceitunas y por tanto de aceite de oliva sean los de mayor consumo por persona. Según datos registrados en 2019-2020 por el Consejo Oleícola Internacional (IOC,2020) los mayores consumidores *per cápita* de aceite de oliva son los griegos, con un consumo anual de unos 12,5 litros por persona, con consumo parecido los españoles con unos 11,70 litros por persona, y a algo más de distancia Italia y Portugal, con unos 8 litros de aceite de oliva al año por persona. (Mercado del aceite de oliva,) como puede observarse en el Gráfico 5.1

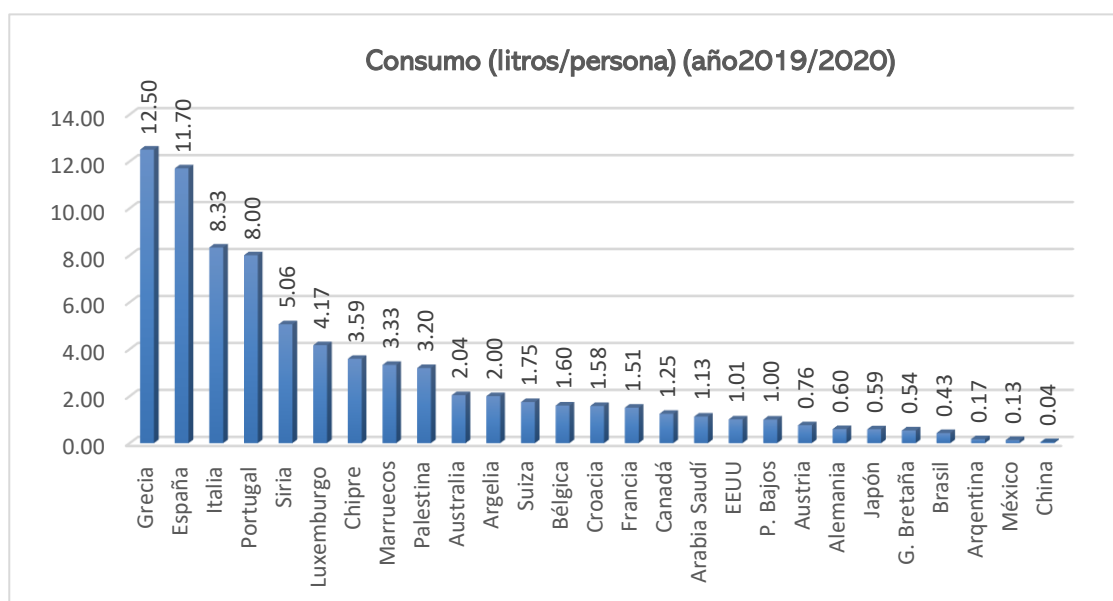


Gráfico 5. 1: Consumo de aceite en litros por persona, por países. Fuente: (IOC, 2020)

En España, que ha sido uno de los mayores consumidores de aceite de oliva a nivel mundial, el consumo es de 500.000 toneladas al año lo que supone en torno a un 17-18% de la producción mundial. Esto supone que cada español consume al año aproximadamente 11 litros de aceite de oliva per cápita. En la siguiente tabla se muestra la evolución de consumo en España (IOC, 2020)

Tabla 5. 5: Evolución del consumo de aceite de oliva en España

Consumo aceite de oliva en España por años	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	Media
Consumo per cápita (litros)	11,61	10,41	11,22	12,05	12,79	11,62
TOTAL (T)	494.000	443.000	478.000	515.000	550.000	496.000

En los últimos 20 años la superficie ocupada por este cultivo ha ido aumentando hasta el año 2019 fue el primer ejercicio en 22 años en el cual descendió la superficie mundial de olivar, al pasar de 11,7 a 11,5 millones de hectáreas, aun así, queda de manifiesto la importancia del sector a nivel mundial, como lo confirman datos de la FAOSTAT (FAOSTAT, 2020) que coinciden con los del Consejo Oleícola (IOC, 2020), en destacar como los mayores productores de aceituna a España, que siempre está a la cabeza de la producción mundial, seguida de Italia. Según datos del IOC la evolución de la producción de aceite de oliva ha sido ascendente, la producción mundial alcanzó las 3.262.000 toneladas en la campaña 2018-19, y unas 3.207.000 toneladas en la campaña 2019-20.

En el aumento del consumo de aceite de oliva ha influido de manera notable los efectos beneficiosos sobre la salud atribuidos al consumo de este producto. Las investigaciones demuestran que la utilización en la dieta de aceite de oliva es beneficiosa, por la alta proporción de grasas insaturadas, en concreto está compuesto de un 14,5% de grasas saturadas y un 85% de grasas insaturadas. Las investigaciones sobre los beneficios de este tipo de grasas y la publicación a nivel de usuario han influido en los hábitos de consumo de la población.

En la sociedad actual, tan preocupada por una vida y dieta sana, abundan los estudios sobre la composición y los efectos sobre la salud del consumo de aceite de oliva desde hace mucho tiempo. En este sentido, la disminución del riesgo de cáncer se asocia con el consumo habitual de aceite de oliva virgen, por ser rico en antioxidantes, por ejemplo los efectos beneficiosos para la prevención del cáncer de mama, es estudiado en (Martin-Moreno et al., 1994).. Estos componentes antioxidantes son los que según Owen et al (Owen et al., 2000) ofrecen un efecto beneficioso sobre incidencia de enfermedad coronaria, así como envejecimiento saludable

Se han realizado otros muchos estudios sobre los beneficios del aceite de oliva para la salud en personas con síndrome metabólico (aquellas con factores de riesgo para desarrollar enfermedades cardíaca o diabetes). Así, Pastor et al. (Pastor et al., 2021) consiguen demostrar la disminución del desarrollo de enfermedades en personas sanas vinculado a su consumo habitual. También se demuestra mejoría en personas con alguna enfermedad, como por ejemplo diabetes, así lo pone de manifiesto Gómez-Marín (Gomez-Marin et al., 2018) en la revisión sistemática.

Los beneficios para la salud del consumo habitual de aceite de oliva se constatan en una dieta como la mediterránea en la que el aceite de oliva supone un componente característico y la principal fuente de grasa, y se ha asociado con un menor riesgo de desarrollar enfermedades en estudio reciente de Farràs o Giulitti (Farràs et al., 2021; Giulitti et al., 2021) . Estos mismos aspectos se han seguido estudiando por muchos más autores a lo largo de los 20 últimos

años, así lo recoge, por ejemplo, la revisión de realizada en 2021 por Emma et al (Emma et al., 2021) .

La normativa de la UE de diciembre de 2014 obligó a la industria alimentaria a especificar los aceites de palma, coco... lo que antes se camuflaba en grasas o aceites vegetales, sumado a otras investigaciones sobre los efectos nocivos de las grasas saturadas, que componen otros aceites vegetales utilizados en muchos productos procesados. Incluso en España, consumidor tradicional de este producto, ha aumentado su consumo, tras las campañas de difusión del beneficio para la salud, y la promoción de una dieta mediterránea que lo utiliza como la grasa principal (Bernabéu & Díaz, 2016) (Pastor et al., 2021; Farràs et al., 2021; Giulitti et al., 2021; Emma et al., 2021).

5.2.2 SISTEMAS DE PLANTACIÓN Y RECOLECCIÓN

Tipos de recolección de aceituna, mecanización

Los olivares tradicionales se caracterizan por la presencia de árboles grandes, centenarios y una densidad de plantación muy baja. Las plantaciones tradicionales están formadas por olivos distribuidos en calles con distancias entre árboles suficientes como para el paso de tractores, cada árbol cuenta con un pie, en las plantaciones más antiguas, y con tres o cuatro en las de mediana edad, esto hace que la forma del árbol sea muy variable desentendiéndose de las podas a las que haya sometido.

En este tipo de plantación tradicional, los trabajos de recolección son muy laboriosos. Los costos de estos trabajos son variables, aunque pueden llegar a suponer el 50% del precio de venta del producto. Bernardi (Bernardi et al., 2016) demuestra, sobre un estudio de caso, que con la utilización de vareadores tipo cilíndrico de púas montado en brazo articulado de la toma de fuerza de tractores, se pueden lograr resultados alentadores mediante la mecanización de la operación de recolección incluso en plantaciones de olivos centenarios. Esta es una de las razones por las que se utiliza frecuentemente maquinaria pesada y vibradores de troncos conectados con tractores como el que aparece en la Figura 5.1.



Figura 5. 1: Vibrador de tronco con tractor New Holland. Fuente: elaboración propia

Como en cualquier labor relacionada con el sector agrario, la utilización de máquinas facilita el trabajo. En la evaluación de diferentes sistemas mecánicos de recolección de aceitunas para árboles de gran porte, (7-9 m de altura con un volumen de copa de 140-360 m³) Famiani (Famiani et al., 2014) evidencia el buen rendimiento del trabajo y la reducción del costo de recogida, para ello utiliza combinaciones de varios elementos: batidor mecánico montado en tractor, más vibradores neumáticos de mano combinados con peines sumados a sistemas de recogida de redes o paraguas invertido, consiguió resultados variables entre 90 y 97%, según el estado de maduración, lo que facilita o dificulta el desprendimiento del fruto, pero siempre mejora el rendimiento del trabajo y reduce el coste.

Incluso desde el punto de vista medioambiental supone una importante mejora en cuanto al ciclo de vida, lo que verifica Bernardi et al (Bernardi et al., 2018) con un estudio basado en aspectos técnicos, económicos y ambientales con los que construir una base de datos de los tipos de recolección de aceituna y realizar un análisis del ciclo de vida y análisis de costos de producción.

Globalmente, este cultivo conlleva altos costes de producción, siendo el de recolección el que más peso tiene en el total, Sperandio et al. (Sperandio et al., 2017) demuestra diferencias significativas entre los tres tipos de recolección, clasificándolos según la maquinaria utilizada comparada con la recolección manual tradicional, y encuentra una reducción de costes, utilizando equipos de mano, del 40-48%. con tractores y sacudidores de troncos y redes en tierra, de 59-72%, con tractores y sacudidores de troncos equipados con paraguas recolectores, de 68-80% y con cosechadoras tipo pórtico, del 85-90%. Otros estudios como el de Deboli et al (Deboli et al., 2014) realizados en la recolección manual de aceitunas de mesa, dejan

patente que la maquinaria reduce los tiempos de recolección y llega a triplicar la productividad con la utilización de máquinas eléctricas guiadas a mano.

El tipo de mecanización utilizada en la recolección depende generalmente, de la extensión de las explotaciones, Colombo et al (Colombo et al., mayo 2018) comprueba plantaciones similares en cuanto a terreno y distribución de olivos y encuentran que las pequeñas explotaciones suelen soportar condiciones de producción menos favorables en términos de costes laborales, fragmentación de la tierra y capital estructural en comparación con las grandes explotaciones agrícolas. Demuestran que las fincas más grandes se benefician de economías de escala que reducen significativamente los precios de producción, gracias a un uso más eficiente de la maquinaria y menores costos de depreciación. Estudios similares más recientes como el Bernardi et al (Bernardi et al., 2021) que compararon ocho sistemas de recolección de aceitunas: seis escenarios altamente mecanizados, uno basado en recolección asistida mecánicamente y el último basado en recolección totalmente manual. Los sistemas mecanizados obtuvieron un mejor desempeño en cuanto a capacidad de trabajo.

Actualmente, la recolección del cultivo del olivo está experimentando un periodo de transición en las tecnologías a aplicar. La tendencia de los últimos años hacia cultivos superintensivos ha favorecido el desarrollo de la industria de fabricación de máquinas recolectoras tipo pórtico, adecuadas a nuevas plantaciones Giametta et al. (Giametta & Bernardi, 2010). Como es lógico la modificación pretende limitar los gastos repercutidos, entre ellos el de recolección, Sperandio et al (Sperandio et al., 2017), demuestra que el costo de la recolección por Kg de aceituna se puede reducir en torno a un 88%, si se compara entre la recogida con cosechadora manual y la cosechadora tipo pórtico; evidentemente la maquinaria que se puede utilizar depende del tipo la estructura de la plantación.

En definitiva, el sistema de recolección depende del tipo de plantación, con una estructura muy diferenciada entre el olivar tradicional y el superintensivo o en seto, en el primero se realiza plantación en cuadrícula o tresbolillo, con más o menos distanciada según el terreno y con uno o varios pies en cada olivo. El segundo es el cultivo superintensivo, con plantación en seto con pies colocados en hileras y muy poca distancia entre pies de olivo.

El sistema de derribo del fruto difiere según la estructura del cultivo y la finalidad, (bien sea para aceite o para aceituna de mesa) y se clasifica en:

- **Ordeño**

Es la técnica más antigua, consiste en recoger las olivas con la mano una a una, directamente del árbol. La única mecanización en este tipo es la utilización de peines. Se trata de un proceso muy lento que requiere gran número de trabajadores, con el consiguiente aumento de coste por lo que este método se usa solo para la aceituna de mesa.

- **Vareo**

Técnica muy antigua, pero posterior al ordeño, que no necesita maquinaria. Debe su nombre a las varas de distintos tamaños que se usan para golpear las ramas del olivo con objeto de hacer que las aceitunas caigan al suelo. Se trata de un método en desuso por el esfuerzo que requiere y la poca eficacia.

- **Vareo o vibración de ramas con maquinaria de mano**

Los vibradores de mano, operados por una persona, son utilizados en zonas en las que no se pueden usar máquinas con tractor o con vibrador de tronco autopropulsado, conocido como buggy.

El vareador mecánico es una evolución del vareador manual. Se trata de una maquinaria de uso manual a la que se ha incorporado elementos para agarrar y vibrar las ramas del árbol de mediana envergadura, o peines vibradores para desprender el fruto peinando el ramaje en el que brota el fruto, es decir las ramas más extremas del árbol.

Los vareadores de mano tipo peine tienen en el extremo de la pértica una o varias filas de dedos largos enfrentados, que normalmente son de materiales suaves, como la goma o el carbono, para minimizar el daño al árbol, Figura 5.2 y 5.3. La fuente de alimentación suele ser un pequeño compresor, accionado por motor o batería eléctrica que se lleva en la cintura, suministra la energía para que los peines oscilen al tiempo que el operario los desplaza por el pequeño ramaje del olivo, provocando un eficaz derribo de la aceituna. (Gil Sierra, 2005)



Figura 5. 2: Vareador con motor combustión. Fuente: Stihl



Figura 5. 3: Vareador con batería tipo peine. Fuente: elaboración propia

Los vareadores de ramas de tipo gancho u horquilla están dotados de una pieza en forma de V o de U en el extremo de una pértiga, ésta lleva un revestimiento de material de amortiguación tipo espuma. El gancho puede abarcar ramas de hasta 4 ó 5 cm de diámetro. El operario engancha las ramas que puede abarcar con la horquilla y las vibra. La vibración se consigue por la acción del aire comprimido o por la acción de un pequeño motor de gasolina cuyo eje se prolonga por interior de la pértiga. Van equipados con arneses para colgar la máquina directamente en el operario (Gil Sierra, 2005). Es necesario vibrar cada rama de pequeño grosor, el motor produce un alargamiento y retracción de la pértiga con lo que transmite la vibración a la rama para soltar el fruto y en parte al operario que sujeta la maquinaria.

Los vareadores mecánicos pueden disponer de un motor de combustión o eléctrico (Figura 5.4). Los dos sistemas de alimentación de la maquinaria presentan ventajas e inconvenientes, por un lado, los vareadores eléctricos tienen la ventaja de ser de menor peso, pero precisa de una batería cargada para realizar la recolección. Por otro los de motor de combustión permiten trabajar de forma continua suministrando gasolina cuando sea necesario, tienen mayor potencia de trabajo, sin embargo son más pesados, ruidosos y emiten gases de escape como resultado de la combustión, que desprenden mal olor y son contaminantes.



Figura 5. 4: Vareador de gancho motor de combustión. Fuente: STIHL

Este tipo de maquinaria de recolección se suele utilizar para olivar tradicional y/o en pendiente, y para aquellas variedades de olivar de peor desprendimiento y pequeño tamaño del fruto. Por otro lado, su coste suele ser más elevado que el del vareador manual y precisan de mantenimiento, aunque como hemos dicho, la eficiencia de la recolección es mayor.

- **Vibración: Vibración de troncos**

Los vibradores de troncos utilizan el desplazamiento de masas excéntricas, una o dos que se hacen girar, y se basan la vibración transmitida en la fuerza centrífuga del giro. Consta de un brazo enganchado en la parte delantera o trasera del tractor, con toma de fuerza en la fuente

de la maquinaria con un motor hidráulico para accionar la cabeza vibratoria y varios cilindros para la extensión del brazo vibrador, la apertura y cierre de la pinza de agarre y la inclinación de ésta. El vibrador está aislado mediante material absorbente (tacos de goma, cadenas, cintas...) respecto del tractor que lo acciona. La pinza de agarre lleva elementos de amortiguación para que la transmisión se realice sin dañar la corteza del árbol, normalmente unos tacos con unas protecciones a modo de faldón. Estas máquinas, por su capacidad de trabajo, son los equipos más importantes en la recolección mecanizada.

5.2.3 CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR. CONSULTA A PANEL DE EXPERTOS SOBRE LOS SISTEMAS Y MAQUINARIAS MÁS UTILIZADOS

La determinación de la maquinaria más frecuentemente utilizada en el sector se ha determinado a través de cuestionario a panel de expertos. Las preguntas se han agrupado en cuatro secciones que incluyen:

- información personal.
- información del olivar.
- información de la maquinaria utilizada en la recolección.
- información sobre los trabajadores.

Estas preguntas contienen cuestiones sobre el tipo de plantación, antigüedad, distancia entre árboles, maquinaria pesada, tipos de maquinaria manual, número de trabajadores en cada cuadrilla, organización de los trabajos, etc., además de los aspectos positivos y negativos de cada uno de los sistemas. El cuestionario se adjunta en el Anexo I. Se ha completado la información con una entrevista personal, con cada uno de los expertos, para mejorar el conocimiento del sector. Con todo, se ha podido obtener valiosa información para determinar cuáles son los sistemas de plantación más extendidos, y, en función de la extensión de cada finca y los modelos de plantación, los tipos de maquinaria más frecuentes para cada uno de ellos. También se obtuvo información sobre las marcas comerciales más vendidas, los modelos, su funcionalidad, ventajas e inconvenientes. El panel de expertos encuestados lo constituyeron los productores, que ejercen su actividad económica en la región de Andalucía, y tuvieron edades comprendidas entre 40 y 60 años, con una experiencia en el sector que oscila entre 20 y 40 años.

Los resultados de esta encuesta permiten afirmar que el tipo de plantación más extendido sigue siendo el tradicional con árboles colocados en cuadrícula con uno o varios pies, y con diferencias en el marco de plantación con distancias que van desde 8 a los 12 m de distancia. La maquinaria pesada más frecuente son los vibradores de tronco con tractor, con o sin lona

tipo paraguas para recogida del fruto, como el que aparece en la Figura 5.5 seguida de vibradores sobre buggy, aunque éstos están menos extendidos, y finalmente vareadores y vibradores de ramas como maquinaria de mano. La recogida varía desde pinza vibradora con paraguas a lienzos sobre el suelo de la forma tradicional.



Figura 5. 5: Vibrador de troncos con paraguas y vareadores a mano. Medición en finca en Huétor Tajar. Fuente: elaboración propia

Del cuestionario a los expertos se deduce que la maquinaria de mano más utilizada durante la recogida del fruto son los vareadores eléctrico tipo peine y vibradores de ramas tipo gancho, ambas para desprender el fruto, y los sopladores de hojas, para eliminar el exceso de hoja en los lienzos.



Figura 5. 6: Proceso de vareado mecánico con vareadores tipo peine y vibrador tipo gancho. Fuente: elaboración propia

Para la mejora del rendimiento, los expertos valoran positivamente la combinación de los dos tipos de maquinarias más utilizadas en el mismo olivar. Como se puede apreciar en la

Figura 5.6, es frecuente la utilización de varias herramientas al mismo tiempo, de forma que unas vibran ramas y las otras peinan los frutos que no se han desprendido.

Todas las herramientas asidas con las manos, que se han descrito previamente, se recogen en la siguiente Tabla 5.6.

Tabla 5. 6: Maquinaria de mano utilizada en recolección de aceituna. Fuente: STIHL

		
Vareador de aceitunas tipo peine	Vareador de aceitunas tipo gancho	Sopladora de hojas

5.3 EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS, RUIDOS Y VIBRACIÓN EN RECOLECCIÓN DE ACEITUNA

5.3.1 ESTADO DEL CONOCIMIENTO. RUIDO Y VMB EN EL SECTOR OLEÍCOLA

Como se ha visto en el punto anterior, el sector oleícola es uno de los sectores en los que la mecanización ha sido más evidente y se encuentra en constante evolución. También ha quedado patente en el apartado 5.2 que el consumo de aceite de oliva ha aumentado en todos los países, incluso en España, donde ya se consumía tradicionalmente como la principal grasa dietética, y que España es el primer productor mundial de aceitunas, con un tercio de la producción mundial. Además, la superficie cultivada de olivar en España se extiende a 2,7 millones de hectáreas, de las cuales Andalucía supone el 60% según datos de la Encuesta de Superficies y Rendimientos ESYRCE 2020 (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Gobierno de España, 2020).

En este contexto, Andalucía es la zona en la que más se utilizan las máquinas para recolectar el fruto del olivo y además se utilizan desde hace tiempo. El uso de maquinaria está muy extendido en todas las plantaciones de tipo tradicional, sea cual sea el tipo de terreno con bancales, inclinados con más o menos pendiente. En consecuencia, concentra un elevado número de jornadas empleadas en la recolección a nivel mundial, y, por lo tanto, es la zona en la que impacto sobre la salud de los trabajadores es mayor. Como en cualquier sector, la maquinaria ha ido mejorando en sus prestaciones, consumos de energía, rendimientos, comodidad de uso, etc. Las empresas de fabricación de maquinaria ponen a disposición de los productores una amplia gama de herramientas. Gracias a la información suministrada

por el comité de expertos, hay constancia de que las más utilizadas en Andalucía son las cosechadoras tipo gancho y peine, además de las sopladoras de hojas.

Además, se debe tener en cuenta que los trabajos implican que muchos operarios estén involucrados en estas tareas, por lo que todos reciben vibración y ruido durante su manejo. La protección de los trabajadores resulta complicada en la mayoría de los casos, pues es difícil contemplar protocolos de tiempo de utilización de maquinaria y de alternancia en las operaciones con un sistema de turnos para que cada trabajador no supere la dosis permitida, y no siempre se consigue que se utilicen los EPIs de forma adecuada. En general se suelen plantear protocolos de trabajo para optimizar el rendimiento y el sistema productivo, como así lo evidencian autores como Aelio (Aiello et al., 2019). Otro agravante de los riesgos que sufren los trabajadores durante estas labores de recolección es la cantidad de jornales a los que están sometidos. El número de días laborables en la recolección en una temporada media de producción, y solo en la región de Andalucía, puede ascender a unos 19 millones según datos del informe “Capacidad de producción del olivar 2021/2022” (Junta de Andalucía. Conserjería de Agricultura Ganadería Pesca y Desarrollo sostenible., 2022)

En referencia a las investigaciones sobre los riesgos derivados del uso de estas herramientas, éstas se centran en la valoración de la VMB. Diversos estudios (Catania et al., 2017; Manetto & Cerruto, 2013; Lenzuni et al., 2016; Calvo, A. et al., 2018; Calvo, A. et al., 2017; Cerruto & Manetto, 2022; Calvo, Angela et al., 2022; Manetto et al., 2020a) valoran la exposición de estas herramientas, y encuentran que la exposición al VMB recibida por el trabajador adquiere valores casi siempre por encima del VEA establecido por la Directiva 2003/10/CE (European Parliament, 2003) y, muchas veces, por encima del VEL. El riesgo para el trabajador que soporta estas vibraciones se debe, por un lado, a los altos niveles de dosis, según Calvo et al. (Calvo, A. et al., 2014) y a los altos niveles de factor de cresta, según Deboli et al. (Deboli et al., 2016), alcanzado valores similares a los de las herramientas manuales utilizadas en la industria.

Cabe señalar que los trabajadores no siempre muestran la misma percepción de los efectos de la vibración. En este sentido, Costa (Costa et al., 2013) en un estudio realizado con 11 modelos diferentes de cosechadoras mecánicas de aceitunas y una encuesta a 75 trabajadores que utilizan regularmente estas maquinarias, informa que un 66% padecieron síntomas relacionados con la exposición, aunque solo un 12,1% muestra un blanqueamiento de los dedos durante la jornada laboral

En estudio reciente, sobre los vareadores manuales de olivos, en (Manetto et al., 2020b) se evalúan las VMB en cuatro cosechadoras eléctricas con pequeñas diferencias en los materiales de los que están construidas, y se encuentra valores de aceleración por encima del VEL que oscilan entre 5.11m/s^2 y 19.27m/s^2 . En otros estudios que utilizaron cosechadoras tipo peine

con cosechadoras portátiles tipo solapa de motor eléctrico, Cakmak et al. (Çakmak et al., 2011) y se evidenció que la enfermedad vaso espástica traumática apareció en el 10% de la población expuesta después de 0,7-7,1 años para la mano izquierda, 1,0-4,7 años para la mano derecha, y que, en cualquier caso, los valores de vibración medidos en las manos de los operadores eran superiores al VEA ($2,5 \text{ m/s}^2$). Por otro lado, en este estudio los valores de los niveles de presión equivalentes de ruido en el oído del operador por las cosechadoras se encontraron por debajo de los niveles VEA (80 dBA) en comparación con las normas europeas. Resultados similares se obtuvieron en otro estudio sobre cosechadoras de aceitunas Saracoglu et al. (Saraçoglu et al., 2011) en el que se evaluó las cosechadoras de aceitunas tipo gancho con motor de combustión y obtuvo diferentes resultados de vibración para la mano derecha e izquierda, pero por encima del VEA y valores de ruido más altos, por encima del VEL (87 dBA).

En general, los estudios encontrados sobre la maquinaria utilizada durante la recolección de la aceituna dan resultados variados, superando los valores permitidos en la mayoría de los casos. Por lo tanto, los altos niveles de exposición al ruido y al VMB en este sector justifican su elección para la aplicación del índice de exposición combinada propuesto en el presente estudio. Se consideran necesarios más estudios sobre el impacto del ruido y la exposición al VMB en el sector oleícola, pues los sistemas de recolección mecanizados se han desarrollado desde hace unos años y no se ha prestado atención sobre los riesgos para la salud de estas labores. Además, son escasos los estudios sobre las exposiciones a ambos agentes físicos, ruido y VMB en el trabajo de recolección de aceitunas. y dan resultados diferentes según el tipo de herramienta analizada y su fuente de alimentación.

5.3.2 ESTUDIO PREVIO: EXPOSICIÓN A LOS RIESGOS DERIVADOS DE LOS AGENTES FÍSICOS EN EL SECTOR OLEÍCOLA



Como se ha puesto de manifiesto en el apartado anterior, el estado del conocimiento en este campo no arroja una conclusión homogénea o unánime por parte de los investigadores en cuanto a los riesgos derivados de la exposición a los agentes físicos en el sector oleícola. Lo que sí queda patente es la necesidad de proteger la salud de los trabajadores a partir de una evaluación de los riesgos y por ende, un mejor conocimiento de los valores de ruido y VMB recibidos por los operarios. Por lo que como paso previo a la investigación y una vez definido y sistematizado el código de ensayo en el apartado 3.4.4, se efectúa una primera aproximación de la caracterización de la exposición a los agentes físicos durante la recolección. En él se mide y analiza la exposición a ruido y VMB durante el proceso de recolección de la aceituna

mediante maquinaria manual. Este trabajo (Nieto-Álvarez et al., 2020) se publicó en actas de Congreso AHFE 2019 ²⁰.

En esta investigación se escogieron los tipos de maquinarias de mano más utilizadas, a partir de la información obtenida del comité de expertos. Se realizaron mediciones en condiciones de trabajo real, para tres tipos de máquinas de mano y de cada uno de ellos dos modelos comerciales. Se midieron los niveles de ruido y VMB, y se compararon con los valores declarados por los fabricantes y con los estándares oficiales.

En la Tabla 5.7 se muestran, para dos modelos de cada uno de los tipos de maquinaria, los valores de emisión de Ruido y de VMB declarados por los fabricantes y con respecto a que normativa se realizan los ensayos. Esta información es obligatoria según la normativa (European Parliament, 2006) si el nivel de emisión de presión acústica (LpA) ponderado (A) si es superior a 70 dB(A) y los valores de vibración como aceleración equivalente ponderada $a_{hv,eq}$ cuando supera 2,5 m/s². En la Tabla 5.7 figuran las especificaciones de las máquinas medidas.

Tabla 5. 7: Máquinas estudiadas y valores de ruido y vibración declarados por los fabricantes

Máquina	Modelo A	Modelo B
 <p>Vareadores de aceitunas tipo peine</p>	<p>Ruido:²¹ -LpA = 84 dB(A). -Lw = 95 dB(A)</p> <p>Vibración:²² ahv,eq: -Mango guía: 2,5 m/s². -Mango de barra: 2,5 m/s².</p>	<p>Ruido: Sin información</p> <p>Vibración: Sin información</p>
 <p>Vareadores de aceitunas tipo gancho</p>	<p>Ruido: Sin información</p> <p>Vibración: Sin información</p>	<p>Ruido: -Leq = 102 dB(A)²³ -Lw = 113 dB(A)²⁴</p> <p>Vibración:²⁵ -ahv,eq izquierda=5,7 m/s² -ahv,eq derecha= 5,7 m/s²</p>

²⁰ International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. AHFE 2019 Advances on Safety Management and Human Factors, July 24-28, 2019, Washington D.C., USA


²¹ ISO 22868:2011. Maquinaria forestal Código de ensayo de ruido para máquinas portátiles con motor de combustión interna Métodos de ingeniería.

²² ISO 60745-1 Herramientas manuales eléctricas accionadas por motor eléctrico. Seguridad Parte 1: Requisitos generales.

²³ ISO 11201:2010 Acústica - Ruido emitido por maquinaria y equipo ~ Determinación de los niveles de presión acústica de emisión en una estación de trabajo.

²⁴ ISO 3744:2010 Acústica: Determinación de los niveles de potencia acústica y de los niveles de energía acústica de fuentes de ruido utilizando presión acústica. Métodos de ingeniería para un campo esencialmente libre sobre un plano reflectante.

²⁵ ISO 20643:2005 Vibración mecánica. Maquinaria manual y guiada a mano. Principios para la evaluación de la emisión de vibraciones.

<p>Sopladores de hojas</p> 	<p>Ruido⁴: L_{peq} = 100 dB(A) Vibración:²⁶ a_{hv,eq} = 1,8 m/s²</p>	<p>Ruido⁴: L_{peq} = 90 dB(A) Vibración⁹: a_{hv,eq} = 1,4 m/s²</p>
--	---	---

Esta información se considera muy importante desde el punto de vista de la prevención y de la protección del trabajador, pues en principio son los valores declarados por el fabricante los que se deben observar para determinar los tiempos máximos de utilización de una herramienta durante la jornada laboral. Pero contrariamente a lo que cabría esperar, hay productores de maquinaria que no muestran esta información, y publicitan los tipos y modelos de maquinaria con una ficha técnica en la que sólo aparece potencia, rendimientos, y productividad, pero nada respecto a la emisión de vibraciones ni de ruido. Por lo tanto, con esta falta de información el técnico prevencionista difícilmente puede hacer una evaluación de los riesgos respecto a los agentes físicos, salvo que realice mediciones de ruido y vibración.

Por lo tanto, y dado que no es factible establecer los tiempos de trabajo y la organización de las tareas que implican el uso de herramientas manuales si no se conocen los datos de emisión de ruido y vibraciones, para programar la protección de los trabajadores se ha evaluado la dosis que recibe el trabajador utilizando esa maquinaria medida en condiciones de trabajo real y se ha comparado con los valores declarados por el fabricante. Esta información permitirá al técnico prevencionista, definir un protocolo de actuación para estos trabajos que brindará al empleador, e incluso hacer recomendaciones sobre la selección de la máquina. Esta selección debe hacerse no solo ponderando la eficacia para desprender el fruto de forma que se minimicen los posibles daños en el olivo, y así aumentar el rendimiento, sino también con el objetivo de reducir la vibración y el ruido que recibe el trabajador.

Medición

La toma de datos se realizó con los aparatos de medida descritos en el Capítulo 3. Para las mediciones de vibraciones, los operarios fueron equipados con el medidor y analizador SVAN 106 y diferentes receptores en mano y oídos, tal y como aparece en la Figura 5.7.

²⁶ ISO 22867:2011. Maquinaria forestal y de jardinería - Código de prueba de vibración para máquinas portátiles sujetas. motor de combustión interna - Vibración en las asas.



