

Universitat Politècnica de València

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales



Estudio sobre vibraciones en sistemas de recolección del olivar

Autora: M^a Ángeles Villalba Bertolín

Tutores: Coral Ortiz Sánchez

Luis Val Manterola

Valencia, Julio 2016



Estudio sobre vibraciones en sistemas de recolección del olivar

María Ángeles Villalba Bertolín

Universitat Poliècnica de València

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

2016

A Maruja.

A Vicente.

Resumen

El uso de vibradores portátiles durante las labores de recolección del olivar implica un riesgo de exposición a vibraciones a nivel mano-brazo, especialmente cuando se hace una utilización incorrecta del equipo.

El objetivo de este estudio ha sido evaluar la exposición a vibraciones a las que están sometidos los trabajadores durante la recolección del olivar, especialmente en el peine eléctrico y el vibrador de ramas, pero sin dejar de lado al vibrador de troncos, ya que se utiliza también en muchas explotaciones.

Las vibraciones se han calculado a través de las aceleraciones y de las frecuencias registradas por un acelerómetro triaxial, colocado en diferentes partes de cuerpo, en función de los requisitos de utilización de los equipos, de acuerdo con los estándares de referencia establecidos en la norma ISO 5349-1:2001.

Con el fin de obtener una referencia de los tiempos de trabajo, las pausas y el ralentí, se ha utilizado una cámara para registrar las diferentes operaciones durante una recolección.

Usando el peine eléctrico los valores de aceleración eficaz eran entre 18 m/s^2 y 42 m/s^2 y la frecuencia entre 13 Hz y 18 Hz, en el vibrador de ramas han sido significativamente mayores con aceleraciones entre 51 m/s^2 y 77 m/s^2 y valores de frecuencia entre 22 Hz y 40 Hz.

Una vez realizados los cálculos pertinentes, en el peine eléctrico se han obtenido valores de $A(8)$ similares en ambas manos, siendo el $A(8)$ de 17 m/s^2 a intensidades de trabajo bajas y con un solo operario realizando la tarea y de 7 m/s^2 realizando el trabajo mediante cuatro operarios a intensidad alta.

Los resultados también han demostrado que con el vibrador de ramas la frecuencia soportada por los dos operarios fue similar, en función de la rama. Sin embargo, en la mano derecha que es la que se coloca en el equipo durante la vibración, la aceleración eficaz y en consecuencia el $A(8)$ presenta valores significativamente diferentes de acuerdo con el operador, 14 m/s^2 para operador de elevado peso y 20 m/s^2 para el operador de peso bajo.

En el caso del vibrador de troncos los valores de aceleración obtenidos para el pie rondan los 18 m/s^2 , y para la mano de entorno 14 m/s^2 siendo finalmente, para rendimientos de trabajo de la maquinaria del 80%, los valores de $A(8)$ para el pie de 14 m/s^2 y para la mano de 12 m/s^2 .

Finalmente, tras contrastar los resultados con los estudios previos y comparar los valores de $A(8)$ con los estándares fijados por la normativa, la exposición a vibraciones en el sistema mano-brazo con este tipo de equipos es intolerable.

Abstract

The use of portable shakers for olive harvesting implies hand-arm vibration exposure riskiness, especially when the equipment is incorrectly used.

The aim of this study was to assess operator vibration exposure during olive harvesting, especially with an electric comb and a hand-held branch shaker, but including also the study of a trunk shaker commonly used in many olive orchards.

Vibrations have been assessed measuring acceleration and frequency with a triaxial accelerometer placed on different body parts, depending on the equipment and according to the ISO 5349-1:2001.

In order to obtain the working times, the breaks and the idle speed times, a camera was used to record times during a commercial field harvesting.

Using the electric comb the RMS acceleration values were between 18 m/s^2 to 42 m/s^2 and the frequency between 13 Hz to 18 Hz. Using the petrol shaker the RMS acceleration values were significantly higher, 51 m/s^2 to 77 m/s^2 , and the frequency between 22 Hz to 40 Hz.

With the electric comb the daily exposure standardise to an eight hour period, A(8), was similar for both hands, 17 m/s^2 with low working intensity and one worker, and 7 m/s^2 with four workers with a high working intensity.

Frequency was very similar for both size operators when using the hand-held petrol shaker according to the branch. However, in the right hand the RMS acceleration and consequently the A(8) values were significantly lower for the big size operator, 14 m/s^2 compared to 20 m/s^2 for the small size operator.

Using the trunk shaker the acceleration values were around 18 m/s^2 when placing the accelerometer on the foot and 14 m/s^2 on the hand. Therefore, for an 80% working efficiency A(8) values were around 14 m/s^2 for the foot and 12 m/s^2 for the hand.

Finally, it could be said that comparing the found results to the previous studies and the regulation, the hand-arm vibration exposure with the harvesting equipment studied is completely unacceptable.

Índice de contenidos

1. Introducción	15
1.1. Justificación	15
2. Objetivos.....	19
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
3. Revisión sobre el sector agrícola	21
3.1. Importancia del sector agrícola.....	21
3.2. Siniestralidad en el sector agrícola.....	23
3.3. Normativa de seguridad en el sector agrícola.....	24
3.3.1. Seguridad y salud en el trabajo	25
3.3.2. Prevención de riesgos laborales.....	25
4. El sector del olivar	27
4.1. Mecanización del olivar	29
4.2. Recolección de la aceituna	30
4.2.1. Recolección manual.....	30
4.2.2. Vibradores de ramas	32
4.2.3. Peines eléctricos.....	33
4.2.4. Vibradores de troncos	33
4.2.5. Cosechadoras integrales de aceitunas	34
5. Estudio de vibraciones.....	37
5.1. Aspectos fundamentales	37
5.2. Revisión bibliográfica.....	37
5.3. Normativa a aplicar	39
5.3.1. Legislación nacional.....	39

5.3.2. Legislación europea.....	39
5.3.3. Notas técnicas del INSHT.....	40
6. Materiales y metodología	41
6.1. Equipos de trabajo	41
6.1.1. Vibrador de ramas.....	41
6.1.2. Peine eléctrico.....	41
6.1.3. Vibrador de troncos.....	42
6.2. Obtención de las aceleraciones.....	42
6.2.1. Protocolo de ensayo.....	45
6.3. Determinación de la aceleración.....	45
6.3.1. Caracterización de las vibraciones transmitidas por la mano.....	46
6.3.2. Caracterización de la exposición a vibraciones transmitidas por la mano	49
6.4. Software de análisis estadístico	49
7. Resultados	51
7.1. Resultados tiempos de trabajo	51
7.2. Resultados del peine eléctrico	53
7.3. Resultados del vibrador de ramas.....	60
7.4. Resultados del vibrador de troncos.....	65
8. Discusión de resultados.....	69
8.1. Discusión de resultados del peine eléctrico.....	70
8.1.1. Discusión de resultados del peine eléctrico en relación con la normativa	70
8.1.2. Discusión de resultados del peine eléctrico en relación con estudios previos	71
8.2. Discusión de resultados del vibrador de ramas	71
8.2.1. Discusión de resultados del vibrador de ramas en relación con la normativa	71
8.2.2. Discusión de resultados del vibrador de ramas en relación con estudios previos	72

8.3. Discusión de resultados del vibrador de troncos	72
8.3.1. Discusión de resultados del vibrador de troncos en relación con la normativa	72
8.3.2. Discusión de resultados del vibrador de troncos en relación con estudios previos	73
9. Análisis comparativo entre los sistemas de recolección	75
10. Conclusiones.....	77
11. Referencias bibliográficas.....	79

Índice de figuras

Figura 1.- Superficie agrícola en España (ha) 2014	21
Figura 2.- Índices de incidencia de accidentes en jornada de trabajo con baja según sección de actividad....	23
Figura 3.- Evolución de los índices de indecencia por sectores	24
Figura 4.- Superficie de cultivo de olivar en España.....	27
Figura 5.- Evolución de la producción de Aceite de Oliva y de Aceituna de Mesa en España	28
Figura 6.- Recolección manual mediante ordeño	31
Figura 7.- Recolección manual mediante vareo	32
Figura 8.- Vibrador de ramas.....	32
Figura 9.- Peine eléctrico	33
Figura 10.- Vibradores de tronco.....	34
Figura 11.- Cosechadoras integrales de aceitunas	34
Figura 12.- Vibrador de ramas.....	41
Figura 13.- Peine eléctrico	41
Figura 14.- Vibrador de tronco y tractor Lamborghini 990Fplus.....	42
Figura 15.- Esquema medición aceleración.....	43
Figura 16.- Fijación del acelerómetro al operario	43
Figura 17.- Ejemplo del espectro de frecuencia y aceleración.....	44
Figura 18.- Posición de agarre	47
Figura 19.- Curva de ponderación en frecuencia W_h para vibraciones transmitidas por la mano.....	48
Figura 20.- Media y 95% de Fisher LSD: Aceleración (Eje B) – Rama	55
Figura 21.- Media y 95% de Fisher LSD: Aceleración (Eje B) – Mano	56
Figura 22.- Interacciones entre la aceleración (Eje B) – Mano - Velocidad.....	56
Figura 23.- Interacciones entre la aceleración (Eje B) – Rama - Velocidad	57
Figura 24.- Media y 95% de Fisher LSD: Aceleración a máxima velocidad (Eje A) – Operario	61

Figura 25.- Media y 95% de Fisher LSD: Aceleración a máxima velocidad (Eje B) – Operario	63
Figura 26.- Media y 95% de Fisher LSD: Frecuencia – Rama	64
Figura 27.- Interacciones entre la frecuencia y los factores evaluados	64
Figura 28.-Exposición a las vibraciones para una prevalencia prevista del 10% de dedo blanco inducido por las vibraciones en un grupo de personas expuesto.....	69
Figura 29.- El valor de A(8) está entre el valor de acción y el valor límite	70
Figura 30.- El valor A(8) supera el valor límite	71
Figura 31.- El valor A(8) supera el valor límite	72
Figura 32.- Comparación de los valores de A(8) entre el peine eléctrico y el vibrador de ramas (2 operarios pequeños).....	75
Figura 33.- Comparación de los valores de A(8) entre el peine eléctrico y el vibrador de ramas (2 operarios grandes).....	76
Figura 34.- Comparación de los valores de A(8) en condiciones reales de trabajo	76

Índice de tablas

Tabla 1.- Inscripciones de maquinaria agrícola en España.....	22
Tabla 2.- Factores de ponderación en frecuencia <i>Whi</i> para vibraciones transmitidas por la mano con bandas limitantes.....	47
Tabla 3.- Tiempos de trabajo en función de la intensidad de trabajo.....	51
Tabla 4.- Tiempos de trabajo en función del rendimiento de la maquinaria.....	52
Tabla 5.- Frecuencias y aceleraciones para el peine eléctrico en ausencia de rama.....	53
Tabla 6.- Frecuencias y aceleraciones para el peine eléctrico con presencia de rama.....	54
Tabla 7.- Análisis de Varianza para la aceleración en el eje A - Suma de Cuadrados Tipo III.....	54
Tabla 8.- Análisis de Varianza para la aceleración en el eje B - Suma de Cuadrados Tipo III.....	55
Tabla 9.- Análisis de Varianza para la frecuencia- Suma de Cuadrados Tipo III.....	57
Tabla 10.- Valores de aceleración eficaz ponderada (<i>ahw</i>) para el peine eléctrico con poco volumen de ramas.....	58
Tabla 11.- Valores de A (8) para el peine eléctrico con poco volumen de ramas en función de la intensidad de trabajo.....	59
Tabla 12.- Valores de aceleración eficaz ponderada (<i>ahw</i>) para el peine eléctrico con gran volumen de ramas.....	59
Tabla 13.- Valores de A (8) para el peine eléctrico con gran volumen de ramas en función de la intensidad de trabajo.....	60
Tabla 14.- Frecuencias y aceleraciones para el vibrador de ramas.....	60
Tabla 15.- Análisis de Varianza para la aceleración a velocidad máxima en el eje A - Suma de Cuadrados Tipo III.....	61
Tabla 16.- Análisis de Varianza para la aceleración a ralentí en el eje A - Suma de Cuadrados Tipo III.....	62
Tabla 17.- Análisis de Varianza para la aceleración a velocidad máxima en el eje B - Suma de Cuadrados Tipo III.....	62
Tabla 18.- Análisis de Varianza para la frecuencia- Suma de Cuadrados Tipo III.....	63
Tabla 19.- Valores de aceleración eficaz ponderada (<i>ahw</i>) para el vibrador de ramas.....	65
Tabla 20.- Valores de A (8) para el vibrador de ramas en función de la intensidad de trabajo.....	65

Tabla 21.- Frecuencias y aceleraciones para el vibrador de troncos.....	66
Tabla 22.- Valores de aceleración eficaz ponderada (ahw) para el vibrador de troncos.....	66
Tabla 23.- Valores de A (8) en función del rendimiento para el vibrador de troncos.....	67
Tabla 24.- Valores de la exposición diaria a las vibraciones A(8) para los que puede esperarse que se produzcan episodios de dedo blanco en un 10% de las personas expuestas durante un número dado de años Dy.....	69
Tabla 25.- Valores que dan lugar a una acción y valores límites.....	70

1. Introducción

Hace doce mil años, la humanidad entró en la era del Neolítico y descubrió que podía obtener alimentos, forraje y fibra con el cultivo de plantas. Ese descubrimiento ha permitido el suministro de alimentos y tejidos gracias al cual hoy en día se alimentan y visten 5.000 millones de personas (Myers *et al.*, 2001).

Esta perspectiva general de la agricultura abarca su evolución y estructura, la importancia económica de los diferentes cultivos y las características del sector y de los trabajadores. Los sistemas de trabajo agrícola se dividen en tres tipos de actividades principales:

- Operaciones manuales.
- Mecanización.
- Tracción, proporcionada por quienes se dedican a la cría de animales de tiro.

La agricultura ha constituido el medio de vida de los agricultores y sus familias durante siglos, pero se ha convertido en una actividad orientada a la producción. Una serie de revoluciones han contribuido al aumento de la producción agrícola. La primera de ellas fue la mecanización, es decir, la sustitución de mano de obra por máquinas. La segunda fue la revolución química que, después de la segunda Guerra Mundial, contribuyó a controlar las plagas, aunque con consecuencias para el medio ambiente. La tercera fue la revolución ecológica que contribuyó en Norteamérica y en Asia al aumento de la productividad gracias a mejoras genéticas que dieron lugar a nuevas variedades de cultivo.

1.1. Justificación

La agricultura constituye uno de los tres sectores más peligrosos y que más riesgos entraña en todo el mundo, junto con la minería y la construcción, incluso en los países industrializados. De acuerdo con los datos de la Oficina Europea de Estadística (EUROSTAT), un 3,2% de los trabajadores agrícolas sufre algún problema de salud de larga duración o una discapacidad provocados por una enfermedad relacionada con su trabajo (Ruiz *et al.*, 2007).

Los riesgos a los que se ven expuestos los agricultores con ocasión de su trabajo, podrían ser notablemente disminuidos si se adoptan las oportunas medidas de prevención. El establecimiento de estas medidas preventivas se ven dificultadas debido a:

- La contratación estacional de trabajadores.
- La diversidad de tareas que realiza un mismo trabajador.
- La falta de concienciación de los agricultores respecto a la necesidad de prevenir los riesgos, derivada de una escasa o nula formación e información. Según EUROSTAT, tan sólo un 30% de los trabajadores considera estar bien informado sobre los riesgos laborales que existen en la agricultura, el menor porcentaje de todos los sectores.

En el sector agrario, en general, y en los trabajos agrícolas, en particular, nos encontramos con una situación diferente a otros sectores productivos, en la que las necesidades de recolección en determinadas temporadas obligan al contrato temporal de trabajadores, en muchos casos inexpertos, sin conocimiento de

los procedimientos de trabajo adecuados ni de los riesgos a los que se exponen, y sin pasar el preceptivo reconocimiento médico.

Es un sector con innumerables riesgos relacionados con el ruido y las vibraciones asociadas al uso de maquinaria, el uso de contaminantes químicos, el manejo de cargas y posturas forzadas, el trabajo a la intemperie, el contacto con animales y sus productos y desechos.

Uno de los grandes inconvenientes existentes a la hora de intentar mejorar las condiciones de seguridad y salud en los trabajos agrícolas es la enorme variedad de tareas que debe realizar un agricultor, con diferentes herramientas, máquinas, productos, etc, y la falta de datos sobre los accidentes y alteraciones de la salud producidos como consecuencia de la actividad laboral, así como sus causas.

Por ello, es conveniente destacar la necesidad de concienciar a los trabajadores del sector para avanzar hacia la mejora de las condiciones laborales en los trabajos agrícolas, realizando estudios sobre la situación en la que se encuentran durante su jornada laboral (Field *et al.*, 2001).

Pocas prácticas agrícolas ilustran con más claridad la amplitud y diversidad de los riesgos relacionados con la tecnología y el trabajo durante la producción agrícola que la recolección. Esta se realiza en condiciones muy variadas, en distintos tipos de terreno, utilizando máquinas simples y complejas que deben manejar distintos cultivos.

Se ha comunicado que el número de personas expuestas a vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo en el trabajo excede de 150.000 en los Países Bajos, de 0,5 millones en Gran Bretaña y de 145 millones en Estados Unidos (Griffin *et al.*, 2001).

La exposición excesiva a las vibraciones transmitidas a las manos puede causar trastornos en los vasos sanguíneos, nervios, músculos, huesos y articulaciones de las extremidades superiores. Se calcula que del 1,7 al 3,6 % de los trabajadores de los países europeos y de Estados Unidos están expuestos a vibraciones transmitidas a las manos potencialmente peligrosas (AISSA Sección Internacional de Investigación 1989).

La expresión síndrome de vibraciones mano-brazo (HAV) se utiliza comúnmente en referencia a los síntomas asociados con exposición a vibraciones transmitidas a las manos, a saber:

- Trastornos vasculares.
- Trastornos neurológicos periféricos.
- Trastornos de los huesos y articulaciones.
- Trastornos musculares.

Actividades tales como la conducción de motocicletas o el uso de herramientas vibrantes domésticas pueden exponer las manos esporádicamente a vibraciones de gran amplitud, pero solo las largas exposiciones diarias pueden provocar problemas de salud.

La relación entre exposición a vibraciones transmitidas a las manos de origen profesional y efectos adversos para la salud dista de ser sencilla.

Por todo ello este trabajo pretende analizar la situación actual del sector agrícola, y en particular, evaluar la exposición a vibraciones en el sistema mano-brazo, relacionadas con la diferente maquinaria utilizada en la recolección de la aceituna.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

El objetivo principal del presente trabajo, es evaluar la exposición a vibración mano-brazo durante la recolección del olivar mediante agitadores portátiles y vibradores de tronco, en plantaciones familiares de la región mediterránea española.

2.2. Objetivos específicos

El primer objetivo es presentar la situación actual de la agricultura española y más concretamente de la recolección del olivar, en cuanto al valor económico que supone para España, la siniestralidad que presenta el sector, la normativa en vigor y los sistemas de recolección existentes hasta la fecha.

Posteriormente, y centrandolo en el estudio que nos ocupa, se ha realizado un análisis de los estudios realizados y publicados hasta la fecha, en lo referente a la exposición de vibraciones mano-brazo, transmitidas por herramientas y maquinaria empleada durante la recolección del olivar.

El siguiente objetivo es desarrollar una metodología de trabajo eficiente con el fin de medir, en primer lugar, los valores de aceleración y frecuencias para la distinta maquinaria, y en segundo lugar, obtener la caracterización de las vibraciones transmitidas.

Empleando esta metodología se pretende obtener una serie de resultados mediante los cuales, se presentan los valores tanto de aceleraciones como de vibraciones mecánicas para cada una de los equipos de trabajo utilizados, siguiendo las directrices marcadas por la normativa y analizando los resultados desde el punto de vista estadístico.

Una vez obtenidos resultados concluyentes y coherentes de acuerdo al estudio del arte, se trata de realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos y la normativa vigente, con el fin de determinar las vibraciones mano-brazo a las que se encuentran expuestos los trabajadores durante el desarrollo de su actividad durante las labores de recolección del olivar.

3. Revisión sobre el sector agrícola

Tradicionalmente, España ha sido un país agrícola, pero en las últimas décadas el sector primario español ha experimentado importantes transformaciones. La modernización económica del país a partir de 1960 y la entrada de España en la Unión Europea en 1986, junto con los avances tecnológicos de los últimos años, han modificado profundamente el sector agrícola español.

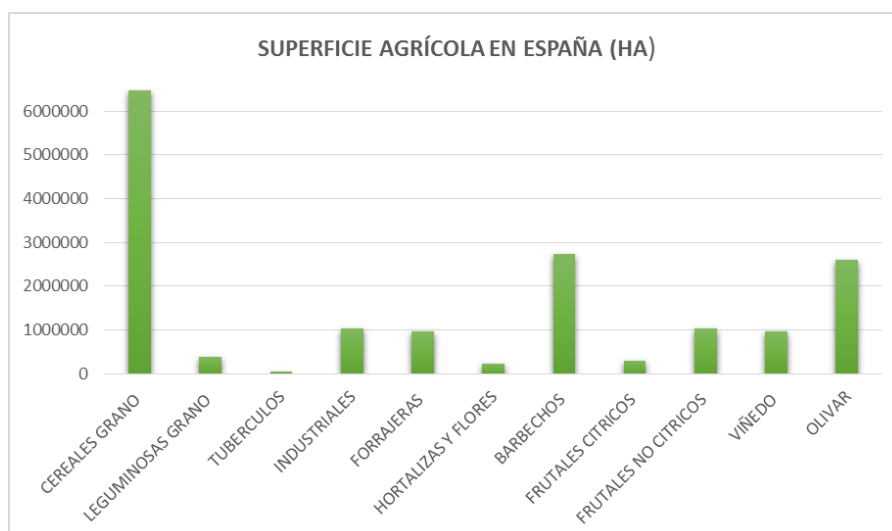
3.1. Importancia del sector agrícola

Durante siglos, la agricultura fue el sector principal de la economía española. Pero la modernización de la economía española desde mediados del siglo XX ha traído consigo la progresiva pérdida de importancia de la agricultura en el conjunto económico del país.

Si hacia 1950 el valor de la producción agraria representaba un 30% del P.I.B. del país y la población activa agraria más del 50%, hoy estas cifras se han reducido a porcentajes inferiores al 3% y 4% respectivamente.

Sin embargo, la pérdida de importancia económica de la agricultura española no debe interpretarse como un simple declive de esta actividad. Si su papel ha disminuido en términos relativos, ha crecido en términos absolutos: la agricultura española se ha modernizado notablemente y ha mejorado su productividad, aunque menos que otros sectores productivos y de ahí que cada vez tenga menos peso proporcional que estos sectores.

Los datos anteriores no nos deben hacer pensar que las actividades agrarias son poco importantes. Éstas tienen una importancia tanto social como ecológica considerable. Además de la producción de alimentos y materias primas, la agricultura y ganadería organizan una buena parte del territorio, de manera que su mantenimiento garantiza la ocupación de todo el espacio y facilita la conservación del paisaje rural y del medio natural. Así, su escasa importancia cuantitativa se compensa con una gran importancia cualitativa.



Fuente: Elaboración propia a partir de la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Figura 1.- Superficie agrícola en España (ha) 2014

En la década de los años 50 la agricultura tradicional ocupaba todavía un puesto relevante en la economía española. Esta actividad agraria tradicional se caracterizaba por el empleo de una mano de obra abundante y barata, que trabajaba explotaciones de manera extensiva y con escaso desarrollo tecnológico.

A partir de los años sesenta se produce una modernización de la agricultura española. El desarrollo industrial y terciario provoca un gran éxodo rural. La progresiva escasez y carestía de la mano de obra asalariada lleva a los propietarios a mecanizar las explotaciones agrarias.

Desde entonces, la actividad agraria española ha experimentado notables transformaciones hasta llegar a la situación actual caracterizada por una población escasa y envejecida, la tendencia al aumento del tamaño de las explotaciones agrarias y la incorporación de avances tecnológicos, incrementando la productividad y los rendimientos de la agricultura, para abastecer a una creciente población urbana y a una potente industria alimentaria.

A partir de los años 60, las explotaciones agrarias han experimentado importantes transformaciones debidas principalmente a la mecanización de la mayor parte de las labores agrícolas, a un uso notable de fertilizantes y productos fitosanitarios y a la incorporación de avances tecnológicos. El índice de mecanización de la agricultura española muestra que el campo español está suficientemente tecnificado, e incluso en muchas ocasiones excesivamente tecnificado, dado que el pequeño tamaño de muchas explotaciones obliga a la adquisición de un mayor número de maquinaria agrícola, que gran parte del año está infrutilizada.

INSCRIPCIONES DE MAQUINARIA AGRÍCOLA EN ESPAÑA									
MES	TRACTORES			MAQUINAS AUTOMOTRICES			REMOLQUES		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
ENERO	582	730	570	96	63	70	220	332	245
FEBRERO	617	635	706	67	59	60	244	277	235
MARZO	587	900	841	58	63	72	264	342	318
ABRIL	669	714	736	99	74	96	380	404	372
MAYO	706	790	798	135	187	167	589	610	552
JUNIO	807	920		173	143		793	667	
JULIO	693	828		97	83		632	541	
AGOSTO	612	695		64	81		470	500	
SEPTIEMBRE	735	921		80	89		542	524	
OCTUBRE	1.097	1.113		87	92		564	388	
NOVIEMBRE	798	651		60	83		500	350	
DICIEMBRE	956	1.109		69	52		376	316	
TOTAL	8.859	10.006	3.651	1.085	1.069	465	5.574	5.251	1.722

Fuente: Estadística mensual de inscripciones de maquinaria agrícola. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Tabla 1.- Inscripciones de maquinaria agrícola en España

3.2. Siniestralidad en el sector agrícola

(Ministerio de Empleo y Seguridad Social, 2015) Según los datos de avance de los que se dispone, durante al año 2014 se han producido 482.578 accidentes de trabajo con baja, de los cuales 417.377 ocurrieron durante la jornada laboral y 65.201 fueron accidentes *in itinere*. En comparación con los datos del año anterior, se producen subidas del 3,2% en los accidentes en jornada y del 2,3% en los *in itinere*.

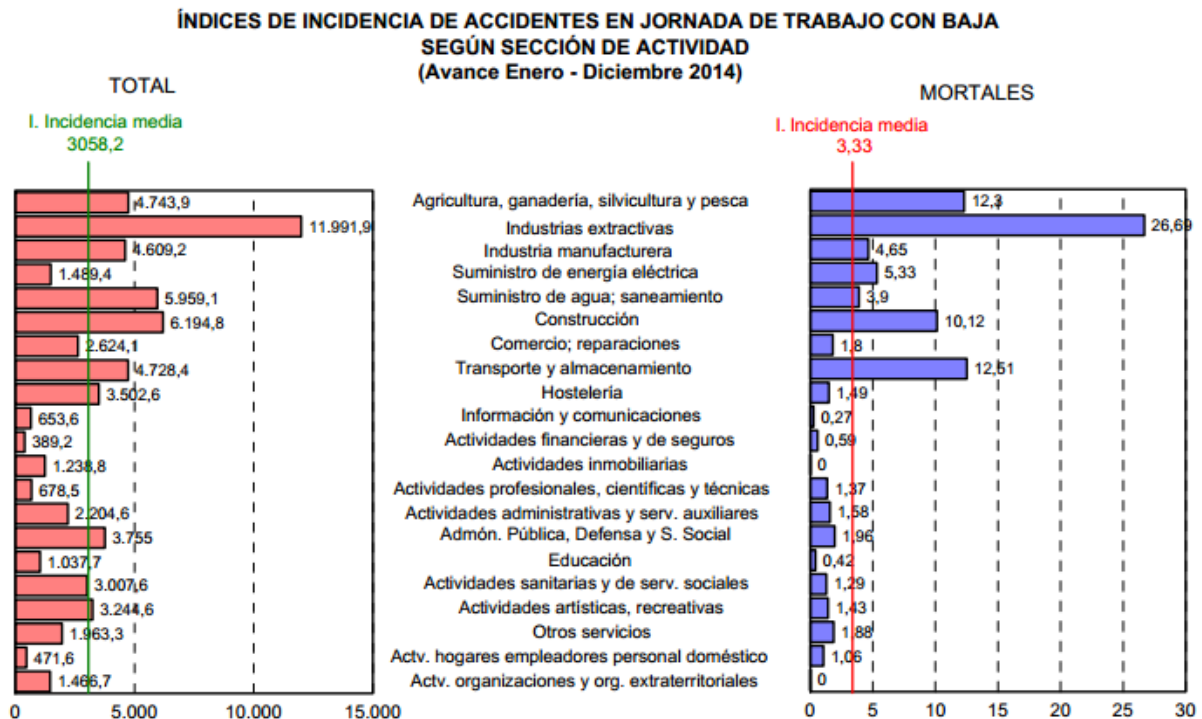
Se han producido además 698.024 accidentes sin baja, lo que supone un ascenso del 1,4% en comparación con los datos de 2013.