Figura 5. 7: Trabajador con instrumentos de medida. Fuente: elaboración propia

La medición se realizó con la duración suficiente para garantizar el cumplimiento de los estándares y asegurar un valor de medición representativo de la exposición al ruido y a las vibraciones que se evalúan. Las señales medidas deben medirse durante un minuto como mínimo. Con los resultados obtenidos después del trabajo de campo y las mediciones descritas en este apartado, se calcularon los valores de ruido y vibración de acuerdo con la metodología descrita en el **Capítulo 3**.

En relación con los resultados, y respecto a los valores de ruido, se observa que los valores obtenidos para los dos modelos de tipo peine están por debajo del VEA. En el caso del tipo Gancho y los Sopladores de Hojas, los valores de ruido obtenidos son incluso superiores a los del VEL.

En referencia a los valores suministrados por los fabricantes en términos del nivel de presión acústica ponderado transmitido por la maquinaria, solo el tipo Peine modelo A, el tipo Gancho modelo B y ambos modelos de sopladores de hojas proporcionan estos datos en sus guías de referencia. Después de calcular $L_{Aeq,d}$ a partir de estos valores, encontramos diferencias entre los valores declarados y los valores experimentales medidos in situ. Como puede observarse en el Gráfico 5.2 en el caso del modelo tipo peine A, el valor obtenido experimentalmente es menor que el publicado por el fabricante ($L_{Aeq,d}$ fabricante = 93,4 dBA, $L_{Aeq,d}$ medido = 82,7 dBA). La situación es similar para el tipo de gancho modelo B ($L_{Aeq,d}$ fabricante = 101.4 dBA, $L_{Aeq,d}$ medido = 94.0 dBA).

Con respecto a los sopladores, el valor de emisión proporcionado por el fabricante del modelo A es casi idéntico al medido in situ ($L_{Aeq,d}$ fabricante = 99,4 dBA, $L_{Aeq,d}$ medido = 98,3

dBa). Mientras que para el modelo B el valor es mayor que el publicado por el fabricante ($L_{Aeq,d}$ fabricante = 89,4 dBA, $L_{Aeq,d}$ medido = 97,4 dBA). En este sentido, cabe señalar que estas mediciones se realizaron en operaciones a plena carga y no se consideró la velocidad de ralentí, pues no se soporta cuando la máquina está trabajando.

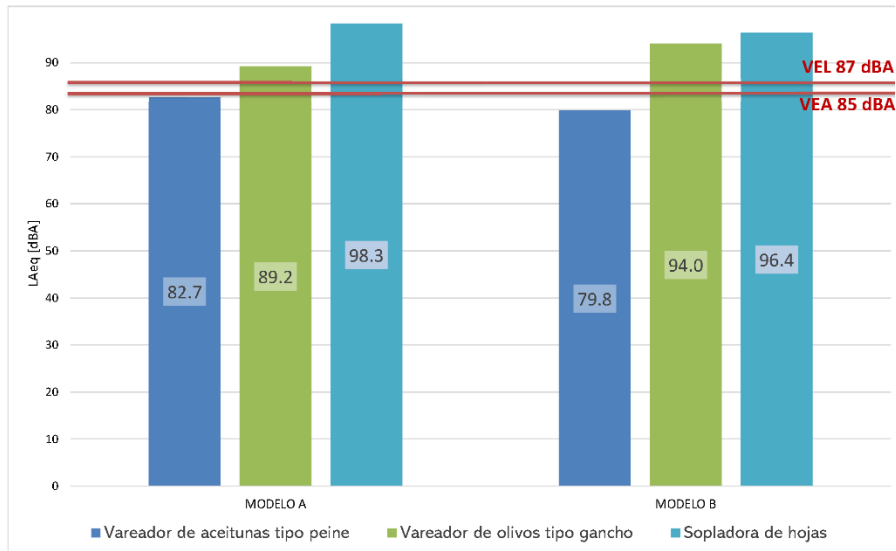


Gráfico 5. 2: Valores recibidos por el trabajador durante una jornada laboral, obtenidos para 3 tipos de máquinas y 2 modelos de cada tipo

En general los valores de ruido obtenidos fueron superiores al VEA y/o VEL dependiendo de la máquina y los niveles de VMB fueron superiores a los de VEL. Además, todos los valores difieren a los declarados por el fabricante del equipo.

En el Gráfico 5.3 se muestran los valores de A(8) para cada máquina. Se puede observar cómo, a excepción de los sopladores de hojas, las máquinas estudiadas emiten niveles por encima de los valores de VEL en ambas manos. Las mediciones obtenidas de los sopladores de hojas del modelo A están muy cerca de los valores de acción VEA y muy lejos de los valores límite VEL.

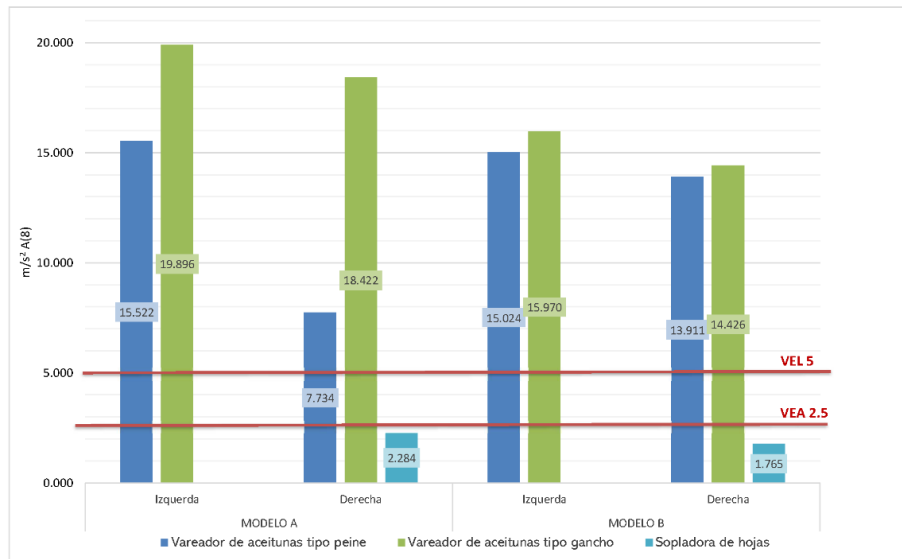


Gráfico 5. 3: Valores de vibración VMB recibidos por el trabajador durante una jornada laboral para 3 tipos de máquinas y 2 modelos de cada tipo

Se observa que, para la máquina de tipo peine, los valores medidos A(8) están todos por encima de VEL. En el caso del Modelo A, valor VMB recibido por la mano izquierda (15.522 m/s²) duplica ese valor obtenido en la mano derecha (7.734 m/s²). Esta diferencia no aparece en el Modelo B, donde los valores son muy cercanos en ambas manos (Mano izquierda 15.024 m/s² y Mano derecha 13.911 m/s²).

Por otro lado, para proceder a comparar los datos con los suministrados por el fabricante, se ha calculado el valor A(8) de acuerdo con la metodología descrita previamente. Para el Modelo A, el fabricante declara un valor de 2.5 m/s² para ambas manos, muy inferior al valor obtenido en las mediciones. El fabricante del modelo B no proporciona estos datos, por lo que no se observa la Directiva 2006/42/CE, ya que incluso en el caso de que el valor fuera inferior al VEA, debe indicarse este hecho.

En los dos modelos estudiados de maquinaria tipo Gancho, se observa que existe menor diferencia en el VMB para ambas manos en comparación con los otros modelos, aunque todos los valores se sitúan por encima del VEL. Cabe señalar que los valores VMB son mayores en el modelo A que en el Modelo B. Del mismo modo, en el caso de los valores de datos suministrados por el fabricante, encontramos que estos valores obligatorios no aparecen (Modelo A), o están lejos de los valores obtenidos en la medición 15.970 m/s² en la mano izquierda y 14.426 m/s² en la mano derecha en comparación con el valor A(8) suministrado de 5.7 m/s².

Como conclusión de este primer estudio, se obtiene que estos valores medidos de VMB deben conducir al empleador a tomar medidas correctivas; lo más común sería limitar el uso diario de la máquina mediante la rotación de trabajadores a otras tareas. Además, este primer estudio pone en evidencia que los valores de ruido y vibración obtenidos son lo suficientemente relevantes como para emprender un programa de medidas técnicas y organizativas, incluyendo la vigilancia de la salud del trabajador, además de ayudar al empleador a seleccionar la maquinaria más adecuada para minimizar los niveles de exposición y limitar los tiempos de utilización de cada máquina en función de los valores de dosis admisibles según normativa, en aras de una mayor prevención. Entre estas medidas técnicas, también se debe tener en cuenta el uso de equipos de protección individual.

Agregado a lo anterior, los manuales de instrucciones para los fabricantes adolecen de falta de información de la exposición a los agentes o incluyen valores muy inferiores a los obtenidos en las mediciones in situ. Esto dificulta que el empleador diseñe protocolos de prevención adecuados, ya que falta información importante.

5.4 TOMA DE DATOS EXPERIMENTALES Y CARACTERIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE RUIDO Y VIBRACIÓN EN LA MAQUINARIA DE MANO DEL SECTOR OLEÍCOLA

La siguiente fase de esta investigación consistió en la toma de datos de campo extensiva a los tipos y modelos especificados por el panel de expertos como aquellos más usuales en la región de Andalucía. Se estima que la limitación de la fase anterior, a sólo dos modelos de cada tipo, podría sesgar la capacidad de elección sobre el que finalmente sería el caso de estudio. Se seleccionaron varias plantaciones de olivos situadas en la Comunidad Autónoma de Andalucía que ocupan una gran extensión de superficie de cultivo, lo que implica mayor número de jornadas de trabajo, o lo que es lo mismo mayor número de trabajadores.

Con el fin de estructurar los ficheros de registro de las señales de ruido y vibración se definió una ficha para la toma de los datos, de forma que en ella se especifica la situación de la finca, fecha en la que se realiza la medición, tipo, marca y modelo de la maquinaria medida, identificación del operador, y denominación de los archivos de señales medidas de ruido y vibración. El tipo de ficha de toma de datos se adjunta en el Anexo II. Las mediciones fueron tomadas en los mismos intervalos temporales y la metodología que se estableció en el código de ensayo expuesto en el Capítulo 3.

En consecuencia, se tomaron datos en distintas localizaciones y durante varias campañas de recogida de aceituna y se realizaron mediciones en fincas situadas en los siguientes municipios:

1. Antequera, provincia de Málaga
2. Íllora, Provincia de Granada
3. Cabra de Santo Cristo
4. Iznalloz. Provincia de Granada
5. Villanueva de Mesía. Provincia de Granada
6. Huétor Tajar. Provincia de Granada
7. Escúzar. Provincia de Granada
8. Fuensanta, Provincia de Granada
9. Chimeneas. Provincia de Granada
10. Arquillos. Provincia de Jaén
11. Baeza. Provincia de Jaén
12. Catillo de Tajarja. Provincia de Granada
13. Montefrío. Provincia de Granada.
14. Puente Genil. Córdoba

Todas las mediciones se realizaron en la época de recolección del fruto que, normalmente se extiende desde noviembre a febrero, aunque varía de unos años a otros. Se han tomado mediciones en tres campañas consecutivas, y en distintas jornadas de trabajo.

Como se ha comentado anteriormente, para la toma de datos se ha seguido la metodología, descrita en el capítulo 3 del presente documento, tanto para la grabación de sonido, la colocación de los sensores, la instrumentación del sistema de grabación (SQuadriga II) como para la medición de vibraciones humanas (equipo SVAN 106, SVANTEK). Para los tiempos de medición de cada señal se ha respetado el código de ensayo descrito en el mismo capítulo. Por último, para la evaluación del nivel de exposición tanto a ruido $L_{Aeq,d}$ como a VMB $A_{(g)}$ se procedió al cálculo de las dosis diarias siguiendo el método descrito en el capítulo 3 de la presente Memoria de Tesis. Los valores de dosis de exposición a ruido y a vibración medidos se aportan en los Anexos III, IV y V.

Siguiendo estos procedimientos, en cada plantación se seleccionaron las herramientas de mano para medir, y se escogieron 3 de los operarios habituados en el uso de cada una de las herramientas. Las máquinas de mano medidas en cada plantación fueron las que se estaban utilizando, lo que explica la razón de que en cada día de medición hay distintos tipos de máquinas medidas. Las maquinarias de mano utilizadas fueron vibradores tipo gancho junto con vibradores tipo peine para el derribo del fruto y sopladores de hojas para eliminar las ramas caídas sobre los lienzos antes de recoger la aceituna para cargar en remolques. Primero se utilizan los vareadores de gancho y en segundo lugar los vareadores tipo peine, y por último los sopladores de hojas. Para cada tipo de maquinaria se han medido en campo varios modelos, concretamente, 11 vibradores tipo gancho, 11 vibradores tipo peine y 9 sopladoras de

hojas, Se identifica cada de ellas con el nombre del tipo (gancho, peine, sopladora) seguido de un número, que corresponde con una casa comercial y un modelo específico.

Además, para las máquinas medidas se recopiló la información suministrada por el fabricante, tanto de la potencia como de los valores de exposición. Estos datos se reflejan en las Tablas 5.8, 5.9, 5.10. De nuevo se constata la falta de información de algunas casas comerciales y la dificultad que encuentran los técnicos en prevención para realizar los protocolos de trabajo sin datos sobre las emisiones, y lo poco accesibles que son estos datos en algunos fabricantes.

Los resultados obtenidos se detallan en los siguientes subapartados.

VAREADORES TIPO GANCHO

En la Tabla 5.8 se han enumerado los Vareadores tipo Gancho medidos. De cada modelo se especifica el tipo de suministro de energía y la potencia declarada por el fabricante. Además, tal y como se ha realizado en el estudio previo, en el apartado 5.3.2., se refleja el nivel de presión acústica ponderado (A) para las emisiones de Ruido y los valores de vibración, expresados como aceleración equivalente ponderada $a_{hv,eq}$ para el sistema mano-brazo, ambos datos son los suministrados por los fabricantes. También se especifican las localidades donde se ubican cada una de las fincas, en la que se ha realizado la toma de datos de las señales de ruido y de vibración. Estas mediciones se efectuaron siempre durante las operaciones de recolección de aceituna. Los resultados obtenidos de la medición de cada uno de los modelos figuran en los Anexos III, IV y V. En ellos figuran los valores de ruido y VMB, de cada modelo, se ordenan por operario y, para cada operario por tiempos simultáneos de medición, lo que permite obtener los valores por operario y finalmente por modelo de maquinaria medida. Para todas las operaciones de medición se respetó el Código de ensayo descrito en el Capítulo 3.



Figura 5. 8: Operario con Vareador tipo Gancho. Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. 8: Vareadores tipo gancho medidos. Características y valor de las emisiones de ruido y VMB declaradas por los fabricantes

Modelo de Gancho	Energía	Cilindrada cm ³	Potencia	Nivel sonoro dB(A)	Potencia sonora dB(A)	Vibración m/s ²	Lugar de medición	Hoja de Datos
Gancho 1	C	48.7	2.2 Kw 3.0 CV	$L_w = 102$	$L_{eq} = 113$	$a_{hv,eq} = 5.7$	Antequera	Anexo III
Gancho 2	C	44.3	2.1 Kw 2.90 CV	$L_w = 102$	$L_{eq} = 113$	$a_{hv,eq} = 5.7$	Íllora	Anexo III
Gancho 3	C	52	S/INF	$L_w = 98.5$	$L_{eq} = 106.5$	$a_{hv,eq} = 12.9$	Íllora	Anexo III
Gancho 4	C	52	S/INF			$a_{hv,eq} = 3.5$	Villanueva de Mesía	Anexo III
Gancho 5	C	41.6	2.7 Kw	$L_w = 98$	$L_{eq} = 112$	$a_{hv,eq} = 5.7$	Montefrío	Anexo III
Gancho 6	C	63	3.3 Kw 4.5 CV	$L_w = 97$	$L_{eq} = 116$	$a_{hv,eq} = 14$	Montefrío	Anexo III
Gancho 7	C	48.7	2.2 Kw 3 CV	$L_w = 102$	$L_{eq} = 113$	$a_{hv,eq} = 5.7$	Montefrío	Anexo III
Gancho 8	C	41.6	2.7 Kw	$L_w = 98$	$L_{eq} = 112$	$a_{hv,eq} = 5.7$	Montefrío	Anexo III
Gancho 9	C	63	3.3 Kw 4.5 CV	$L_w = 97$	$L_{eq} = 116$	$a_{hv,eq} = 14$	Montefrío	Anexo III
Gancho 10	C	45.4	2.1Kw 2.9 CV	$L_w = 80$	$L_{eq} = 113$	$a_{hv,eq} = 5.7$	Catillo de Tajarja	Anexo III
Gancho 11	C	40.2	1.9Kw 2.6CV	$L_w = 102$	$L_{eq} = 113$	$a_{hv,eq} = 5.7$	Catillo de Tajarja	Anexo III

Como se puede observar, las características de estas máquinas son variadas, las potencias de los distintos Vareadores de gancho oscilan entre 2 y 4.5CV. Todos ellos llevan motor de combustión interna, lo que normalmente supone unos niveles elevados de ruido, y así lo declaran los fabricantes, como se refleja en la Tabla 5.8. En general, la información que resaltan las casas comerciales sobre estas herramientas es la vibración que transmiten a las ramas, pues, desde el punto de vista comercial lo interesante es el mayor rendimiento posible, en cambio, el valor de la vibración transmitida a las manos del operario suele ser un dato difícil de encontrar. En relación con los valores de VMB declarados por los fabricantes de cada una de las máquinas, se puede subrayar que todos ellos también están por encima del VEL, y en ocasiones, lo duplican.

En el siguiente Gráfico 5.4 se presentan los valores de exposición a ruido, como nivel presión acústica ponderado en dBA, que son el resultado de las medidas tomadas en campo para cada uno de los modelos y calculados siguiendo la metodología descrita en el capítulo 3. Las características y los valores de ruido declarados de estos modelos ya se han especificado en la Tabla 5.8.

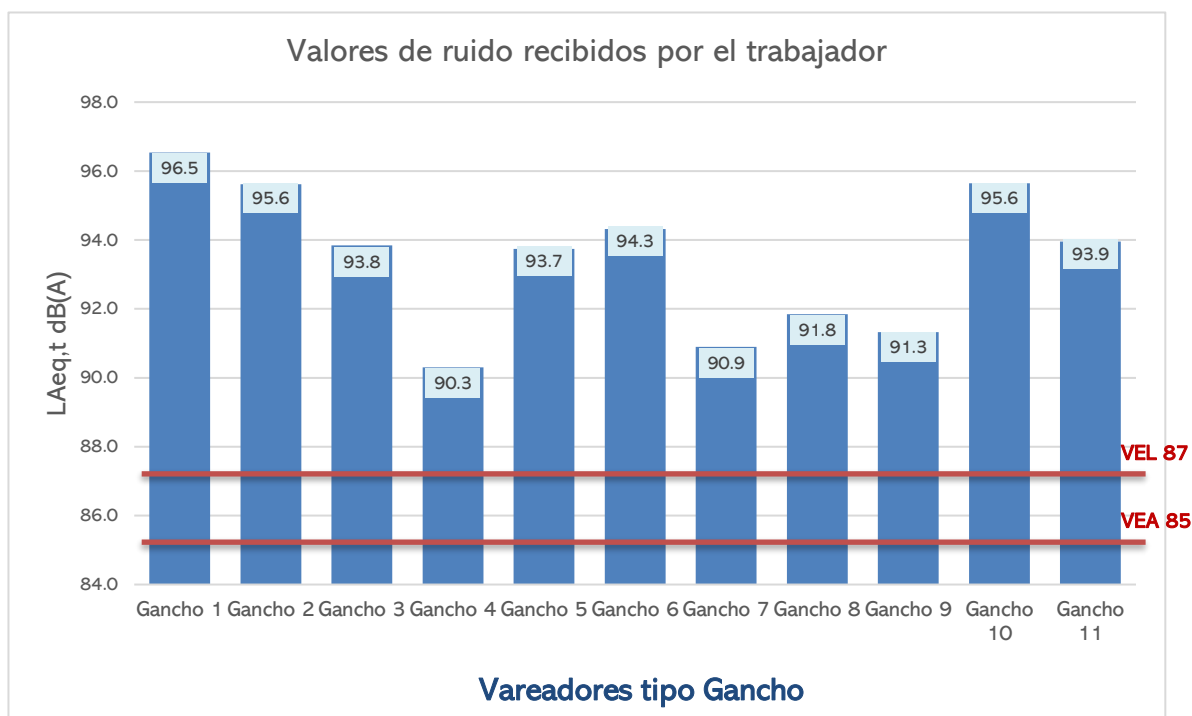


Gráfico 5. 4: Valores de Ruido medidos en campo con Vareadores tipo Gancho

Como se puede observar, los valores de potencia acústica ponderados, medidos in situ, son en la mayoría de los casos inferiores a los declarados por los fabricantes, en este sentido se debe puntualizar que el ruido que se ha medido en la posición de los auriculares sobre la

cabeza del operador y con la maquina en plena carga, No obstante, todos los valores de exposición a ruido, es decir el nivel de potencia acústica ponderado, superan el VEA e incluso, están muy por encima del VEL.

En el siguiente **Gráfico 5.5** se presentan los valores de exposición a la vibración VMB, como aceleración equivalente ponderada $A(8)$ en m/s^2 , medidos en campo para cada uno de los modelos. Las características y los valores de Vibración declarados para estos modelos ya se han especificado en la Tabla 5.8.

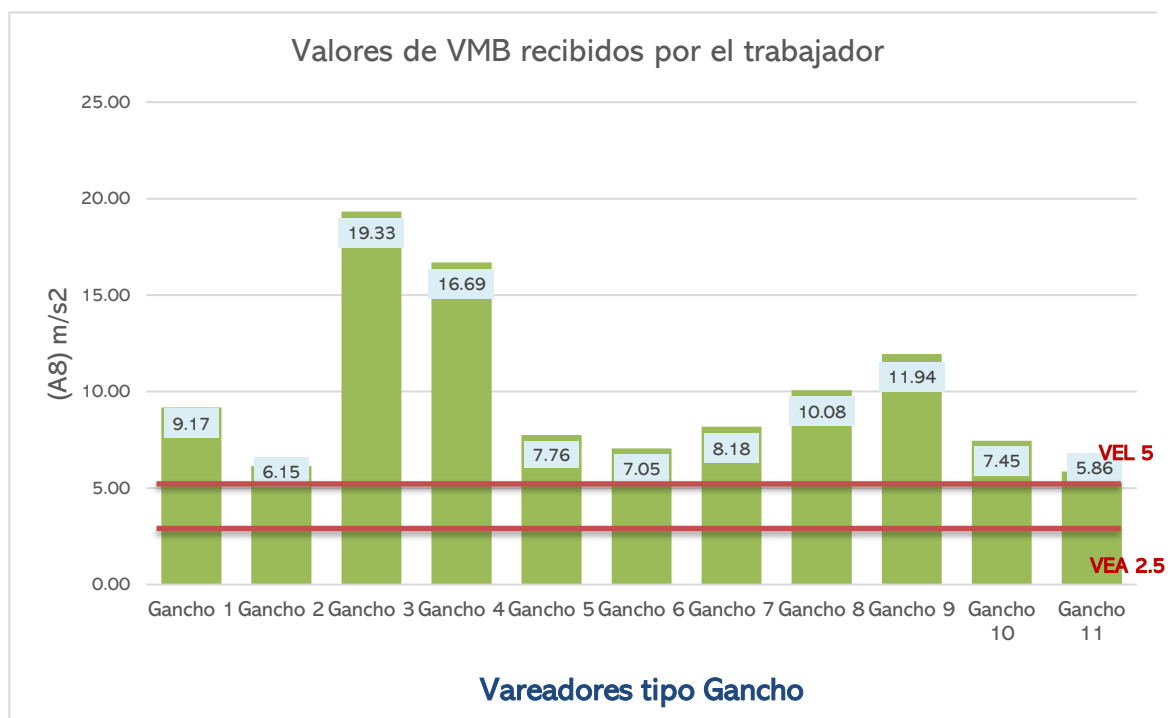


Gráfico 5. 5: Valores de VMB medidos en campo con Vareadores tipo Gancho

Con respecto a la vibración, las diferencias entre las exposiciones $A(8)$ medidas y los valores declarados son importantes, pero en este caso las vibraciones medidas $a_{hv,eq}$ van desde 5.8 a 19.3 m/s^2 , y son muy superiores a las declaradas por el fabricante. Es necesario destacar que, en referencia a los resultados de vibración del vareador tipo gancho, todos los valores superan el VEL. La mayoría presentan a valores que oscilan entre 5 y 12 m/s^2 , pero los modelos Gancho 3 y 4 presentan valores muy por encima de éstos. En este sentido, cabe señalar de nuevo que estas mediciones se realizaron en operaciones a plena carga. Durante las operaciones de trabajo en el árbol, las ramas ofrecen resistencia lo que posibilita que aumente la transmisión de vibración a las manos del operario, esto podría justificar que prácticamente los valores reales dupliquen los niveles declarados.

Como conclusión respecto a esta maquinaria, se constata que los vareadores tipo gancho se distinguen por emitir valores elevados de ruido y de vibración. Todos los modelos medidos superan, con mucho, los VEL. Se podría pensar que las herramientas más ruidosas son también las que producen dosis elevadas de vibración, pero no ocurre así.

Tampoco se puede relacionar directamente la potencia del motor con las emisiones de ruido y de vibración VMB. De hecho, los vareadores tipo gancho con motor de más potencia no declaran valores de exposición mayores de ruido y vibración, ni las más potentes son las que arrojan valores más altos de exposición en la medición realizada. Por ejemplo, para los ganchos 2 y 11 la presión acústica ponderada media es muy elevada (95,6 y 97,9) en cambio los valores de aceleración, aunque superando los VEL, se encuentran entre los más bajos de las máquinas medidas.

Finalmente, lo que sí se puede destacar que este tipo de herramientas, los vareadores tipo gancho, producen altos niveles de ruido y de vibración.

VAREADORES TIPO PEINE



Figura 5. 9: Grupo de operarios con Vareadores tipo peine durante las operaciones de recogida del fruto

En la Tabla 5.9 se han enumerado los Vareadores tipo Peine medidos. Se procede de igual manera que con los de tipo gancho. De cada modelo se especifica el tipo de suministro de energía y la potencia declarada por el productor. Además, se refleja el nivel de presión acústica ponderado (A) para las emisiones de Ruido y los valores de vibración, expresados como aceleración equivalente ponderada $a_{hv,eq}$ para el sistema mano-brazo; ambos datos son los

suministrados por los fabricantes. También se especifican las localidades donde se ha realizado la toma de datos. Los resultados obtenidos de la medición de cada uno de los modelos figuran en el Anexo IV. En este anexo, los valores de ruido y VMB se ordenan de igual forma que para los Vareadores de tipo Gancho.

Tabla 5. 9: Vareadores tipo Peine medidos. Características y valor de las emisiones de ruido y VMB declaradas por los fabricantes

Modelo de sopladora	Energía	Potencia	Nivel sonoro dB(A)	Potencia sonora dB(A)	Vibración m/s ²	Lugar de medición	Hoja de Datos
Peine 1	E	1015W	$L_w = 84$	$L_{eq} = 95$	$a_{hv,eq} = 2.5$	Antequera	Anexo IV
Peine 2	E	380W	~~~~~	$L_{eq} = 79$	$a_{hv,eq} = 10.5$	Íllora	Anexo IV
Peine 3	E	380W	~~~~~	$L_{eq} = 79$	$a_{hv,eq} = 10.5$	Íllora	Anexo IV
Peine 4	E	600W		$L_{eq} = 90$	$a_{hv,eq} = 3.2$	Cabra de Santo Cristo	Anexo IV
Peine 5	E	900W	$L_w = 84$	$L_{eq} = 95$	$a_{hv,eq} = 2.5$	Montefrío	Anexo IV
Peine 6	E	900W	$L_w = 84$	$L_{eq} = 95$	$a_{hv,eq} = 2.5$	Montefrío	Anexo IV
Peine 7	E	600W		$L_{eq} = 90$	$a_{hv,eq} = 3.2$	Montefrío	Anexo IV
Peine 8	C	0.9kw/1.2CV	$L_w = 90$	$L_{eq} = 105$	$a_{hv,eq} = 5.8$	Montefrío	Anexo IV
Peine 9	E	380W	$L_w = 76$	$L_{eq} = 79$	$a_{hv,eq} = 13$	Huétor Tajar	Anexo IV
Peine 10	E	380W	$L_w = 76$	$L_{eq} = 79$	$a_{hv,eq} = 13$	Huétor Tajar	Anexo IV
Peine 11	E	600W		$L_{eq} = 90$	$a_{hv,eq} = 3.2$	Huétor Tajar	Anexo IV

Las características de estas máquinas son variadas, las potencias de los distintos Vareadores tipo Peine oscilan entre 380 a 1015 W, todos ellos llevan motor de eléctrico con distintos tipos de baterías que les confieren más o menos autonomía. Los niveles de ruido no son tan elevados como en los Vareadores tipo Gancho, aunque superan el VEA en casi todos los modelos, como puede observarse en la Tabla 5.9. En relación con los valores de VMB existe

una gran disparidad entre los valores declarados por los distintos fabricantes, algunos modelos solo alcanzan el VEA, en cambio otros duplican el VEL. Para estas herramientas los fabricantes informan valores de ruido y vibración inferiores a los Vareadores tipo Gancho.

Tras realizar la toma de datos y calcular las exposiciones, los valores obtenidos se muestran en el siguiente Gráfico 5.6. En él se presentan los valores de exposición a ruido, como nivel de presión acústica ponderada en dBA, que son el resultado de las medidas tomadas en campo para cada uno de los modelos y calculados siguiendo la metodología descrita en el capítulo 3. Las características y los valores de ruido declarados de estos modelos ya se han especificado en la Tabla 5.9.

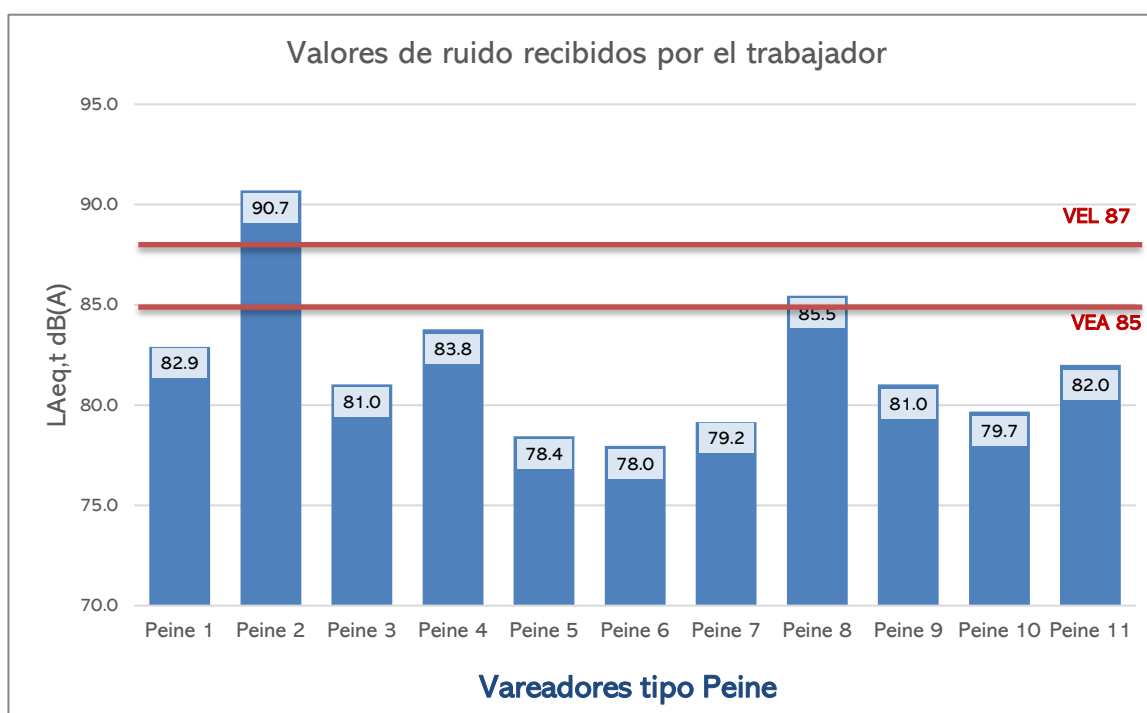


Gráfico 5. 6: Valores de Ruido medidos en campo con Vareadores tipo Peine

Con los Vareadores tipo peine, ocurre algo parecido a los Vareadores tipo Gancho, los valores de ruido difieren de los declarados por los fabricantes, aunque los valores experimentales de $L_{Aeq,d}$ medidos in situ, son a veces mayores para algunos modelos y menores para otros. Para la mayoría de los modelos medidos, los valores de exposición a ruido no alcanzan el VEA, con valores comprendidos entre 79 y 85 dBA, por lo que el ruido no supone un gran riesgo para la salud, sólo uno de los modelos, el modelo 2 alcanza 91 dBA.