Por sectores de actividad, el sector agrario acumula 30.092 accidentes en jornada laboral, la industria 86.270 accidentes, la construcción 42.226 accidentes y los servicios 258.789 accidentes, por lo que todos los sectores se registra mayor número de accidentes que en el año anterior.

La siniestralidad del conjunto de los 417.377 accidentes con baja en jornada laboral, medida según el índice de incidencia, supone un total de 3.058 accidentes por cien mil trabajadores durante el año 2014, lo que supone un aumento del 1,6% respecto del índice de incidencia del año anterior.

En lo referente a la siniestralidad de accidentes mortales en jornada, se registró un índice de incidencia de 3,33 accidentes mortales por cien mil trabajadores.

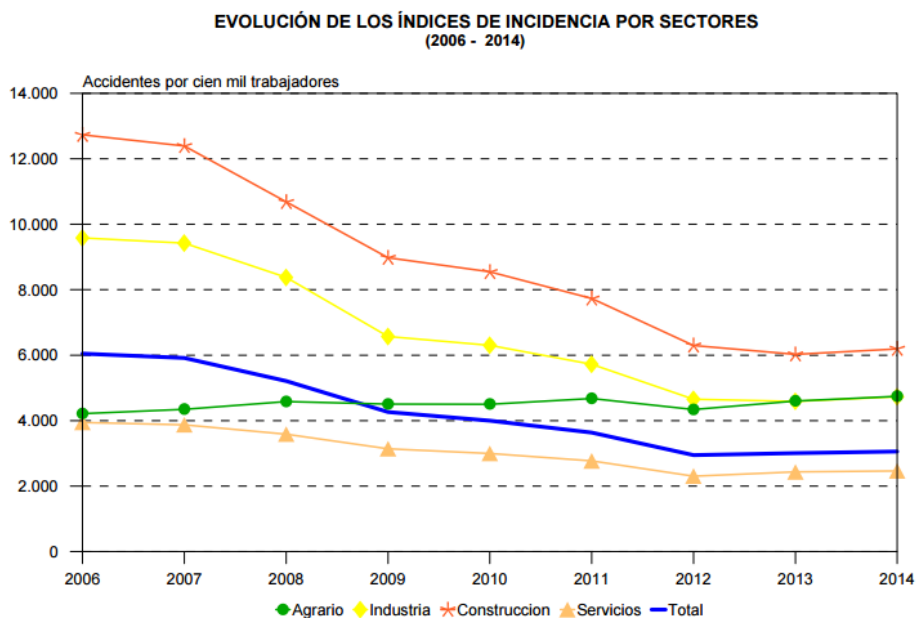
Los índices de incidencia por sección de actividad, tanto para el total de accidentes como para los accidentes mortales, se muestran en el siguiente gráfico.



Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social.

Figura 2.- Índices de incidencia de accidentes en jornada de trabajo con baja según sección de actividad.

Como se puede observar la Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca presentan un índice de incidencia del 4763,9. Respecto a los índices de incidencia mortales la Agricultura se sitúa en tercera posición con un índice del 12,30. Todos los sectores, excepto el Agrario, muestran una tendencia similar, observándose descensos continuados de la siniestralidad, sin embargo, en el sector agrario, el comportamiento ha sido radicalmente distinto al de los restantes sectores, mostrándose una leve tendencia al alza prácticamente continuada a los largo del periodo, registrando este año pasado (2014) una subida en torno al 3%.



Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social.

Figura 3.- Evolución de los índices de incidencia por sectores

3.3. Normativa de seguridad en el sector agrícola

El marco normativo aplicable, de forma específica a la seguridad y salud de los trabajadores, se desarrolla en tres niveles, los cuales no tienen la misma importancia:

- Normativa de carácter internacional.
- Normativa de la Unión Europea.
- Normativa nacional.

La normativa de carácter internacional se presenta para poner de manifiesto que se trata de un problema global por el que deben preocuparse todos los estados. En cambio, el nivel más importante es el que desarrolla la normativa de la Unión Europea, ya que, por una parte trata de establecer las condiciones para lograr que el mercado único no se traduzca en un descenso del nivel de seguridad ofrecido por los productos y, por otra, establece unas medidas de carácter mínimo que deben cumplirse en todos los estados de la Unión Europea, garantizando que el progreso social no se realiza a costa de la salud de los trabajadores.

Por último, la normativa de carácter nacional transpone al derecho interno los principios recogidos en la normativa Europea, si bien en el ámbito industrial de las instalaciones aún se mantiene una cierta independencia, por lo que es importante prestar atención al desarrollo de esta normativa, dado que establece los principios para la instalación, condiciones de puesta en marcha, inspecciones y revisiones que deben pasar aquellos equipos y/o instalaciones sujetas a control reglamentario.

3.3.1. Seguridad y salud en el trabajo

A continuación se expone la normativa aplicable en lo que a seguridad y salud en el trabajo concierne para este trabajo.

Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, junto con su modificación recogida en la Ley 54/2003, que establecen el marco normativo.

Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo para la utilización de los equipos de trabajo. Transpone las Directivas 89/655/CEE y 95/63/CEE.

Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el RD 1215/1997, de 18 de julio.

Directiva 2001/45/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio de 2001, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los trabajadores en el trabajo de los equipos de trabajo.

3.3.2. Prevención de riesgos laborales

En cuanto a la legislación vigente en cuanto a prevención de riesgos laborales, la normativa a tener en cuenta para este estudio se presenta a continuación.

Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

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.

Real Decreto 773/1998, 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

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.

Directiva 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.

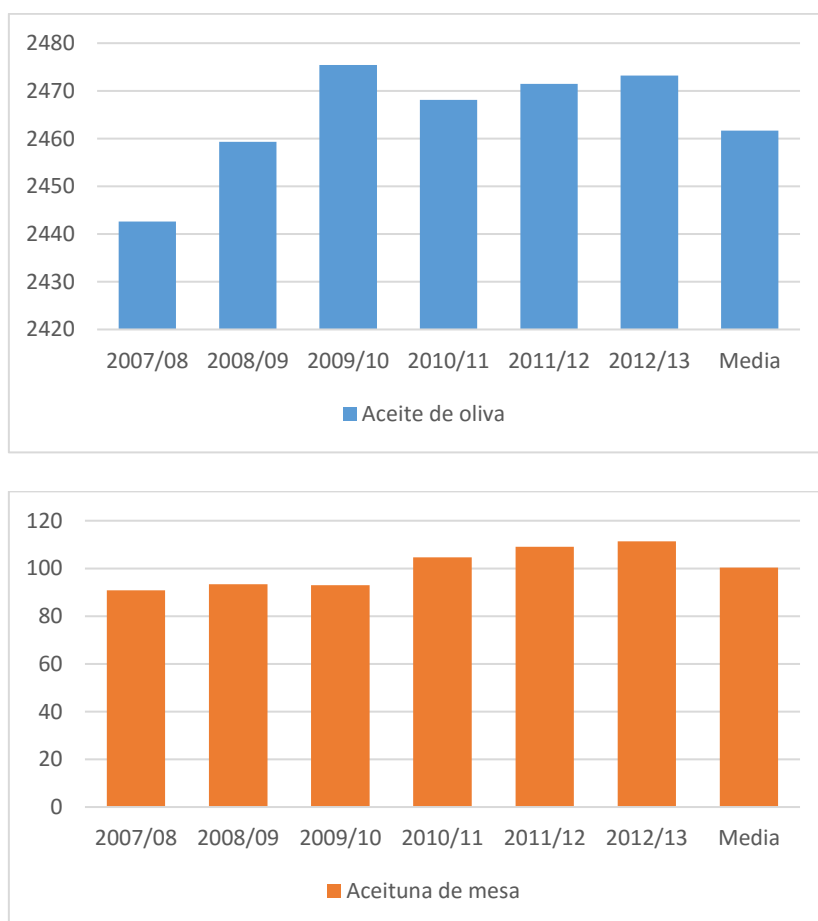
4. El sector del olivar

La importancia del olivar en España la pone de manifiesto los más de 2,4 millones de hectáreas que ocupa, el 13,3% de la superficie cultivada, con 650 mil cultivadores y una producción media anual de unas 900 mil toneladas de aceite y de 450 mil de aceituna de mesa. Su importancia social es consecuencia de los 46 millones de jornales/año, así como de su carácter de monocultivo para algunas regiones (Márquez *et al.*, 2009).

La superficie dedicada al olivar, a pesar de tratarse de un cultivo arbóreo, ha sufrido oscilaciones adaptándose a las situaciones económicas que ha atravesado el sector. Así, se pasaron de los más de 2,6 millones de hectáreas en 1964 a poco más de 2 millones en 1984. A pesar de la reducción de las superficies de olivar, las producciones tanto de aceite de oliva como de oliva de mesa se mantuvieron. La producción española puede estimarse en más del 35% de la mundial.

Los datos según el Anuario Estadístico de la Producción Agraria, publicado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, indican que la superficie española de olivar es en la actualidad (año 2013) ligeramente inferior a los 2,5 millones de hectáreas (figura 4).

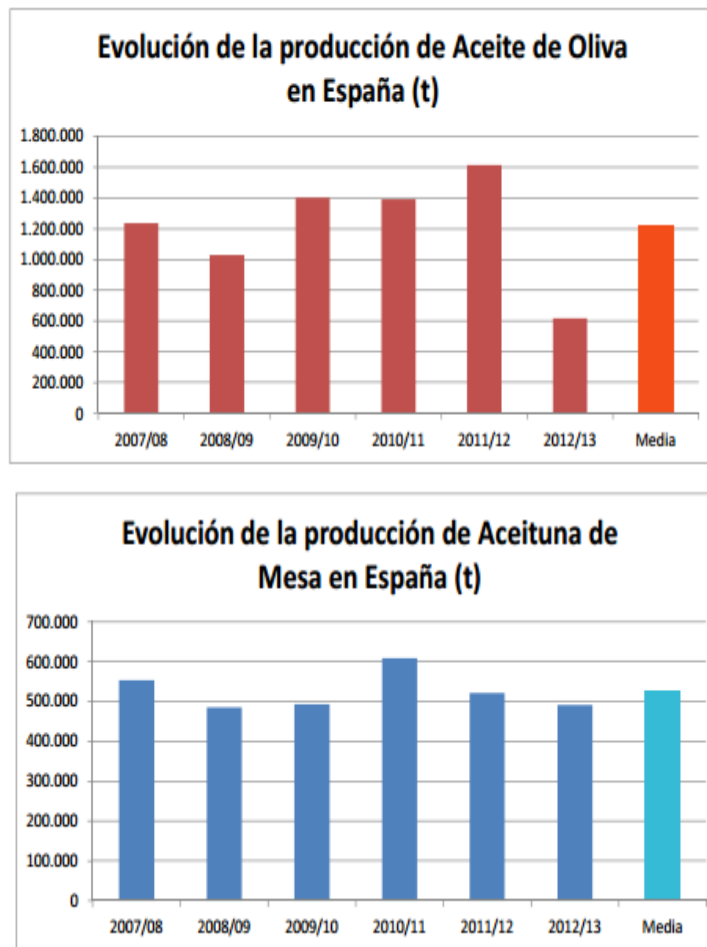
Superficie de cultivo del olivar en España en ha (x1000)



Fuente: Estadística del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Figura 4.- Superficie de cultivo de olivar en España

Las producciones para el año 2013 fueron de 618 mil toneladas de aceite de oliva y de 111 mil toneladas de aceituna de mesa. La evolución de las producciones, tanto para el aceite de oliva como para la aceituna de mesa, son las que se reflejan en los gráficos adjuntos.



Fuente: Estadística del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Figura 5.- Evolución de la producción de Aceite de Oliva y de Aceituna de Mesa en España

El olivar en España se encuentra con unas excelentes condiciones agroclimáticas, habiéndose demostrado que el olivar tradicional es una base firme que ha podido aguantar las situaciones más desfavorables del mercado del aceite de oliva. Las mejoras en la tecnología productiva y el aumento de la superficie regada estabilizan la producción.

Como debilidades, hay que considerar la vecería, que se encuentra vinculada a las lluvias, y las dificultades para realizar la mecanización de algunas plantaciones. Un elevado porcentaje de los costes son imputables a la recolección, con concentración en un periodo muy corto del año. En las pequeñas explotaciones, la mano de obra familiar es la que resuelve el problema de la recolección.

4.1. Mecanización del olivar

Inicialmente para mecanizar la recolección de aceituna se cambiaron muy poco las técnicas de cultivo que se usaban para la recolección manual, pero, rápidamente, se hizo patente la necesidad de buscar un sistema biomecánico integrado que permitiese una razonable conjunción entre agronomía y mecanización. Esto significa que se tienen que considerar, además de los principios de funcionamiento de las máquinas, las condiciones que se le han de imponer al cultivo del olivar para adaptarlo a la mecanización de la recolección (Porras *et al.*, s.f.).

La recolección manual, durante un periodo de tiempo relativamente corto, necesita abundante mano de obra que, además de costosa es difícil encontrar trabajadores especializados. La recolección mecanizada puede ser la causa de reducción de la demanda de mano de obra temporal, lo que puede suponer, como de hecho ha sucedido en otros cultivos en los que se ha logrado mecanizar la recolección, graves problemas sociales.

Ha habido periodos en los que se justificaba la recolección mecanizada por la escasez de mano de obra. Con la crisis económica de estos años, los olivareros no tienen este problema. En todo caso es preciso resolver los trastornos laborales que puede crear mediante las nuevas oportunidades de empleo, lo que significa un claro desafío para los gobiernos, ya que tienen que aplicar modelos económicos que tengan en cuenta que, la reducción de los costes de producción que normalmente origina la mecanización de la recolección, además de beneficiar a los consumidores porque permite una alimentación relativamente más barata, necesita mano de obra cualificada y formada para el manejo y mantenimiento de los equipos de recolección.

En el caso del olivar, el desarrollo de la mecanización de la recolección de aceituna ha pasado desde implementos para ayuda a la recolección manual, a máquinas que realizan alguna de las faenas en las que se puede dividir la recolección y, actualmente, se trabaja en máquinas que recogen la cosecha “a hecho”, o sea, de una sola pasada.

Es importante destacar que la recolección mecanizada de aceituna puede tener un impacto importante sobre el número y el tamaño de las explotaciones. La experiencia indica que, a medida que aumente la mecanización, el número de explotaciones disminuye y su tamaño crece.

El 80% del total de mano de obra necesaria en el cultivo tradicional del olivar corresponde a las faenas de recolección, siendo además esta operación, junto con la poda, las únicas donde el desarrollo tecnológico era muy bajo.

El desarrollo de la recolección mecanizada de aceituna ha tropezado con una serie de factores que lo han condicionado. Entre otros, además de la elevada longevidad de los olivos, las características inadecuadas del cultivo en lo referente a su bajo índice de conjunción agronomía-mecanización, las reducidas dimensiones de las explotaciones olivareras, la tendencia a considerar el olivar como un cultivo de interés social, la reducida atención económica a la investigación de la mecanización de la recogida de la aceituna, el bajo nivel de desarrollo tecnológico de los países tradicionalmente olivareros, el excesivo coste de utilización de la maquinaria debido al relativamente corto periodo de tiempo disponible para la recolección, la alta potencia motriz y los elevados porcentajes de tiempos muertos.

La evidente necesidad de incrementar la rentabilidad de un cultivo de tanta raigambre como es el olivar y los avances en la conjunción agronomía-mecanización han permitido lograr notables mejoras.

4.2. Recolección de la aceituna

Hasta llegar a la situación actual, se hace necesario realizar un análisis de las diferentes faenas en que normalmente se divide la recolección, para determinar sin equívocos las prioridades de mecanización que se debían establecer. Para ello se determinan las faenas en la que se puede dividir el proceso de recolección en las siguientes (Porrás *et al.*, s.f.):

- Para hacer la preparación de suelos, las labores que se realizan son muy variables. Depende de las características del suelo, de su profundidad y de su relieve. Varían según los hábitos de la comarca y, en ocasiones, están condicionadas por la presencia de otros cultivos. En general, las labores de preparación de suelos se realizan en invierno y primavera mediante labores cruzadas con cultivador seguidas de labores cruzadas de vibrocultivador.
- Antes de dar comienzo la recolección se recoge manualmente la aceituna caída naturalmente sobre el ruedo de los olivos, que aunque normalmente se trata de poca cantidad, por el bajo rendimiento de la mano de obra, tiene una notable incidencia en el coste total de la recolección.
- El derribo de los frutos del árbol es la operación a la que más atención se ha prestado ya que el tiempo que requiere en la recolección manual, aún en el caso de utilizar vareo, representa alrededor del 40% del total.

Tras realizar ensayos con diferentes útiles, máquinas de tipo neumático, pulverizadores, etc, sólo los potentes vibradores multidireccionales de troncos y ramas se han mostrado eficaces. Con ellos, en parcelas de árboles homogéneos y con óptimas condiciones para la vibración, se han conseguido eficacias de derribo superiores al 95%.

Estas máquinas tienen un rendimiento de 50-60 de pies vibrados por hora de trabajo. En condiciones adecuadas consiguen eficacias de derribo próximas al 90%. La calidad de la operación es óptima, pues el desprendimiento de ramas y metidas es insignificante. Solamente se desprende hoja vieja y algunos brotes dañados.

Como la eficacia del derribo no es del 100%, debido a la costumbre de no dejar aceitunas sobre el árbol, se practica un vareo complementario. Esta operación se ve favorecida por el hecho de que los frutos quedan agrupados en zonas localizadas de la copa a las que no llega la vibración o lo hace mal.

4.2.1. Recolección manual

Antes de pasar a exponer el estado actual de la mecanización, es interesante comenzar dando una breve reseña de los sistemas manuales de recolección que, no mucho menos, todavía han desaparecido. Hacerlo permitiría una mejor comprensión de las motivaciones que han llevado a las soluciones que hoy pueden ser utilizadas en la Olvicultura.

En la recolección manual de aceituna destacan tres métodos fundamentales: recogida, ordeño y vareo (Porras *et al.*, s.f.).

- La recogida de suelo consiste en espera a que los frutos, a medida que maduran, caigan de una manera natural, para posteriormente, en una o varias pasadas, recogerlas del suelo. Es evidente que este método representa grandes inconvenientes en cuanto a la calidad del aceite (excesiva acidez), y tiene además una incidencia demasiado alta en el precio del producto, tiene rendimientos muy bajos que constituyen un obstáculo insalvable para la rentabilidad. El empleo de este método sólo estaría justificado en árboles de gran tamaño o en zonas de muy difícil acceso.
- El ordeño es el único sistema empleado en la recolección de aceituna de mesa. El operario, desde el suelo o con escaleras, toma los frutos deslizando la mano entreabierta por las ramas cargadas de fruto y los deposita en un recipiente que lleva colgado sobre el pecho, el cual, una vez lleno, lo vacía en un depósito o caja de unos 20-30 kg de capacidad, común para varios operarios.



Fuente: <http://www.aceitunaslou.com/blog/las-formas-tradicionales-de-recolectar-la-aceituna/>

Figura 6.- Recolección manual mediante ordeño

- El vareo es el método más extendido. El obrero, provisto de una vara, antes de madera y hoy de fibra de vidrio, mucho más ligera, cuya longitud llega hasta tres e incluso cuatro metros, golpea las ramas del árbol procurando, cuando lo hace correctamente que la vara incida tangencialmente a los portadores de la cosecha con el fin de no causar daño a ellas. A veces, cuando no se varea adecuadamente, lo cual es demasiado frecuente, la cantidad de brotes del año, que deberían ser los portadores de frutos de la cosecha del año siguiente, queda tan reducida que ésta se puede ver seriamente afectada y se puede decir que, aunque el vareo no es causa fundamental, puede asegurarse que aumenta la tendencia a la vecería o alternancia de producción. El fruto derribado se recoge en lienzos o mallas extendidos bajo los olivos y que ocupan una superficie superior a la zona de goteo del árbol estas mallas, hay lugares en la se arrastran de un olivo al siguiente y, cuando sobre ellas hay una cierta cantidad de aceituna se pliegan convenientemente y se vierte su contenido en cajas, sacos o espuestas. Hay zonas en las que el plegado y vaciado de las lonas se hace una vez derribada la aceituna de cada olivo.



Fuente: <http://yotuspanishoil.com/aceite-oliva/proceso-de-elaboracion-del-aceite-de-oliva/>

Figura 7.- Recolección manual mediante vareo

4.2.2. Vibradores de ramas

El vibrador de ramas consta de una pértiga en cuyo extremo tiene un gancho con que puede abarcar ramas de hasta 4 o 5 cm de diámetro. El operario debe ir enganchando sucesivamente todas las ramas del árbol que pueda abarcar con el aparato y vibrarlas. 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 (Sierra *et al.*, 2005).

La vibración de cada rama se da en una sola dirección, recibiendo sacudidas de ida y vuelta. Los vibradores de ramas accionados directamente por motor son más energéticos que los accionados por aire comprimido. El trabajo es laborioso en árboles con una copa relativamente amplia y son muchas las ramas pequeñas que deben vibrarse para completar el derribo de todas las aceitunas del árbol.



Fuente: http://www.masquemaquina.com/2015_12_01_archive.html

Figura 8.- Vibrador de ramas

4.2.3. Peines eléctricos

La máquina más elemental que sustituye a la vara de varear es el peine oscilante, o también conocido como vareadora mecánica. Los primeros modelos de peines oscilantes aparecieron en el mercado en la década de los 60 y desde entonces no han dejado de evolucionar hasta lo que actualmente se conoce como el peine con accionamiento eléctrico (Sierra *et al.*, 2005).

Consta de uno a dos peines de dedos largos situados en el extremo de una pértiga. El operario la sostiene por el extremo, donde están los mandos para hacer que los peines oscilen. 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 la superficie de la copa, provocando un eficaz derribo de la aceituna.



Fuente: <http://www.lisam.it/abbacchiatori-per-raccolta-olive/oliveco/>

Figura 9.- Peine eléctrico

4.2.4. Vibradores de troncos

Los vibradores de troncos se basan en la fuerza centrífuga del giro de dos masas excéntricas o de una masa excéntrica (orbital). Consta de un brazo enganchado en la parte delantera o trasera del tractor, 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 (Sánchez *et al.*, s.f.)

El vibrador está aislado mediante algún tipo de suspensión (tacos de goma, cadenas, cintas...) del tractor que lo acciona. La pinza de agarre lleva unos tacos de goma y unas protecciones a modo faldón para evitar dañar el tronco. Estas máquinas, por su capacidad de trabajo, son los equipos más importantes en la recolección mecanizada.



Fuente: <http://aygagroindustrial.es/index.php/k2-categories/tag-page/itemlist/date/2014/4/25>

Figura 10.- Vibradores de tronco

4.2.5. Cosechadoras integrales de aceitunas

Las experiencias que se iniciaron hace unos diez años consistentes en pasar con una vendimiadora sobre las filas de olivos de pequeño tamaño en plantaciones intensivas han interesado tanto a las empresas fabricantes de vendimiadoras que han construido máquinas especialmente adaptadas al olivar, de modo que no se debe decir que las aceitunas se cosechan con vendimiadoras, sino con cosechadoras integrales de aceitunas (Sierra *et al.*, 2006).

Mientras en la recolección de la uva las máquinas llevan montadas tres o cuatro varillas sacudidoras en cada lado, para cosechar aceitunas se instalan quince o más varillas sacudidoras en cada lado, puesto que las aceitunas se distribuyen en toda la altura de la planta.

Las cosechadoras de aceitunas trabajan en olivares intensivos y superintensivos, pudiendo cabalgar sobre olivos que tengan una altura de 2,5 a 3 metros. Las copas de los árboles deben formar una cortina continua de vegetación según la dirección de las filas, pero de anchura poco mayor de un metro.



Fuente: <http://www.sabor-artesano.com/cultivo-olivo-seto.htm>

Figura 11.- Cosechadoras integrales de aceitunas

Evidentemente, estas máquinas evolucionadas a partir de las vendimiadoras son la solución para la cosecha de aceitunas en olivares intensivos y superintensivos. Si las máquinas tienen una campaña de recogida larga, que puede ampliarse a la vendimia, el coste horario es muy competitivo.

5. Estudio de vibraciones

5.1. Aspectos fundamentales

Una vibración puede describirse como el movimiento de un cuerpo sólido alrededor de su posición de equilibrio sin que se produzca desplazamiento del objeto que vibra. Es decir, al finalizar la vibración el objeto queda en la misma posición que estaba en cuanto empezó a vibrar.

En prevención de riesgos laborales se toman en consideración dos tipos de vibraciones mecánicas:

- **Las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo**, es decir, aquellas que transmiten su energía al cuerpo humano a través del sistema mano-brazo cuyo origen hay que buscar, por regla general, en las herramientas portátiles (taladros, martillos neumáticos, desbrozadoras, pulidoras, etc.) y que el R.D. 1311/2005 define como *“La vibración mecánica que, cuando se transmite al sistema humano de mano y brazo, supone riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular, problemas vasculares, de huesos o de articulaciones, nerviosos o musculares.”*
- **Las vibraciones transmitidas al cuerpo entero**, es decir, aquellas que el cuerpo recibe cuando gran parte de su peso descansa sobre una superficie vibrante (asiento o respaldo del puesto de conducción de una máquina móvil, plataformas vibrantes, etc.) que el mismo real decreto define como *“la vibración mecánica que, cuando se transmite a todo el cuerpo, conlleva riesgos para la salud y la seguridad de los trabajadores, en particular, lumbalgias y lesiones de la columna vertebral.”*

Los efectos que producen las vibraciones en el cuerpo humano dependen, fundamentalmente, de las siguientes características:

- Magnitud de la vibración.
- Frecuencia.
- Dirección en que incide en el cuerpo.
- Tiempo de exposición.

La magnitud y la frecuencia de la vibración conjuntamente dan idea de la cantidad de energía que se transmite por la vibración.

5.2. Revisión bibliográfica

En el año 2013 (Gerhardsson *et al.*, 2013) realizó un estudio transversal en 142 trabajadores jóvenes, en un taller de maquinaria de construcción, en el que evaluó la exposición a vibraciones en las manos y comparó los resultados con 41 sujetos de la misma edad que no estaban expuestos. Tras una serie de entrevistas y evaluaciones físicas, se determinó que el 8% del grupo expuesto a vibraciones, presentaban la sensación de hormigueo en las manos y el 10% entumecimiento en sus dedos.

Si nos centramos ahora en el ámbito de la seguridad y salud en la recolección del olivar, algunas de las principales publicaciones en lo que a vibraciones se refiere se presentan a continuación.

Cosechadoras continuas de oliva y vibradores de tronco se utilizan para la cosecha de alta densidad y en plantaciones modernizadas. Sin embargo, agitadores portátiles se utilizan para la recolección de la aceituna en muchos olivares tradicionales de tamaño pequeño-mediano. En estos casos el equipo vibratorio está soportado por el cuerpo del operador durante la jornada de trabajo, aparte de otros aspectos como el ruido, la contaminación o el peso de la propia máquina. El uso prolongado de equipos de trabajo manuales, pueden dar lugar a diferentes patologías.

La Directiva Europea 2002/44/CE (Comisión Europea, 2002) proporciona el procedimiento para evaluar la exposición a las vibraciones transmitidas al trabajador teniendo en cuenta la exposición diaria a vibraciones, $A(8)$ valor de la exposición diaria normalizado para un periodo de referencia de ocho horas.

Para la vibración mano-brazo la cantidad de vibraciones a las que un operador puede estar expuesto durante una jornada de trabajo, debe ser inferior a 5 m/s^2 . Además, con valores de $A(8)$, superiores a $2,5 \text{ m/s}^2$ es necesario implantar medidas correctivas.