Para los Vareadores tipo peine el Gráfico 5.7 presentan los valores de exposición a la vibración VMB, como aceleración equivalente ponderada A(8) en m/s^2 , a partir de los datos medidos en campo, y para cada uno de los modelos. Las características y los valores de Vibración declarados para estos modelos ya se han especificado en la Tabla 5.9.

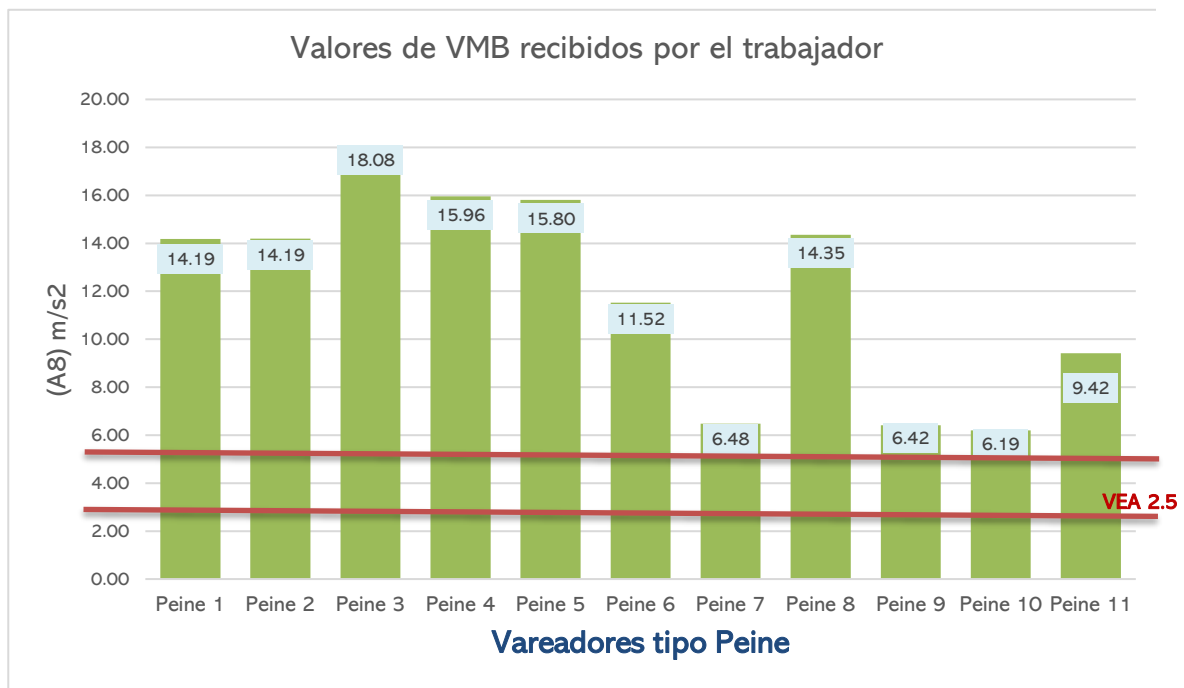


Gráfico 5. 7: Valores de VMB medidos en campo con Vareadores tipo Peine

Los valores de vibración difieren de los declarados por los fabricantes, aunque los valores experimentales de aceleración equivalente ponderada $a_{hv,eq}$ medida in situ, son a veces mayores y en algún caso inferiores a los declarados. En todo caso, los valores de aceleración medidos están muy por encima de los permitidos por la normativa, todos superan el VEL, es más, incluso llegan a triplicar este valor límite.

Como conclusión, se puede decir que estas herramientas tienen emisiones de ruido relativamente aceptables, en cambio, generan exposiciones a VMB muy elevadas.

SOPLADORAS DE HOJAS

Se han medido los valores de exposición de 9 modelos de Sopladoras de hojas. Siguiendo el mismo proceso que con las herramientas anteriores, para cada modelo se especifica el tipo de suministro de energía y la potencia declarada, el nivel de presión acústica ponderado (A) para las emisiones de Ruido y los valores de vibración, expresados como aceleración equivalente ponderada $a_{hv,eq}$ para el sistema mano-brazo. Todos los datos son los suministrados por los fabricantes. También se especifican las localidades donde se ha realizado la toma de datos. Los resultados obtenidos de la medición de cada uno de los modelos figuran en el Anexo V. En este anexo, los valores de ruido y VMB se ordenan de forma semejante que para las otras máquinas.



Figura 5. 10: Operario con aparatos de medida utilizando Sopladora de hojas con motor de combustión

Al igual que ocurre con las máquinas expuestas anteriormente, faltan algunas especificaciones en los manuales de las sopladoras de hojas en los manuales suministrados por los fabricantes. En la Tabla 5.10 se recoge la información suministrada por los fabricantes tanto de ruido como de VMB.

Tabla 5. 10: Sopladoras de hojas medidas. Características y valor de las emisiones de ruido y VMB declaradas por los fabricantes

Modelo de Sopladora	Energía	Cilindrada cm ³	Potencia	Nivel sonoro dB(A)	Potencia sonora dB(A)	Vibración m/s ²	Lugar de medición	Hoja se Datos
Sopladora 1	C	64.8	S/INF	$L_w = 100$	$L_{eq} = 113$	$a_{hv,eq} = 1.8$	Antequera	Anexo V
Sopladora 2	C	63.3	S/INF	$L_w = 102$	$L_{eq} = 108$	$a_{hv,eq} = 2.5$	ETSIE	Anexo V
Sopladora 3	C	63.3	3,05 kW 4,15 CV	$L_w = 98$	$L_{eq} = 108.8$	$a_{hv,eq} = 2.8$	Arquillos	Anexo V
Sopladora 4	C	61.3	3,3 kW	$L_w = 98$	$L_{eq} = 110.1$	$a_{hv,eq} = 2.5$	Huétor Tajar	Anexo V
Sopladora 5	C	61.3	3,3 kW	$L_w = 98$	$L_{eq} = 110.1$	$a_{hv,eq} = 2.5$	Huétor Tajar	Anexo V
Sopladora 6	C	61.3	3,3 kW	$L_w = 98$	$L_{eq} = 110.1$	$a_{hv,eq} = 2.5$	Huétor Tajar	Anexo V
Sopladora 7	C	56.5	S/INF	$L_w = 75$	S/INF	$a_{hv,eq} = 3.2$	Montefrío	Anexo V
Sopladora 8	C	56.5	S/INF	$L_w = 75$	S/INF	$a_{hv,eq} = 3.2$	Montefrío	Anexo V
Sopladora 9	E	~~~~~	36 vatios	$L_w = 80$	$L_{eq} = 90$	$a_{hv,eq} = 0.9$	ETSIE	Anexo V

Los valores de ruido declarados están por encima de los valores límite de la normativa. Para la exposición a la VMB los valores declarados están por debajo del VEA en la mayoría de los modelos excepto en dos, sopladora 7 y 8, que, aun superando ese valor no llegan al valor límite VEL. Como se puede observar, en el siguiente Gráfico 5.8, los valores de presión acústica equivalentes ponderados, medidos in situ para las sopladoras de hojas, son en todos los modelos inferiores a los declarados. Aun así, los valores son elevados, pues todas las sopladoras con motor de combustión superan el VEA. La sopladora 9, que se diferencia fundamentalmente porque tiene motor eléctrico, es la única que no alcanza este nivel de ruido. Lo mismo ocurre con el VEL; todos los modelos de sopladoras con motor de combustión exceden ese valor.



Gráfico 5. 8: Valores de Ruido medidos en campo con Sopladora de hojas

Para las vibraciones, los resultados son muy diferentes a los niveles de exposición a ruido. Tal y como se puede observar en el **Gráfico 5.9**, ningún modelo de sopladora de hojas alcanza el VEA. De ello se desprende que el riesgo es bajo en estas máquinas.

En definitiva, a las sopladoras de hojas les ocurre lo contrario que para los vareadores tipo peine. Ahora las dosis elevadas en estas máquinas son las dosis las de ruido, pues éstas superan los VEL en todas las que utilizan motor de combustión. Por el contrario, los valores de aceleración quedan por debajo de los VEA en todos los casos, aunque algún fabricante declaró valores de aceleración superiores al VEA.

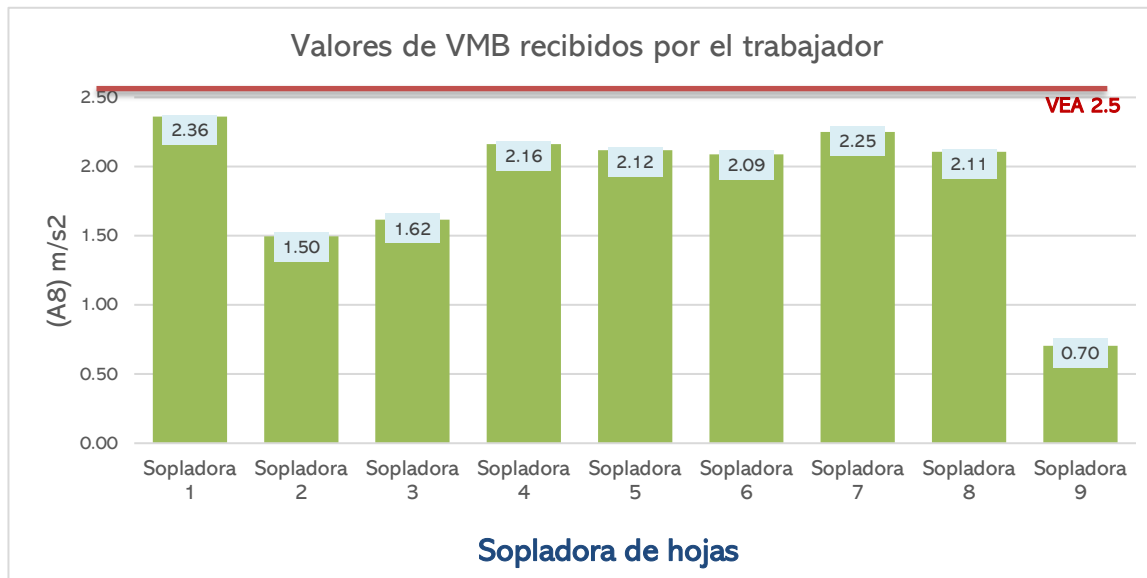


Gráfico 5. 9: Valores de VMB medidos en campo con Sopladoras de hojas

5.5 APLICACIÓN DEL ÍNDICE COMBINADO DE RUIDO Y VMB PARA LA DETERMINACIÓN DE TIEMPOS DE EXPOSICIÓN COMBINADOS DE LAS MÁQUINAS MÁS UTILIZADAS

Para la aplicación del índice combinado definido en el capítulo anterior y partiendo del conocimiento del sector oleícola, según lo expuesto en el apartado 5.3, se ha seleccionado la actividad de recolección de aceitunas mediante máquinas guiadas manualmente, y en concreto con vareador de ramas tipo gancho (ver Tabla 5.7) pues son de las más utilizadas y por tanto, representan la maquinaria con un mayor impacto

La región en la que se llevan a cabo las mediciones es Andalucía durante el período de cosecha, que normalmente se extiende desde el mes de noviembre hasta el mes de marzo.

Toda la toma de muestras, tanto de ruido como de VMB, se efectuaron en época de campaña en situaciones de trabajo real. Como se mencionó anteriormente, el número de días hábiles se contabiliza en aproximadamente 19 millones en una temporada de producción. (Junta de Andalucía. Conserjería de Agricultura Ganadería Pesca y Desarrollo sostenible, 2021).

5.5.1 PUESTO DE TRABAJO CON UNA FUENTE QUE EMITE RUIDO Y VIBRACIÓN. TOMA DE DATOS. APLICACIÓN DEL ÍNDICE COMBINADO PARA UNA MAQUINA DE MANO

Para la toma de datos de ruido y vibración entre la maquinaria más utilizada en el sector, se ha seleccionado los vareadores de ramas tipo ganchos, para la aplicación del índice combinado. A continuación, se describe la maquinaria, el proceso de la toma de datos, la caracterización y los cálculos efectuados para la aplicación de índice combinado.



Figura 5. 11: Auriculares colocados en la cabeza del operario durante el trabajo para la toma de datos de campo

Máquina medida: Vareadores de aceitunas tipo gancho. Consiste en una varilla de una sola pieza de longitud extensible que va de 1.5 a 3 m con un extremo en forma de V invertida cubierto con material amortiguador. El sistema operativo difiere de unas marcas a otras, en este caso el modelo seleccionado es de gasolina, con un motor de combustión de dos tiempos de entre de 3.0 CV. Las características de la máquina medida se muestran en la Tabla 5.11.

Tabla 5. 11: Máquina medida: vareador tipo gancho. Valores de ruido y vibración declarados por el fabricante.

Modelo	Cilindrada cc	Potencia	Ruido ²⁷	Vibración ²⁸
A	48,7 cm ³	(3.0CV) (2.2KW)	$L_{eq} = 102$ dB(A) $L_w = 113$ dB(A)	$a_{hv,eq}$ izquierda = 5.7 m/s ² $a_{hv,eq}$ derecha = 5.7 m/s ²

Durante las mediciones, se proporcionó al trabajador los sensores y equipos descritos en **Capítulo 3**, es decir, el analizador SQuadriga II para las grabaciones binaurales, para lo que se colocaron los auriculares sobre las orejas del operario y se realizó el registro de la señal de sonido, y para la medición de la vibración se utilizó el acelerómetro SVAN106, SVANTEK. Las aceleraciones se midieron colocando el sensor en la empuñadura, tal y como aparece en la Figura 3.3 del capítulo 3. La Figura 5.12 muestra la situación de los sensores sobre el operario: el sensor de vibración en la palma de la mano y el sensor de ruido sobre las orejas del operario. El registrador de datos se coloca en una bolsa para permitir al operador realizar sus operaciones de trabajo habituales. Los valores de vibración de las cosechadoras se midieron y analizaron en la mano del operador, y el nivel de presión de ruido se midió en la posición del oído del operador.

²⁷ ISO 11201:2010 Ruido emitido por máquinas y equipos (ISO, 2010).

²⁸ ISO-20643:2008 Vibración mecánica (ISO, 2008b). Maquinaria manual y guiada a mano.



Figura 5. 12: Trabajador equipado con cosechadoras de aceitunas tipo gancho y sensor de vibraciones SVAN 106

La medición se llevó a cabo en condiciones reales de trabajo durante una jornada laboral normal en una de las plantaciones. El tipo de plantación que se estudia es el de las plantaciones tradicionales de olivos, cada olivo está formado por uno o varios troncos, pero unidos en una misma copa, con la altura de la parte superior es variable, oscilando entre 3 y 5 m, y el trabajador se mueve alrededor del árbol (ver Figura 5.13). El trabajador sostiene la herramienta con ambas manos y coloca el gancho en la rama del árbol de grosor medio; durante la operación acorta y alarga el poste produciendo vibraciones en el árbol para liberar el fruto (aceitunas). En esta operación, la herramienta transmite el VMB al trabajador con ambas manos y emite ruido.

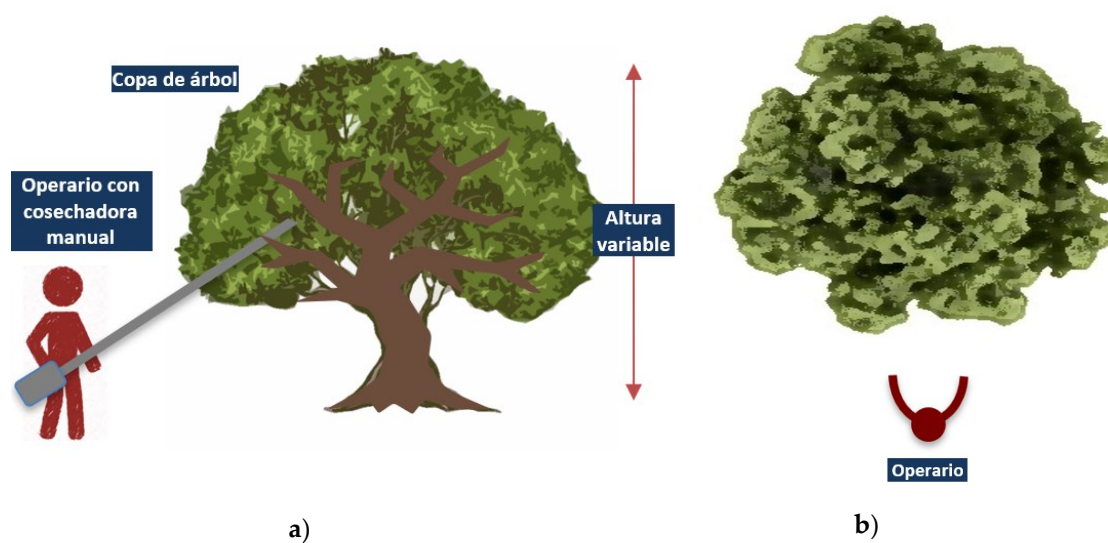


Figura 5. 13: a) Diagrama de la posición del trabajador en vista lateral; b) Diagrama de la posición del trabajador vista en planta.

Los trabajadores participantes en este estudio fueron seleccionados porque son trabajadores cualificados con una amplia experiencia en la operación de maquinaria seleccionada, de acuerdo con las características incluidas en las normas ISO 5349-1:2001 e ISO 5349-2:2002. (ISO, 2001; ISO, 2002) La medición se llevó a cabo durante su jornada laboral. Los únicos criterios para seleccionar a los trabajadores fueron los basados en la experiencia independientemente de su condición física, sexo o edad. En este caso todos los trabajadores eran varones y tenían entre 30 y 60 años.

Medición de los resultados y cálculo del tiempo de exposición

En primer lugar, se realizó el proceso de caracterización de las cosechadoras de aceitunas tipo gancho en cuanto a emisión de ruido y VMB. Las mediciones se tomaron de acuerdo con las normas ISO 5349-1:2001 e, ISO 5349-2:2002 (ISO, 2001; ISO 2002) para el VMB, e ISO 1999:2013 (ISO, 2013b) para la evaluación del ruido. Los resultados obtenidos de la medición del MODELO 1: Vareadores de aceituna tipo gancho se muestran en la Tabla 5.12

Tabla 5. 12: Valores de ruido y vibración medidos en períodos de tiempo simultáneos (para cada operador).

Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración a_{hv}	Media aritmética	Ruido $L_{Aeq,T}$	promedio logarítmico
1	2.707	5.609	2.553	6.731		97.3	
	3.105	3.508	2.506	5.312		93.8	
	4.069	3.926	2.239	6.081		94.2	
	6.714	5.176	3.010	8.996		96.7	
	2.698	2.767	2.104	4.400		90.6	
					6.304		95.1
2	2.917	3.999	1.409	5.146		96.4	
	2.301	3.720	2.352	4.966		97.7	
	1.455	2.633	0.985	3.165		82.6	
	1.834	1.869	1.070	2.828		94.2	
	5.135	12.488	3.560	13.964		97.1	
				6.014		95.6	
3	4.074	9.057	4.534	10.917		99.3	
	5.495	6.516	2.884	8.998		100.1	
	1.288	1.991	1.660	2.894		100.1	
	2.415	3.681	2.941	5.294		97.6	
	2.701	3.627	2.645	5.238		103.2	
				6.668		100.4	
RE-SULTADO	TOTAL				6.33		97.7

Según la Ecuación (3.6) el valor obtenido de a_{hv} es 6,33 m/s². Del mismo modo, de la Ecuación (3.3) se obtiene el valor de $L_{Aeq,T}$ es 97.7 dB(A). En este caso, y con estos valores, se realizan dos tipos de cálculos. En primer lugar, el tiempo máximo de exposición para cada

uno de los agentes físicos, que se calcula de forma independiente, para lo que el criterio utilizado fue el que se describe en el Capítulo 4: mantener las dosis de energía para cada uno de los agentes físicos ruido y VMB, y que éstas alcancen el valor 1 de forma independiente. El tiempo de exposición al ruido T_{exp} se calculó siguiendo el procedimiento descrito en la Ecuación (4.12) para el caso de que el tiempo de exposición a la vibración sea 0, es decir que la dosis de vibración sea nula. El tiempo de exposición se calculó para no exceder del VEA para ruido (es decir 85dBA)

$$T_{CexpRuidoMax} = 8 * 10^{\frac{85-LAeq, Ter}{10}} ; \text{ para el caso de } T_{CexpVib} = 0 \quad (4.12)$$

De igual forma, el tiempo de exposición a la vibración T_{exp} VMB se calculó para no exceder el valor VEA de A(8) de acuerdo con la Tabla 3.7 (es decir, 2.5 m/s²) y de acuerdo con la Ecuación (4.13), siguiendo el mismo procedimiento que se aplicó al cálculo del. Estos tiempos de exposición calculados coinciden con los llamados $T_{CexpRuidoMax}$ y $T_{CexpVibMax}$ tal y como se ha planteado en Capítulo 4 de la presente tesis.

$$T_{CexpVibMax} = \frac{2,5^2 * 8}{a_{hveq}^2} ; \text{ para el caso de } T_{CexpRuido} = 0 \quad (4.13)$$

Tabla 5. 13: Tiempos máximos de exposición para ruido y vibraciones tomadas de forma independiente.

Ruido (Ec. 4.12)	VMB (Ec. 4.13)
$T_{CexpRuidoMax} = 0.421$ h	$T_{CexpVibMax} = 1.248$ h

En este caso, los tiempos de exposición recomendados serán de 0.421 h si se considera ruido y de 1.248 h si se considera VMB. Pero en este caso, el trabajador está expuesto tanto al ruido como al VMB, ya que la exposición del trabajador se origina en una máquina determinada que genera tanto ruido como vibraciones. En este caso, el procedimiento sugerido tiene en cuenta ambas exposiciones y el tiempo máximo de exposición recomendado $T_{CexpMax}$ se calculará de acuerdo con la Ecuación (4.22), siendo el resultado 0.315 h.

$$T_{CexpMax} = \frac{8}{10^{\frac{LAeq, Ter-85}{10}} + \frac{a_{hveq}^2}{2,5^2}} \quad (4.22)$$

Como es de esperar, si tenemos en cuenta ambas exposiciones, el tiempo de exposición combinado $T_{CexpMax}$ recomendado es menor que el tiempo de exposición al ruido $T_{CexpRuidoMax}$ o el tiempo de exposición a la vibración $T_{CexpVibMax}$. Por lo que utilizando el tiempo de exposición del índice combinado $T_{CexpMax}$ las dosis de ruido *Druido* y de vibración *Dvibracion* serán las reflejadas en la Tabla 5.14. Estos valores aseguran que la suma de las dosis de ruido y VMB sea igual a 1. Como se ha establecido en la Ecuación (4. 21)

Tabla 5. 14: *Dvibracion y Druido logrado para el tiempo de exposición máximo recomendado combinado $T_{CexpMax}$*

<i>Druido</i> (Ec. 4.4)	<i>Dvibracion</i> (Ec. 4.8)
0.748	0.252

Para las dosis que recibe el trabajador limitando el tiempo de exposición al tiempo combinado calculado anteriormente, las exposiciones reales recibidas se obtendrán, para vibraciones el valor de A(8) según la Ecuación (3.5) del capítulo 3, es $1,3 \text{ m/s}^2$ y para ruido el valor de $L_{Aeq,d}$ según la Ecuación (3.4) es de 83,7 dBA. Como se puede ver, ambos están por debajo de los valores de VEA recogidos en la Tabla 3.7.

Discusión del caso de estudio

En este caso el ruido y la VMB proceden de la misma fuente, que es lo más habitual en la mayoría de los sectores. El procedimiento de cálculo supone un único tiempo de exposición recomendado cuando se utiliza esta máquina para no exceder de la dosis combinada.

El tiempo recomendado fue de 0,315 h, inferior a las 0,421 h si solo se considera ruido o 1.248 h si solo se considera el VMB. Cabe destacar que esta investigación se realizó teniendo en cuenta datos reales, donde la exposición de los trabajadores proviene de la máquina definida en el caso de estudio. Sin embargo, se pueden considerar otros casos en los que la reducción en el tiempo de exposición recomendado se vuelve mayor.

Esta aplicación del índice valida parte de la **Hipótesis 5** pues se demuestra que se puede aplicar el índice en el caso de que exista una sola fuente que emita ruido y VMB al mismo tiempo.

5.5.2 DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS MÁXIMOS DE EXPOSICIÓN COMBINADOS PARA LA MAQUINARIA CARACTERIZADA EN EL SECTOR OLEÍCOLA. APLICACIÓN DEL ÍNDICE PROPUESTO

Tras la aplicación del índice propuesto en esta Tesis a los Vareadores de aceitunas tipo gancho, en este apartado el índice se ha aplicado a las maquinarias utilizadas en la recolección de aceituna, escogidas entre las que se han medido en campo, durante la toma de datos experimentales que caracteriza el sector oleícola. Como se ha podido comprobar en el apartado 5.3. para cada tipo de maquinaria, los valores de exposición son muy diferentes de unos modelos a otros, incluso entre los modelos en que cabría esperar exposiciones similares, pues tienen las mismas características según los fabricantes, hay variaciones importantes, por lo que se usarán datos medidos experimentalmente

En el apartado 5.4.1 se ha demostrado que es perfectamente factible la aplicación del Índice a un caso de estudio. Realmente, no es necesario para demostrar que la implementación del Índice combinado es factible, pero en esta etapa de la investigación se ha considerado que puede ser interesante comprobar el efecto en los de tiempos de exposición, para máquinas caracterizadas en el sector y que presentan exposiciones a ruido y VMB diferentes.

Por ello, se procede a realizar los cálculos de índice propuesto al resto de máquinas medidas y evaluadas para el sector. Seguidamente, y para cada máquina, se han calculado los tiempos de exposición de cada uno de los agentes por separado y el tiempo combinado que se obtiene de la aplicación del Índice. Se completa con las dosis de Ruido y de VMB realmente soportadas por el trabajador aplicando el tiempo de exposición combinado. De esta forma se logra un marco completo que puede ser útil para la caracterización de la maquinaria más comúnmente utilizada en el sector oleícola.

TIEMPO DE EXPOSICIÓN VAREADORES TIPO GANCHO

Para los Vareadores tipo Gancho se ha elaborado Tabla 5.15. En ella figuran, para cada modelo medido, las exposiciones a cada uno de los agentes (a_{hv} , $L_{Aeq,d}$), el tiempo máximo permitido para cada agente calculado de forma independiente ($T_{expVibMax}$, $T_{expRuidoMax}$), el tiempo combinado tras la aplicación del índice $T_{CexpMax}$, y por último los valores de las Dosis de VMB A(8) y de Ruido $L_{Aeq,t}$ que debe soportar el trabajador aplicando el tiempo combinado. $T_{CexpMax}$

Tabla 5. 15: Aplicación del Índice combinado. Vareadores tipo Gancho. Tiempos de exposición a Ruido y VMB, Tiempo combinado. Dosis resultantes. Los tiempos se miden en horas, los niveles de ruido en dBA y las aceleraciones en m/s^2 .

a_{hv}	$T_{expVibMax}$	$L_{Aeq,d}$	$T_{expRuidoMax}$	$T_{CexpMax}$	Dosis Vib	A (8)	Dosis Ruido	$L_{Aeq,t}$
MODELO 1								
9.17	0.594	96.5	0.561	0.289	0.486	1.743	0.514	82.1
MODELO 2								
6.146	1.324	95.6	0.694	0.455	0.344	1.466	0.656	83.17
MODELO 3								
19.333	0.134	93.8	1.044	0.119	0.886	2.354	0.114	75.5
MODELO 4								
16.688	0.180	93.8	2.360	0.167	0.929	2.410	0.071	73.5
MODELO 5								
7.758	0.831	93.7	1.069	0.467	0.563	1.875	0.437	81.4
MODELO 6								
7.049	1.006	94.3	0.937	0.485	0.482	1.736	0.518	82.1
MODELO 7								
8.176	0.748	90.9	2.055	0.548	0.733	2.141	0.267	79.3
MODELO 8								
10.076	0.492	91.8	1.655	0.380	0.771	2.195	0.229	78.6
MODELO 9								
11.941	0.351	91.3	1.866	0.295	0.842	2.294	0.158	77.0
MODELO 10								
7.451	0.901	95.6	0.690	0.391	0.434	1.647	0.566	82.5
MODELO 11								
5.864	1.454	93.9	1.019	0.599	0.412	1.605	0.588	82.7

El Gráfico 5.10 muestra, para todos los modelos de vareadores tipo gancho medidos y que figuran en la tabla anterior, los valores de los tiempos de exposición para cada uno de los agentes y el tiempo de exposición combinado que resulta de la aplicación del índice.

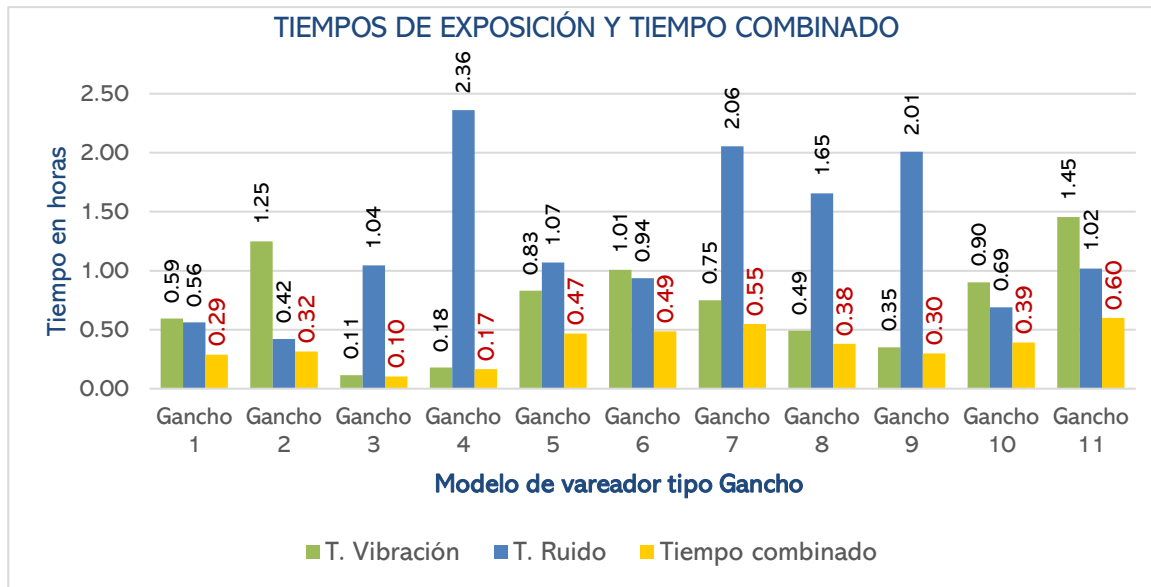


Gráfico 5. 10: Aplicación del Índice. Vareadores tipo Gancho. Tiempos de exposición.

TIEMPOS DE EXPOSICIÓN VAREADORES TIPO PEINE

A continuación, se presenta la misma información para los Vareadores tipo Peine.