Un estudio llevado a cabo en el norte de Italia en el 2014 (Calvo *et al.*, 2014) considera para el desarrollo de su método, los vibradores de ramas y peines eléctricos de diferentes fabricantes y modelos con el fin de analizar su comportamiento vibratorio durante la recolección de la aceituna. Las pruebas se llevaron a cabo con un solo operador para evitar incertidumbres en el resultado, concluyendo de esta manera que los cinco aparatos objeto de estudio, presentaban altos valores de vibración con un rango de 10 a 26 m/s^2 , que extrapolados a las exposiciones diarias durante la duración real de su trabajo, la vibración oscilaba entre 10 y 18 m/s^2 , lo cual sumado a la postura adquirida por el operador durante el desarrollo de su trabajo, pueden establecerse problemas de salud relacionados con trastornos musculoesqueléticos en las extremidades superiores, y patologías de tipo nervioso y vascular.

El uso de dos modelos diferentes de vibradores de ramas a gasolina (Pascuzzi *et al.*, 2008) determinó valores de aceleración promedio ponderado de 20 m/s^2 y (Catania *et al.*, 2013) obtuvieron una $A(8)$ en la mano derecha, de 42 y 20 m/s^2 , para cosechadoras de oliva, gancho y solapa, respectivamente. Los valores más bajos se registraron en la mano izquierda.

Los factores de riesgo ocupacional para desarrollar el síndrome de vibración mano-brazo, incluyendo la prevalencia de episodios de dedos blancos o síntomas neurosensoriales, son las horas de uso, el clima frío, la aceleración de la herramientas, el estado y mantenimiento de los equipos, la fuerza de agarre necesaria, el manejo del diseño y las pausas de descanso.

El Departamento de Ingeniería Agraria (DIA) de Catania (Italia), en el año 2010, presentó un informe de las pruebas experimentales llevadas a cabo para estudiar las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo por los peines eléctricos.

Las vibraciones se midieron en dos puntos junto a las posiciones que adquiriría la mano en la barra del equipo, además con el fin de suavizar la influencia de factores externos, las máquinas fueron utilizadas por la misma persona, dando como principales resultados que las aceleraciones globales daban valores alrededor de 20 m/s^2 . Si se comparaban las aceleraciones en función del material del cual estaba compuesto la maquinaria,

se observaba una reducción significativa de las aceleraciones de la barra de fibra de carbono con respecto a la de aluminio.

La Universidad de Zagreb en Croacia (Vlado Gloglia *et al.*, 2006) centró su estudio en medir los niveles de vibración mano-brazo en tres condiciones de trabajo de un tractor, al ralentí, durante el transporte y durante la labranza del suelo, comparándolos por los límites a exposición diaria recomendados por la ISO 5349. Los niveles de vibración fueron mucho mayores en las direcciones x e y que en la dirección z, cogiendo los dos primeros para realizar el análisis. Los resultados mostraron que el 10% de los trabajadores expuestos a un riesgo de vibración con un A(8) de $9,62 \text{ m/s}^2$, podrían sufrir el trastorno de dedo blanco en un periodo relativamente corto de 3-4 años si el tractor se utilizaba durante las 8 horas de jornada, incluyendo los periodos sin vibración.

Los valores de A (8) están directamente relacionados con las horas de trabajo y a forma en que el equipo de trabajo organiza la jornada. En los huertos familiares es muy variable y depende del tipo de trabajo, los trabajadores de la familia o los trabajadores contratados.

Los hallazgos en otras áreas de cultivo olivar en los que se emplean agitadores portátiles, fomentan el estudio de la exposición a las vibraciones dependiendo del tipo de trabajador, es decir, trabajadores de la familia o trabajadores contratados por cuenta ajena.

5.3. Normativa a aplicar

La normativa a aplicar en el estudio y evaluación de las vibraciones transmitidas al trabajador por el sistema mano-brazo y los valores límites estandarizados, vienen reflejados en la legislación expuesta a continuación.

5.3.1. Legislación nacional

- **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 a vibraciones mecánicas.
- **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 pueden derivarse a vibraciones mecánicas. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- **Real Decreto 39/1997**, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- **UNE-EN ISO 5349:2001**, vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano.

5.3.2. Legislación europea

- **Directiva 2002/44/CEE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones).

5.3.3. Notas técnicas del INSHT

- **NTP 963:** Vibraciones: vigilancia de la salud en trabajadores expuestos (INSHT 2013).
- **NTP 839:** Exposición a vibraciones mecánicas. Evaluación del riesgo (INSHT 2009).

6. Materiales y metodología

6.1. Equipos de trabajo

6.1.1. Vibrador de ramas

Vibrado de ramas con motor de gasolina (figura 12) para el derribo de frutos: aceitunas, almendra, cítricos...Marca "Cifarelli".

Este equipo consta de un motor monocilíndrico 2T, 50.8 cm³, 2.1 kW a 8000 rev/min, carburador de membrana, encendido electrónico, masa en vacío sin tubo ni gancho 15.2 kg, masa con depósito lleno y todos los componentes, 16.7 kg, potencia sonora 107.5 dB.



Fuente: <https://www.cifarelli.it/>

Figura 12.- Vibrador de ramas

6.1.2. Peine eléctrico

Como Peine eléctrico se utilizó un equipo de la casa "Volpi" modelo "Giulivo", accionado por una batería de 12 V para el derribo de aceitunas (figura 13). Con dos velocidades, que se seleccionan en el regulador de corriente y el cabezal regulable.



Fuente: *Prácticas: Maquinaria y Equipos para la Producción Agroalimentaria (33378)*

Figura 13.- Peine eléctrico

6.1.3. Vibrador de troncos

El vibrador de troncos que se empleó consta de un equipo vibrador enganchado al tripuntal delantero del tractor Lamborghini 990FPlus de 90 CV con toma de fuerza delantera de la casa "Topavi". Con una masa de los elementos traseros de 640 kg, y una masa de los elementos delanteros más mangueras de 740 kg. Necesita un tractor de al menos 80 kW de potencia. Consta de tres bombas, la principal para mover el motor del vibrador, las secundarias para los ajustes hidráulicos, aunque si éstos no se usan, se puede sumar su caudal al de la principal para vibrar. Se trata de una vibración orbital pura.



Fuente: Prácticas: Maquinaria y Equipos para la Producción Agroalimentaria (33378)

Figura 14.- Vibrador de tronco y tractor Lamborghini 990Fplus

6.2. Obtención de las aceleraciones

Los instrumentos utilizados para la medida de las aceleraciones producidas por los equipos son:

- Ordenador portátil con el software Picoscope.
- Acelerómetro triaxial Kistler, 10 mV/g, máx 500g, 1-5000 Hz.
- Cables para los acelerómetros.
- Acondicionadores de la señal para acelerómetros piezoeléctricos sin ganancia, Dytran model 4103C.
- Osciloscopio digital de cuatro canales Picoscope 3424.
- Ordenador portátil con el software Picoscope.

Se conecta el acelerómetro a su cable triaxial, éste a la fuente de corriente, al osciloscopio Picoscope y al ordenador, según el esquema de la figura 15. El programa Picoscope será utilizado para visualizar la señal.



Fuente: <http://www.dytran.com/Model-4102C-Current-Source-Power-Unit-P2991.aspx>

Fuente: https://www.kistler.com/es/es/productos/componentes/sensores-de-aceleracion/#aceler_metro_triaxial_modal_piezo_beam_5_50_g_8688_a_

Figura 15.- Esquema medición aceleración

Se seleccionan previamente los árboles y las ramas a vibrar, teniendo en cuenta que estén en la posición más favorable con el fin de producir la aceleración en condiciones óptimas.

Se coloca el acelerómetro en la parte del cuerpo correspondiente según el equipo analizado y se fija con cinta americana el acelerómetro, según la figura 16. Se procede a la vibración de las ramas y se registran y guardan las mediciones del acelerómetro.



Figura 16.- Fijación del acelerómetro al operario

Mediante el software Picoscope 6 (figura 17) (www.picotech.com) se analizan las curvas de vibración y se obtienen los valores de frecuencia y aceleraciones eficaces para cada uno de los ejes.

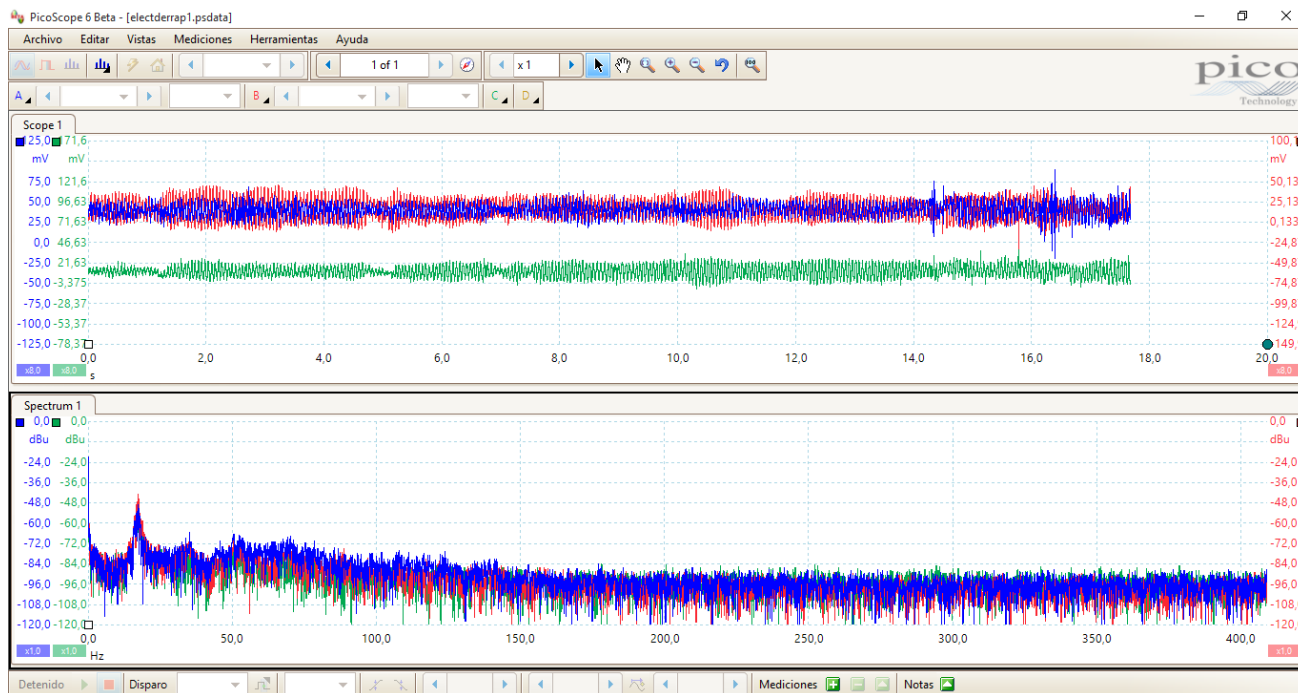


Figura 17.- Ejemplo del espectro de frecuencia y aceleración

6.2.1. Protocolo de ensayo

A continuación se describen los protocolos de ensayo llevados a cabo con los diferentes equipos.

Peine eléctrico

- Un operario.
- 5 repeticiones por mano y velocidad de 15 segundos (basado en Costa et al., 2013).
- Aplicación de EN ISO 5349 parte 2 para el análisis de las vibraciones.
- Frondosidad del árbol: con ramas y sin ramas.
- 5 mediciones x 1 operario x 2 manos x 2 velocidades = 20 medidas

Vibrador de ramas

- Elección y marcado de 20-30 ramas.
- Dos operarios.
- 5 repeticiones por rama y operario de 15 segundos (basado en Costa *et al.*, 2013).
- Aplicación de EN ISO 5349 parte 2 para el análisis de las vibraciones.
- 3 ramas x 5 mediciones x 2 operarios = 30 medidas

Vibrador de troncos

- Un operario.
- 5 repeticiones por mano o pie de 15 segundos (basado en Costa et al., 2013).
- Aplicación de EN ISO 5349 parte 2 para el análisis de las vibraciones.
- 5 mediciones x 1 operario x 2 partes del cuerpo = 20 medidas

6.3. Determinación de la aceleración

La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz.

Según el artículo 6 de la Ley, son las normas reglamentarias las que deben ir concretando los aspectos más técnicos de las medidas preventivas y establecer las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada

protección de los trabajadores. Entre tales medidas se encuentran las destinadas a garantizar la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de la exposición a las vibraciones mecánicas.

Los instrumentos, máquinas y piezas vibrantes pueden transmitir vibraciones intensas a las manos y brazos de sus usuarios. Esto se observa, por ejemplo, cuando una persona manipula instrumentos manuales vibrantes tales como sierras neumáticas, eléctricas, hidráulicas o accionadas por un motor, instrumentos de percusión o trituradoras.

Dependiendo del tipo y puesto de trabajo, las vibraciones pueden afectar sólo a un brazo o a los dos simultáneamente, y generalmente, pueden transmitirse por la mano y el brazo al hombro. Las vibraciones de las partes del cuerpo y las vibraciones percibidas son, con frecuencia, fuente de malestar y, eventualmente, de disminución del rendimiento. Se ha demostrado que el uso prolongado y habitual de instrumentos vibrantes provoca distintos tipos de enfermedades que pueden afectar a la circulación sanguínea, nervios, huesos, articulaciones, músculos y tejido conjuntivos de la mano y el antebrazo.

6.3.1. Caracterización de las vibraciones transmitidas por la mano

El método especificado en la Norma ISO 5349 y el que se va a seguir durante el desarrollo de éste trabajo, tiene en cuenta los factores que se exponen a continuación y de los que se sabe que tienen influencia en los efectos de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano en las condiciones de trabajo:

- I. El espectro de frecuencia de las vibraciones.
- II. La magnitud de las vibraciones.
- III. La duración de la exposición por día de trabajo.
- IV. La exposición acumulativa hasta la fecha.

Las medidas de las vibraciones transmitidas por la mano, deben realizarse empleando una instrumentación que esté de acuerdo con los requisitos especificados en la Norma ISO 8041. Este equipo, para su correcto funcionamiento, debe comprobarse antes de su empleo. La calibración debe tener una trazabilidad de acuerdo con un patrón reconocido mantenido por un laboratorio acreditado.

El transductor de vibraciones puede ser un acelerómetro que a su vez puede estar diseñado para la medida de las vibraciones generales (para herramientas no percutoras) o puede estar específicamente diseñado para grandes picos de aceleraciones como son los producidos por herramientas percutoras.

Las vibraciones transmitidas por la mano deben medirse y registrarse en las tres direcciones de un sistema de coordenadas ortogonales, como se define en la figura 18.

Las vibraciones en las tres direcciones deben medirse preferiblemente, simultáneamente. Las medidas realizadas secuencialmente a lo largo de cada uno de los tres ejes pueden considerarse como aceptables, si se proporcionan unas condiciones de funcionamiento que sean similares durante las tres mediciones. Las medidas deben efectuarse sobre la superficie vibrante y tan próxima como fuera posible al centro de la zona de agarre de la máquina, herramienta o pieza de trabajo.

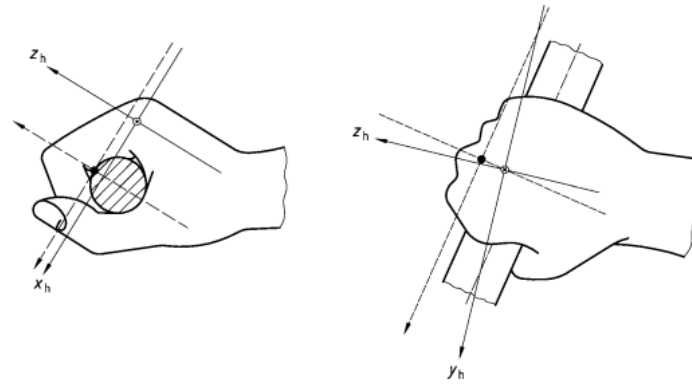


Figura 18.- Posición de agarre

La cantidad primaria empleada para describir la magnitud de las vibraciones debe ser la aceleración eficaz (raíz cuadrática media) ponderada en frecuencia, expresada en metros por segundo al cuadrado (m/s-2).

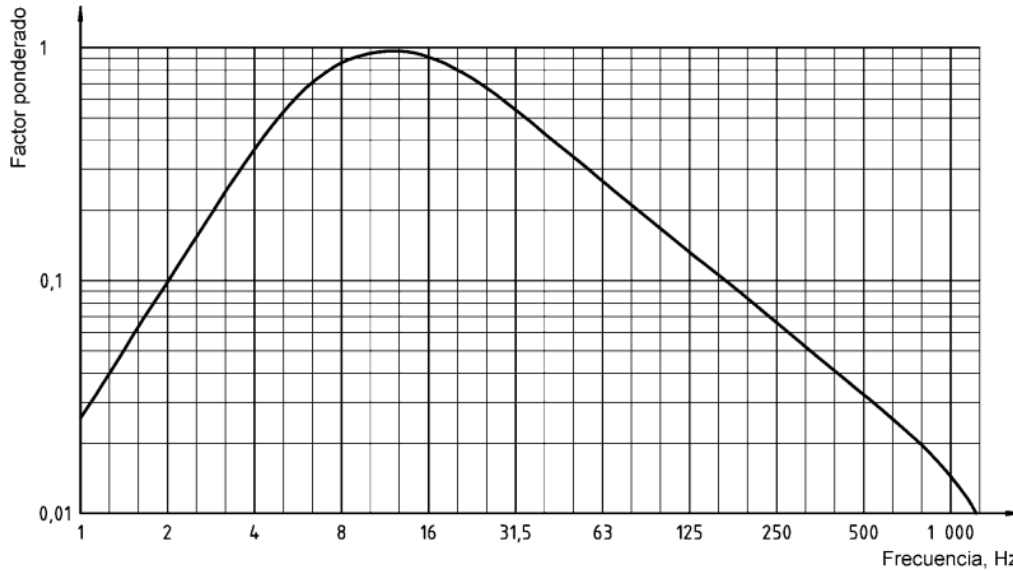
La medida de la aceleración ponderada en frecuencia requiere la aplicación de filtros de ponderación en frecuencia y de bandas limitante. La ponderación en frecuencia, *Whi*, refleja la importancia asumida de las diferentes frecuencias que pueden producir daño a la mano. Los factores de ponderación en frecuencia *Whi* para vibraciones transmitidas por la mano con bandas limitantes para la conversión de magnitudes en tercios de bandas de octava a magnitudes ponderadas en frecuencia, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.- Factores de ponderación en frecuencia *Whi* para vibraciones transmitidas por la mano con bandas limitantes

Número de banda de frecuencia ^a	Centros de frecuencia nominales	Factor de ponderación
<i>i</i>	Hz	<i>W_h</i>
6	4	0,375
7	5	0,545
8	6,3	0,727
9	8	0,873
10	10	0,951
11	12,5	0,958
12	16	0,896
13	20	0,782
14	25	0,647
15	31,5	0,519
16	40	0,411
17	50	0,324
18	63	0,256
19	80	0,202
20	100	0,160
21	125	0,127
22	160	0,101
23	200	0,0799
24	250	0,0634
25	315	0,0503
26	400	0,0398
27	500	0,0314
28	630	0,0245
29	800	0,0186
30	1 000	0,0135
31	1 250	0,00894
32	1 600	0,00536
33	2 000	0,00295

Fuente: UNE-EN ISO 5349:2001, vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano.

La ponderación en frecuencia, Wh_i , se ha calculado mediante la interpolación de cada una de las frecuencias, en base a los valores establecidos por la norma ISO 5349-1:2001 (Tabla 2), ya que al manejar frecuencias con valores muy cercanos entre sí, se ha considerado que la utilización de la curva de ponderación en frecuencia Wh (figura 19) presenta poca precisión.



Fuente: UNE-EN ISO 5349:2001, vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano.

Figura 19.- Curva de ponderación en frecuencia Wh para vibraciones transmitidas por la mano

Se sabe que, en la mayoría de las herramientas guiadas a motor, las vibraciones que entran en la mano contienen componentes en las tres direcciones de medida de las vibraciones. Se asume que las vibraciones en cada una de las tres direcciones son igualmente perjudiciales. En consecuencia, las medidas deben realizarse en las tres direcciones.

La evaluación de la exposición a las vibraciones, sin embargo, se basa en una única cantidad que combina los tres ejes. Este es el valor total de las vibraciones, ahw , y se define como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores de las tres componentes. En algunos casos puede no ser posible realizar las mediciones en los tres ejes. Si sólo se llevan a cabo mediciones en uno o dos ejes, debe incluirse (cuando pueda identificarse) el eje de mayor nivel de vibraciones. El valor total de las vibraciones debe estimarse empleando los valores medidos posibles y un factor de multiplicación cuidadosamente considerado.

Para obtener la correspondiente aceleración ponderada en frecuencia, pueden utilizarse los valores eficaces de la aceleración, obtenidos en un análisis de bandas de un tercio de banda de octava como una alternativa al empleo de filtros Wh . La aceleración eficaz ponderada en frecuencia ahw puede calcularse de la siguiente forma:

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2}$$

6.3.2. Caracterización de la exposición a vibraciones transmitidas por la mano

La exposición a las vibraciones depende de la magnitud de las vibraciones y de la duración de la exposición. La duración de la exposición diaria es el tiempo total al que la(s) mano(s) está(n) expuesta(s) a las vibraciones durante un día de trabajo. El tiempo de exposición a las vibraciones debe ser menor que el tiempo durante el cual la persona está trabajando con la herramienta guiada a motor o piezas de trabajo.

Es importante basar las estimaciones de la duración total de la exposición diaria en muestras representativas apropiadas para diferentes condiciones de funcionamiento, duraciones y su intermitencia.

La exposición diaria a las vibraciones se obtiene a partir de la magnitud de las vibraciones (valor total de las vibraciones) y de la duración de la exposición diaria.

Como el trabajo es tal que la exposición diaria total a las vibraciones consta de varias operaciones con diferentes magnitudes de las vibraciones, la exposición diaria a las vibraciones $A(8)$, se obtiene aplicando la ecuación

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

En el presente trabajo, para el cálculo de los tiempos de trabajo, con los distintos niveles de intensidad de vibración, y de los tiempos muertos, se procedió a la grabación de la actividad de recolección en campo con una cámara Casio EXF (www.exilim.com).

6.4. Software de análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se ha realizado mediante el software Statgraphics Centurion, utilizando el ANOVA test, el cual, permite realizar el análisis de la varianza contrastando la hipótesis nula de que las medias de K poblaciones son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos una de las poblaciones difiere de las demás en cuanto al valor esperado. Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que interesa comparar los resultados de k factores con respecto a la variable dependiente o de interés.

El ANOVA test requiere el cumplimiento de los siguientes supuestos:

- Las poblaciones, distribuciones de probabilidad de la variable dependiente correspondiente a cada factor, son normales.
- Las K muestras sobre las que se aplican los tratamiento son independientes.
- Las poblaciones tienen todas igual varianza (homoscedasticidad).

7. Resultados

7.1. Resultados tiempos de trabajo

En la Tabla 3 aparecen recogidos los tiempos de trabajo para una labor de recogida de aceituna mediante el vibrador de ramas.

Antes de ir al campo es necesario preparar el equipo y además tener en cuenta el transporte de ida y vuelta de la recolección. Una vez que los trabajadores están en la parte del campo que se va a recolectar, se colocan las lonas en el suelo y se arrancan los motores de los equipos de trabajo.

El tiempo de vibración se divide en dos fases, en la primera de ellas se buscan las ramas principales a vibrar, mientras el equipo permanece al ralentí, y en la segunda fase se procede a la vibración con la máxima intensidad del motor.

Gran parte del tiempo se destina a las operaciones de carga de las aceitunas recogidas, y por último, existe un cierto espacio de tiempo perdido entre descansos y almuerzos.

De esta manera, se han establecido cuatro niveles de intensidad de trabajo: baja, media, intensa y muy intensa; correspondientes con el rendimiento efectivo, es decir, el tiempo de vibrado frente al resto de tiempos muertos.

Tabla 3.- Tiempos de trabajo en función de la intensidad de trabajo

	Baja		Media		Intensa		Muy intensa	
	En una jornada medida		Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3	
	%	Duración (h)	%	Duración (h)	%	Duración (h)	%	Duración (h)
Colocar lonas	31,3	2,2	8,4	0,6	7,8	0,5	6,7	0,5
Preparación	3,1	0,2	3,0	0,2	2,0	0,1	2,0	0,2
Ralentí	12,5	0,9	23,3	1,6	33,3	2,3	43,3	3,5
Vibración	6,3	0,4	11,7	0,8	16,7	1,2	21,7	1,7
Carga/Descarga	29,2	2,0	8,4	0,6	7,8	0,5	6,7	0,5
Tiempo perdido	34,4	2,4	33,1	2,3	22,4	1,6	11,6	0,9
Preparación en nave	12,5	0,9	12,0	0,8	10,0	0,7	8,0	0,6
Total vibrado y ralentí	18,8	1,3	35,0	2,5	50,0	3,5	65,0	5,2
Total en campo	87,5	6,1	88,0	6,2	90,0	6,3	92,0	7,4
TOTAL	100,0	7,0	100,0	7,0	100,0	7,0	100,0	8,0

Hay que destacar que para el cálculo de la A (8), en el caso del vibrador de ramas se han utilizado los cuatro niveles de intensidad. Debido a su capacidad de reducir los tiempos de trabajo hasta un quinto respecto a la recolección exclusivamente manual, este equipo se emplea desde un rango de trabajo calmado hasta trabajos muy intensos.

En cuanto al estudio de las vibraciones transmitidas por el peine eléctrico sólo se han tenido en cuenta los niveles de intensidad: baja, media e intensa; debido a su menor capacidad de reducir los tiempos de trabajo

respecto a la recolección únicamente manual, este equipo se emplea en trabajos de recolección más calmados y pocas veces de forma exclusiva en trabajos muy intensos.

En el caso del vibrador de troncos los rendimientos de trabajo se estimaron en dos niveles, 60% y 80%, basándose en la Tabla del Anuario de ASAE modificado (Ortiz-Cañavate *et al.*, 2003). Además el tiempo de trabajo se estableció, en base a las experiencias de campo, como un minuto por árbol, quedando los tiempos de trabajo según se refleja en la tabla 4

Tabla 4.- Tiempos de trabajo en función del rendimiento de la maquinaria

	Rendimiento (h)	
	60%	80%
Vibrando	1,6	2,1
Ralentí	3,2	4,2
Preparación en campo	3,2	1,6
Preparación en nave		
Descarga		
TOTAL	8	8

7.2. Resultados del peine eléctrico

Aceleraciones

En el caso del peine eléctrico y como ya se ha especificado en el protocolo de ensayo, el estudio se ha realizado sobre un solo operario, evaluando las aceleraciones en ambas manos, para cada una de las velocidades y teniendo en cuenta la presencia o no de ramas, es decir, considerando que la aceleración se puede ver afectada por la resistencia que ejercen las propias ramas cuando éstas se están vibrando.

Las aceleraciones medidas y sus correspondientes frecuencias para cada uno de los supuestos se presentan en las tablas 5 y 6.