Tabla 5. 16: Aplicación del Índice combinado. Vareadores tipo Peine. Tiempos de exposición a Ruido y VMB, Tiempo combinado. Dosis resultantes. Los tiempos se miden en horas, los niveles de ruido en dBA y las aceleraciones en m/s^2 .

a_{hv}	$T_{expVibMax}$	$L_{Aeq,d}$	$T_{expRuidoMax}$	$T_{CexpMax}$	Dosis Vib	A (8)	Dosis Ruido	$L_{Aeq,t}$
MODELO 1								
14.188	0.248	82.9	12.979	0.244	0.981	2.476	0.019	67.7
MODELO 2								
14.193	0.248	90.7	2.146	0.222	0.896	2.367	0.104	75.1
MODELO 3								
18.077	0.153	81.0	19.914	0.152	0.992	2.490	0.008	63.8
MODELO 4								
15.962	0.196	83.8	10.586	0.193	0.982	2.477	0.018	67.6
MODELO 5								
15.805	0.200	78.4	36.182	0.199	0.994	2.493	0.006	62.4
MODELO 6								
11.523	0.377	78.0	40.422	0.373	0.991	2.488	0.009	64.6
MODELO 7								
6.476	1.192	79.2	30.741	1.148	0.963	2.453	0.037	70.7
MODELO 8								
14.352	0.243	85.5	7.198	0.235	0.967	2.459	0.033	70.1
MODELO 9								
6.417	1.214	81.0	19.913	1.145	0.943	2.427	0.057	72.6
MODELO 10								
6.194	1.303	79.7	27.215	1.244	0.954	2.442	0.046	71.6
MODELO 11								
9.421	0.563	82.0	15.920	0.544	0.966	2.457	0.034	70.3

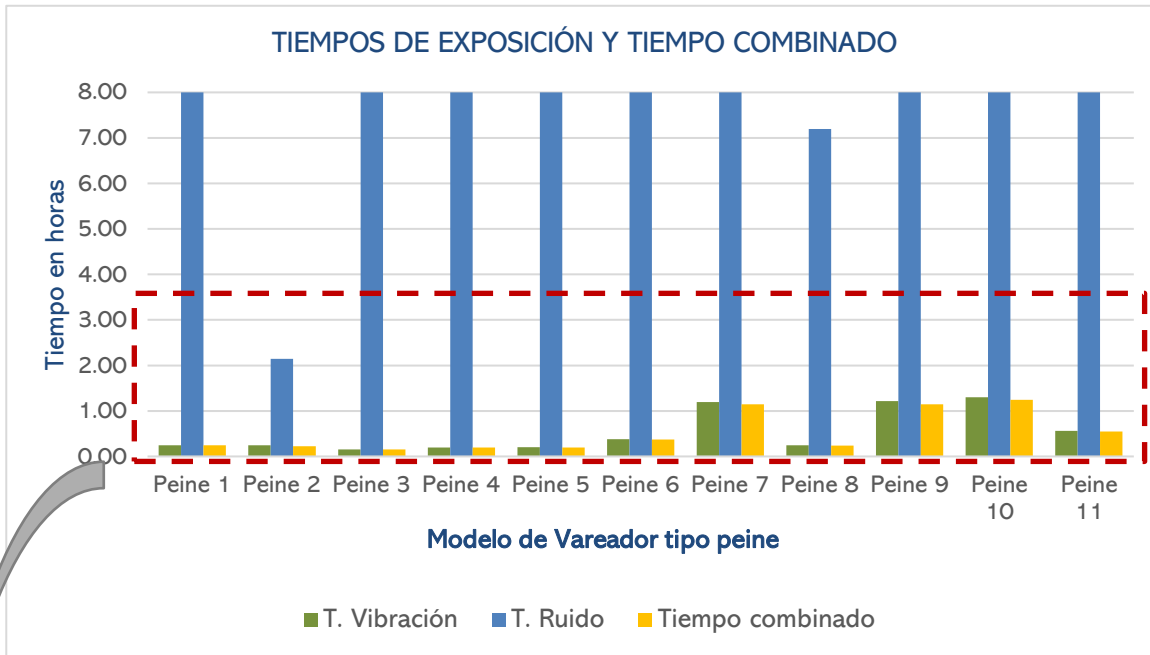


Gráfico 5. 11: Aplicación del Índice. Vareadores tipo Peine. Tiempos de exposición

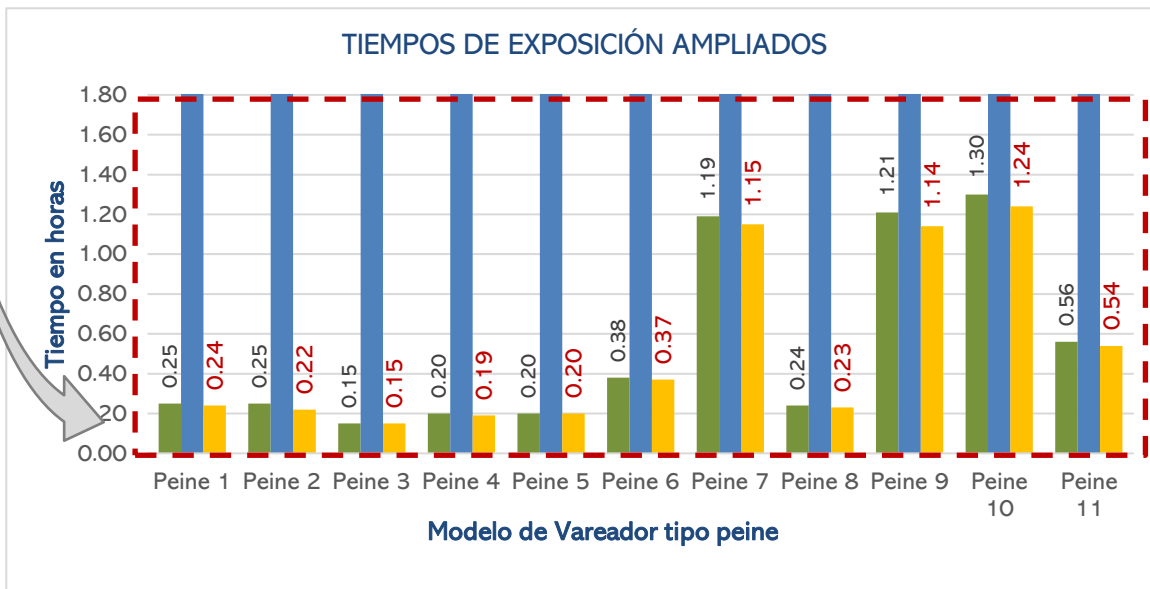


Gráfico 5. 12: Aplicación del Índice. Vareadores tipo Peine. Tiempos de exposición (Ampliación del gráfico 5.11)

TIEMPOS DE EXPOSICIÓN SOPLADORAS

A continuación, se presenta la misma información para las sopladoras.

Tabla 5. 17: Aplicación del Índice combinado. Sopladoras de Hojas. Tiempos de exposición a Ruido y VMB, Tiempo combinado. Dosis resultantes. Los tiempos se miden en horas, los niveles de ruido en dBA y las aceleraciones en m/s^2 .

a_{hv}	$T_{expVibMax}$	$L_{Aeq,d}$	$T_{expRuidoMax}$	$T_{CexpMax}$	Dosis Vib	A (8)	Dosis Ruido	$L_{Aeq,t}$
MODELO 1								
2.362	8.961	98.5	0.357	0.343	0.038	0.489	0.962	84.8
MODELO 2								
1.496	22.327	100.6	0.221	0.219	0.010	0.247	0.990	84.9
MODELO 3								
1.617	19.132	95.6	0.691	0.667	0.035	0.467	0.965	84.8
MODELO 4								
2.163	10.688	95.7	0.684	0.643	0.060	0.613	0.940	84.7
MODELO 5								
2.118	11.145	96.0	0.632	0.598	0.054	0.579	0.946	84.8
MODELO 6								
2.088	11.469	96.1	0.622	0.590	0.051	0.567	0.949	84.8
MODELO 7								
2.250	9.877	93.4	1.144	1.025	0.104	0.805	0.896	84.5
MODELO 8								
2.107	11.262	92.2	1.508	1.330	0.118	0.859	0.882	84.4
MODELO 9								
0.704	100.74	75	80.63	44.786				

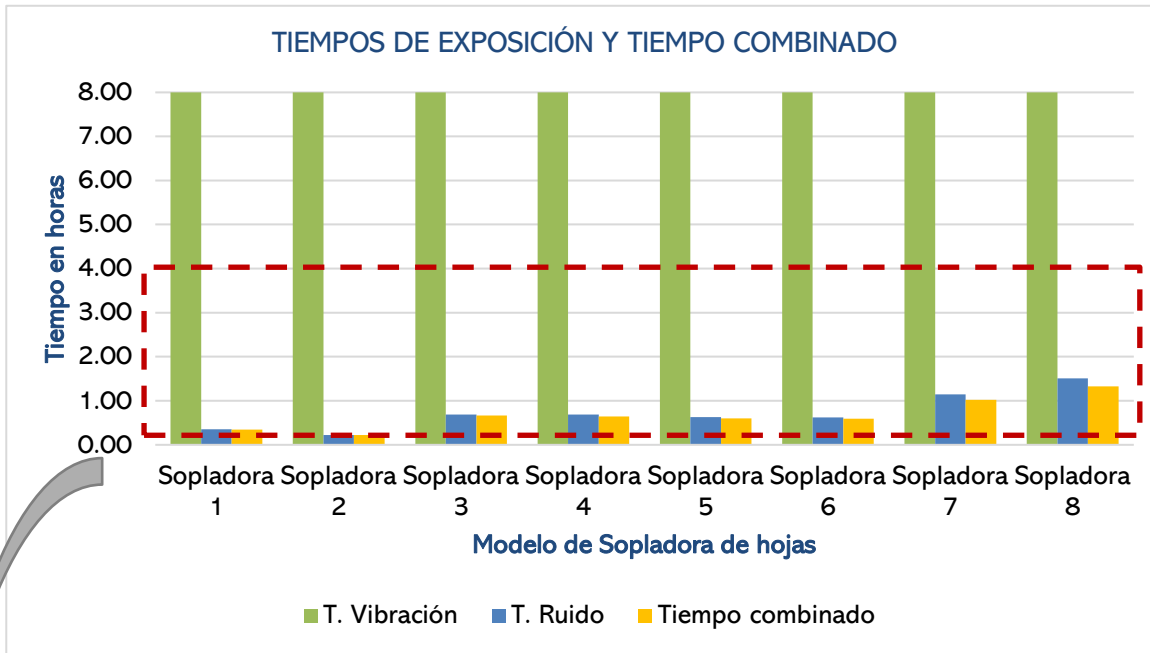


Gráfico 5.13: Aplicación del Índice. Sopladoras de Hojas. Tiempos de exposición

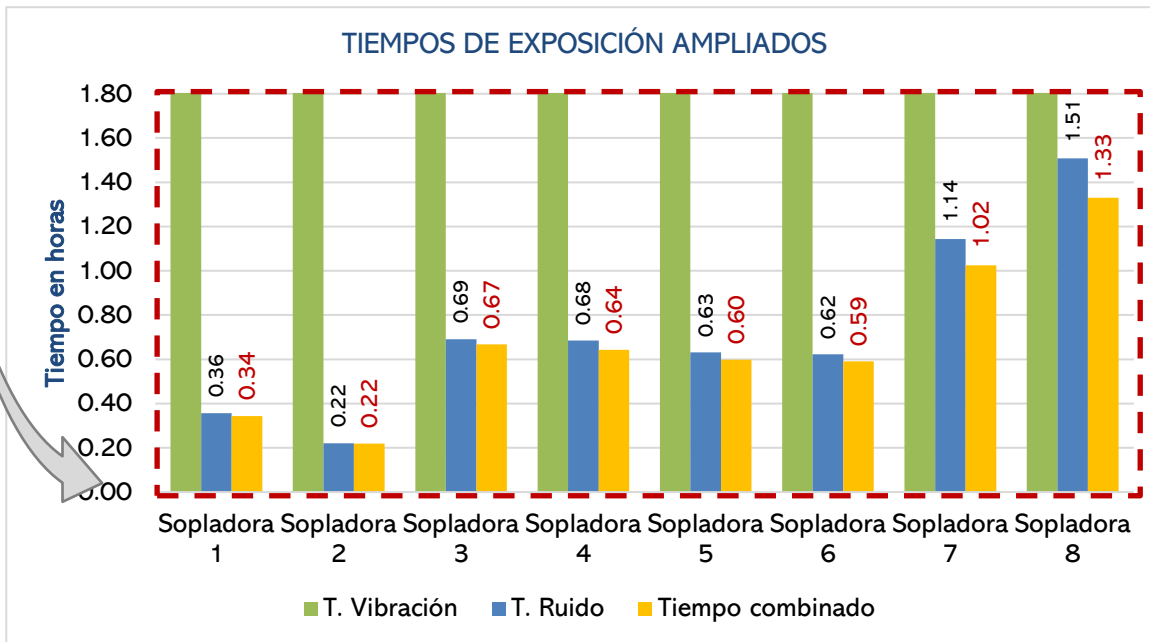


Gráfico 5.14: Aplicación del Índice. Sopladoras de Hojas. Tiempos de exposición (Ampliación del gráfico 5.13)

5.4.3 DISCUSIÓN Y LIMITACIONES DE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE COMBINADO

La exposición simultánea al VMB y al ruido es común en diferentes sectores productivos. Hay dos situaciones posibles en las que el trabajador se expone a ambos agentes físicos:

- 1) La primera posibilidad es que haya dos fuentes diferentes que pueden afectar al trabajador; una de ellas lo expone a VMB a través del funcionamiento normal de la maquinaria y hay otra fuente que, aunque no está en contacto físico con el trabajador, emita ruido y cuya onda llega al trabajador.
- 2) La segunda opción es que haya una sola fuente o máquina, que transmite ambos agentes simultáneamente al trabajador. Dado que hay exposición simultánea tanto al ruido como a la VMB, la actividad implica que el trabajador recibe una exposición a ambos agentes y debe considerarse preventivamente.

Por supuesto, ambos escenarios pueden surgir en función de los puestos de trabajo y de los procesos productivos, tanto en los que se ejecutan labores que implican la utilización de herramientas asidas por las manos, como en algunas situaciones específicas, se encuentran en espacios de trabajo en los que hay más maquinarias.

La propuesta realizada en esta Tesis doctoral busca proponer un tiempo de exposición recomendado que pueda utilizarse en los dos casos considerados anteriormente.

En el primer caso, cuando el trabajador está expuesto a dos o más fuentes, pero la actividad implica que funcionan simultáneamente, se puede calcular el tiempo máximo de exposición al ruido y a la VMB para ambas fuentes, de forma independiente, para que no se superen los valores máximos de dosis. Al aplicar el índice combinado de la suma de las dosis se obtiene un único tiempo máximo recomendado para los dos agentes, que mantiene el valor del índice de dosis total igual a la unidad.

Otra situación posible, para este mismo caso, surge si durante una jornada laboral el trabajador recibe VMB de una máquina, y ruido de otra fuente, pero la actividad no implica operación simultánea de ambas máquinas. Entonces, se calculará el tiempo máximo permitido con cada uno de los agentes por separado, que no supere los valores VEA. Estos tiempos corresponden con los pares coincidentes: el primero, $(T_{CexpRuido}, 0)$ para el cálculo de la dosis de ruido *Druído* igual a 1 y para vibración =0, y el otro par coincidente, $(0, T_{CexpVib})$ para el cálculo de la dosis de ruido=0 y la de *Dvibración* es igual a 1. Una vez establecidos los números máximos de los pares coincidentes de tiempo de exposición $(T_{CexpRuido}, T_{CexpVib})$, se calculan los valores intermedios de los pares coincidentes temporales que mantienen el valor del índice combinado por debajo de la unidad. El responsable de seguridad debe fijar el tiempo de uno de los agentes, y deducir el tiempo para el otro agente. En este caso se

pueden establecer diferentes intervalos de tiempo para cada una de las fuentes, respetando el tiempo máximo calculado para mantener la dosis combinada inferior a uno, a criterio del técnico y en función de la tarea que se desarrolle.

En el segundo caso, el ruido y el VMB provienen de la misma fuente, lo que es habitual en la mayoría de los sectores, donde la maquinaria que transmite la VMB también emite ruido, por lo que el trabajador recibe ambas energías al mismo tiempo. El procedimiento de cálculo sugerido supone un único tiempo de exposición recomendado utilizando esta máquina, para evitar que se exceda de la dosis combinada. Este caso fue el caso de estudio mostrado en el presente capítulo en el apartado 5.5.1.

En cuanto a los supuestos o hipótesis subyacentes del procedimiento propuesto, en primer lugar, está el supuesto principal, y es que el efecto total causado por una combinación de ruido y vibración puede determinarse a partir de una suma de la energía recibida por el trabajador proveniente de fuentes de ruido y vibración. Esto no niega la posibilidad de efectos sinérgicos sobre los efectos combinados sobre la salud, pero supone que la suma de energías de fuentes de ruido y vibración limita el tiempo de exposición de manera aditiva. Este enfoque puede ser lógico, a menos que se disponga de más información relacionada con que los efectos son sinérgicos o se dispone de un modelo de interacción complejo. En la etapa actual de conocimiento, este efecto combinado se puede considerar aditivo pues no hay otra información que lo considere inadecuado o una alternativa clara. Este enfoque es similar, por ejemplo, al asumido con los agentes químicos en aquellos casos en los que no se establece un modelo de interacción complejo.

En este sentido, la literatura sobre los efectos en la salud de la exposición combinada tanto al ruido como a las vibraciones no es concluyente. La mayor parte de la investigación establece la aparición de efectos combinados, y algunos de ellos indican la posibilidad de efectos sinérgicos, pero sin un modelo o patrón subyacente claro. Para esta investigación, se adoptan las ideas principales sugeridas en la revisión de la literatura, es decir:

- a) Existe una relación entre el ruido y el VMB, por lo que existen efectos combinados que exigen esfuerzos dirigidos a reducir y gestionar las exposiciones ocupacionales al ruido y a las vibraciones. Las regulaciones actuales sobre ruido ocupacional y ambiental pueden subestimar significativamente el costo adverso para la salud y la sociedad de la pérdida de audición inducida por el ruido, por lo que otros enfoques sugeridos en esta propuesta pueden ser útiles.
- b) Los resultados indican que existen interacciones entre el ruido y la vibración, pero el efecto puede no ser simple o consistente en algunos estudios. Una aproximación razonable a la molestia total causada por una combinación de ruido y vibración se puede determinar a partir de una suma de las energías recibidas en relación con los

niveles máximos que producen efectos de los agentes individuales Howart H, Griffin M. (Howart & Griffin, 1990). Este es el enfoque seguido en esta investigación.

Como se ha comentado, el punto de partida de que los niveles de energía son sumativos representa una medida valiosa de la exposición combinada, mientras que no haya otra información específica disponible o probada. Sin embargo, si se consideran efectos sinérgicos o se prueban modelos de interacción más complejos en algunos casos, el modelo aditivo propuesto sobre las energías puede dejar de ser válido y puede subestimar los efectos de la exposición combinada. Este hecho supone una limitación del modelo propuesto y para aquellos casos en que estos efectos sinérgicos son claros, este procedimiento debe aplicarse con precaución, y sus resultados deben considerarse como una primera guía para reducir la exposición. En este caso, el procedimiento sugerido debe revisarse introduciendo una nueva definición de índice basada en los modelos de interacción más complejos de los efectos sinérgicos, lo que daría lugar a tiempos de exposición menores a los recomendados.

Por lo tanto, este índice sugerido y esta propuesta deben aplicarse con precaución en aquellos casos en que se sospeche la aparición de interacciones complejas o sinérgicas entre ruido y vibración. En este caso, un enfoque que tenga en cuenta no solo la energía de las señales, sino también algunos otros parámetros podría ser un buen punto de partida para abordar el problema de los efectos específicos en la salud o las interacciones más complejas. Por ejemplo, las diferencias en las características de exposición de las señales físicas en términos de niveles máximos, número de picos, frecuencia de niveles máximos, ruido y espectro de VMB, etc., niveles de energía específicos para una determinada exposición al ruido, o un cierto nivel de VMB como estresores ocupacionales podrían ser algunos parámetros interesantes para tratar en estos casos y en un futuro campo o investigación.

En resumen, en esta Tesis se ha sugerido un procedimiento para el cálculo de un tiempo máximo de exposición recomendado, teniendo en cuenta la cantidad de energía recibida por los trabajadores. Los efectos del ruido y del VMB sobre la salud de los trabajadores dependen de la dosis de energía recibida por los trabajadores. La Directiva 2003/10/CE (European Parliament, 2003) estableció el VEA superior para el nivel diario equivalente de presión acústica continua equivalente en dBA y la Directiva 2002/44/CE (European Parliament, 2002) establece el VEA para la exposición diaria a la aceleración A(8). Estos límites se definen para el análisis de agentes individuales basados en la energía de onda y vibración recibida por los trabajadores. Bajo el supuesto de que se debe considerar la exposición simultánea, y que la dosis de energía recibida por el cuerpo del operario proviene de ambos agentes, el procedimiento sugerido propone una recomendación para limitar el tiempo de exposición del trabajador cuando ambos agentes están presentes, solo para asegurarse de que no se excedan los valores que dan lugar a una acción para ambos agentes. La propuesta debe considerarse como una recomendación basada en la cantidad de energía total recibida, como parte de la dosis

total para ambos agentes, y no considera los posibles efectos sinérgicos o problemas de salud combinados que surjan para las exposiciones combinadas, ya que en este caso deben tenerse en cuenta recomendaciones más estrictas.

Finalmente, es interesante volver a la definición de la dosis combinada efectuada en la ecuación 4.9

$$D_{combinada} = k \frac{w_1 D_{ruido} + w_2 D_{vibracion}}{w_1 + w_2} \quad (4.9)$$

Aunque se ha establecido la misma relevancia en el procedimiento sugerido en la **Ecuación (4.9)** para los dos agentes físicos a través de los coeficientes de ponderación w_1 y w_2 , el gerente de seguridad podría decidir aplicar una relevancia diferente a uno u otro de los agentes, en función de los datos o del historial médico del trabajador. Por ejemplo, en casos de discapacidad auditiva previa o problemas vasculares mano-brazo, se podrían seleccionar diferentes valores para la ponderación w_1 o w_2 en la **Ecuación (4.9)** para el proceso de cálculo de la dosis combinada. Por lo tanto, los tiempos de exposición se pueden calcular teniendo en cuenta esta relevancia diferente de ambos agentes físicos utilizando el mismo procedimiento descrito en el ejemplo de aplicación. Cabe señalar que esta investigación no busca definir o establecer nuevos niveles o estándares de criterio, sino que sólo se sugiere un uso combinado de dosis de energía de estos estándares como una herramienta para establecer recomendaciones para la exposición en los trabajadores.

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

6. CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas de la investigación realizada.

Se resumen los resultados alcanzados con esta investigación, que ha permitido alcanzar los objetivos planteados al comienzo de este trabajo y, que aparecen formulados en el capítulo 1, tanto el objetivo general como los objetivos específicos.

Se exponen las conclusiones que se derivan de cada uno de los objetivos específicos a los que se les ha dado respuesta en los distintos capítulos de la presente Memoria de Tesis Doctoral

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

El **Objetivo general** que se presenta en esta Memoria de Tesis Doctoral ha sido desarrollar una metodología de evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y VMB mediante la propuesta de un índice combinado, con el fin de reforzar las medidas preventivas en los trabajadores expuestos a los agentes físicos ruido y VMB. Para ello, se ha propuesto un índice de dosis de energía total combinada recibida por el operador durante la jornada laboral. Dicho índice valora las exposiciones recomendables para cada agente, respetando el criterio de no exceder el VEA, ni para ruido, ni para VMB. Estos valores de dosis, que respetan el valor máximo establecido del índice combinado, se toman justamente como base para el cálculo de un tiempo de exposición máximo recomendado. Bajo esta premisa se ha desarrollado en esta Tesis un procedimiento para la aplicación de este índice combinado adaptado a los distintos escenarios que pueden surgir, de forma que el procedimiento sugerido permite calcular los tiempos máximos recomendados para el ruido o la VMB en dos posibles situaciones: en el caso que exista una única fuente que genere simultáneamente ruido y VMB, y en el caso de múltiples fuentes que operan simultáneamente o no y que generen exposición a ambos agentes físicos. Para contextualizar su uso y aplicarlo en un sector económico de interés, esta investigación se ha enmarcado en el contexto del sector oleícola para valorar la exposición combinada de la maquinaria comúnmente usada en la recolección de la aceituna.

Para la consecución de este Objetivo general se han realizado las aportaciones siguientes:

- Para dar respuesta al **OE 1**, en el **Capítulo 2** se ha desarrollado un análisis de la información que suministran los organismos gubernamentales nacionales e internacionales relacionados con la salud, además de algunas organizaciones no gubernamentales que se ocupan de este mismo fin. Las estadísticas oficiales muestran una incidencia elevada de los agentes físicos en muchos sectores productivos. Esta revisión ha permitido identificar las actividades económicas con mayor riesgo de exposición a ruido y vibraciones. En Europa destacan los sectores de la Construcción junto con transporte seguidos de la agricultura junto con la industria. La tendencia en España es similar a la de la UE. Aunque hay que puntualizar que esta tendencia no es homogénea en los países en desarrollo, en ellos normalmente los riesgos para la salud van en aumento.

En este mismo sentido, las publicaciones científicas coinciden en la diversidad de puestos de trabajo expuestos a ruido y VMB, y estudian con mayor frecuencia los sectores de agricultura, silvicultura, construcción y sobre todo industria, llegando a la conclusión de que en demasiados puestos de trabajo se sobrepasan los valores de exposición límite establecidos por la reglamentación tanto de ruido como de vibración VMB y coinciden en la necesidad de más investigaciones enfocadas a la protección de los trabajadores.

- Para lograr el **OE 2** en el **Capítulo 2** se ha realizado una extensa búsqueda en la bibliografía científica, desde los primeros estudios sobre los riesgos para los trabajadores de los agentes físicos, hasta la actualidad. Del análisis de esta información se puede concluir que los agentes físicos ruido y VMB provocan lesiones y enfermedades laborales.

Se han identificado las alteraciones sobre el aparato auditivo como las más reportadas como consecuencia del ruido en el ambiente laboral, destacando, entre las posibles patologías, la pérdida auditiva. En referencia a este efecto, se ha recogido y adoptado como base de las normativas la definición de la pérdida auditiva con respecto a los rangos normales especificados en la ISO 1999:2013 (ISO, 2013b). Se ha detectado que la incidencia de la pérdida auditiva es mayor en hombres que en mujeres y además, se ha demostrado que el ruido ocasiona otros problemas sobre la salud entre ellos, problemas cardíacos, problemas psicológicos, problemas cognitivos y de rendimiento...

Por otro lado, se ha demostrado que la vibración VMB causa principalmente el SVMB. Por ello, se ha recogido la información sobre la clasificación de los estadios de esta enfermedad y, al contrario de lo que ocurre con la pérdida auditiva, el síndrome vibratorio mano-brazo tiene mayor prevalencia entre las mujeres que entre los hombres. Esta patología se agrava en las situaciones donde se soportan bajas temperaturas. Paralelamente la literatura ha demostrado, que la VMB ocasiona otros efectos negativos para la salud como trastornos musculoesqueléticos, problemas neurosensoriales, vasculares etc

Finalmente, se ha revisado el conocimiento disponible sobre la incidencia de efectos sobre la salud en trabajadores expuestos a ambos agentes simultáneamente. El examen sobre el estado del conocimiento actual muestra una alta evidencia de que la exposición a la vibración exacerba los problemas provocados por el ruido. En cambio, la influencia del ruido sobre la vibración está menos estudiada, es decir, la alteración de efectos provocados por el ruido, cuando se somete al operario a VMB bajo las mismas condiciones de exposición al ruido, los que lo hacen demuestran disminución de la temperatura de los dedos, o sea el primer síntoma de VWF. Son escasos los autores que valoran esta asociación, aunque los que lo hacen, también encuentran un aumento de los efectos, principalmente los psicológicos como malestar, estrés, y disminución del rendimiento.

Se puede concluir diciendo que las investigaciones coinciden en manifestar que la exposición a ambos agentes produce un aumento o un agravamiento de los trastornos sobre la salud, tanto en el grupo de los efectos psicológicos, a saber, depresión, rendimiento mental, concentración, cansancio... como en el de fisiológicos, entre ellos, la

pérdida auditiva, síndrome del dedo blanco o de Raynaud, afecciones cardíacas, del sistema nervioso etc.

Por el contrario, no hay suficientes investigaciones o no son concluyentes, que cuantifiquen la interacción entre el ruido y vibración, y que respalden, de forma consistente en qué proporción aumentan los efectos sobre la salud. Dicho de otro modo, no se conoce si los efectos se potencian, se suman, o son sinérgicos. Solo se ha encontrado un estudio (Sisto et al., 2017) recogido en una posterior revisión (Golmohammadi & Darvishi, 2020) que afirma un efecto adverso sinérgico de la exposición al ruido cuando se añade vibración, concretamente en la función coclear del oído.

En resumen, la literatura sobre los efectos en la salud de la exposición combinada tanto al ruido como a las vibraciones no es concluyente. Es indiscutible la evidencia científica del aumento de los efectos sobre el cuerpo humano sometido a la interacción de ambas energías. La mayor parte de la investigación establece la aparición de efectos combinados, y algunos de ellos indican la posibilidad de efectos sinérgicos, pero sin un modelo o patrón subyacente claro.

Finalmente se concluye en la necesidad de más investigaciones que valoren la interacción entre las dosis de ambos agentes y sus efectos, que necesariamente han de estar relacionados con la cantidad de energía que recibe el trabajador procedente de las fuentes de ruido y vibraciones.

- Para dar respuesta al **OE 3** en el **Capítulo 3** se han examinado las normativas internacionales y nacionales de los agentes físicos ruido y VMB. Se puede afirmar que todo el ordenamiento reglamenta de forma independiente cada uno de los agentes físicos.

Por un lado, se ha comparado la regulación para el ruido en el ámbito internacional y ésta difiere, de unos países a otros. Así el VEL oscila 85 a 90dBA, el factor de acumulación entre 3 y 5dBA, en alguna se establecen VEA y en otras no se contemplan.

Por otra parte, se ha encontrado semejanza en la legislación internacional sobre vibraciones en el trabajo, que prescriben los mismos valores, tanto VEL como para VEA. Asimismo, son semejantes las recomendaciones de otros organismos no gubernamentales reconocidos mundialmente.

- En paralelo, para dar respuesta al **OE 4**, se han analizado las normas que regulan los procedimientos de medición y el código de ensayo, tanto para ruido como para vibración. Esto ha permitido cumplir el objetivo de establecer y sistematizar un código de ensayo aplicable a cualquier tipo de maquinaria asida por las manos, a partir de los códigos de ensayo definidos en las normas de ruido y de VMB.

En este sentido se realizó la definición de un código que engloba todas las especificaciones de las diversas normativas aplicables. Para su validación, se realizó un ensayo de campo, con dos maquinarias distintas, una Sopladora de hojas con motor de combustión y otra eléctrica, sobre operarios experimentados. Para ello, se han seleccionado los sensores y comprobado la validez del software de análisis de las señales medidas. Los resultados se aportan en el **Capítulo 3 apartado 3.4.3**. Se comprobó la viabilidad de la toma de datos simultánea de ambas señales, pero no se obtuvieron resultados consistentes que permitiesen deducir que el operador no influye en la medición, lo que implicaría que se puede medir con un solo operario, por lo que el código de medición resultante se describe en el **apartado 3.4.4**.

- En el **Capítulo 4** se da respuesta al **OE 5**. Se consideran las **Hipótesis 3 y 4**, es decir, la exposición combinada a ruido y VMB, y se relaciona con la energía total recibida por el trabajador.

En este capítulo se propone un índice combinado de energías de ruido y de VMB y se consigue desarrollar una metodología de cálculo de tiempos de exposición recomendables, para la combinación de las dosis de energía recibida por el operario, bajo la premisa de no superar los VEA, ni para ruido ni para VMB. El índice supone una herramienta para que el técnico prevencionista establezca los tiempos de exposición máximos para los trabajadores que soportan Ruido y VMB durante la misma jornada laboral.

El índice combinado propuesto permite ponderar con diferente peso cada una de las exposiciones, y, en consecuencia, los tiempos de exposición se pueden calcular teniendo en cuenta distinta relevancia para cada agente. En la aplicación del índice desarrollado en esta memoria se han ponderado con igual peso ambas dosis, aunque pudiera adoptarse otro planteamiento si se estimara necesario por el prevencionista.

La secuencia de aplicación del índice combinado figura en el diagrama de flujo del **Capítulo 4**. Se formula una metodología que establece, como primer paso, la diferenciación de los dos posibles escenarios que se pueden plantear. El primero, que haya dos fuentes, con una maquinaria que emita sólo ruido y otra que emita sólo vibración, y el otro es que exista una sola fuente emitiendo ruido y vibración de forma simultánea

Es necesario destacar que esta investigación no ha establecido nuevos niveles o estándares de criterio, sino que, solo se sugiere un uso combinado de dosis de energía de estos estándares, como una herramienta que permita establecer tiempos recomendados en aras de la protección de los trabajadores.

- La respuesta al OE 6 se puede encontrar en el **Capítulo 5**.

En los **apartados 5.2 y 5.3** se seleccionó, por su importancia y repercusión económica, el sector agrario y, dentro de él, el subsector oleícola fundamentándose esta elección en datos sobre el volumen de negocio y del número de trabajadores que emplea. Se completó la información mediante una revisión de la literatura científica, centrada en la incidencia del Ruido y VMB en el sector oleícola, lo que puso de manifiesto el alcance de la exposición a ruido y VMB y, la magnitud de los valores, en ocasiones, muy elevados que aparecen en este sector.

Para concluir la contextualización del caso de estudio, se realizó un cuestionario para utilizarlo en una consulta a un amplio panel de expertos del sector oleícola, con el objeto de que la información acotara los posibles puestos de trabajo y los tipos de máquinas usados en el sector. Se llega a la conclusión de que el operario, con los tres tipos de máquinas de mano indicados por el panel de expertos, que son los comúnmente usados durante la fase de recolección, está expuesto a ambos agentes, y, por tanto, es adecuado para valorarlo como caso de estudio.

Previamente a la aplicación concreta del índice al caso de estudio seleccionado que se realiza en el **apartado 5.5**, se realiza una toma de datos experimentales que caracteriza las magnitudes de ruido y VMB en los tres tipos de maquinarias de mano designadas por el panel de expertos. Se midieron durante la utilización real en campo: 11 vareadores tipo gancho, 11 vareadores tipo peine y 9 sopladoras de hojas, Para cada una se obtuvieron los valores de exposición que se reflejan en los Anexos III, IV y V.