Tabla 5.- Frecuencias y aceleraciones para el peine eléctrico en ausencia de rama

Operario	Mano	Repetición	Velocidad	ahi (m/s ²) A	ahi (m/s ²) B
Operario 1	Derecha	1	Lenta	39,64	17,72
Operario 1	Derecha	2	Lenta	40,51	18,02
Operario 1	Derecha	3	Lenta	41,73	17,26
Operario 1	Derecha	4	Lenta	40,04	18,17
Operario 1	Derecha	5	Lenta	44,01	16,35
Operario 1	Derecha	1	Rápida	41,35	20,35
Operario 1	Derecha	2	Rápida	40,78	18,56
Operario 1	Derecha	3	Rápida	39,88	16,54
Operario 1	Derecha	4	Rápida	40,31	18,08
Operario 1	Derecha	5	Rápida	39,36	20,09
Operario 1	Derecha	6	Rápida	43,45	18,98
Operario 1	Izquierda	1	Lenta	39,97	18,44
Operario 1	Izquierda	2	Lenta	41,51	16,77
Operario 1	Izquierda	3	Lenta	39,96	17,93
Operario 1	Izquierda	4	Lenta	37,96	19,05
Operario 1	Izquierda	5	Lenta	41,21	16,77
Operario 1	Izquierda	1	Rápida	40,89	20,30
Operario 1	Izquierda	2	Rápida	40,59	19,32
Operario 1	Izquierda	3	Rápida	41,48	17,65
Operario 1	Izquierda	4	Rápida	41,07	18,78

Tabla 6.- Frecuencias y aceleraciones para el peine eléctrico con presencia de rama

Operario	Mano	Repetición	Velocidad	ahi (m/s ²) A	ahi (m/s ²) B
Operario 1	Derecha	1	Lenta	41,07	19,13
Operario 1	Derecha	2	Lenta	41,49	19,14
Operario 1	Derecha	3	Lenta	41,06	18,43
Operario 1	Derecha	4	Lenta	40,98	18,33
Operario 1	Derecha	5	Lenta	42,05	19,85
Operario 1	Derecha	1	Rápida	40,74	24,30
Operario 1	Derecha	3	Rápida	34,40	24,17
Operario 1	Derecha	4	Rápida	41,96	22,50
Operario 1	Derecha	5	Rápida	42,61	29,30
Operario 1	Derecha	6	Rápida	41,38	25,63
Operario 1	Izquierda	1	Lenta	40,87	18,06
Operario 1	Izquierda	2	Lenta	39,75	18,36
Operario 1	Izquierda	3	Lenta	39,44	17,91
Operario 1	Izquierda	4	Lenta	41,68	17,98
Operario 1	Izquierda	5	Lenta	41,43	18,09
Operario 1	Izquierda	1	Rápida	41,94	20,62
Operario 1	Izquierda	2	Rápida	40,69	20,18
Operario 1	Izquierda	3	Rápida	41,39	19,09
Operario 1	Izquierda	4	Rápida	41,13	18,67
Operario 1	Izquierda	5	Rápida	41,59	20,37

Realizando un análisis de varianza de varios factores para la aceleración en el eje A (ahi (m/s²) A), perpendicular a la barra (eje y_n de la figura 18), a través de varias pruebas y gráficas, se determinan qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre este eje, además de evaluar la significancia de las interacciones entre los factores.

Estableciendo como variable dependiente la aceleración en el eje A y como factores de análisis, la presencia o ausencia de rama, la mano expuesta y la velocidad de vibrado, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 7.- Análisis de Varianza para la aceleración en el eje A - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Rama	0,0799424	1	0,0799424	0,03	0,8601
B: Mano	0,141035	1	0,141035	0,06	0,8150
C: Velocidad	0,0151498	1	0,0151498	0,01	0,9388
INTERACCIONES					
AB	1,11982	1	1,11982	0,44	0,5109
AC	0,561189	1	0,561189	0,22	0,6411
BC	5,72586	1	5,72586	2,26	0,1425
ABC	0,229788	1	0,229788	0,09	0,7652
RESIDUOS	81,0647	32	2,53327		
TOTAL (CORREGIDO)	88,9903	39			

Puesto que ningún Valor-P es menor que 0,05, ninguno de los factores o interacciones tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la aceleración en el eje A, con un 95,0% de nivel de confianza.

Sin embargo, si se realiza el mismo análisis estadístico para el eje B, en la dirección de la barra (eje x_h de la figura 18), se aprecia que en este caso los factores evaluados y la interacción entre los mismos, sí que afectan significativamente sobre la aceleración. Esto se debe fundamentalmente a que siempre hay una dirección mucho más influyente que las otras dos, ya que la hora de vibrar, el movimiento seguido por la mano a causa de la vibración a la que se ve sometida por el peine, siempre lleva una dirección predominante.

Dicho lo cual y tal y como se observa en la tabla del análisis de la varianza, los Valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores, puesto que siete Valores-P son menores que 0,05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la aceleración en el eje B, con un 95% de nivel de confianza.

Tabla 8.- Análisis de Varianza para la aceleración en el eje B - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Rama	49,5129	1	49,5129	31,42	0,0000
B: Mano	20,4949	1	20,4949	13,01	0,0010
C: Velocidad	66,8152	1	66,8152	42,41	0,0000
INTERACCIONES					
AB	28,8029	1	28,8029	18,28	0,0002
AC	18,2168	1	18,2168	11,56	0,0018
BC	12,7504	1	12,7504	8,09	0,0077
ABC	12,2811	1	12,2811	7,79	0,0088
RESIDUOS	50,42	32	1,57563		
TOTAL (CORREGIDO)	261,713	39			

Mostrando los resultados de una manera más gráfica, se aprecia que la aceleración se ve influenciada por la ausencia o no de ramas, llevando las mismas a variaciones significativas de la aceleración (figura 20).

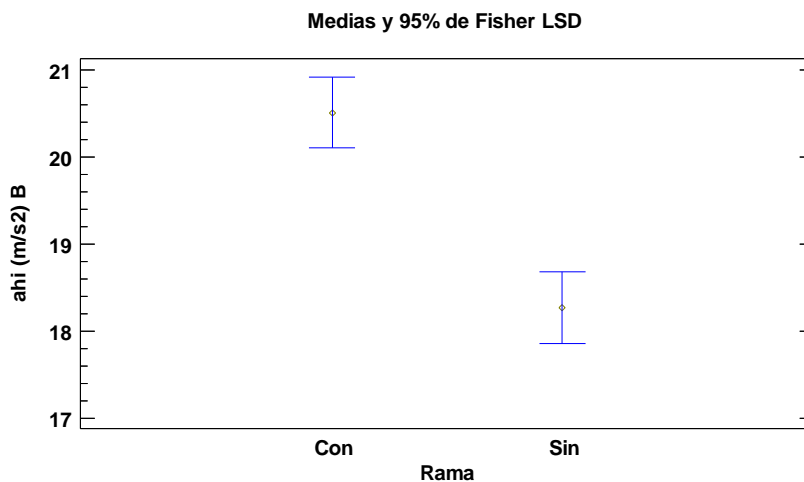


Figura 20.- Media y 95% de Fisher LSD: Aceleración (Eje B) – Rama

Análogo a este análisis se estudia la influencia de la aceleración sobre cada una de las manos (figura 21), determinando de esta forma que la mano derecha se ve expuesta a valores de aceleración más elevados que la mano izquierda. Esto se debe a que la mano derecha es la que se encarga de accionar el motor y mantenerlo en la posición idónea, por lo que soporta mayor peso y está expuesta a la mayor parte de la vibración.

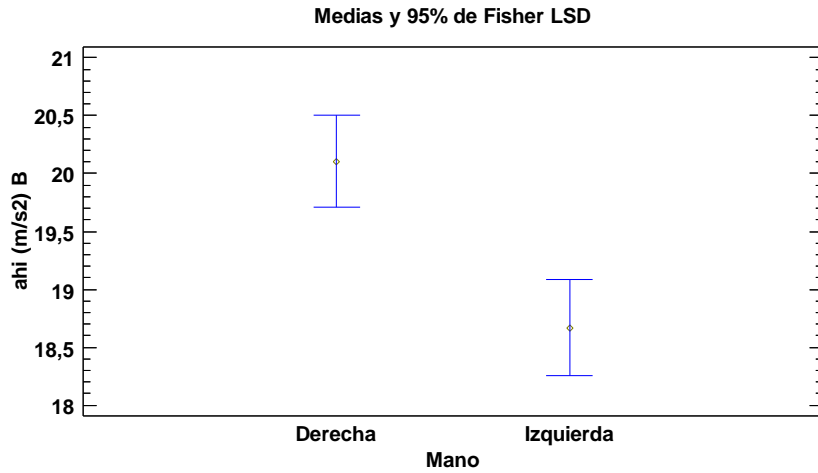


Figura 21.- Media y 95% de Fisher LSD: Aceleración (Eje B) – Mano

Con el fin de analizar la influencia que tiene la interacción entre los factores evaluados y la aceleración, la siguiente figura muestra como en ambas manos la exposición a la aceleración varía en función de la velocidad a la que se esté vibrando, es decir, cuando el equipo está a velocidad baja, la aceleración disminuye significativamente, tal y como cabía esperar, siendo el valor de la aceleración prácticamente el mismo para ambas manos. Lo mismo sucede, en presencia o no de ramas a la hora de realizar el vibrado, ya que cuando se procede a vibrar la aceleración es máxima y la presencia de ramas provoca que la vibración aumente.

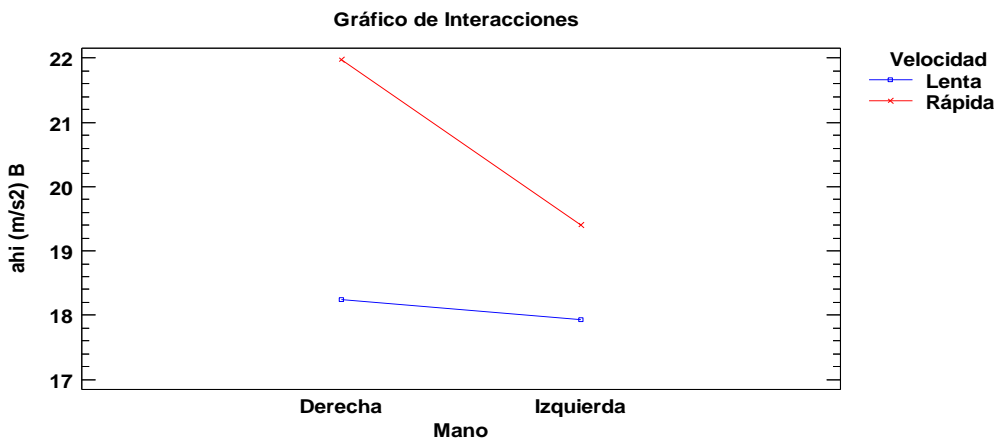


Figura 22.- Interacciones entre la aceleración (Eje B) – Mano - Velocidad

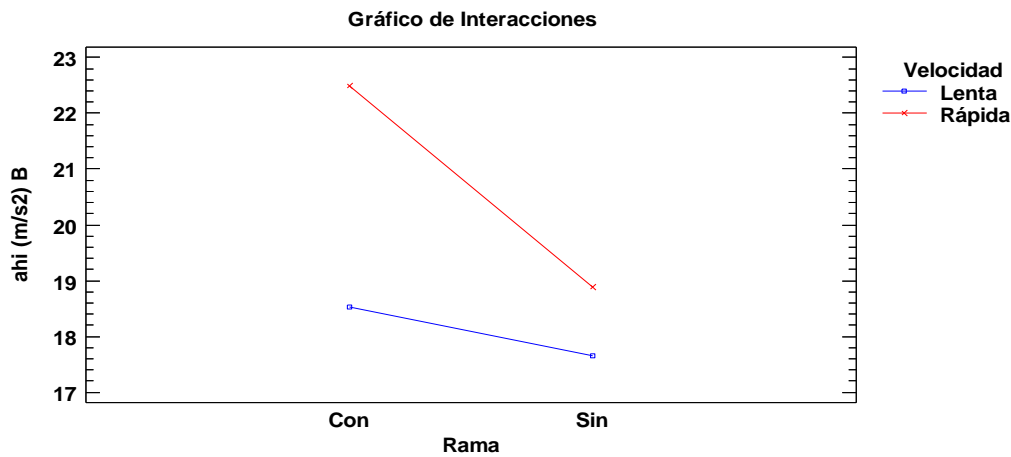


Figura 23.- Interacciones entre la aceleración (Eje B) – Rama - Velocidad

Frecuencias

Los efectos que producen las vibraciones en el operador dependen fundamentalmente, entre otras características ya mencionadas, de la frecuencia. La magnitud y la frecuencia de la vibración conjuntamente dan idea de la cantidad de energía que se transmite por la vibración.

Debido a que hay frecuencias más perjudiciales que otras, es necesario analizar el comportamiento de las mismas en función de los factores que se han estudiado anteriormente.

Una vez realizado en ANOVA Test (tabla 9), se observa que la mano y la velocidad son factores que tienen un efecto significativamente sobre la frecuencia tal y como cabía esperar, ya que al contrario que en el vibrador de ramas, en el peine eléctrico la vibración del equipo siempre es la misma y por ello ambas manos se ven igualmente afectadas, en el caso de la velocidad de forma lógica, a mayor velocidad mayor rango de frecuencias y por consiguiente, mayor efecto sobre la frecuencia. Sin embargo, en cuanto a la presencia o no de ramas, no se puede demostrar que éstas afectan a la vibración, ya que el Valor-P no presenta valores que afecten a la frecuencia significativamente.

Tabla 9.- Análisis de Varianza para la frecuencia- Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Rama	0,0082279	1	0,0082279	0,17	0,6854
B: Mano	0,321849	1	0,321849	6,54	0,0155
C: Velocidad	154,795	1	154,795	3143,87	0,0000
INTERACCIONES					
AB	0,00308893	1	0,00308893	0,06	0,8038
AC	0,0082279	1	0,0082279	0,17	0,6854
BC	0,014543	1	0,014543	0,30	0,5906
ABC	0,00308893	1	0,00308893	0,06	0,8038
RESIDUOS	1,57558	32	0,049237		
TOTAL (CORREGIDO)	159,08	39			

Vibraciones mecánicas, exposición diaria estandarizada a 8 horas, A (8)

La vibración a la que se encuentra expuesto el trabajador se ha calculado tal y como se ha explicado en la metodología, determinando previo a la obtención del A (8), los valores referentes al factor de ponderación en frecuencia (*Whi*) y los valores referentes a la aceleración eficaz ponderada (*ahw*).

Los resultados obtenidos para el peine eléctrico con poco volumen de ramas, se presentan en la tabla 10.