Se concluye que los niveles de exposición de los operarios durante las labores de recolección son elevados, tanto en ruido como en VMB, en casi todas las máquinas utilizadas. Se corrobora que estos valores superan los VEA en la mayoría de los modelos y que en algunos sobrepasan los valores límite máximos definidos por la reglamentación. En virtud de las mediciones en los tres tipos de máquinas se advierten disparidades en los riesgos: en el caso de los Vareadores tipo Gancho todos los $L_{Aeq,d}$ se encuentran por encima del VEA y del VEL y con respecto a la vibración, las exposiciones $A(8)$ medidas $a_{hv,eq}$ son muy superiores al valor de aceleración límite, y por lo tanto, sobrepasan el VEA. En cambio, los valores de exposición a ruido de los Vareadores tipo Peine, en todos los modelos excepto uno, arrojan cifras de exposición por debajo del VEA, por lo que el ruido no supone un gran riesgo en éstos, pero en cambio, los valores de aceleración medidos llegan a triplicar el VEL. Al contrario que para los vareadores tipo peine, las dosis elevadas para las sopladoras de hojas son las de ruido. En estas máquinas los valores de ruido medidos superan los VEL en todas las que utilizan motor de combustión, en cambio, para las

vibraciones, los valores de aceleración medidas en campo, quedan por debajo de los VEA en todos los casos.

En esta fase del estudio se pudo concluir que los valores de ruido y vibración obtenidos son lo suficientemente significativos como para emprender un programa de medidas técnicas y organizativas, incluyendo la vigilancia de la salud del trabajador, además de ayudar al empleador a seleccionar la maquinaria más adecuada para minimizar los niveles de exposición. Al mismo tiempo, se debe exigir a los fabricantes que la información de las emisiones esté correctamente reflejada en los manuales, pues se ha comprobado que en ocasiones no se declaran o no son realistas. Esto dificulta que el empleador diseñe protocolos de prevención adecuados y que seleccione equipos de protección individual, ya que falta información importante.

Finalmente, en el **apartado 5.5** se parte de los valores de exposición de cada uno de los agentes, obtenidos de la toma de datos en campo, y se procede a la aplicación del índice a una de las máquinas medidas. Se emplea la metodología de cálculo de tiempo de exposición combinado desarrollado en el **Capítulo 4**. El caso seleccionado es una de las máquinas caracterizadas y medidas en las etapas anteriores y que se recogen en el **apartado 5.4**. A partir del valor de la exposición a ruido como valor de presión acústica equivalente ponderada y exposición a VMB como aceleración equivalente, el procedimiento de cálculo determina un único tiempo de exposición combinado recomendado, inferior a cada uno de los tiempos que se obtendrían para cada uno de los agentes por separado.

La aplicación de este índice en cualquiera de las dos situaciones siempre ofrecerá tiempos de exposición por debajo de los tiempos de exposición calculados si ambos agentes se consideran de forma independiente, dado el carácter preventivo que asume la propia definición del índice y el objeto del mismo. El índice combinado que se propone trata de preservar la salud del trabajador, y es una posible herramienta para el técnico preventivista, para la gestión de esa seguridad. Bajo el supuesto de que se debe considerar la exposición simultánea, y que la dosis de energía recibida por el cuerpo del trabajador proveniente de ambos agentes es aditiva, el procedimiento sugerido propone una recomendación para limitar el tiempo de exposición del trabajador cuando ambos agentes están presentes. Como se comentó en la introducción, este enfoque es similar a otros procedimientos bien establecidos en la literatura científica basados en el conocimiento actual sobre los efectos combinados sobre la salud. Proporciona un método para calcular los tiempos de exposición más allá de otros criterios prácticos o guías generales basadas en la práctica en vez de en la teoría.

Se concluye que el índice debe aplicarse con cautela sobre todo en aquellos casos en que se sospeche la aparición de interacciones complejas o sinérgicas entre el ruido y la vibración, pero el estado del conocimiento actual no demuestra interacciones. Es decir, el índice es aplicable sobre la base del conocimiento actual sobre la interacción de las dos exposiciones que se ha fundamentado en esta Tesis doctoral.

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

7. FUTURAS LÍNEAS

En este capítulo se exponen las futuras líneas con las que se podría continuar la investigación iniciada en presente Tesis Doctoral, y que supondrán la continuación del trabajo. Estas líneas han surgido durante el desarrollo de la investigación realizada y suponen nuevos retos o ampliaciones a las aportaciones incluidas en esta Tesis.

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

- El procedimiento propuesto pretende ser una ayuda al gestor de seguridad para garantizar la salud de los trabajadores, como medida de precaución para exposición simultánea a ambos agentes. **La investigación futura** se dedicará a caracterizar y analizar aún más el uso de esta metodología basada en el índice de dosis de energía combinada en trabajadores. Así, en el presente estudio se ha aplicado al sector oleícola, pero hay otros sectores en los que se utilizan distintas máquinas que generan Ruido y VMB, como se ha establecido en el estado del conocimiento. Uno de ellos es el **sector de la construcción**, en el que multitud de oficios someten a los trabajadores a estos agentes físicos, por lo que se considera adecuado realizar un estudio en este sector y sería fácilmente extensible a partir de la metodología sugerida en esta Tesis doctoral.
- Otra línea de investigación supondría una modificación en el enfoque que tenga en cuenta, además de la energía de las señales, algunos otros parámetros para definir el índice o para tener en cuenta aspectos ligados propiamente al confort. Por ejemplo, las diferencias en las características de exposición de las señales físicas en términos de niveles máximos, número de picos, frecuencia de niveles máximos, ruido y espectro de VMB, etc., niveles de energía específicos para una determinada exposición al ruido, o un cierto nivel de VMB como estresores ocupacionales podrían ser algunos parámetros interesantes para tratar en estos casos y en un futuro campo o investigación.
- Otra futura línea puede explorar cómo integrar los problemas de salud, específicos de cada trabajador, en el índice combinado. Por consiguiente, se puede valorar la forma de atribuir diferente relevancia a los coeficientes de ponderación en la **Ecuación (4.9)** $w_1 w_2$ en función de variables particulares, como la susceptibilidad del trabajador a alguno de los agentes físicos, patologías previas, historial médico las tareas específicas que realiza, etc. En este enfoque futuro, la experiencia del gerente de seguridad se integrará en un procedimiento basado en técnicas de toma de decisiones multicriterio.
- Todos los valores utilizados en esta investigación son los que establece la regulación o las normas. Así, las dosis de ruido y vibración se miden de forma objetiva con el procedimiento que determina la normativa. No se ha realizado un estudio estadísticamente significativo de la valoración que los trabajadores hacen a la aplicación del índice combinado desde el punto de vista de la percepción del trabajador.

La continuación de este estudio, en el que el enfoque supone la energía recibida por el trabajador como suma de energías, puede ser la percepción que el trabajador tiene de las dosis recibidas. Por lo que se realizaría un ensayo en laboratorio en el que se establezca una emisión de ruido y una transmisión de vibración determinada durante el tiempo que se especifica con el índice combinado, y se alternarían dosis elevadas de ruido con dosis bajas de vibración y viceversa, con el objeto de valorar la percepción del trabajador con diferentes valores de ruido y de vibración. El estudio se debe realizar sobre individuos sanos y habituados en el uso de herramientas de mano, esto podría dar una escala de confort basada en la aplicación del índice combinado. Las herramientas metodológicas para este desarrollo deberían basarse en un cuestionario con el que se puede obtener una escala de confortabilidad, además de incluir otros parámetros objetivos. Por ejemplo, la caracterización en términos de parámetros psicoacústicos de la señal acústica en el oído del trabajador, parámetros que ya fueron medidos durante las campañas experimentales realizadas, puede aportar un conocimiento más profundo en términos del confort subjetivo del trabajador. Estos índices, junto a otros parámetros ligados al confort en la exposición a vibraciones, podrían usarse para establecer índices o una categorización del mismo para los trabajadores expuestos a ambos agentes físicos, relacionándolos con una escala de confortabilidad subjetiva.

8- REFERENCIAS

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

- Ahmad, S., House, R., Holness, D.L., Nisenbaum, R. & Thompson, A. 2022, "Evaluation of neurological testing for hand–arm vibration syndrome", *Occupational Medicine*.
- Ahmed, H.O. 2012, "Noise exposure, awareness, practice and noise annoyance among steel workers in United Arab Emirates", *Open Public Health Journal*, vol. 5, pp. 28-35.
- Aiello, G., Vallone, M. & Catania, P. 2019, "Optimising the efficiency of olive harvesting considering operator safety", *Biosystems Engineering*, vol. 185, pp. 15-24.
- Ajayeoba, A.O., Olanipekun, A.A., Raheem, W.A., Ojo, O.O. & Soji–Adekunle, A.R. 2021, "Assessment of noise exposure of sawmill workers in Southwest, Nigeria", *Sound and Vibration*, vol. 55, n°. 4, pp. 69-85.
- Al-Arja, O.A. & Awadallah, T.S. 2020, "Assessment of occupational noise exposure in coffee grinding shops", *Applied Acoustics*, vol. 158.
- Aliabadi, M., Farhadian, M. & Darvishi, E. 2015, "Prediction of hearing loss among the noise-exposed workers in a steel factory using artificial intelligence approach", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 88, n°. 6, pp. 779-787.
- Amaro, A.M., Paulino, M.F., Neto, M.A. & Roseiro, L. 2019, "Hand-arm vibration assessment and changes in the thermal map of the skin in tennis athletes during the service", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, n°. 24.
- Amjad-Sardrudi, H., Dormohammadi, A., Golmohammadi, R. & Poorolajal, J. 2012, "Effect of noise exposure on occupational injuries: A cross-sectional study", *Journal of Research in Health Sciences*, vol. 12, n°. 2, pp. 101-104.
- Anderson, M.E., Moore, T.L., Hollis, S., Jayson, M.I.V., King, T.A. & Herrick, A.L. 2002, "Digital vascular response to topical glyceryl trinitrate, as measured by laser Doppler imaging, in primary Raynaud's phenomenon and systemic sclerosis", *Rheumatology*, vol. 41, n°. 3, pp. 324-328.
- Andrade Lima, R.C., Soares Rocha, Q., Cazani, A.C., Guarnetti dos Santos, J.E. & Simões, D. 2022, "Assessment of Hand-Arm Vibration in Semi-Mechanized Gardening Activities", *Journal of Vibration Engineering and Technologies*.
- ANSI 2006. ANSI S2.70 -2006. Guide for the Measurement and Evaluation of Human Exposure to Vibration Transmitted to the Hands. Reaffirmed by American National Standards Institute June 19- 2020.
- ANSI 2016. S2.70 -2016. Guide for the Measurement and Evaluation of Human Exposure to Vibration Transmitted to the Hands. American National Standards Institute.
- Azadboni, Z.D., Talarposhti, R.J., Ghaljahi, M., Mehri, A., Aarabi, S., Poursadeghiyan, M. & Abbasi, M. 2018, "Effect of occupational noise exposure on sleep among workers of textile industry", *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, vol. 12, n°. 3, pp. LC18-LC21.

- Babisch, W. 2003, "Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise", *Noise and Health*, vol. 5, n°. 18, pp. 1-11.
- Balleteros, V. & Daponte, A. 2011, "Ruido y salud", *Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía*. Junta de Andalucía, pp. 7.
- Banister, P.A. & Smith, F.V. 1972, "Vibration-induced white fingers and manipulative dexterity", *British journal of industrial medicine*, vol. 29, n°. 3, pp. 264-267.
- Barneo-Alcántara, M., Díaz-Pérez, M., Gómez-Galán, M., Pérez-Alonso, J. & Callejón-Ferre, Á. 2020, "Musculoskeletal risks of farmers in the olive grove (Jaén-spain)", *Agriculture (Switzerland)*, vol. 10, n°. 11, pp. 1-36.
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S.A. & Stansfeld, S. 2013, "Auditory and non-auditory effects of noise on health", *The Lancet*, vol. 383, n°. 9925, pp. 1325-1332.
- Basu, S., Aggarwal, A., Dushyant, K. & Garg, S. 2022, "Occupational noise induced hearing loss in India: A systematic review and meta-analysis", *Indian Journal of Community Medicine*, vol. 47, n°. 2, pp. 166-171.
- Behar, A. & Russo, F. 2019, "Noise, vibrations, and hearing loss in the workplace", *Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne*, vol. 47, n°. 4, pp. 11-14.
- Bergström, B. & Nyström, B. 1986, "Development of hearing loss during long-term exposure to occupational noise: A 20-year Follow-up Study", *Scandinavian Audiology*, vol. 15, n°. 4, pp. 227-234.
- Bernabéu, R. & Díaz, M. 2016, "Preference for olive oil consumption in the Spanish local market", *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 14, n°. 4.
- Bernardi, B., Benalia, S., Fazari, A., Zimbalatti, G., Stillitano, T. & De Luca, A.I. 2016, "Mechanical harvesting in traditional olive orchards: Oli-picker case study", *Agronomy Research*, vol. 14, n°. 3, pp. 683-688.
- Bernardi, B., Falcone, G., Stillitano, T., Benalia, S., Strano, A., Bacenetti, J. & De Luca, A.I. 2018, "Harvesting system sustainability in Mediterranean olive cultivation", *Science of the Total Environment*, vol. 625, pp. 1446-1458.
- Bernardi, B., Falcone, G., Stillitano, T., Benalia, S., Bacenetti, J. & De Luca, A.I. 2021, "Harvesting system sustainability in Mediterranean olive cultivation: Other principal cultivar", *Science of the Total Environment*, vol. 766.
- Bezrukova, G.A., Spirin, V.F. & Novikova, T.A. 2021, "Current aspects of occupational hearing loss in agricultural workers", *Gigiena i Sanitariya*, vol. 100, n°. 10, pp. 1109-1114.
- Bhatt, J.M., Lin, H.W. & Bhattacharyya, N. 2017, "Epidemiology of firearm and other noise exposures in the United States", *Laryngoscope*, vol. 127, n°. 10, pp. E340-E346.
- Björ, B., Burström, L., Karlsson, M., Nilsson, T., Näslund, U. & Wiklund, U. 2007, "Acute effects on heart rate variability when exposed to hand transmitted vibration and noise",

- International archives of occupational and environmental health, vol. 81, n° 2, pp. 193-199.
- Bolm-Audorff, U., Hegewald, J., Pretzsch, A., Freiberg, A., Nienhaus, A. & Seidler, A. 2020, "Occupational noise and hypertension risk: A systematic review and meta-analysis", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, n° 17, pp. 1-24.
- Boschman, J.S., Van, D.M., Sluiter, J.K. & Frings-Dresen, M.H. 2011, "Occupational demands and health effects for bricklayers and construction supervisors: A systematic review", *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 54, n° 1, pp. 55-77.
- Bovenzi, M., Peretti, A., Zadini, A., Betta, A. & Passeri, A.C. 1990, "Physiological reactions during brush saw operation", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 62, n° 6, pp. 445-449.
- Bovenzi, M. 1994, "Hand-arm vibration syndrome and dose-response relation for vibration induced white finger among quarry drillers and stonecarvers", *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 51, n° 9, pp. 603-611.
- Bovenzi, M., Franzinelli, A., Mancini, R., Cannava, M.G., Maiorano, M. & Ceccarelli, F. 1996, "Exposure-response relationship for vibration-induced white finger among forestry workers", *Central European Journal of Public Health*, vol. 4, n° 1, pp. 69-72.
- Brammer, A.J., Taylor, W. & Lundborg, G. 1987, "Sensorineural stages of the hand-arm vibration syndrome", *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, vol. 13, n° 4, pp. 279-283.
- Brammer, A.J. & Pitts, P.M. 2012, "Frequency weighting for vibration-induced white finger compatible with exposure-response models", *Industrial Health*, vol. 50, n° 5, pp. 397-411.
- Burella, G., Moro, L. & Neis, B. 2021, "Is on-board noise putting fish harvesters' hearing at risk? A study of noise exposures in small-scale fisheries in Newfoundland and Labrador", *Safety Science*, vol. 140.
- Burhl, P., Ivarsson, A. & Toremalm, N.G. 1994, "Noise-induced Hearing Loss in an Automobile Sheet-metal Pressing Plant: A Retrospective Investigation Covering 25 Years", *Scandinavian Audiology*, vol. 23, n° 2, pp. 83-91.
- Burström, L. & Lundström, R. 1988, "Mechanical energy absorption in human hand-arm exposed to sinusoidal vibration", *International archives of occupational and environmental health*, vol. 61, n° 3, pp. 213-216.
- Burström, L. & Lundström, R. 1994, "Absorption of vibration energy in the human hand and arm", *Ergonomics*, vol. 37, n° 5, pp. 879-890.
- Burström, L., Järvholm, B., Nilsson, T. & Wahlström, J. 2010, "White fingers, cold environment, and vibration - Exposure among Swedish construction workers", *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 36, n° 6, pp. 509-513.

- Çakır, N., Pamuk, ÖN., Dönmez, S., Barutçu, A., Diril, H., Odabaş, E. & Kiliçgil, V. 2008, "Prevalence of Raynaud's phenomenon in healthy Turkish medical students and hospital personnel", *Rheumatology International*, vol. 29, n°. 2, pp. 185-188.
- Çakmak, B., Saraçoğlu, T., Alayunt, F.N. & Özarlan, C. 2011, "Vibration and noise characteristics of flap type olive harvesters", *Applied Ergonomics*, vol. 42, n°. 3, pp. 397-402.
- Calvo, A., Debolli, R., Preti, C. & de Maria, A. 2014, "Daily exposure to hand arm vibration by different electric olive beaters", *Journal of Agricultural Engineering*, vol. 45, n°. 3, pp. 103-110.
- Calvo, A., Romano, E., Schillaci, G., Preti, C. & Debolli, R. 2017, "Hand-held olive beaters: Analysis of the upper limb disorders and hand-arm vibration risks", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 58, pp. 163-168.
- Calvo, A., Romano, E., Preti, C., Schillaci, G. & Debolli, R. 2018, "Upper limb disorders and hand-arm vibration risks with hand-held olive beaters", *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 65, pp. 36-45.
- Calvo, A., Preti, C., Caria, M. & Debolli, R. 2019, "Vibration and noise transmitted by agricultural backpack powered machines critically examined using the current standards", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, n°. 12.
- Calvo, A., Debolli, R. & Preti, C. 2022, "Operators' Exposure to Hand-Arm Vibration in Small Olive Growing", *Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food*, eds. M. Biocca, E. Cavallo, M. Cecchini, S. Failla & E. Romano, Springer International Publishing, Cham, Systems, pp. 252.
- Camargo, D.A., Munis, R.A. & Simões, D. 2021, "Investigation of exposure to occupational noise among forestry machine operators: A case study in Brazil", *Forests*, vol. 12, n°. 3.
- Catania, P., Bono, F. & Vallone, M. 2017, "Evaluation of the vibrations transmitted to the hand-arm system in the use of portable harvesters for olives", *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 19, n°. 2, pp. 129-138.
- Cecchini, M., Colantoni, A., Monarca, D., Cossio, F., Mazzocchi, F. & Bianchini, L. 2022, "Image Analysis for Ergonomic Risk Assessment for Rope Arborists", *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 252 LNCE, pp. 11-18.
- Cerruto, E. & Manetto, G. 2022, "Vibration from Electric Hand-Held Harvesters for Olives", *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, n°. 4.
- Chao, P., Juang, Y., Chen, C., Dai, Y., Yeh, C. & Hu, C. 2013, "Combined effects of noise, vibration, and low temperature on the physiological parameters of labor employees", *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, vol. 29, n°. 10, pp. 560-567.
- Chen, C., Dai, Y., Sun, Y., Lin, Y. & Juang, Y. 2007, "Evaluation of auditory fatigue in combined noise, heat and workload exposure", *Industrial Health*, vol. 45, n°. 4, pp. 527-534.

- Chen, F., Fu, W., Shi, O. & Li, D. 2021, "Impact of exposure to noise on the risk of hypertension: A systematic review and meta-analysis of cohort studies", *Environmental Research*, vol. 195.
- Chong, A. 2020, "Perfusion Scintigraphy for the Evaluation of Patients with Raynaud's Phenomenon", *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, vol. 54, n° 6, pp. 269-273.
- Coensel, B.D., Vanwetswinkel, S. & Botteldooren, D. 2011, "Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 129, n° 4, pp. EL148-EL153.
- Colombo, S., Perujo-Villanueva, M. & Ruz-Carmona, A. mayo 2018, "Is bigger better? Evidence from olive-grove farms in Andalusia", *Acta Horticulturae*, pp. 165.
- COMEST (UNESCO) 2005, The Precautionary Principle. SHS.2005/WS/21. World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology, UNESCO: Paris, France.
- Cordeiro, R.A. & De Andrade, R.M. 2019, "Raynaud's phenomenon in the occupational context", *Revista da Associacao Medica Brasileira*, vol. 65, n° 10, pp. 1314-1320.
- Costa, N., Arezes, P.M., Quintas, C. & Melo, R.B. 2013, "Vibration exposure in mechanical olive harvesting: Workers' perception", 9th International Symposium on Occupational Safety and Hygiene, SHO 2013, Guimaraes, 14 - 15 February 2013, 96254, February 2013, pp. 417.
- Cundiff, J.S. 1976, "Energy dissipation in human hand-arm exposed to random vibration", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 59, n° 1, pp. 212-214.
- Dasari, A.B. & Balasubramanian, D. 2021, "Evaluation of Ergonomics Issues in Repetitive Scrap Handling Work in Automobile Industries", *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 791-816.
- De Angelis, R., Salaffi, F. & Grassi, W. 2006, "Raynaud's phenomenon: Prevalence in an Italian population sample", *Clinical Rheumatology*, vol. 25, n° 4, pp. 506-510.
- Deboli, R., Calvo, A., Gambella, F., Preti, C., Dau, R. & Casu, E.C. 2014, "Hand arm vibration generated by a rotary pick-up for table olives harvesting", *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 16, n° 1, pp. 228-235.
- Deboli, R., Calvo, A. & Preti, C. 2016, "Vibration and impulsivity analysis of handheld olive beaters", *Applied Ergonomics*, vol. 55, pp. 258-267.
- Dehghan, H., Bastami, M.T. & Mahaki, B. 2017, "Evaluating combined effect of noise and heat on blood pressure changes among males in climatic chamber", *Journal of Education and Health Promotion*, vol. 6.
- Deprez, K., Moshou, D., Anthonis, J., De Baerdemaeker, J. & Ramon, H. 2005, "Improvement of vibrational comfort on agricultural vehicles by passive and semi-active cabin suspensions", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 49, n° 3, pp. 431-440.

- Dimakopoulou, K., Koutentakis, K., Papageorgiou, I., Kasdagli, M., Haralabidis, A.S., Sourtzi, P., Samoli, E., Houthuijs, D., Swart, W., Hansell, A.L. & Katsouyanni, K. 2017, "Is aircraft noise exposure associated with cardiovascular disease and hypertension? Results from a cohort study in Athens, Greece", *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 74, n.º. 11, pp. 830-837.
- Dirección General de Empleo, Asuntos Sociales e Inclusión 2007. Guía de buenas prácticas no vinculante para la aplicación de 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).
- Dong, R.G., Schopper, A.W., McDowell, T.W., Welcome, D.E., Wu, J.Z., Smutz, W.P., Warren, C. & Rakheja, S. 2004, "Vibration energy absorption (VEA) in human fingers-hand-arm system", *Medical Engineering and Physics*, vol. 26, n.º. 6, pp. 483-492.
- Duan, D.P., Bai, L.X., Qiu, C.X., Huang, T.Y., Tang, S.H. & Liu, Y.M. 2020, "Combined effect of noise and hand-transmitted vibration on noise-induced hearing loss in the automobile manufacturing industry", *Zhonghua lao dong wei sheng zhi ye bing za zhi = Zhonghua laodong weisheng zhiyebing zazhi = Chinese journal of industrial hygiene and occupational diseases*, vol. 38, n.º. 6, pp. 420-423.
- Dura, C., Păun, A. & Moraru, R.I. 2018, "Empirical analysis on the relationship between corporate health and safety performance and the financial outcome within socially responsible companies", *Quality - Access to Success*, vol. 19, n.º. 162, pp. 155-160.
- Dzhambov, A.M., Dimitrova, D.D. & Dimitrakova, E.D. 2014, "Noise exposure during pregnancy, birth outcomes and fetal development: Meta-analyses using quality effects model", *Folia medica*, vol. 56, n.º. 3, pp. 204-214.
- Dzhambov, A.M. & Dimitrova, D.D. 2016, "Occupational noise and ischemic heart disease: A systematic review", *Noise & health*, vol. 18, n.º. 83, pp. 167.
- Dzhambov, A. & Dimitrova, D. 2017, "Occupational noise exposure and the risk for work-related injury: A systematic review and meta-analysis", *Annals of Work Exposures and Health*, vol. 61, n.º. 9, pp. 1037-1053.
- Dzhambov, A.M. & Lercher, P. 2019, "Road traffic noise exposure and depression/anxiety: An updated systematic review and meta-analysis", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, n.º. 21.
- Edwards, D.J. & Holt, G.D. 2006, "Hand-arm vibration exposure from construction tools: Results of a field study", *Construction Management and Economics*, vol. 24, n.º. 2, pp. 209-217.
- Emma, M.R., Augello, G., Di Stefano, V., Azzolina, A., Giannitrapani, L., Montalto, G., Cervello, M. & Cusimano, A. 2021, "Potential uses of olive oil secoiridoids for the prevention and treatment of cancer: A narrative review of preclinical studies", *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 22, n.º. 3, pp. 1-22.
- EU-OSHA 2005, Factsheet 57 - The impact of noise at work.

- Eurofound 2017, Sixth European Working Conditions Survey (EWCS) Overview report (2017 update), Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Homepage of Publications Office of the European Union, Luxembourg.], Disponible en: <https://www.eurofound.europa.eu/publications/report/2016/working-conditions/sixth-european-working-conditions-survey-overview-> Fecha de acceso [20 febrero 2021].
- European Parliament 1998, Directiva 98/24/CE, del Consejo, de 7 de abril, relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo (decimocuarta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE)., Consejo de la Unión Europea.
- European Parliament 1989, Directiva Marco 89/391/CEE del Consejo de 12 de junio de 1989, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo, Consejo de la Unión Europea.
- European Parliament 2002, Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration) (sixteenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).
- European Parliament 2003, Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise) (Seventeenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).
- European Parliament 2006, Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, an amending Directive 95/16/EC. OJ L.
- Falian, A.B. & Kusnopranto, H. 2018, "Relationship analysis of noise to hypertension on workers at pharmaceutical products factory X in 2018, Depok City, West Java Province", *Indian Journal of Public Health Research and Development*, vol. 9, n°. 11, pp. 358-364.
- Famiani, F., Farinelli, D., Rollo, S., Camposeo, S., Di Vaio, C. & Inglese, P. 2014, "Evaluation of different mechanical fruit harvesting systems and oil quality in very large size olive trees", *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 12, n°. 4, pp. 960-972.
- Fanger, P.O. 1973, "Assessment of man's thermal comfort in practice", *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 30, n°. 4, pp. 313-324.
- Fanger, P.O. 1986, "Thermal environment—Human requirements", *Environmentalist*, vol. 6, n°. 4, pp. 275-278.
- FAOSTAT. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAOSTAT. Disponible en: FAOSTAT [10 septiembre 2021].
- Farràs, M., Almanza-Aguilera, E., Hernáez, Á, Agustí, N., Julve, J., Fitó, M. & Castañer, O. 2021, "Beneficial effects of olive oil and Mediterranean diet on cancer physiopathology and incidence", *Seminars in Cancer Biology*, vol. 73, pp. 178-195.

- Feder, K., Michaud, D., McNamee, J., Fitzpatrick, E., Davies, H. & Leroux, T. 2017, "Prevalence of Hazardous Occupational Noise Exposure, Hearing Loss, and Hearing Protection Usage among a Representative Sample of Working Canadians", *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 59, n°. 1, pp. 92-113.
- Fernández, M.D., Quintana, S., Chavarría, N. & Ballesteros, J.A. 2009, "Noise exposure of workers of the construction sector", *Applied Acoustics*, vol. 70, n°. 5, pp. 753-760.
- Fessel, W.J. 1976, "Rheumatology for Clinicians", *New England Journal of Medicine*, vol. 294, n°. 2, pp. 115-116.
- Fletcher, H. & Munson, W.A. 1933, "Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 5, n°. 2, pp. 82-108.
- Freund, J., Takala, E.-. & Toivonen, R. 2000, "Effects of two ergonomic aids on the usability of an in-line screwdriver", *Applied Ergonomics*, vol. 31, n°. 4, pp. 371-376.
- Fuente, A. & Hickson, L. 2011, "Noise-induced hearing loss in Asia", *International Journal of Audiology*, vol. 50, n°. sup1, pp. S3-S10.
- Gan, W.Q., Davies, H.W. & Demers, P.A. 2011, "Exposure to occupational noise and cardiovascular disease in the United States: The National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2004", *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 68, n°. 3, pp. 183-190.
- Gemne, G., Pyykkö, I., Taylor, W. & Pelmear, P.L. 1987, "The Stockholm Workshop scale for the classification of cold-induced Raynaud's phenomenon in the hand-arm vibration syndrome (revision of the Taylor-Pelmear scale)", *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, vol. 13, n°. 4, pp. 275-278.
- Gerhardsson, L., Ahlstrand, C., Ersson, P. & Gustafsson, E. 2020, "Vibration-induced injuries in workers exposed to transient and high frequency vibrations", *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, vol. 15, n°. 1.
- Giametta, G. & Bernardi, B. 2010, "Olive grove equipment technology. Straddling trees: Mechanized olive harvests", *Advances in Horticultural Science*, vol. 24, n°. 1, pp. 64-70.
- Gil Sierra, J. 2005, "Maquinaria para derribo y recogida de aceituna", *Vida rural*, n°. 218, pp. 64-68.
- Giulitti, F., Petrunaro, S., Mandatori, S., Tomaipitnca, L., de Franchis, V., D'Amore, A., Filippini, A., Gaudio, E. & Ziparo, E. 2021, "Anti-tumor Effect of Oleic Acid in Hepatocellular Carcinoma Cell Lines via Autophagy Reduction", *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, vol. 9.
- Golmohammadi, R. & Darvishi, E. 2020, "The combined effects of occupational exposure to noise and other risk factors-a systematic review", *Noise and Health*, vol. 21, n°. 101, pp. 125-141.
- Golmohammadi, R., Darvishi, E., Shafiee Motlagh, M., Faradmal, J., Aliabadi, M. & Rodrigues, M.A. 2022, "Prediction of occupational exposure limits for noise-induced non-auditory effects", *Applied Ergonomics*, vol. 99.

- Gómez, A.L., Volek, J.S., Rubin, M.R., French, D.N., Ratamess, N.A., Sharman, M.J. & Kraemer, W.J. 2003, "Physiological and Functional Effects of Acute Low-Frequency Hand-Arm Vibration", *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 17, n°. 4, pp. 686-693.
- Gomez-Marin, B., Gomez-Delgado, F., Lopez-Moreno, J., Alcala-Diaz, J.F., Jimenez-Lucena, R., Torres-Peña, J.D., Garcia-Rios, A., Ortiz-Morales, A.M., Yubero-Serrano, E.M., del Mar Malagon, M., Lai, C.Q., Delgado-Lista, J., Ordovas, J.M., Lopez-Miranda, J. & Perez-Martinez, P. 2018, "Long-term consumption of a Mediterranean diet improves postprandial lipemia in patients with type 2 diabetes: The Cordioprev randomized trial", *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 108, n°. 5, pp. 963-970.
- Governmental Industrial Hygienists, The American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Disponible en: <https://www.acgih.org/about/> Fecha de acceso [20 septiembre 2022].
- Griffin, M.J. & Lewis, C.H. 1978, "A review of the effects of vibration on visual acuity and continuous manual control, part I: Visual acuity", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 56, n°. 3, pp. 383-413.
- Griffin M.J., E.J. 1990, *Handbook of Human Vibration*, The Journal of the Acoustical Society of America 90, 2213 (1991).
- Griffin, M.J., Bovenzi, M. & Nelson, C.M. 2003, "Dose-response patterns for vibration-induced white finger", *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 60, n°. 1, pp. 16-26.
- Griffin, M.J. 2008, "Measurement, evaluation, and assessment of peripheral neurological disorders caused by hand-transmitted vibration", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 81, n°. 5, pp. 559-573.
- Guelaud, F., Beuchesne, N., Gautrat, J. & Roustang, G. 1975, *Pour une analyse des conditions du travail ouvrier dans L'entreprise*, Librairie armand colin.
- Hagberg, M. 2002, "Clinical assessment of musculoskeletal disorders in workers exposed to hand-arm vibration", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 75, n°. 1-2, pp. 97-105.
- Hall, D.A., Irwin, A., Edmondson-Jones, M., Phillips, S. & Poxon, J.E.W. 2013, "An exploratory evaluation of perceptual, psychoacoustic and acoustical properties of urban soundscapes", *Applied Acoustics*, vol. 74, n°. 2, pp. 248-254.
- Harada, N. & Mahbub, M.H. 2008a, "Diagnosis of vascular injuries caused by hand-transmitted vibration", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 81, n°. 5, pp. 507-518.
- Harada, N. & Mahbub, M.H. 2008b, "Diagnosis of vascular injuries caused by hand-transmitted vibration", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 81, n°. 5, pp. 507-518.

- Hartikainen, A., Sorri, M., Anttonen, H., Tuimala, R. & Laara, E. 1994, "Effect of occupational noise on the course and outcome of pregnancy", *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 20, n.º. 6, pp. 444-450.
- Hay, B. & Kemp, M.F. 1972, "Measurements of noise in air conditioned, landscaped offices", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 23, n.º. 3, pp. 363-373.
- Heaver, C., Goonetilleke, K.S., Ferguson, H. & Shiralkar, S. 2011, "Hand-arm vibration syndrome: A common occupational hazard in industrialized countries", *Journal of Hand Surgery: European Volume*, vol. 36, n.º. 5, pp. 354-363.
- Helfer, T.M., Jordan, N.N. & Lee, R.B. 2005, "Postdeployment hearing loss in U.S. Army soldiers seen at audiology clinics from April 1, 2003, through March 31, 2004", *American Journal of Audiology*, vol. 14, n.º. 2, pp. 161-168.
- Helfer, T.M., Jordan, N.N., Lee, R.B., Pietrusiak, P., Cave, K. & Schairer, K. 2011, "Noise-induced hearing injury and comorbidities among postdeployment U.S. Army soldiers: April 2003-June 2009", *American Journal of Audiology*, vol. 20, n.º. 1, pp. 33-41.
- Heslop, J., Coggon, D. & Acheson, E.D. 1983, "The prevalence of intermittent digital ischaemia (Raynaud's phenomenon) in a general practice.", *Journal of the Royal College of General Practitioners*, vol. 33, n.º. 247, pp. 85-89.
- Hessel, P.A. & Sluis-Cremer, G.K. 1987, "Hearing loss in white South African goldminers", *South African Medical Journal*, vol. 71, n.º. 6, pp. 364-367.
- Hignett, S. & McAtamney, L. 2000, "Rapid Entire Body Assessment (REBA)", *Applied Ergonomics*, vol. 31, n.º. 2, pp. 201-205.
- Horvath, S.M. & Bedi, J.F. 1990, "Heat, cold, noise, and vibration", *Medical Clinics of North America*, vol. 74, n.º. 2, pp. 515-525.
- House, R., Krajnak, K., Manno, M. & Lander, L. 2009, "Current perception threshold and the HAVS Stockholm sensorineural scale", *Occupational Medicine*, vol. 59, n.º. 7, pp. 476-482.
- House, R.A., Sauvé, J.T. & Jiang, D. 2010, "Noise-induced hearing loss in construction workers being assessed for hand-arm vibration syndrome", *Canadian Journal of Public Health*, vol. 101, n.º. 3, pp. 226-229.
- Howart, H.V.C. & Griffin, M.J. 1990, "Subjective response to combined noise and vibration: Summation and interaction effects", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 143, n.º. 3, pp. 443-454.
- Huang, Y. & Griffin, M.J. 2014, "The discomfort produced by noise and whole-body vertical vibration presented separately and in combination", *Ergonomics*, vol. 57, n.º. 11, pp. 1724-1738.
- Iftime, M.D., Dumitrascu, A. & Ciobanu, V.D. 2020, "Chainsaw operators' exposure to occupational risk factors and incidence of professional diseases specific to the forestry field", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*.

- Iki, M., Kurumatani, N., Hirata, K., Moriyama, T., Satoh, M. & Arai, T. 1986, "Association between vibration-induced white finger and hearing loss in forestry workers", *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 12, n°. 4, pp. 365-370.
- Iki, M., Kurumatani, N., Satoh, M., Matsuura, F., Arai, T., Ogata, A. & Moriyama, T. 1989, "Hearing of forest workers with vibration-induced white finger: A fiveyear follow-up", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 61, n°. 7, pp. 437-442.
- INSST 1983, NTP 074 Confort térmico- Método de Fanger para su evaluación, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- INSST 1991. NTP 287: Hipoacusia laboral por exposición a ruido: Evaluación clínica y diagnóstico, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- INSST 1998. NTP-503: Confort acústico: El ruido en oficinas, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- INSST 2007a. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- INSST 2007b. NTP-784-2007 Evaluación de las vibraciones de cuerpo completo sobre el confort, percepción y mareo producido por el movimiento, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- INSST 2013. NTP-963-2013 Vibraciones: Vigilancia de la salud en trabajadores expuestos, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- INSST 2014. Aspectos ergonómicos de las vibraciones, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- INSST 2021, Ruido Evaluación y Acondicionamiento Ergonómico. Cuestionario sobre Confort acústico, Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- ISO 2001. UNE-EN ISO 5349-1:2001. Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 1: Requisitos generales.
- ISO 2002. UNE-EN ISO 5349-2:2002. Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 2: Guía práctica para la medición en el lugar de trabajo. (ISO 5349-2:2001).
- ISO 2007. UNE EN 60745-1:2007. Herramientas manuales eléctricas accionadas por motor eléctrico. Seguridad Parte 1: Requisitos generales, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- ISO 2008a. UNE EN-ISO 15744:2008. Herramientas portátiles de accionamiento no eléctrico Código para medición del nivel de ruido Método de ingeniería (clase 2).
- ISO 2008b, UNE-EN ISO 20643:2008. Vibraciones mecánicas. Maquinaria sujeta y guiada con la mano. Principios para la evaluación de la emisión de las vibraciones. (ISO 20643:2005).

- ISO 2008c. UNE-ISO-2631-1:2008. Vibraciones y choques mecánicos. Evaluación de la exposición humana a las vibraciones de cuerpo entero. Parte 1: Requisitos generales.
- ISO 2009. ISO-9612 Acústica Determinación de la exposición al ruido en el trabajo Método de ingeniería, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- ISO 2010a. ISO 11201:2010. Acoustics – Noise emitted by machinery and equipment – Determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions in an essentially free field over a reflecting plane with negligible environmental corrections.
- ISO 2010b. UNE-EN-ISO 3744/2010. Acústica: Determinación de los niveles de potencia acústica y de los niveles de energía acústica de fuentes de ruido utilizando presión acústica Métodos de ingeniería para un campo esencialmente libre sobre un plano reflectante.
- ISO 2011. UNE-EN ISO 22868:2011. Maquinaria forestal. Código de ensayo de ruido para máquinas portátiles con motor de combustión interna. Métodos de ingeniería (grado 2).
- ISO 2013a. UNE-EN-61672-1-2013 Electroacústica. Sonómetros, parte 1: Especificaciones. 2013.
- ISO 2013b. ISO 1999:2013. Acoustics: Estimation of noise-induced hearing loss.
- ISO 2014. UNE-ISO 2631-4:2014 Vibraciones y choques mecánicos Evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas al cuerpo entero Parte 4: Guía para la evaluación de los efectos de las vibraciones y del movimiento de rotación sobre el confort de los pasajeros y del personal en sistemas de transporte guiado.
- ISO 2017. ISO 8041-1:2017 Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida. Parte 1: Instrumento de medida para uso general.
- ISO 2019. UNE EN 689:2019+AC:2019 "Workplace exposure - Measurement of exposure by inhalation to chemical agents - Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values".
- ISO 2022. UNE-EN-ISO-22867:2022. Maquinaria forestal y de jardinería. Código de ensayo de vibraciones para máquinas portátiles con motor de combustión interna.
- IOC. 2018. International Olive Council. Disponible en: <https://www.internationaloliveoil.org/> Fecha de acceso [21 septiembre 2021].
- Irgens-Hansen, K., Gundersen, H., Sunde, E., Baste, V., Harris, A., Bråtveit, M. & Moen, B.E. 2015, "Noise exposure and cognitive performance: A study on personnel on board Royal Norwegian Navy vessels", *Noise & Health*, vol. 17, nº. 78, pp. 320-327.
- Jeon, J.Y. & Hong, J.Y. 2015, "Classification of urban park soundscapes through perceptions of the acoustical environments", *Landscape and Urban Planning*, vol. 141, pp. 100-111.
- Jones, G.T., Herrick, A.L., Woodham, S.E., Baildam, E.M., Macfarlane, G.J. & Silman, A.J. 2003, "Occurrence of Raynaud's Phenomenon in Children Ages 12-15 Years: Prevalence

- and Association with Other Common Symptoms", *Arthritis and Rheumatism*, vol. 48, n°. 12, pp. 3518-3521.
- Junta de Andalucía 2022. AFORO DE PRODUCCIÓN DEL OLIVAR EN ANDALUCIA 2020/2021. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Estimacion_ACEITE_MESA_2021_2022.pdf Fecha de acceso [11 noviembre 2018].
- Junta de Andalucía 2019. Modelo de explotaciones olivareras. Departamento de Prospectiva. Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2020-04/Costes_en_explotaciones_de_olivar.pdf Fecha de acceso [3 marzo 2019].
- Junta de Andalucía. Conserjería de Agricultura Ganadería Pesca y Desarrollo sostenible. Aforo de producción de olivar 2020/2021. E. Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Estimacion_ACEITE_MESA_2021_2022.pdf Fecha de acceso [7 marzo 2022].
- Kakavandi, M., Omid, A., Hashemian, A., Jabari, M., Hamidi, A., Bavandpur, E. & Dehghan, N. 2021, "An assessment of noise exposure and hearing health status among auto body workers in Kermanshah, Iran", *Journal of Education and Health Promotion*, vol. 10, n°. 1.
- Kamal, A.M., Mikael, R.A. & Faris, R. 1989, "Follow-up of hearing thresholds among forge hammering workers", *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 16, n°. 6, pp. 645-658.
- Karhu, O., Kansil, P. & Kuorinka, I. 1977, "Correcting working postures in industry: A practical method for analysis", *Applied Ergonomics*, vol. 8, n°. 4, pp. 199-201.
- Keatinge, G.F. & Laner, S. 1958, "Some notes on the effects of excessive noise on the hearing of a group of workers", *British journal of industrial medicine*, vol. 15, n°. 4, pp. 273-275.
- Kihlberg, S., Attebrant, M., Gemne, G. & Kjellberg, A. 1995, "Acute effects of vibration from a chipping hammer and a grinder on the hand-arm system", *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 52, n°. 11, pp. 731-737.
- Kim, J., Lee, W., Won, J., Yoon, J., Seok, H., Kim, Y., Lee, S. & Roh, J. 2017, "The relationship between occupational noise and vibration exposure and headache/eyestrain, based on the fourth Korean Working Condition Survey (KWCS)", *PLOS ONE*, vol. 12, n°. 5.
- Kivekas, J., Riihimäki, H., Husman, K., Hanninen, K., Harkonen, H., Kuusela, T., Pekkarinen, M., Tola, S. & Zitting, A.J. 1994, "Seven-year follow-up of white-finger symptoms and radiographic wrist findings in lumberjacks and referents", *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 20, n°. 2, pp. 101-106.
- Krajnak, K., Waugh, S. & Sarkisian, K. 2019, "Can Blood Flow be Used to Monitor Changes in Peripheral Vascular Function That Occur in Response to Segmental Vibration Exposure?", *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 61, n°. 2, pp. 162-167.

- Kuijt-Evers, L.F.M., Twisk, J., Groenesteijn, L., De Looze, M.P. & Vink, P. 2005, "Identifying predictors of comfort and discomfort in using hand tools", *Ergonomics*, vol. 48, n°. 6, pp. 692-702.
- Kwon, D., Kwak, K., Baek, K., Chi, Y., Na, S. & Park, J. 2021, "Association between physical hazardous agent exposure and mental health in the Korean working population: The 5th Korean Working Conditions Survey", *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 33, n°. 1.
- Lai, S., Chui, J., Tong, L. & Sun, J. 2019, "A Human-Based Study of Hand-Arm Vibration Exposure Limits for Construction Workers", *Journal of Vibration Engineering and Technologies*, vol. 7, n°. 4, pp. 379-388.
- Landsbergis, P., Johanning, E., Stillo, M., Jain, R. & Davis, M. 2021, "Upper extremity musculoskeletal disorders and work exposures among railroad maintenance-of-way workers", *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 64, n°. 9, pp. 744-757.
- Laskar, M.S. & Harada, N. 2005, "Different conditions of cold-water immersion test for diagnosing hand-arm vibration syndrome", *Environmental Health and Preventive Medicine*, vol. 10, n°. 6, pp. 351-359.
- Lasota, A.M. 2014, "Analysis of packers' workload on the packing line-a case study", *LogForum* 10 (4), 383, vol. 392.
- Lechner, C., Kirisits, C. & Bose-O'reill, S. 2020, "Combined annoyance response from railroad and road traffic noise in an alpine valley", *Noise and Health*, vol. 22, n°. 104, pp. 10-18.
- Lee, S., Lee, W., Roh, J., Won, J. & Yoon, J. 2017, "Symptoms of Nervous System Related Disorders among Workers Exposed to Occupational Noise and Vibration in Korea", *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 59, n°. 2, pp. 191-197.
- Lee, W., Chun, C., Kim, D. & Lee, S. 2021, "Modeling and mapping of combined noise annoyance for aircraft and road traffic based on a partial loudness model", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, n°. 16.
- Leensen, M.C.J., Van Duivenbooden, J.C. & Dreschler, W.A. 2011, "A retrospective analysis of noise-induced hearing loss in the Dutch construction industry", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 84, n°. 5, pp. 577-590.
- Lenzuni, P., Deboli, R., Preti, C. & Calvo, A. 2016, "A round robin test for the hand-transmitted vibration from an olive harvester", *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 53, pp. 86-92.
- Li, X., Song, Z., Wang, T., Zheng, Y. & Ning, X. 2016, "Health impacts of construction noise on workers: A quantitative assessment model based on exposure measurement", *Journal of Cleaner Production*, vol. 135, pp. 721-731.
- Li, J., Qin, Y., Yang, L. & Wang, Z. 2021, "A simulation experiment study to examine the effects of noise on miners' safety behavior in underground coal mines", *BMC Public Health*, vol. 21, n°. 1.

- Li, W., Zhao, Z., Chen, Z., Yi, G., Lu, Z. & Wang, D. 2021, "Prevalence of hearing loss and influencing factors among workers in Wuhan, China", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, n°. 24, pp. 31511-31519.
- Lidström, I.M. 1977, "Vibration injury in rock drillers, chiselers, and grinders. Some views on the relationship between the quantity of energy absorbed and the risk of occurrence of vibration injury", *Proceedings of the International Occupational Hand-Arm Vibration Conference*. Cincinnati (NIOSH publication, No. 77-170), pp. 77.
- Lie, A., Skogstad, M., Johannessen, H.A., Tynes, T., Mehlum, I.S., Nordby, K., Engdahl, B. & Tambs, K. 2016, "Occupational noise exposure and hearing: a systematic review", *International archives of occupational and environmental health*, vol. 89, n°. 3, pp. 351-372.
- Lin, C., Tsai, P., Lin, K., Chen, C., Chung, L., Wu, J. & Guo, Y.L. 2018, "Will daytime occupational noise exposures induce nighttime sleep disturbance?", *Sleep Medicine*, vol. 50, pp. 87-96.
- Lindsell, C.J. & Griffin, M.J. 2002, "Normative data for vascular and neurological tests of the hand-arm vibration syndrome", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 75, n°. 1-2, pp. 43-54.
- Ljungberg, J., Neely, G. & Lundström, R. 2004, "Cognitive performance and subjective experience during combined exposures to whole-body vibration and noise", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 77, n°. 3, pp. 217-221.
- Ljungberg, J.K. & Neely, G. 2007, "Cognitive after-effects of vibration and noise exposure and the role of subjective noise sensitivity", *Journal of Occupational Health*, vol. 49, n°. 2, pp. 111-116.
- López-Alonso, M; Martínez-Aires, MD; de la Hoz-Torres, ML; Martínez-Rojas, M; Nieto-Álvarez, R. 2016. Vibración del cuerpo entero transmitida por la maquinaria de movimiento de tierras. VII Encuentro latinoamericano de Gestión y Economía de la Construcción - 15/11/2016 - 18/11/2016 (Bogotá, Colombia)
- Löfgren, A., Vihlborg, P., Fornander, L., Bryngelsson, I. & Graff, P. 2020, "Nerve Function Impairment after Acute Vibration Exposure", *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 62, n°. 2, pp. 124-129.
- MacIel, D.P., Millen, R.A.M., Xavier, C.A., Morrone, L.C. & Silva-Júnior, J.S. 2012, "Musculoskeletal disorder related to the work of doctors who perform medical invasive evaluation", *Work*, vol. 41, n°. Supl.1, pp. 1860-1863.
- Maeda, S. & Griffin, M.J. 1993, "Temporary threshold shifts in fingertip vibratory sensation from hand-transmitted vibration and repetitive shock", *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 50, n°. 4, pp. 360-367.
- Maeda, S. & Shibata, N. 2008, "Subjective scaling of hand-arm vibration", *Industrial Health*, vol. 46, n°. 2, pp. 118-124.

- Maeda, S., Geridonmez, S.G., Miyashita, K. & Ishimatsu, K. 2011a, "Frequency weighting of hand-transmitted vibration for evaluating comfort", *Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne*, vol. 39, n° 2, pp. 94-95.
- Maeda, S., Geridonmez, S.G., Miyashita, K. & Ishimatsu, K. 2011b, "Validation of frequency weightings of hand-transmitted vibration for evaluating comfort", *40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2011, INTER-NOISE 2011*, pp. 3642.
- Magann, E.F., Evans, S.F., Chauhan, S.P., Nolan, T.E., Henderson, J., Klausen, J.H., Newnham, J.P. & Morrison, J.C. 2005, "The effects of standing, lifting and noise exposure on preterm birth, growth restriction, and perinatal death in healthy low-risk working military women", *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, vol. 18, n° 3, pp. 155-162.
- Mahbub, M.H. & Harada, N. 2008, "Digital blood flow and temperature responses in palmar and dorsal skin induced by short-term vibration exposure while grasping a vibratory handle", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 81, n° 7, pp. 889-897.
- Malinowska-Borowska, J. & Zieliński, G. 1986, "International journal of industrial ergonomics", *International journal of industrial ergonomics*, vol. 43, n° 4, pp. 283-287.
- Malinowska-Borowska, J., Socholik, V. & Harazin, B. 2012, "The health condition of forest workers exposed to noise and vibration produced by chain saws", *Medycyna Pracy*, vol. 63, n° 1, pp. 19-29.
- Manetto, G. & Cerruto, E. 2013, "Vibration risk evaluation in hand-held harvesters for olives", *Journal of Agricultural Engineering*, vol. 44, pp. 705-709.
- Manetto, G., Cerruto, E. & Papa, R. 2020a, "Effects of Rod and Oscillating Frequency on the Vibrations Transmitted to Hand-Arm System by Four Olive Portable Harvesters", *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 67, pp. 671-679.
- Manetto, G., Cerruto, E. & Papa, R. 2020b, "Effects of Rod and Oscillating Frequency on the Vibrations Transmitted to Hand-Arm System by Four Olive Portable Harvesters", *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 67, pp. 671-679.
- Mansfield, N.J. 2004, *Human Response to Vibration*, (1ST ED.) CRC Press, Boca Raton.
- Maricq, H.R., Weinrich, M.C., Keil, J.E. & LeRoy, E.C. 1986, "Prevalence of Raynaud phenomenon in the general population. A preliminary study by questionnaire", *Journal of Chronic Diseases*, vol. 39, n° 6, pp. 423-427.
- Maricq, H.R., Carpentier, P.H., Weinrich, M.C., Keil, J.E., Franco, A., Drouet, P., Poncot, O.C.M. & Maines, M.V. 1993, "Geographic variation in the prevalence of Raynaud's phenomenon: Charleston, SC, USA, vs Tarentaise, Savoie, France", *Journal of Rheumatology*, vol. 20, n° 1, pp. 70-76.
- Maricq, H.R., Carpentier, P.H., Weinrich, M.C., Keil, J.E., Palesch, Y., Biro, C., Vionnet-Fuasset, M., Jiguet, M. & Valter, I. 1997, "Geographic variation in the prevalence of

- Raynaud's phenomenon: A 5 region comparison", *Journal of Rheumatology*, vol. 24, n.º. 5, pp. 879-889.
- Maricq, H.R., Valter, I. & Maricq, J.G. 1998, "An objective method to estimate the severity of Raynaud phenomenon: Digital blood pressure response to cooling", *Vascular Medicine*, vol. 3, n.º. 2, pp. 109-113.
- Martin-Moreno, J.M., Willett, W.C., Gorgojo, L., Banegas, J.R., Rodriguez-Artalejo, F., Fernandez-Rodriguez, J.C., Maisonneuve, P. & Boyle, P. 1994, "Dietary fat, olive oil intake and breast cancer risk", *International Journal of Cancer*, vol. 58, n.º. 6, pp. 774-780.
- Martin, R.H., Gibson, E.S. & Lockington, J.N. 1975, "Occupational hearing loss between 85 and 90 dBA", *Journal of Occupational Medicine*, vol. 17, n.º. 1, pp. 13-18.
- Martínez-Aires, M.D., Rubio Gámez, M.C., Gibb, A., 2010. Prevention through design: The effect of European Directives on construction workplace accidents. *Saf. Sci.* 48 (2), 248-258.
- Matthiesen, S. 2017, "Methodical approach for the analysis of the Active user behavior during the usage of power tools", pp. 1.
- McAtamney, L. & Nigel Corlett, E. 1993, "RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders", *Applied Ergonomics*, vol. 24, n.º. 2, pp. 91-99.
- Mercado del aceite de oliva, Mercado del aceite de oliva y su consumo en el mundo - Directo del Olivar.com. Disponible en: <https://www.directodelolivar.com/mercado-del-aceite-de-oliva/> Fecha de acceso [21 septiembre 2021].
- Metlyayev, G.N., Vorontsov, A.I. & Osipova, G.A. 1983, "Hygienic Characterization of the Nature of Work Working Conditions and Health State Parquet Layers and Health Measures", *Meditcina Truda I Promyshlennaya Ekologiya*, n.º. 4, pp. 15-18.
- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Gobierno de España. Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE) 2020. Encuesta de Marco de Áreas de España. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/> Fecha de acceso [10 febrero 2022].
- Ministerio de Trabajo y asuntos Sociales 1995, Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- Ministerio de la Presidencia 1997a, Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Ministerio de la Presidencia 1997b, Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entraña riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores.
- Ministerio de la presidencia 2005, Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.

- Ministerio de la Presidencia 2006a, Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.
- Ministerio de la Presidencia 2006b, Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido, Ministerio de la Presidencia «BOE» núm. 60, de 11 de marzo de 2006 Referencia: BOE-A-2006-4414.
- Ministerio de la Presidencia 2007, Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Ministerio de la Presidencia 2009, Real Decreto 330/2009, de 13 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas., «BOE» núm. 73, de 26 de marzo de 2009, pp. 29156 a 29158.
- Ministerio de la Presidencia 2018, Real Decreto 257/2018, de 4 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.
- Miyakita, T., Miura, H. & Futatsuka, M. 1987, "An experimental study of the physiological effects of chain saw operation", *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 44, n.º. 1, pp. 41-46.
- Miyakita, T., Miura, H. & Futatsuka, M. 1990, "Hand-Arm Vibration, Noise, Temperature and Static Load: An Experimental Study of Peripheral Circulation while Operating Chainsaws", *The Kurume Medical Journal*, vol. 37.
- Moghul, N.B., Farooq, M., Arzoo, K., Joya, S.R., Latif, M.S.Z. & Ilyas, N. 2022, "Hand held drilling tools and health problems of construction workers", *Rawal Medical Journal*, vol. 47, n.º. 1, pp. 224-226.
- Moore, J.S. & Garg, A. 1995, "The strain index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders", *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 56, n.º. 5, pp. 443-458.
- Morata, T.C., Themann, C.L., Randolph, R.F., Verbsky, B.L., Byrne, D.C. & Reeves, E.R. 2005, "Working in noise with a hearing loss: Perceptions from workers, supervisors, and hearing conservation program managers", *Ear and hearing*, vol. 26, n.º. 6, pp. 529-545.
- Mucci, N., Traversini, V., Lulli, L.G., Vimercati, L., Rapisarda, V., Galea, R.P., De Sio, S. & Arcangeli, G. 2021, "Neurobehavioral alterations in occupational noise exposure: A systematic review", *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, n.º. 21.
- Münzel, T., Sørensen, M. & Daiber, A. 2021, "Transportation noise pollution and cardiovascular disease", *Nature Reviews Cardiology*, vol. 18, n.º. 9, pp. 619-636.

- Nagodawithana, N.S., Pathmeswaran, A., Pannila, A.S., Wickramasinghe, A.R. & Sathiakumar, N. 2015, "Noise-induced Hearing Loss among Traffic Policemen in the City of Colombo, Sri Lanka", *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, vol. 12, n°. 3, pp. 9-14.
- Neely, G. & Burström, L. 2006, "Gender differences in subjective responses to hand-arm vibration", *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 36, n°. 2, pp. 135-140.
- Neitzel, R. & Yost, M. 2002, "Task-based assessment of occupational vibration and noise exposures in forestry workers", *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 63, n°. 5, pp. 617-627.
- Neitzel, R., Seixas, N., Goldman, B. & Daniell, W. 2004, "Contributions of non-occupational activities to total noise exposure of construction workers", *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 48, n°. 5, pp. 463-473.
- Nelson, D.I., Nelson, R.Y., Concha-Barrientos, M. & Fingerhut, M. 2005, "The global burden of occupational noise-induced hearing loss", *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 48, n°. 6, pp. 446-458.
- Nicoletti, S., Carino, M., Di Leone, G., Trani, G., Carella, F., Rubino, G., Leone, E., Popolizio, R., Colafiglio, S. & Ambrosi, L. 2008, "Prevalence of upper limb work-related musculoskeletal disorders (UL-WMSDs) in workers of the upholstered furniture industry", *Medicina del Lavoro*, vol. 99, n°. 4, pp. 271-280.
- Nieto-Álvarez, R., de la Hoz-Torres, M.L., Aguilar-Aguilera, A.J., Martínez-Aires, M.D. & Ruiz, D.P. 2020, "A study on exposure of workers to the risks arising from physical agents in the olive sector in Andalucía (south Spain)", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 969, pp. 252-264.
- Nieto-Álvarez, R.; de la Hoz-Torres, M.L.; Aguilar, A.J.; Martínez-Aires, M.D. and Ruiz, D.P., Proposal of Combined Noise and Hand-Arm Vibration Index for Occupational Exposure: Application to a Study Case in the Olive Sector. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 21.
- NIOSH 1998a. Criteria for a Recommended Standard in Services; Education and Information Division National Institute for Occupational Safety and Health: Cincinnati, OH, USA, 1998., Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health.
- NIOSH 1998b. Criteria for recommended standard. Occupational Exposure to Hand-Arm Vibration, Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health.
- Olsen, N. & Nielsen, S.L. 1988, "Vasoconstrictor response to cold in forestry workers: A prospective study", *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 45, n°. 1, pp. 39-42.
- Olsen, N. 2002, "Diagnostic aspects of vibration-induced white finger", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 75, n°. 1-2, pp. 6-13.

- OMS Oficina Regional para Europa 2011, Carga de enfermedad por ruido ambiental: Cuantificación de los años de vida saludable perdidos en Europa. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/326424?locale-attribute=es&>. Fecha de acceso [2 noviembre2022].
- OSHA 1974. Occupational Exposure to Noise Standard (29 CFR 1910.95).
- Owen, R.W., Giacosa, A., Hull, W.E., Haubner, R., Würtele, G., Spiegelhalter, B. & Bartsch, H. 2000, "Olive-oil consumption and health: The possible role of antioxidants", *The Lancet Oncology*, vol. 1, n.º. 2, pp. 107-112.
- Palmer, K.T., Griffin, M.J., Syddall, H.E., Pannett, B., Cooper, C. & Coggon, D. 2002, "Raynaud's phenomenon, vibration induced white finger, and difficulties in hearing", *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 59, n.º. 9, pp. 640-642.
- Park, S., Johnson, M.D. & Hong, O. 2020, "Analysis of Occupational Safety and Health Administration (OSHA) noise standard violations over 50 years: 1972 to 2019", *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 63, n.º. 7, pp. 616-623.
- Park, M., Nari, F., Jeong, W., Park, E.-. & Jang, S.-. 2022, "Association between occupational noise and vibration and anxiety in the South Korean working population: A cross-sectional study", *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, vol. 17, n.º. 1.
- Pastor, R., Bouzas, C. & Tur, J.A. 2021, "Beneficial effects of dietary supplementation with olive oil, oleic acid, or hydroxytyrosol in metabolic syndrome: Systematic review and meta-analysis", *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 172, pp. 372-385.
- Pattafi, M.J.I., Mumtaz, N. & Saqulain, G. 2021, "Pérdida auditiva inducida por el ruido ocupacional: Su frecuencia y factores de riesgo", *Pakistan Armed Forces Medical Journal*, vol. 71, pp. S607-S611.
- Pelmear, P.L. 2003, "The clinical assessment of hand-arm vibration syndrome", *Occupational Medicine*, vol. 53, n.º. 5, pp. 337-341.
- Pettersson, H., Burström, L. & Nilsson, T. 2011, "The effect on the temporary threshold shift in hearing acuity from combined exposure to authentic noise and hand-arm vibration", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 84, n.º. 8, pp. 951-957.
- Pettersson, H., Burstrom, L., Hagberg, M., Lundstrom, R. & Nilsson, T. 2012, "Noise and hand-arm vibration exposure in relation to the risk of hearing loss", *Noise & health*, vol. 14, n.º. 59, pp. 159-165.
- Pettersson, H., Burström, L., Hagberg, M., Lundström, R. & Nilsson, T. 2014, "Risk of hearing loss among workers with vibration-induced white fingers", *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 57, n.º. 12, pp. 1311-1318.
- Pettersson, H., Burstrom, L. & Nilsson, T. 2014, "Raynaud's phenomenon among men and women with noise-induced hearing loss in relation to vibration exposure", *Noise & health*, vol. 16, n.º. 69, pp. 89-94.

- Pilco, D.A.F. 2021, "Hearing Damage in workers from exposure to occupational noise", *Universidad y Sociedad*, vol. 13, n°. S2, pp. 117-122.
- Poole, K., Elms, J. & Mason, H.J. 2004, "The diagnostic value of finger systolic blood pressure and cold-provocation testing for the vascular component of hand-arm vibration syndrome in health surveillance", *Occupational Medicine*, vol. 54, no. 8, pp. 520-527.
- Poole, C. & Cleveland, T.J. 2016, "Vascular hand-arm vibration syndrome – magnetic resonance angiography", *Occupational Medicine*, vol. 66, no. 1, pp. 75-78.
- Poole, C.J.M., Bovenzi, M., Nilsson, T., Lawson, I.J., House, R., Thompson, A. & Youakim, S. 2019, "International consensus criteria for diagnosing and staging hand-arm vibration syndrome", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 92, n°. 1, pp. 117-127.
- Popević, M.B., Janković, S.M., Borjanović, S.S., Jovičić, S.R., Tenjović, L.R., Milovanović, A.P.S. & Bulat, P. 2014, "Assessment of coarse and fine hand motor performance in asymptomatic subjects exposed to hand-arm vibration", *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, vol. 65, n°. 1, pp. 29-36.
- Pośpiech, L. & Zalesska-Krecicka, M. 1982, "Evaluation of hearing in sailors of the inland shipping company exposed to noise and vibration", *Bulletin of the Institute of Maritime and Tropical Medicine in Gdynia*, vol. 33, n°. 1-2, pp. 35-47.
- Pradko, F., Lee, R.A. & Greene, J.D. 1965, "Human vibration-response theory", *MECHANICAL ENGINEERING ASME-AMER SOC MECHANICAL ENG 345 E 47TH ST, NEW YORK, NY 10017*, pp. 62.
- Pretzsch, A., Seidler, A. & Hegewald, J. 2021, "Health Effects of Occupational Noise", *Current Pollution Reports*, vol. 7, n°. 3, pp. 344-358.
- Purdie, G., Harrison, A. & Purdie, D. 2009, "Prevalence of Raynaud's phenomenon in the adult New Zealand population", *New Zealand Medical Journal*, vol. 122, n°. 1306, pp. 55-62.
- Pyykko, I., Starck, J., Farkkila, M., Hoikkala, M., Korhonen, O. & Nurminen, M. 1981, "Hand-arm vibration in the a etiology of hearing loss in lumberjacks", *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 38, n°. 3, pp. 281-289.
- Pyykkö, I., Toppila, E., Zou, J. & Kentala, E. 2007, "Individual susceptibility to noise-induced hearing loss", *Audiological Medicine*, vol. 5, n°. 1, pp. 41-53.
- Qamruddin, A.A., Husain, N.R.N., Sidek, M.Y., Hanafi, M.H., Ripin, Z.M. & Ali, N. 2022, "Musculoskeletal complications of hand-arm vibration syndrome among tyre shop workers in Kelantan, Malaysia", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 28, n°. 1, pp. 213-222.
- Radun, J., Maula, H., Rajala, V., Scheinin, M. & Hongisto, V. 2022, "Acute stress effects of impulsive noise during mental work", *Journal of Environmental Psychology*, vol. 81.
- Ravetti, L. & Robb, S. 2010, "Continuous mechanical harvesting in modern Australian olive growing systems", *Advances in Horticultural Science*, vol. 24, n°. 1, pp. 71-77.

- Reynolds, D.D. 1977, "Hand-arm vibration: A review of 3 years research", *Proceeding of the 2nd International Conference on Hand-arm Vibration*, pp. 99.
- Rezaee, M., Mojtahed, M., Ghasemi, M. & Saedi, B. 2011, "Assessment of impulse noise level and acoustic trauma in military personnel", *Trauma Monthly*, vol. 16, n°. 4, pp. 182-187.
- Riera, G., Vilardell, M., Vaque, J., Fonollosa, V. & Bermejo, B. 1993, "Prevalence of Raynaud's phenomenon in a healthy Spanish population", *Journal of Rheumatology*, vol. 20, n°. 1, pp. 66-69.
- Rikhotso, O., Harmse, J.L. & Engelbrecht, J.C. 2019, "Noise sources and control, and exposure groups in chemical manufacturing plants", *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, n°. 17.
- Rinawati, S. 2022, "Analyze of Fatigue Related Vibration and Noise Exposure in Weaving Departement at PT. IDtex", *Proceedings of the U-Go Healthy International Conference, U-Go Healthy 2020, 29 March 2020, Pacitan, East Java, Indonesia* Register Login EUDL European Union Digital Library.
- Ristovska, G., Laszlo, H.E. & Hansell, A. 2012, "Summary of evidence for reproductive outcomes associated with noise exposure-experimental and human studies", pp. 2769.
- Riva, M.M., Pavesi, G., Bartolozzi, F., Bancone, C. & Mosconi, G. 2007, "Differences in the prevalence of work related disorders among construction workers between the end of 90s and 2006", *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*, vol. 29, n°. 3, pp. 311-313.
- Rivas-López, P.J. 2018, "Hand-Arm Vibratory Syndrome: Literary Review", *Medicina Legal de Costa Rica Edición Virtual*, pp. 127-145.
- Román Ivorra, J.A., González Perales, J.L., Fernández Carballido, C., Graña, J. & Torres, M.J. 2001, "Prevalence of Raynaud's phenomenon in general practice in the East of Spain", *Clinical Rheumatology*, vol. 20, n°. 2, pp. 88-90.
- Root, K.S., Schwennker, C., Autenrieth, D., Sandfort, D.R., Lipsey, T. & Brazile, W.J. 2013, "Firefighter noise exposure during training activities and general equipment use", *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 10, n°. 3, pp. 116-121.
- Rubio-Romero, J.C., Carrillo-Castrillo, J.A., Soriano-Serrano, M., Galindo-Reyes, F. & de la Varga-Salto, J. 2018, "A longitudinal study of noise exposure and its effects on the hearing of olive oil mill workers", *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 67, pp. 60-66.
- Ruddy, F., Eduardo, M. & Edoardo, S. 2012, "Application of the OCRA Method in the sugar cane harvest and its repercussion on the workers' health. Preliminary study", *Work*, vol. 41, n°. supl.1, pp. 3981-3983.
- Rui, F., D'Agostin, F., Negro, C. & Bovenzi, M. 2008, "A prospective cohort study of manipulative dexterity in vibration-exposed workers", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 81, n°. 5, pp. 545-551.

- Sakakibara, H., Kondo, T., Koike, Y., Miyao, M., Furuta, M., Yamada, S., Sakurai, N. & Ono, Y. 1989, "Combined effects of vibration and noise on palmar sweating in healthy subjects", *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, vol. 59, n° 3, pp. 195-198.
- Sakakibara, H., Hirata, M. & Toibana, N. 2005, "Impaired manual dexterity and neuromuscular dysfunction in patients with hand-arm vibration syndrome", *Industrial Health*, vol. 43, n° 3, pp. 542-547.
- Santos Hernández, V., Zenker Castro, F., Fernández Belda, R. & Barajas del Prat, J. 2006, "Deficiencia, discapacidad y minusvalía auditiva", *Auditio: Revista Electrónica de Audiología*, vol. 3, n° 1, pp. 19-31.
- Saraçoglu, T., Cakmak, B., Özarslan, C. & Alayunt, F.N. 2011, "Vibration and noise characteristics of hook type olive harvesters", *African Journal of Biotechnology*, vol. 10, n° 41, pp. 8074-8081.
- Sauni, R., Virtema, P., Pääkkönen, R., Toppila, E., Pyykkö, I. & Uitti, J. 2010, "Quality of life (EQ-5D) and hand-arm vibration syndrome", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 83, n° 2, pp. 209-216.
- Sayler, S.K., Roberts, B.J., Manning, M.A., Sun, K. & Neitzel, R.L. 2019, "Patterns and trends in OSHA occupational noise exposure measurements from 1979 to 2013", *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 76, n° 2, pp. 118-124.
- Schettino, S., Minette, L.J., Andrade Lima, R.C., Pedroso Nascimento, G.S., Caçador, S.S. & Leme Vieira, M.P. 2021, "Forest harvesting in rural properties: Risks and worsening to the worker's health under the ergonomics approach", *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 82.
- Shanks, E. 2020, "Construction: Good practice for control of today's noise and hand-arm vibration exposures", *Proceedings of the Institute of Acoustics*.
- Sheppard, A., Ralli, M., Gilardi, A. & Salvi, R. 2020a, "Occupational noise: Auditory and non-auditory consequences", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, n° 23, pp. 1-15.
- Sheppard, A., Ralli, M., Gilardi, A. & Salvi, R. 2020b, "Occupational noise: Auditory and non-auditory consequences", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, n° 23, pp. 1-15.
- Shibata, N., Sasaki, T., Hisanaga, N., Shibata, E., Kubota, H., Nakamura, K. & Koda, S. 2013, "Noise and hand-Arm vibration exposure in construction workers", pp. 6072.
- Singh, A.K., Meena, M.L. & Chaudhary, H. 2018, "Assessment of low-cost tool intervention among carpet alignment workers exposed to hand-Arm vibration and shift in hearing threshold", vol. 5, n° 3, pp. 189-209.
- Singh, A.K., Meena, M.L. & Chaudhary, H. 2019, "Ergonomic evaluation of low-cost intervention for carpet trimming workers exposed to hand vibration and noise", *Noise and Vibration Worldwide*, vol. 50, n° 3, pp. 78-91.

- Singh, A.K., Meena, M.L., Chaudhary, H. & Karmakar, S. 2020, "Assessment of transmissibility of hand-arm vibration, noise exposure, and shift in hearing threshold among hand-craft operatives': A cross-sectional study", *Journal of Industrial and Production Engineering*, vol. 37, n°. 2-3, pp. 134-147.
- Singh, L.P., Bhardwaj, A. & Deepak, K.K. 2010, "Occupational exposure in small and medium scale industry with specific reference to heat and noise", *Noise and Health*, vol. 12, n°. 46, pp. 37-48.
- Sisto, R., Botti, T., Cerini, L., Di Giovanni, R., Marchetti, E., Lunghi, A., Sacco, F., Sanjust, F., Tirabasso, A. & Moleti, A. 2017, "Synergistic effects of noise and hand-arm vibration on distortion product otoacoustic emissions in healthy subjects", *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 62, pp. 48-54.
- Smith, T. & Son, J. 2015, "General Social Survey Final Report", Chicago: NORC, pp. 1972-2014.
- Sperandio, G., Biocca, M., Fedrizzi, M. & Toscano, P. 2017, "Economic and technical features of different levels of mechanization in olive harvesting", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 58, pp. 853-858.
- Sridhar, S., Raj, M.G. & Aruna, M. 2022, "Musculoskeletal Disorder Risk in the Upper Extremities of Mobile Mining Equipment Operators Exposed to Hand-Transmitted Vibrations in Underground Metal Mines: A Case-Control Study", *Mining, Metallurgy and Exploration*, vol. 39, n°. 5, pp. 2075-2082.
- Sriwattanatamma, P. & Breyse, P. 2000, "Comparison of NIOSH noise criteria and OSHA hearing conservation criteria", *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 37, n°. 4, pp. 334-338.
- Stjernbrandt, A., Abu Mdaighem, M. & Pettersson, H. 2021, "Occupational noise exposure and Raynaud's phenomenon: A nested case-control study", *International Journal of Circumpolar Health*, vol. 80, n°. 1.
- Stucken, E.Z. & Hong, R.S. 2014, "Noise-induced hearing loss: An occupational medicine perspective", *Current Opinion in Otolaryngology and Head and Neck Surgery*, vol. 22, no. 5, pp. 388-393.
- Sutinen, P., Toppila, E., Starck, J., Brammer, A., Zou, J. & Pyykkö, I. 2006, "Hand-arm vibration syndrome with use of anti-vibration chain saws: 19-year follow-up study of forestry workers", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 79, n°. 8, pp. 665-671.
- Suvorov, G., Denisov, E., Antipin, V., Kharitonov, V., Starck, J., Pyykkö, I. & Toppila, E. 2001, "Effects of peak levels and number of impulses to hearing among forge hammering workers", *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 16, n°. 8, pp. 816-822.
- Suzuki, H. 1978, "Vibration syndrome of vibrating tool users in a factory of steel foundry: Part 1. Complained Symptoms", *Japanese Journal of Industrial Health*, vol. 20, n°. 5, pp. 261-267.

- Szalma, J.L. & Hancock, P.A. 2011, "Noise effects on human performance: A meta-analytic synthesis", *Psychological Bulletin*, vol. 137, n°. 4, pp. 682-707.
- Teixeira, L.R., Pega, F., Dzhambov, A.M., Bortkiewicz, A., da Silva, D.T.C., de Andrade, C.A.F., Gadzicka, E., Hadkhale, K., Iavicoli, S., Martínez-Silveira, M.S., Pawlaczyk-Łuszczynska, M., Rondinone, B.M., Siedlecka, J., Valenti, A. & Gagliardi, D. 2021, "The effect of occupational exposure to noise on ischaemic heart disease, stroke and hypertension: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-Related Burden of Disease and Injury", *Environment International*, vol. 154.
- Themann, C.L. & Masterson, E.A. 2019, "Occupational noise exposure: A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 146, n°. 5, pp. 3879-3905.
- Thompson, A.J.L. & Griffin, M.J. 2009, "Effect of the magnitude and frequency of hand-transmitted vibration on finger blood flow during and after exposure to vibration", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 82, n°. 9, pp. 1151-1162.
- Thota, J., Kim, E., Freivalds, A. & Kim, K. 2022, "Development and evaluation of attachable anti-vibration handle", *Applied Ergonomics*, vol. 98, pp. 103571.
- Tiller, D.K., Wang, L.M., Musser, A. & Radik, M.J. 2010, "Combined effects of noise and temperature on human comfort and performance", pp. 522.
- Tolosa Vilella, C., Simeón Aznar, C.P. & Gabarró Juli, L. 2009, "Raynaud's phenomenon", *Medicina Clínica*, vol. 132, n°. 18, pp. 712-718.
- Tony, B.J.A.R., Alphin, M.S. & Velmurugan, D. 2019, "Influence of handle shape and size to reduce the hand-arm vibration discomfort", *Work*, vol. 63, n°. 3, pp. 415-426.
- Toppila, E., Pyykkö, I. & Pääkkönen, R. 2009, "Evaluation of the increased accident risk from workplace noise", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 15, n°. 2, pp. 155-162.
- Turcot, A., Girard, S.A., Courteau, M., Baril, J. & Larocque, R. 2015, "Noise-induced hearing loss and combined noise and vibration exposure", *Occupational Medicine*, vol. 65, n°. 3, pp. 238-244.
- Van Kempen, E.E.M.M., Kruize, H., Boshuizen, H.C., Ameling, C.B., Statsen, B.A.M. & de Hollander, A.E.M. 2002, "The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: A meta-analysis", *Environmental Health Perspectives*, vol. 110, n°. 3, pp. 307-317.
- Vilar J., P.J.E. 2018, *La olivicultura internacional. Difusión histórica, análisis estratégico y visión descriptiva*, Fundación C R Jaén.
- Virkkunen, H., Kauppinen, T. & Tenkanen, L. 2005, "Long-term effect of occupational noise on the risk of coronary heart disease", *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 31, n°. 4, pp. 291-299.

- Vos, T., Allen, C., Arora, M., Barber, R.M., Bhutta, Z.A. & Brown, A. 2016, "Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 310 diseases and injuries, 1990–2015: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015", *The Lancet*, vol. 388, n°. 10053, pp. 1545-1602.
- Voulgari, P.V., Alamanos, Y., Papazisi, D., Christou, K., Papanikolaou, C. & Drosos, A.A. 2000, "Prevalence of Raynaud's phenomenon in a healthy Greek population", *Annals of the Rheumatic Diseases*, vol. 59, n°. 3, pp. 206-210.
- Wang, D., Zhou, M., Li, W., Kong, W., Wang, Z., Guo, Y., Zhang, X., He, M., Guo, H. & Chen, W. 2018, "Occupational noise exposure and hypertension: The Dongfeng-Tongji Cohort Study", *Journal of the American Society of Hypertension*, vol. 12, n°. 2, pp. 71-79.
- Wang, H., Naghavi, M. & Allen, C. 2016, "Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015", *The Lancet*, vol. 388, n°. 10053, pp. 1459-1544.
- Weier, M.H. 2020, "The Association Between Occupational Exposure to Hand–Arm Vibration and Hearing Loss: A Systematic Literature Review", *Safety and Health at Work*, vol. 11, n°. 3, pp. 249-261.
- Weinrich, M.C., Maricq, H.R., Keil, J.E., McGregor, A.R. & Diat, F. 1990, "Prevalence of Raynaud phenomenon in the adult population of South Carolina", *Journal of Clinical Epidemiology*, vol. 43, n°. 12, pp. 1343-1349.
- Witterseh, T., Wyon, D.P. & Clausen, G. 2004, "The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work", *Indoor Air, Supplement*, vol. 14, n°. 8, pp. 30-40.
- Wu, J.Z., Krajnak, K., Welcome, D.E. & Dong, R.G. 2006, "Analysis of the dynamic strains in a fingertip exposed to vibrations: Correlation to the mechanical stimuli on mechanoreceptors", *Journal of Biomechanics*, vol. 39, n°. 13, pp. 2445-2456.
- Yadav, O.P., Sarkar, A., Shan, D., Rahman, A. & Moro, L. 2021, "Occupational noise exposure and health impacts among fish harvesters: A systematic review", *International Maritime Health*, vol. 72, n°. 3, pp. 199-205.
- Yaghoubi, K., Alimohammadi, I., Abolghasemi, J., Shirin Shandiz, M., Aboutaleb, N. & Ash-tarinezhad, A. 2018, "The effect of occupational noise exposure on systolic blood pressure, diastolic blood pressure and salivary cortisol level among automotive assembly workers", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*.
- Yoon, J., Roh, J., Kim, C. & Won, J. 2016, "The risk of occupational injury increased according to severity of noise exposure after controlling for occupational environment status in Korea", *Noise and Health*, vol. 18, n°. 85, pp. 355-361.
- Zamysłowska-Szmytke, E., Kotyło, P., Bał, M., Fuente, A. & Śliwińska-Kowalska, M. 2007, "Hearing loss in workers exposed to different type of noise", *Archives of Acoustics*, vol. 32, n°. 2, pp. 399-404.

- Zaw, A.K., Myat, A.M., Thandar, M., Htun, Y.M., Aung, T.H., Tun, K.M. & Han, Z.M. 2020, "Assessment of Noise Exposure and Hearing Loss Among Workers in Textile Mill (Thamine), Myanmar: A Cross-Sectional Study", *Safety and Health at Work*, vol. 11, n°. 2, pp. 199-206.
- Zheglova, A.V. 2021, "Improving the methodology for assessing occupational risk in workers under the influence of physical factors", *Gigiena i Sanitariya*, vol. 100, n°. 9, pp. 975-979.
- Zhou, J., Shi, Z., Zhou, L., Hu, Y. & Zhang, M. 2020, "Occupational noise-induced hearing loss in China: A systematic review and meta-analysis", *BMJ Open*, vol. 10, n°. 9.
- Zhu, S., Sakakibara, H. & Yamada, S. 1997, "Combined effects of hand-arm vibration and noise on temporary threshold shifts of hearing in healthy subjects", *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 69, n°. 6, pp. 433-436.
- Zimprich, S., Germann, R., Helmstetter, S., Saurbier, S. & Matthiesen, S. 2021, "An objective rating approach for vibration discomfort evaluation in power tool ergonomics - examination of higher frequency components", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1253 AISC, pp. 84-90.
- Zwicker, E., & Fastl, H. 1999, *Psychoacoustics Facts and Models*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1999.

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

9- ANEXOS

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

ANEXO I. CUESTIONARIO SOBRE MAQUINARIA UTILIZADA EN LA RECOGIDA DE ACEITUNA

Esta encuesta se realiza para el estudio sobre riesgos laborales en la recogida de aceituna, evaluando la exposición de los agentes físicos: VMB y ruido.

Dado que la forma de recogida varía en función del marco de plantación, de la orografía y de la maquinaria utilizada, esta encuesta pretende obtener información sobre maquinaria más utilizada. La información permitirá caracterizar el sector de producción de aceituna respecto a la maquinaria más utilizada, según los tipos de recogida.

INFORMACIÓN GENERAL DEL OLIVAR



Encuestas UGR - Encuesta sobre maquinaria utilizada en la recogida de aceituna, de verdeo y para almazara.

<https://encuestas.ugr.es/index.php/125379?lang=es>

CUESTIONARIO PARA PANEL DE EXPERTOR EN EL SECTOR DEL OLIVAR

ENCUESTA SOBRE LA MAQUINARÍA UTILIZADA EN RECOGIDA DE ACEITUNA. VIBRACIÓN Y RUIDO

Esta encuesta se realiza para el estudio sobre ruido y vibración de las máquinas que se utilizan en la recogida de aceituna.

Se pretende obtener información sobre cuál es la MAQUINARÍA MÁS UTILIZADA para la recolecta, en función de la superficie en la que trabajan, es decir las Hectáreas del olivar que recolectan

Ese identificador se administra en una base de datos diferente a la encuesta y sólo se utilizará para indicar si ha completado, o no, la misma. No existe ninguna forma de identificar las respuestas de la encuesta a partir del identificador.

INFORMACIÓN GENERAL PERSONAL

- 1- En el sector oleícola. ¿Cuál es su actividad en el sector? Seleccione una de las siguientes opciones
- Productor: Agricultor con toda maquinaria propia de recogida de aceituna
 - Productor: Agricultor sin ninguna maquinaria en propiedad
 - Productor: Agricultor utiliza alguna maquinaria propia y otra alquilada
 - Empresa de servicios agrícolas, con maquinaria propia

2- Sexo

- Femenino
- Masculino
- Otro

3- ¿Edad? Seleccione una de las siguientes opciones

- 20-30
- 30-40
- 40-50
- >50

4- Antigüedad en el sector oleícola. Diga aproximadamente los años que lleva realizando esta actividad. (No se refiere a la antigüedad de la plantación)

- < 5 años
- 5 a 10
- 10 a 20
- 20 a 30
- >30

INFORMACIÓN GENERAL DEL OLIVAR

5- Especifique la superficie del olivar en Hectáreas. (no es necesario que sea exacta, sólo la cantidad aproximada). Se refiere a la superficie el olivar de su propiedad, o de la superficie de olivar que usted se ocupa de recoger. Sólo se pueden introducir números en estos campos.

- superficie en Hectáreas de REGADÍO
 - superficie en Hectáreas de SECANO
- Si no recuerda cuantas son de regadío y cuantas, de secano,
Indique la Superficie total de olivar

Nota: Se refiere a la superficie el olivar de su propiedad, o de la superficie de olivar que usted se ocupa de recoger

6- Situación de la plantación. **PROVINCIA** en la que se sitúa la plantación de olivar. En caso de que tenga en más de una provincia seleccione varias.

- Almería
- Cádiz
- Córdoba
- Granada
- Jaén
- Málaga
- Sevilla
- Ninguna de ellas

7- Municipio en que encuentra la plantación de olivar. Especifique el o los términos municipales. Rellene varios cuadros en caso de varios términos municipales

Por favor, escriba su(s) respuesta(s) aquí:

8- Especifique el marco de plantación del olivar. En caso de que tenga distintos marcos de plantación especifique primero el que ocupa más extensión y después el resto.

- Marco de plantación más usual en su finca o la que recolecta
- Marco de plantación en superficie menos extensa
- Si tiene otro Marco de plantación indíquelo

9- Tipo de cultivo

Por favor, marque las opciones que correspondan, indicando la superficie de cada uno de ellos:

- Convencional
- Ecológico
- Producción integrada
- Otro:

10- Diga la producción media de un olivo de su olivar, considerando que la cosecha no ha sido ni muy buena ni muy mala. Expréselo en Kilos.

Por favor, escriba su(s) respuesta(s) aquí:

- Kg que produce un olivo de secano
- Kg que produce un olivo de regadío

11- Especifique a que se destina su producción de aceitunas

Por favor seleccione sólo una de las siguientes opciones:

- Aceituna de verdeo (mesa)
- Aceituna para almazara (aceite)
- Ambos. Produce aceituna de mesa y para aceite

INFORMACIÓN SOBRE LA MAQUINARIA UTILIZADA EN LA RECOGIDA DE ACEITUNA

12- Titularidad de la maquinaria utilizada en la recogida

Por favor seleccione sólo una de las siguientes opciones:

- Utilizo maquinaria propia. SIEMPRE
- Utilizo maquinaria contratada. Siempre en a la MISMA empresa
- Utilizo maquinaria contratada. Cada año en DISTINTA empresa.
- Sólo contrato la maquinaria pesada, el resto es propia
- En caso de otra opción, rellene el cuadro con una breve explicación

- Comente su elección aquí:

13- MAQUINARIA CON TRACTOR O BUGGY: Seleccione los tipos de vibradores que utiliza en la recogida.

Especifique en las casillas indicadas la MARCA, el MODELO y la ANTIGÜEDAD

	MARCA	MODELO	AÑOS
Tractor con gomas y pinza vibradora frontal	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Tractor con cadenas y pinza vibradora frontal

Tractor con gomas y pinza vibradora frontal con paraguas

Tractor con cadenas y pinza vibradora frontal con paraguas

Buggy con pinza

Buggy con pinza y paraguas

OTRO TIPO DE MAQUINARIA

14- MAQUINARIA VIBRADORA DE MANO: seleccione la maquinaria que suelen utilizar los operarios en recogida de aceituna.

Especifique en las casillas indicadas la MARCA, el MODELO y la ANTIGÜEDAD

	MARCA	MODELO	AÑOS
Vareador de mano con gancho con depósito en el mango de combustión (guitarrilla o gancho)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Vareador de mano con gancho con batería (guitarrilla o gancho)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Vareador con varillas con batería (peine)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Vareador con varillas con depósito de combustión (peine)			
OTRO TIPO DE MAQUINARIA DE VIBRACIÓN DE MANO	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
OTRO TIPO DE MAQUINARIA DE VIBRACIÓN DE	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<p>15- APARTE DE LOS VIBRADORES. ¿QUÉ OTRA MAQUINARIA UTILIZA? Se refiere a maquinaria complementaria para la recogida de aceituna.</p> <p>Especifique en las casillas indicadas la MARCA, el MODELO y la ANTIGÜEDAD</p>			
Sopladora de mano de combustión	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Sopladora de mano de batería	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Barredora de mano de combustión	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
OTRO TIPO DE MAQUINARIA	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
OTRO TIPO DE MAQUINARIA	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<p><u>INFORMACIÓN SOBRE TRABAJADORES</u></p>			
<p>16- COMPOSICIÓN DE LA CUADRILLA DE TRABAJADORES. Indique el número de trabajadores que usualmente forma una cuadrilla.</p>			
17-	<input type="text"/>		

Composición de cuadrilla más usual

Otro tipo de cuadrilla

17. COMPOSICIÓN DE LA CUADRILLA. Indique el número de trabajadores de cada cuadrilla que está en cada puesto de trabajo

Número de Tractoristas _____

De éstos, cuántos utilizan tractor con pinza vibradora _____

Número de trabajadores con vareador gancho combustión _____

Número de trabajadores con vareador gancho eléctrico _____

Número de trabajadores con vareador eléctrico (peine) _____

Número de trabajadores con sopladora de combustión _____

Número de trabajadores con sopladora eléctrica: _____

Número de trabajadores con Barredora de mano _____

Nota: Se entiende que un trabajador de una cuadrilla puede realizar diferentes tareas. Por lo tanto, contabilícelos en todas las actividades que realiza

18. MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE UTILIZAN LOS TRABAJADORES. EPIs. TRACTORISTAS

Especifique las protecciones que los trabajadores suelen ponerse de forma habitual o mientras manejan maquinaria

Protectores auditivos

Guantes

Gafas anti salpicaduras

Calzado de seguridad

Chaleco reflectante

TRACTORISTAS					
--------------	--	--	--	--	--

19. MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE UTILIZAN LOS TRABAJADORES. EPIs. VIBRADORES DE GANCHO

Especifique las protecciones que los trabajadores suelen ponerse de forma habitual o mientras manejan maquinaria

	Protectores auditivos	Guantes	Gafas anti-splincaduras	Calzado de seguridad	Chaleco reflectante
Peones con vareadores GANCHO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

20. MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE UTILIZAN LOS TRABAJADORES. EPIs. VIBRADORES DE PEINE

Especifique las protecciones que los trabajadores suelen ponerse de forma habitual o mientras manejan maquinaria

	Protectores auditivos	Guantes	Gafas anti-splincaduras	Calzado de seguridad	Chaleco reflectante
Peones con vareadores PEINE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

21. MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE UTILIZAN LOS TRABAJADORES. EPIs. SOPLADORA

Especifique las protecciones que los trabajadores suelen ponerse de forma habitual o mientras manejan maquinaria

	Protectores auditivos	Guantes	Gafas anti-splincaduras	Calzado de seguridad	Chaleco reflectante
Peones con SOPLADORA	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE UTILIZAN LOS TRABAJADORES. EPIs. BARREDORES DE MANO

Especifique las protecciones que los trabajadores suelen ponerse de forma habitual o mientras manejan maquinaria

	Protectores auditivos	Guantes	Gafas anti-splincaduras	Calzado de seguridad	Chaleco reflectante
Peones con BARREDORES	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

23. MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE UTILIZAN LOS TRABAJADORES. EPIs. RESTO DE TRABAJADORES DE LA CUADRILLA

Especifique las protecciones que los trabajadores suelen ponerse de forma habitual o mientras manejan maquinaria

	Protectores auditivos	Guantes	Gafas anti-splincaduras	Calzado de seguridad	Chaleco reflectante
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

RESTO DE TRABAJADO- RES DE LA CUADRILLA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
--	--------------------------	--------------------------	--	--------------------------	--

AUTORIZACIÓN PARA REALIZACIÓN DE MEDICIONES EN SU PLANTACIÓN

En caso de estar dispuesto/a a autorizar la realización de mediciones durante los trabajos de recolección, en su finca o en las fincas que recolecta. Rellene los siguientes datos. Estos datos serán eliminados de nuestra base, una vez concluido el estudio.

Por favor, escriba su(s) respuesta(s) aquí:

Apellidos, Nombre Teléfono de contacto Correo electrónico Dirección. Calle, Municipio

ANEXO II. HOJA DE TOMA DE DATOS

MANO-BRAZO		Datos Ambientales		Iniciales			Finiales						
LUGAR:	Día:	Temperatura:	Temperatura:	Temperatura:	Temperatura:	Humedad r.:	Humedad r.:	Humedad r.:	Humedad r.:				
N:	Hora de comienzo:	Humedad r.:	Humedad r.:	Humedad r.:	Humedad r.:	Velocidad aire:	Velocidad aire:	Velocidad aire:	Velocidad aire:				
O:	Hora fin:	DATOS AMBIENTALES			VIBRACION			RUIDO FOCO					
MONTEFRIO 1	31/01/2020	Trabajador	Tpo medición (min)	Observaciones	Manos de utilización	Hora inicio	Hora fin	Ref medición inicio	Ref medición fin	Hora inicio	Hora fin	Ref medición inicio	Ref medición fin
Equipo de trabajo													
PEINE ELECTRICO SPA 65 STHIL	IZQUIERD A	TRABAJADOR A	20 seg			10.58		30_MON_0				MON_29	
PEINE ELECTRICO SPA 65 STHIL	IZQUIERD A	TRABAJADOR A	20seg			10.59		30_MON_1				MON_30	
PEINE ELECTRICO SPA 65 STHIL	IZQUIERD A	TRABAJADOR A	20seg			11		30_MON_2				MON_31	
PEINE ELECTRICO SPA 65 STHIL	IZQUIERD A	TRABAJADOR A	20seg			11.03		30_MON_3				MON_32	
PEINE ELECTRICO SPA 65 STHIL	IZQUIERD A	TRABAJADOR A	20seg			11.05		30_MON_4				MON_33	
PEINE ELECTRICO SPA 65 STHIL	DERECHA	TRABAJADOR A	20 seg			11.15		30_MON_5				MON_34	

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

ANEXO III. VAREADORES TIPO GANCHO

GANCHO	MODELO			A			
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	2.707	5.609	2.553	6.731		97.3	
	3.105	3.508	2.506	5.312		93.8	
	4.069	3.926	2.239	6.081		94.2	
	6.714	5.176	3.010	8.996		96.7	
	2.698	2.767	2.104	4.400		90.6	
					6.304		95.1
2	2.917	3.999	1.409	5.146		96.4	
	2.301	3.720	2.352	4.966		97.7	
	1.455	2.633	0.985	3.165		82.6	
	1.834	1.869	1.070	2.828		94.2	
	5.135	12.488	3.560	13.964		97.1	
					6.014		95.6
3	4.074	9.057	4.534	10.917		99.3	
	5.495	6.516	2.884	8.998		100.1	
	1.288	1.991	1.660	2.894		100.1	
	2.415	3.681	2.941	5.294		97.6	
	2.701	3.627	2.645	5.238		103.2	
					6.668		100.4
TOTAL					6.33		97.7

<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,t}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis de ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
6.33	1.248	97.8	0.421	0.315	0.252	1.256	0.748	83.7

tiempo combinado

0.315

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

GANCHO		MODELO 1						
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico	
1	1.547	1.901	1.778	3.028		92.2		
	6.554	9.886	8.670	14.692		95.7		
	4.64	10.035	7.228	13.209		96.3		
	5.218	11.015	10.641	16.180		95.8		
	5.489	12.531	10.641	17.332		96.3		
					12.888		95.5	
2	8.433	15.258	11.455	20.860		96.1		
	6.223	2.851	3.396	7.641		94.0		
	5.012	1.085	2.275	5.610		78.1		
	1.696	1.275	1.535	2.619		78.3		
	4.704	4.64	6.159	9.033		92.6		
					9.153		92.3	
3	1.512	4.227	1.822	4.845		96.3		
	1.770	5.617	2.153	6.270		101.5		
	1.489	1.764	1.484	2.744		97.7		
	2.413	4.759	2.325	5.820		100		
	2.655	6.653	2.901	7.728		98.5		
					5.482		99.2	
TOTAL					9.17		96.5	

GANCHO		MODELO 1						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
9.17	0.594	96.5	0.561	0.289	0.486	1.743	0.514	82.1

ANEXO III: Resultados de ruido y vibración VMB medidos para VAREADOR TIPO GANCHO

GANCHO		MODELO 2						
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico	
1	1.995	1.818	1.528	3.102		97.3		
	2.867	2.914	2.009	4.555		98.2		
	3.677	6.324	4.009	8.342		94.3		
	4.983	3.767	3.784	7.303		101.6		
	2.716	2.742	2.254	4.469		100.4		
					5.554		99.0	
2	4.847	5.489	2.283	7.670		87		
	2.931	2.975	2.133	4.689		90.5		
	3.105	2.914	1.979	4.696		88.3		
	3.459	3.954	2.323	5.744		89.7		
	3.27	4.809	3.133	6.606		85.1		
					5.881		88.5	
3	5.377	6.361	3.338	8.973		96.4		
	3.694	3.87	2.835	6.055		97.7		
	4.411	4.027	1.986	6.294		82.6		
	3.99	4.634	2.623	6.654		94.2		
	4.375	4.246	3.503	7.031		97.1		
					7.001		93.4	
TOTAL					6.146		95.6	

GANCHO		MODELO 2						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
6.146	1.324	95.6	0.694	0.455	0.344	1.466	0.656	83.170

GANCHO		MODELO 3						
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico	
1	6.839	16.807	8.289	19.949		93.6		
	8.279	15.740	9.226	20.035		91.4		
	4.898	12.662	5.489	14.644		93.9		
	9.772	14.297	5.662	18.220		87.5		
	8.017	18.867	8.366	22.141		93.5		
					18.998		92.5	
2	10.245	12.336	10.977	19.433		93.9		
	7.137	16.672	8.6	20.071		94.8		
	15.812	13.796	16.444	26.660		93.3		
	8.974	15.724	10.304	20.831		89.7		
	4.169	11.298	4.64	12.906		88.3		
					19.980		92.7	
3	7.303	19.187	6.074	21.410		96.4		
	5.604	13.568	4.360	15.314		97.7		
	7.473	22.568	5.735	24.455		82.6		
	5.146	10.654	3.338	12.294		94.2		
	8.404	19.275	5.064	21.629		97.1		
					19.020		95.6	
TOTAL					19.333		93.8	

GANCHO		MODELO 3						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
19.333	0.134	93.8	1.044	0.119	0.886	2.354	0.114	75.5

ANEXO III: Resultados de ruido y vibración VMB medidos para VAREADOR TIPO GANCHO

GANCHO		MODELO 4						
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media aritmética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico	
1	3.396	8.213	2.570	9.252		87.5		
	13.274	15.346	14.488	24.932		93.1		
	5.123	16.349	6.974	18.498		88.6		
	4.33	13.423	4.887	14.927		85.4		
	6.449	20.797	6.95	22.856		90.2		
					18.093		89.8	
2	5.97	12.092	5.464	26.914		87		
	6.676	16.539	7.286	20.071		90.5		
	5.445	13.583	7.031	32.965		88.3		
	8.251	15.083	7.43	23.995		89.7		
	5.741	7.638	5.977	12.906		85.1		
					16.010		88.5	
3	4.813	11.830	4.566	13.563		89.6		
	6.259	13.490	5.514	15.861		93.5		
	6.067	12.078	5.715	14.675		91.8		
	5.152	13.032	4.819	14.819		91.2		
	8.63	17.579	7.261	20.886		92.6		
					15.961		91.9	
TOTAL					16.688		90.3	

GANCHO		MODELO 4						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
16.688	0.180	93.8	2.360	0.167	0.929	2.410	0.071	73.5

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

GANCHO		MODELO 5					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	5.146	8.185	4.949	10.861		88.5	
	7.015	5.188	5.553	10.342		93.7	
	4.915	5.164	3.917	8.134		94.9	
	5.42	5.97	5.527	9.776		95.0	
	4.15	5.176	3.741	7.616		98.1	
					9.346		95.0
2	3.381	5.093	4.721	7.724		91.4	
	7.889	8.61	6.053	13.153		88.7	
	5.303	5.146	5.26	9.070		94.3	
	5.321	4.759	7.456	10.322		96.2	
	3.451	3.815	2.226	5.605		96.4	
					9.175		94.3
3	1.738	1.732	1.144	2.707		93.5	
	3.754	3.733	3.251	6.213		93.1	
	3.073	3.010	2.521	4.986		88.6	
	3.266	2.328	2.588	4.773		85.4	
	3.225	3.094	2.432	5.088		90.2	
					4.753		91.1
TOTAL					7.758		93.7

GANCHO		MODELO 5						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
7.758	0.831	93.7	1.069	0.467	0.563	1.875	0.437	81.4

ANEXO III: Resultados de ruido y vibración VMB medidos para VAREADOR TIPO GANCHO

GANCHO		MODELO 6					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	5.998	2.886	2.627	7.156		71.3	
	3.556	3.447	2.630	5.607		78.3	
	5.212	6.412	2.891	8.754		94.9	
	6.230	4.046	2.951	7.993		93.5	
	5.383	3.824	5.761	8.763		95.1	
					7.655		92.4
2	4.055	3.003	4.87	7.013		88.6	
	3.798	3.69	2.309	5.777		96.5	
	3.664	6.927	3.69	8.662		93.8	
	2.841	5.242	2.801	6.588		93.2	
	3.681	4.753	3.094	6.761		95.4	
					6.960		94.2
3	5.495	3.802	4.748	8.197		91.3	
	3.255	2.732	2.435	4.898		93.5	
	3.432	4.503	2.333	6.124		97.9	
	2.396	2.591	2.246	4.183		96.1	
	5.147	6.524	4.074	9.255		96.9	
					6.531		95.7
TOTAL					7.049		94.3

GANCHO		MODELO 6						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
7.049	1.006	94.3	0.937	0.485	0.482	1.736	0.518	82.1

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

GANCHO		MODELO 7						
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{nv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico	
1	3.995	2.996	2.463	5.568		90		
	4.853	8.861	3.560	10.712		87.1		
	3.090	3.436	2.618	5.311		92.3		
	3.904	3.155	2.509	5.612		93.7		
	3.281	3.048	1.892	4.862		86.9		
					6.413		90.8	
2	3.495	4.207	4.111	6.842		91.5		
	3.989	6.033	3.069	7.857		91.7		
	3.228	3.051	2.304	5.004		91.1		
	2.796	3.33	2.336	4.936		93.5		
	3.698	4.898	2.533	6.639		90.7		
					6.256		91.8	
3	3.707	8.620	3.606	10.052		88.9		
	13.617	13.552	5.082	19.872		92.5		
	11.535	11.548	4.541	16.942		87.7		
	2.793	4.898	2.385	6.122		88.6		
	4.222	3.334	3.295	6.309		89.8		
					11.859		89.8	
TOTAL					8.176		90.9	

GANCHO		MODELO 7						
<i>a_{nv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
8.176	0.748	90.9	2.055	0.548	0.733	2.141	0.267	79.3

ANEXO III: Resultados de ruido y vibración VMB medidos para VAREADOR TIPO GANCHO

GANCHO		MODELO 8						
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico	
1	2.443	2.286	1.371	3.616		71.4		
	3.428	3.144	1.862	5.010		91.6		
	4.493	5.182	3.151	7.548		87.7		
	4.792	7.674	2.136	9.296		89.5		
	4.887	6.554	2.917	8.680		89.0		
					6.830		88.7	
2	5.950	6.124	3.673	9.295		90.5		
	6.982	10.316	4.972	13.412		91.3		
	4.603	4.919	3.391	7.542		94.4		
	5.451	4.792	5.224	8.942		92.8		
	5.465	6.615	4.164	9.537		94.2		
					9.746		92.9	
3	6.615	6.353	6.259	11.104		93.1		
	5.035	4.457	5.383	8.614		92.6		
	6.494	6.902	4.276	10.397		94.0		
	12.317	11.311	9.11	19.043		92.7		
	15.885	9.12	5.433	19.106		90.8		
					13.653		92.4	
TOTAL					10.076		91.8	

GANCHO		MODELO 8						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
10.076	0.492	91.8	1.655	0.380	0.771	2.195	0.229	78.6

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

GANCHO		MODELO 9						
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{nv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico	
1	3.412	5.553	2.867	3.412		93.0		
	7.464	6.281	5.058	7.464		90.7		
	7.161	8.346	4.829	7.161		89.7		
	4.683	4.995	4.241	4.683		89.0		
	10.304	13.677	10.752	10.304		92.3		
					11.679		91.2	
2	10.508	15.171	13.174	10.508		90.5		
	5.781	5.146	4.173	5.781		81.6		
	7.741	7.161	6.039	7.741		94.7		
	7.422	9.089	6.273	7.422		94.3		
	10.116	7.916	6.615	10.116		91.6		
					14.275		92.2	
3	4.064	7.031	5.339	4.064		92.0		
	5.408	7.261	7.031	5.408		91.3		
	6.081	4.524	4.261	6.081		90.0		
	8.346	8.492	6.796	8.346		88.4		
	3.958	3.451	2.363	3.958		88.8		
					9.869		90.3	
TOTAL					11.941		91.3	

GANCHO		MODELO 9						
<i>a_{nv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
11.941	0.351	91.3	1.866	0.295	0.842	2.294	0.158	77.0

ANEXO III: Resultados de ruido y vibración VMB medidos para VAREADOR TIPO GANCHO

GANCHO		MODELO			10			
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico	
1	3.115	3.806	5.420	7.319		83.9		
	3.999	2.278	3.720	5.918		93.2		
	4.581	3.365	3.917	6.903		97.8		
	2.935	4.164	2.46	5.657		98.5		
	3.432	5.808	2.443	7.175		99.4		
					6.594		96.8	
2	3.392	5.998	2.399	7.296		95.6		
	4.513	2.867	2.881	6.073		98.6		
	3.728	3.945	2.931	6.169		93.7		
	3.027	4.592	3.255	6.391		93.4		
	4.983	8.933	4.831	11.312		89.0		
					7.448		95.1	
3	9.078	17.061	9.047	21.339		94.3		
	1.114	1.966	1.202	2.559		84.3		
	1.296	1.884	1.982	3.026		85.4		
	3.346	4.808	3.577	6.863		98.0		
	4.524	4.661	4.266	7.771		97.0		
					8.312		94.7	
TOTAL					7.451		95.6	

GANCHO		MODELO 10						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
7.451	0.901	95.6	0.690	0.391	0.434	1.647	0.566	82.5

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

GANCHO		MODELO 11					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{nv}</i>	Media aritmética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	2.652	0.981	1.449	3.177		78.4	
	3.177	4.748	1.998	6.052		96.5	
	1.813	3.698	1.860	4.519		91.7	
	2.559	4.667	2.679	5.959		93.2	
	4.135	4.457	1.652	6.300		95.2	
					5.201		93.6
2	2.427	2.745	2.884	4.663		92.9	
	2.652	3.681	2.521	5.190		94.8	
	2.805	3.711	2.742	5.400		93.4	
	4.603	6.531	3.631	8.776		94.1	
	5.352	6.953	4.256	9.752		93.7	
					6.756		93.8
3	3.741	4.116	3.097	6.366		90.5	
	3.569	2.789	2.158	5.017		93.7	
	3.245	5.143	2.173	6.458		96.0	
	3.023	4.77	1.974	5.982		96.9	
	3.396	2.097	1.724	4.348		91.5	
					5.634		94.4
TOTAL					5.864		93.9

GANCHO		MODELO 11						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
5.864	1.454	93.9	1.019	0.599	0.412	1.605	0.588	82.7

ANEXO IV. VAREADORES TIPO PEINE

PEINE		MODELO 1						
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico	
1	7.870	2.497	4.825	9.563		78.5		
	12.882	3.926	7.691	15.508		80.6		
	17.179	4.781	8.356	19.693		82.2		
	13.852	6.281	14.256	20.846		81.6		
	17.681	4.380	11.614	21.603		82.1		
					17.443		81.2	
2	16.904	6.223	13.213	22.340		82.9		
	13.274	3.385	7.551	15.642		84.3		
	15.171	3.793	9.131	18.109		83.7		
	10.839	3.495	7.43	13.598		84.8		
	10.34	3.42	6.412	12.638		83.6		
					16.465		83.9	
3	4.892	3.404	5.689	8.239		83		
	4.943	3.416	6.769	9.051		82.3		
	5.052	3.311	5.401	8.103		83.5		
	5.458	3.565	6.691	9.342		83.5		
	5.135	3.361	5.943	8.543		83.4		
					8.656		83.2	
TOTAL					14.188		82.9	

PEINE		MODELO 1						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
14.188	0.248	82.9	12.979	0.244	0.981	2.476	0.019	67.7

PEINE		MODELO 2					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración a_{nv}	Media aritmética	Ruido $L_{Aeq,T}$	promedio logarítmico
1	12.417	12.604	10.617	20.634		81	
	11.298	14.305	8.091	19.943		80.5	
	7.354	12.604	6.714	16.063		80.4	
	8.502	10.52	7.834	15.631		80.7	
	6.599	9.863	7.203	13.882		80.7	
					17.231		80.7
2	12.106	9.408	8.100	17.340		93.8	
	8.194	7.789	6.173	12.881		92.5	
	7.413	4.560	4.694	9.888		92	
	9.173	7.236	7.362	13.810		93	
	8.71	5.565	5.303	11.617		92.4	
					13.107		92.8
3	8.194	4.581	3.943	10.182		91.5	
	9.672	8.375	7.337	14.749		93	
	7.253	5.972	4.937	10.613		93.2	
	6.753	5.861	6.035	10.788		89.3	
	7.682	8.605	9.397	14.878		91	
					12.242		91.8
TOTAL					14.193		90.7

PEINE		MODELO 2						
a_{hv}	$T_{expVibMax}$	$L_{Aeq,d}$	$T_{expRuidoMax}$	$T_{CexpMax}$	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	$L_{Aeq,t}$
14.193	0.248	90.7	2.146	0.222	0.896	2.367	0.104	75.1

PEINE		MODELO 3					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	13.201	9.152	10.245	19.052		80.4	
	15.171	9.583	8.78	19.977		80.7	
	16.032	8.75	7.612	19.787		81.9	
	17.498	10.52	8.541	22.131		81.6	
	15.062	10.568	12.388	22.181		82.3	
					20.626		81.4
2	18.967	10.316	11.416	24.423		81.3	
	12.662	11.776	8.156	19.119		81.1	
	10.399	5.352	4.645	12.584		81.1	
	7.253	5.05	4.937	10.123		80.2	
	8.337	6.063	12.474	16.182		79.3	
					16.486		90.7
3	15.758	4.534	5.781	17.387		80.5	
	11.735	4.416	6.095	13.941		81.5	
	15.014	4.597	6.501	16.995		82.2	
	14.028	5.502	7.718	16.930		80.4	
	13.259	9.162	12.417	20.345		79.9	
					17.120		81.0
TOTAL					18.077		81.0

PEINE		MODELO 3						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
18.077	0.153	81.0	19.914	0.152	0.992	2.490	0.008	63.8

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

PEINE		MODELO 4						
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{nv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico	
1	8.204	4.753	10.605	14.225		80.3		
	7.508	5.278	10.174	13.702		80.2		
	6.966	5.578	13.259	15.983		79.5		
	6.339	4.677	12.794	15.025		81		
	6.934	5.814	11.668	14.766		80.2		
					14.740		80.3	
2	7.665	4.887	13.152	15.988		80.2		
	8.472	5.058	12.589	15.995		80		
	7.015	5.058	11.954	14.754		79.8		
	7.771	4.892	13.213	16.090		79.7		
	8.57	4.955	12.531	15.969		83.8		
					15.759		91.0	
3	12.575	5.936	11.143	17.819		83.8		
	11.066	5.643	10.789	16.453		85		
	11.995	5.395	10.678	16.941		84.6		
	13.092	7.577	9.851	18.051		90.4		
	12.218	6.266	11.117	17.667		86.8		
					17.386		86.8	
TOTAL					15.962		83.8	

PEINE		MODELO 4						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
15.962	0.196	83.8	10.586	0.193	0.982	2.477	0.018	67.6

ANEXO IV: Resultados de ruido y vibración VMB medidos para VAREADOR TIPO PEINE

PEINE		MODELO 5					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	8.356	8.851	8.71	14.968		69.9	
	11.429	6.982	10.765	17.183		73.7	
	9.627	6.516	10.198	15.464		74.9	
	14.365	3.656	8.213	16.946		75.3	
	12.131	4.748	8.194	15.390		76.9	
					15.990		74.7
2	14.223	4.949	8.082	17.091		80	
	14.705	6.457	11.588	19.804		78.8	
	13.965	4.416	7.034	16.248		79.3	
	11.871	5.814	8.414	15.669		83	
	14.223	4.949	8.082	17.091		80	
					16.833		80.5
3	15.631	6.792	7.473	18.609		70.1	
	14.289	9.43	6.524	18.321		79.2	
	13.668	5.346	5.814	15.786		78.9	
	5.377	4.111	6.494	9.380		79.2	
	8.821	3.784	5.078	10.859		79.4	
					14.591		78.3
TOTAL					15.805		78.4

PEINE		MODELO 5						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
15.805	0.200	78.4	36.182	0.199	0.994	2.493	0.006	62.4

PEINE		MODELO 6					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{nv}</i>	Media aritmética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	8.327	5.242	6.683	11.895		51.3	
	8.11	7.577	9.434	14.567		46.1	
	11.981	3.691	5.848	13.834		51.2	
	9.761	4.395	5.976	12.260		77.9	
	11.285	4.688	6.653	13.914		79.8	
					13.294		75.0
2	10.941	6.259	7.577	14.707		80.2	
	8.551	8.711	15.417	19.664		80.4	
	9.908	8.611	10.789	16.992		80.3	
	10.777	7.638	8.035	15.461		79.8	
	3.225	3.369	5.715	7.376		82.9	
					14.840		80.9
3	3.258	2.642	2.506	4.886		60.6	
	3.891	3.593	3.601	6.404		57.3	
	3.334	3.669	3.852	6.278		59.5	
	3.656	4.295	4.813	7.415		79.5	
	3.754	4.597	4.065	7.194		78.9	
					6.435		75.3
TOTAL					11.523		78.0

PEINE		MODELO 6						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
11.523	0.377	78.0	40.422	0.373	0.991	2.488	0.009	64.6

PEINE		MODELO 7					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	4.864	5.012	5.076	8.634		79.2	
	3.721	3.614	4.345	6.767		79.6	
	4.207	4.613	4.561	7.732		80.1	
	3.162	2.655	2.979	5.091		79.4	
	4.111	4.411	4.487	7.516		80.1	
					7.148		79.7
2	3.899	3.354	3.581	6.267		75.1	
	3.837	3.999	4.217	6.964		81	
	3.281	3.443	3.495	5.902		78.7	
	3.076	3.868	3.733	6.193		78.6	
	4.074	3.285	3.569	6.335		79.7	
					6.332		79.0
3	3.277	3.051	3.444	5.649		78.7	
	3.652	3.548	3.837	6.376		79.6	
	4.426	4.451	4.753	7.873		79.5	
	3.137	3.255	3.837	5.929		76	
	2.136	2.828	1.658	3.913		78.8	
					5.948		78.7
TOTAL					6.476		79.2

PEINE		MODELO 7						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
6.476	1.192	79.2	30.741	1.148	0.963	2.453	0.037	70.7

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

PEINE		MODELO 8					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{nv}</i>	Media aritmética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	1.899	2.515	1.344	3.426		77.2	
	9.921	8.897	4.436	14.045		78.7	
	6.753	5.868	3.767	9.707		79	
	7.345	8.045	6.753	12.817		78.4	
	4.819	6.442	5.152	9.553		78.6	
					9.910		78.4
2	4.395	6.722	4.421	9.168		79.1	
	11.749	11.926	6.894	18.105		79	
	12.274	17.661	16.788	27.284		80	
	3.346	5.534	3.327	7.273		80.1	
	10.127	11.092	11.089	18.670		75.5	
					16.100		79.0
3	11.83	5.984	11.995	17.878		88.2	
	10.268	6.288	11.246	16.476		83.8	
	11.995	5.395	10.678	16.941		87.5	
	13.092	7.577	9.851	18.051		94.3	
	11.255	4.515	10.254	15.881		85.7	
					17.046		89.6
TOTAL					14.352		85.5

PEINE		MODELO 8						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
14.352	0.243	85.5	7.198	0.235	0.967	2.459	0.033	70.1

PEINE		MODELO 9					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	1.346	1.314	1.052	2.155		77	
	1.679	1.762	1.095	2.669		81.5	
	3.392	5.808	3.388	7.531		76.8	
	2.934	4.545	2.851	6.115		79.3	
	3.127	3.692	3.798	6.151		83.9	
					4.924		80.6
2	4.055	5.261	3.789	7.647		80	
	3.622	5.527	3.483	7.470		81.7	
	4.887	5.458	2.871	7.869		79.3	
	3.195	5.761	2.452	7.029		81.1	
	3.173	5.748	3.471	7.427		78.7	
					7.488		80.3
3	3.315	6.524	3.806	8.248		82.2	
	3.512	5.841	3.686	7.748		85.1	
	3.463	6.152	3.436	7.851		79.9	
	3.192	3.459	3.428	5.823		79.9	
	2.148	2.785	2.838	4.519		80.6	
					6.838		82.0
TOTAL					6.417		81.0

PEINE		MODELO 9						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
6.417	1.214	81.0	19.913	1.145	0.943	2.427	0.057	72.6

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

PEINE		MODELO 10					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{nv}</i>	Media aritmética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	3.581	5.439	3.841	7.560		74.7	
	3.213	4.198	3.404	6.288		79.6	
	3.285	3.873	5.231	7.291		84	
	3.562	4.185	5.188	7.558		79.8	
	4.335	3.928	4.797	7.565		80.3	
					7.252		80.6
2	2.621	3.255	4.462	6.113		82.4	
	3.691	5.206	1.966	6.678		74.7	
	3.296	3.075	3.954	5.996		78.2	
	3.255	3.258	2.571	5.274		80.4	
	3.767	4.154	2.393	6.097		74.7	
					6.032		79.1
3	4.375	4.742	4.126	7.658		80.3	
	3.116	4.645	2.636	6.183		82.9	
	0.548	0.682	0.627	1.076		78.9	
	2.975	3.327	3.421	5.623		69.6	
	3.342	3.225	3.715	5.947		73.5	
					5.298		79.2
TOTAL					6.194		79.7

PEINE		MODELO 10						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
6.194	1.303	79.7	27.215	1.244	0.954	2.442	0.046	71.6

PEINE		MODELO 11					
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	1.501	0.972	0.826	1.970		76.2	
	6.375	3.936	3.945	8.467		81.9	
	8.681	5.254	6.145	11.863		79.1	
	7.674	5.623	6.669	11.618		82.1	
	7.047	4.797	5.769	70.868		80.9	
					8.842		80.5
2	8.026	3.436	5.315	10.221		82.1	
	6.871	3.931	5.502	9.640		83.9	
	7.499	3.428	5.559	9.944		83.9	
	5.175	2.265	3.755	6.783		83.3	
	6.816	4.887	6.339	10.513		81.1	
					9.420		83.0
3	7.112	3.784	4.721	9.337		82.1	
	8.404	3.273	5.346	10.484		81.6	
	7.371	3.855	4.472	9.444		82.7	
	6.676	4.726	5.521	9.868		82.2	
	7.023	5.834	5.902	10.872		82.2	
					10.001		82.2
TOTAL					9.421		82.0

PEINE		MODELO 11						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
9.421	0.563	82.0	15.920	0.544	0.966	2.457	0.034	70.3

Metodología para la evaluación de la exposición laboral simultánea a ruido y vibración mano-brazo basada en un Índice Combinado. Aplicación a un caso de estudio

ANEXO V. SOPLADORAS

SOPLADORA 1							
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	1.360	1.477	0.872	2.189		76.7	
	1.552	1.768	0.851	2.502		99.6	
	1.616	1.760	0.848	2.535		100.2	
	1.455	1.646	1.008	2.417		99.9	
	1.521	1.961	0.95	2.657		97.6	
					2.460		98.5
2	1.574	1.726	1.007	2.544		100.5	
	1.44	1.905	0.997	2.588		100.3	
	1.505	1.801	0.998	2.550		100.1	
	1.403	1.916	1.114	2.623		100.7	
	1.517	1.797	1.08	2.588		99.9	
					2.579		100.3
3	1.385	1.572	1.168	2.399		82.5	
	0.769	1.461	1.056	1.960		96.4	
	0.733	1.447	1.102	1.961		95.9	
	0.797	1.433	1.076	1.961		96.8	
	0.852	1.233	1.259	1.957		96.4	
					2.048		95.5
TOTAL					2.362		98.5

SOPLADORA 1								
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
2.362	8.961	98.5	0.357	0.343	0.038	0.489	0.962	84.8

SOPLADORA 2							
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media aritmética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	0.581	1.074	0.442	1.299		103.00	
	0.808	1.151	0.736	1.587		102.60	
	0.685	1.052	0.581	1.383		102.70	
	0.727	1.090	0.560	1.425		102.70	
	0.573	0.989	0.456	1.231		102.20	
					1.356		102.6
2	0.566	1.357	0.590	1.584		99.70	
	0.619	1.189	0.614	1.474		99.50	
	0.536	0.880	0.581	1.183		98.80	
	0.550	1.022	0.594	1.304		98.70	
	0.585	1.009	0.603	1.313		99.10	
					1.360		99.2
3	0.413	1.233	1.125	1.719		99.70	
	0.436	1.227	1.13	1.724		99.50	
	0.471	1.193	1.19	1.750		98.80	
	0.473	1.169	1.211	1.748		98.70	
	0.449	1.193	1.159	1.723		99.10	
					1.733		99.2
TOTAL					1.496		100.6

SOPLADORA MODELO 2								
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
1.496	22.327	100.6	0.221	0.219	0.010	0.247	0.990	84.9

SOPLADORA 3							
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	0.901	0.804	0.749	1.421		85.4	
	1.366	1.242	1.125	2.162		95.8	
	1.002	0.926	0.835	1.600		97.9	
	1.081	0.884	0.763	1.591		87.3	
	0.854	0.788	0.765	1.391		87.9	
					1.633		93.6
2	1.127	0.987	0.857	1.127		81	
	1.284	1.023	0.902	1.284		80.7	
	0.821	0.852	0.688	0.821		80.9	
	1.019	0.826	0.73	1.019		82.5	
	1.492	1.122	1.055	1.492		92.5	
					1.723		86.7
3	0.799	0.766	0.675	0.799		86.8	
	1.049	0.877	0.851	1.049		99.3	
	1.154	1.089	0.975	1.154		100.7	
	0.851	0.742	0.685	0.851		99.5	
	0.897	0.787	0.695	0.897		100.6	
					1.494		99.2
TOTAL					1.617		95.6

SOPLADORA MODELO 3								
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
1.617	19.132	95.6	0.691	0.667	0.035	0.467	0.965	84.8

SOPLADORA 4							
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media aritmética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	1.197	1.863	1.091	2.469		85.4	
	1.119	1.035	0.932	1.787		95.8	
	0.838	1.457	0.519	1.759		97.9	
	0.927	1.725	0.897	2.154		87.3	
	0.876	1.434	0.814	1.867		87.9	
					2.007		94.0
2	0.929	2.011	0.994	2.428		81	
	0.998	2.133	0.845	2.502		80.7	
	1.089	1.589	0.903	2.127		80.9	
	0.914	1.905	0.858	2.280		82.5	
	0.889	2.109	0.544	2.352		92.5	
					2.338		96.8
3	0.887	1.948	0.888	2.317		86.8	
	0.815	1.429	0.955	1.902		99.3	
	0.928	1.972	0.643	2.272		100.7	
	0.897	1.673	0.972	2.133		99.5	
	1.022	1.614	0.855	2.093		100.6	
					2.143		95.8
TOTAL					2.163		95.7

SOPLADORA MODELO 4								
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
2.163	10.688	95.7	0.684	0.643	0.060	0.613	0.940	84.7

SOPLADORA 5							
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media aritmética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	0.887	1.155	0.857	1.690		78.3	
	0.841	1.899	0.637	2.172		79.2	
	0.755	1.932	0.581	2.154		95.6	
	0.815	1.609	0.772	1.962		97.5	
	0.811	1.818	0.552	2.066		95.3	
					2.009		94.1
2	0.793	1.957	0.653	2.210		97.3	
	0.793	1.916	0.546	2.144		96.6	
	0.849	2.218	0.618	2.454		96.2	
	0.959	2.078	0.648	2.379		97.1	
	0.856	1.689	0.717	2.025		97.4	
					2.242		96.9
3	0.856	1.476	0.777	1.875		97.2	
	0.831	1.832	0.645	2.113		95.4	
	1.029	1.401	0.679	1.866		95.8	
	0.741	1.999	0.596	2.214		97.2	
	0.725	1.495	1.798	2.448		96.8	
					2.103		96.5
TOTAL					2.118		96.0

SOPLADORA		MODELO 5						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
2.118	11.145	96.0	0.632	0.598	0.054	0.579	0.946	84.8

SOPLADORA 6							
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media arit- mética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	0.886	1.555	0.858	1.985		94.7	
	0.842	1.899	0.637	2.173		94.3	
	0.735	1.854	0.614	2.087		96.7	
	0.847	1.756	0.752	2.090		97.1	
	0.827	1.828	0.556	2.082		93.4	
					2.083		95.5
2	0.792	1.984	0.657	2.235		96.7	
	0.823	1.884	0.586	2.138		96.3	
	0.849	2.328	0.768	2.594		96.3	
	0.927	2.168	0.643	2.444		95.1	
	0.856	1.572	0.724	1.931		97.2	
					2.268		96.4
3	0.825	1.379	0.774	1.784		97	
	0.828	1.797	0.646	2.081		95.4	
	1.025	1.449	0.663	1.895		95.8	
	0.976	1.251	0.618	1.703		97.1	
	1.079	1.635	0.756	2.100		96.3	
					1.912		96.4
TOTAL					2.088		96.1

SOPLADORA MODELO 6								
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vi- bración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
2.088	11.469	96.1	0.622	0.590	0.051	0.567	0.949	84.8

SOPLADORA 7							
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media aritmética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	0.511	0.955	0.595	1.236		89.2	
	0.453	0.524	0.449	0.825		94.8	
	0.823	1.689	0.978	2.118		94.5	
	0.799	2.468	1.415	2.955		94.4	
	0.726	2.155	0.921	2.453		93.6	
					1.918		93.7
2	0.628	1.782	0.787	2.047		93.6	
	0.635	1.957	0.765	2.195		93.6	
	0.656	2.236	0.833	2.475		93.7	
	0.623	1.897	0.871	2.178		93.7	
	0.595	1.892	0.869	2.165		94.3	
					2.212		93.8
3	0.616	1.912	0.851	2.182		94	
	0.758	2.315	0.923	2.605		93.3	
	0.653	2.562	0.855	2.779		94	
	0.896	2.621	1.325	3.071		93.7	
	0.953	1.998	1.085	2.465		61	
					2.620		92.8
TOTAL					2.250		93.4

SOPLADORA		MODELO 7						
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
2.250	9.877	93.4	1.144	1.025	0.104	0.805	0.896	84.5

SOPLADORA 8							
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración a_{hv}	Media aritmética	Ruido $L_{Aeq,T}$	promedio logarítmico
1	0.902	1.253	0.723	1.705		72.3	
	0.747	1.499	0.829	1.869		74.4	
	0.875	1.654	0.857	2.058		88.6	
	0.857	1.788	0.959	2.203		93.4	
	0.866	2.185	1.233	2.654		93.4	
					2.098		90.1
2	0.645	1.449	0.987	1.868		92.7	
	0.795	1.826	0.951	2.207		93.4	
	0.782	1.653	0.942	2.057		93.6	
	0.778	1.685	1.035	2.125		93.3	
	0.834	1.547	0.921	1.984		90.6	
					2.048		92.8
3	0.988	1.748	0.796	2.160		94.4	
	0.713	1.672	0.978	2.064		93.7	
	0.755	1.585	0.786	1.924		92.7	
	0.934	2.157	1.255	2.665		93.6	
	0.713	1.672	0.978	2.064		90.6	
					2.175		93.2
TOTAL					2.107		92.2

SOPLADORA MODELO 8								
a_{hv}	$T_{expVibMax}$	$L_{Aeq,d}$	$T_{expRuidoMax}$	$T_{CexpMax}$	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	$L_{Aeq,t}$
2.107	11.262	92.2	1.508	1.330	0.118	0.859	0.882	84.4

SOPLADORA 9 ELÉCTRICA							
Operador	X m/s ²	Y m/s ²	Z m/s ²	Vibración <i>a_{hv}</i>	Media aritmética	Ruido <i>L_{Aeq,T}</i>	promedio logarítmico
1	0.334	0.458	0.409	0.699		72.1	
	0.342	0.473	0.418	0.718		73.8	
	0.685	0.735	0.666	1.205		73.3	
	0.307	0.506	0.348	0.687		75.5	
	0.289	0.465	0.342	0.646		74.2	
					0.791		72.9
2	0.356	0.348	0.469	0.684		79	
	0.321	0.374	0.462	0.676		76.5	
	0.293	0.366	0.458	0.655		76.8	
	0.345	0.366	0.457	0.68		77.5	
	0.299	0.345	0.365	0.585		75.4	
					0.656		76.6
3	0.463	0.281	0.395	0.67		71.6	
	0.42	0.287	0.416	0.657		73.2	
	0.399	0.308	0.445	0.672		72.3	
	0.401	0.354	0.482	0.72		72	
	0.437	0.369	0.511	0.767		72.1	
					0.697		71.3
TOTAL					0.704		75.0

SOPLADORA 9								
<i>a_{hv}</i>	<i>T_{expVibMax}</i>	<i>L_{Aeq,d}</i>	<i>T_{expRuidoMax}</i>	<i>T_{CexpMax}</i>	Dosis vibración	A (8)	Dosis ruido	<i>L_{Aeq,t}</i>
0.704	100.74	75	80.63	44.786				