Tabla 10.- Valores de aceleración eficaz ponderada (*ahw*) para el peine eléctrico con poco volumen de ramas

Operario	Mano	Repetición	Velocidad	ahi (m/s ²) A	ahi (m/s ²) B	Frecuencia (Hz)	Whi	ahw (m/s ²)
Operario 1	Derecha	1	Lenta	39,64	17,72	13,64	0,9378	40,720
Operario 1	Derecha	2	Lenta	40,51	18,02	13,30	0,9438	41,847
Operario 1	Derecha	3	Lenta	41,73	17,26	13,38	0,9424	42,558
Operario 1	Derecha	4	Lenta	40,04	18,17	13,71	0,9366	41,181
Operario 1	Derecha	5	Lenta	44,01	16,35	13,34	0,9431	44,278
Operario 1	Derecha	1	Rápida	41,35	20,35	17,35	0,8575	39,520
Operario 1	Derecha	2	Rápida	40,78	18,56	17,59	0,8507	38,115
Operario 1	Derecha	3	Rápida	39,88	16,54	17,35	0,8575	37,023
Operario 1	Derecha	4	Rápida	40,31	18,08	17,53	0,8524	37,658
Operario 1	Derecha	5	Rápida	39,36	20,09	17,41	0,8558	37,819
Operario 1	Derecha	6	Rápida	43,45	18,98	17,64	0,8493	40,267
Operario 1	Izquierda	1	Lenta	39,97	18,44	13,42	0,9417	41,452
Operario 1	Izquierda	2	Lenta	41,51	16,77	13,17	0,9461	42,358
Operario 1	Izquierda	3	Lenta	39,96	17,93	13,46	0,9410	41,214
Operario 1	Izquierda	4	Lenta	37,96	19,05	13,13	0,9468	40,214
Operario 1	Izquierda	5	Lenta	41,21	16,77	13,48	0,9406	41,851
Operario 1	Izquierda	1	Rápida	40,89	20,30	17,64	0,8493	38,770
Operario 1	Izquierda	2	Rápida	40,59	19,32	17,18	0,8624	38,766
Operario 1	Izquierda	3	Rápida	41,48	17,65	16,85	0,8718	39,299
Operario 1	Izquierda	4	Rápida	41,07	18,78	17,51	0,8530	38,520

Teniendo en cuenta las diferentes exposiciones según el tiempo de vibración, de acuerdo a las intensidades de trabajo establecidas en el apartado 6.3.2., se ha calculado el valor de A (8), tabla 11, siguiendo el procedimiento establecido por la ISO 5349-1: 2001.

Tabla 11.- Valores de A (8) para el peine eléctrico con poco volumen de ramas en función de la intensidad de trabajo

		Intensidad		
		Baja	Media	Alta
	Mano	A(8) m/s ²	A(8) m/s ²	A(8) m/s ²
	2 operarios	Derecha	16,49	22,35
Izquierda		16,47	22,34	26,96
Derecha		8,25	11,18	13,48
Izquierda		8,23	11,17	13,48
4 Operarios	Derecha	4,12	5,59	6,74
	Izquierda	4,12	5,58	6,74

Como bien se observa en la tabla 11 los valores de A (8) para ambas manos son prácticamente iguales, ya que al intervenir ambas manos a la hora de realizar el vibrado y por las propias características del equipo, la vibración se transmite por igual. También se puede apreciar que si se realizará el trabajo entre dos operarios, la vibración se reduce significativamente, sin embargo, en cuanto a los límites establecidos por la normativa vigente, éstos siguen siendo demasiado elevados, como se expondrá en el apartado 8 de discusión de resultados.

Así mismo, los resultados obtenidos para el peine eléctrico en presencia de ramas, se presentan en la tabla 12. Se observan conclusiones muy similares a las encontradas en el caso del uso del peine en ausencia de ramas

Tabla 12.- Valores de aceleración eficaz ponderada (ahw) para el peine eléctrico con gran volumen de ramas

Operario	Mano	Repetición	Velocidad	ahi (m/s ²) A	ahi (m/s ²) B	Frecuencia (Hz)	Whi	ahw (m/s ²)
Operario 1	Derecha	1	Lenta	41,07	19,13	13,64	0,9378	42,489
Operario 1	Derecha	2	Lenta	41,49	19,14	13,30	0,9438	43,125
Operario 1	Derecha	3	Lenta	41,06	18,43	13,38	0,9424	42,415
Operario 1	Derecha	4	Lenta	40,98	18,33	13,71	0,9366	42,045
Operario 1	Derecha	5	Lenta	42,05	19,85	13,40	0,9421	43,805
Operario 1	Derecha	1	Rápida	40,74	24,30	17,35	0,8575	40,678
Operario 1	Derecha	3	Rápida	34,40	24,17	17,35	0,8575	36,052
Operario 1	Derecha	4	Rápida	41,96	22,50	17,53	0,8524	40,584
Operario 1	Derecha	5	Rápida	42,61	29,30	17,41	0,8558	44,256
Operario 1	Derecha	6	Rápida	41,38	25,63	17,64	0,8493	41,337
Operario 1	Izquierda	1	Lenta	40,87	18,06	13,42	0,9417	42,078
Operario 1	Izquierda	2	Lenta	39,75	18,36	13,17	0,9461	41,427
Operario 1	Izquierda	3	Lenta	39,44	17,91	13,46	0,9410	40,760
Operario 1	Izquierda	4	Lenta	41,68	17,98	13,13	0,9468	42,980
Operario 1	Izquierda	5	Lenta	41,43	18,09	13,48	0,9406	42,524
Operario 1	Izquierda	1	Rápida	41,94	20,62	17,64	0,8493	39,690
Operario 1	Izquierda	2	Rápida	40,69	20,18	17,18	0,8624	39,168
Operario 1	Izquierda	3	Rápida	41,39	19,09	16,85	0,8718	39,736
Operario 1	Izquierda	4	Rápida	41,13	18,67	16,83	0,8723	39,403
Operario 1	Izquierda	5	Rápida	41,59	20,37	17,51	0,8530	39,501

Tabla 13.- Valores de A (8) para el peine eléctrico con gran volumen de ramas en función de la intensidad de trabajo

		Intensidad		
		Baja	Media	Alta
	Mano	A(8) m/s ²	A(8) m/s ²	A(8) m/s ²
	2 operarios	Derecha	16,93	22,97
Izquierda		16,61	22,54	27,20
Derecha		8,46	11,48	13,86
Izquierda		8,31	11,27	13,60
4 Operarios	Derecha	4,23	5,74	6,93
	Izquierda	4,15	5,63	6,80

7.3. Resultados del vibrador de ramas

Aceleraciones

La recolección del olivar llevada a cabo mediante el vibrador de ramas, presenta unas características diferentes frente al peine eléctrico. Cuando se utiliza el vibrador de ramas, el trabajo siempre se realiza por cuadrillas de trabajadores que se alternan el uso del equipo, ya que es muy difícil que un mismo operario trabaje con el vibrador de ramas durante toda la jornada. Aunque, en algunas ocasiones el operario más capacitado o más habilidoso carga toda la jornada con el equipo y se encarga de las vibraciones.

Por ello el estudio de este equipo, se ha realizado sobre la mano derecha de dos operarios con dimensiones corporales completamente expuestas (54 kg y 84 kg de peso), ya que en las cuadrillas de trabajo es posible encontrar operarios con condiciones físicas diferentes, estudiando así el comportamiento de la aceleración en función del tamaño del operario y de las características que presenta la rama a vibrar.

El vibrador de ramas, como ya se ha especificado anteriormente, trabaja con un motor de dos tiempos, un tiempo que mantiene el equipo en marcha, denominado ralentí, y un segundo tiempo con el que se realiza el vibrado a máxima potencia, como ambos tiempos producen una vibración a la que el trabajador se encuentra expuesto, se han tomado medidas de aceleración en ambos tiempos.

Las aceleraciones medidas y sus correspondientes frecuencias para cada uno de los supuestos se presentan en la tabla 14.

Tabla 14.- Frecuencias y aceleraciones para el vibrador de ramas

Operario	Rama	ahi (m/s ²) A		ahi (m/s ²) B		Frecuencia (Hz)
		Vibrando	Ralentí	Vibrando	Ralentí	
Grande	1	31,14	22,58	32,19	9,37	16,99
Grande	2	36,94	22,91	47,40	9,55	26,13
Grande	3	34,89	23,26	38,63	9,51	24,42
Pequeño	1	44,42	22,92	44,43	9,38	16,68
Pequeño	2	49,46	23,00	49,47	9,76	24,79
Pequeño	3	74,27	23,11	58,08	9,55	24,42

Realizando un análisis de varianza de varios factores para la aceleración en el eje A (a_{hi} (m/s^2) A), correspondiente a la dirección x_h de la figura 18 a través de varias pruebas y gráficas, se determinan qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el eje A, además de evaluar la significancia de las interacciones entre los factores.

Estableciendo como variable dependiente la aceleración a velocidad máxima en el eje A y como factores de análisis, la rama y el operario, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 15.- Análisis de Varianza para la aceleración a velocidad máxima en el eje A - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Operario	3397,86	1	3397,86	5,81	0,0243
B: Rama	1466,36	2	733,181	1,25	0,3040
INTERACCIONES					
AB	1145,03	2	572,513	0,98	0,3906
RESIDUOS	13441,9	23	584,429		
TOTAL (CORREGIDO)	19551,4	28			

Puesto que el Valor-P referente al operario es menor que 0,05, se demuestra que el tamaño del operador produce un efecto significativo sobre la aceleración con un 95,0% de nivel de confianza y se comprueba como la rama no tiene efecto sobre la aceleración registrada.

Mostrando el análisis de una forma gráfica en base a las medias y el 95% de Fisher LSD, se aprecia como la aceleración se ve afectada según el operario, presentando el operario pequeño una aceleración significativamente más grande, frente al operario grande.

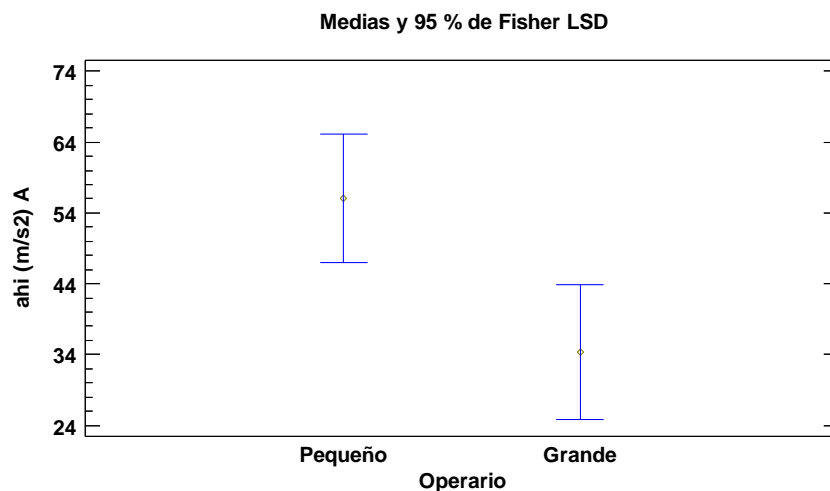


Figura 24.- Media y 95% de Fisher LSD: Aceleración a máxima velocidad (Eje A) – Operario

Sin embargo, si se realiza el mismo análisis estadístico cuando el equipo se encuentra al ralentí, se aprecia que en este caso los factores evaluados y la interacción entre los mismos, no afectan significativamente sobre la aceleración.

Tabla 16.- Análisis de Varianza para la aceleración a ralentí en el eje A - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Operario	0,063845	1	0,063845	0,33	0,5698
B: Rama	0,951259	2	0,475629	2,48	0,1061
INTERACCIONES					
AB	0,3125	2	0,15625	0,81	0,4555
RESIDUOS	4,41568	23	0,191986		
TOTAL (CORREGIDO)	5,7429	28			

Realizando ahora el análisis de varianza de los mismos factores para la aceleración en el eje B (ahi (m/s²) B), correspondiente al eje y_n de la figura 18 perpendicular a la barra, a través de varias pruebas y gráficas, se determinan qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el eje B, además de evaluar la significancia de las interacciones entre los factores.

Estableciendo como variable dependiente la aceleración a velocidad máxima en el eje B y como factores de análisis, la rama y el operario, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 17.- Análisis de Varianza para la aceleración a velocidad máxima en el eje B - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Operario	911,79	1	911,79	7,86	0,0101
B: Rama	664,98	2	332,49	2,87	0,0774
INTERACCIONES					
AB	356,722	2	178,361	1,54	0,2363
RESIDUOS	2669,11	23	116,048		
TOTAL (CORREGIDO)	4672,47	28			

Puesto que el Valor-P referente al operario vuelve a ser menor que 0,05, se demuestra que el tamaño del operador produce de nuevo un efecto significativo sobre la aceleración con un 95,0% de nivel de confianza.

Mostrando el análisis de una forma gráfica en base a las medias y el 95% de Fisher LSD, se aprecia como la aceleración se ve afectada según el operario, presentando el operario pequeño una aceleración significativamente más grande, frente al operario grande.

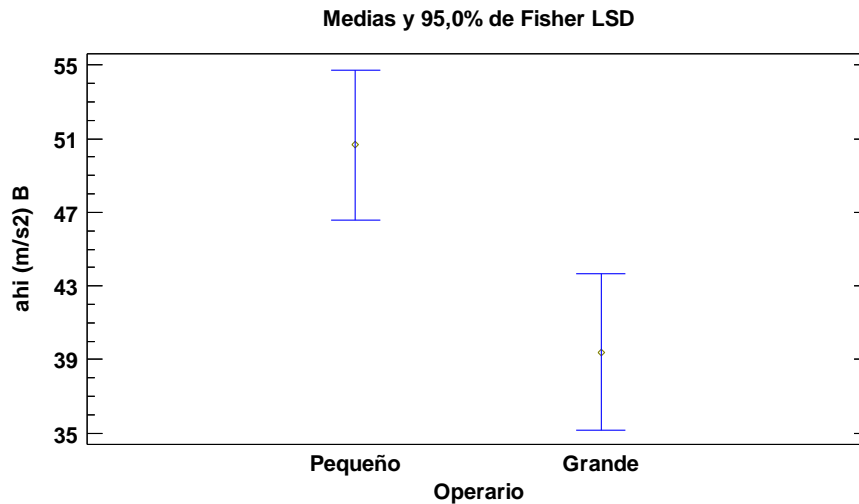


Figura 25.- Media y 95% de Fisher LSD: Aceleración a máxima velocidad (Eje B) – Operario

Sin embargo, como en el caso del eje A si se realiza el mismo análisis estadístico cuando el equipo se encuentra al ralentí, los factores evaluados y la interacción entre los mismos, no afectan significativamente sobre la aceleración.

Frecuencias

Una vez realizado en ANOVA Test (tabla 18), se observa que la rama es el factor que tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la frecuencia. Esto se debe a que en función de las características que presente la rama, esta ofrece una resistencia diferente a la vibración provocando la alteración en los niveles de frecuencia.

Tabla 18.- Análisis de Varianza para la frecuencia- Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Operario	2,15956	1	2,15956	3,64	0,0688
B: Rama	431,283	2	215,642	363,97	0,0000
INTERACCIONES					
AB	2,25502	2	1,12751	1,90	0,1719
RESIDUOS	13,627	23	0,592477		
TOTAL (CORREGIDO)	445,93	28			

Mostrando los resultados de una manera más gráfica, se aprecia que la frecuencia se ve influenciada según la rama, llevando las mismas a variaciones significativas de la aceleración (figura 26).

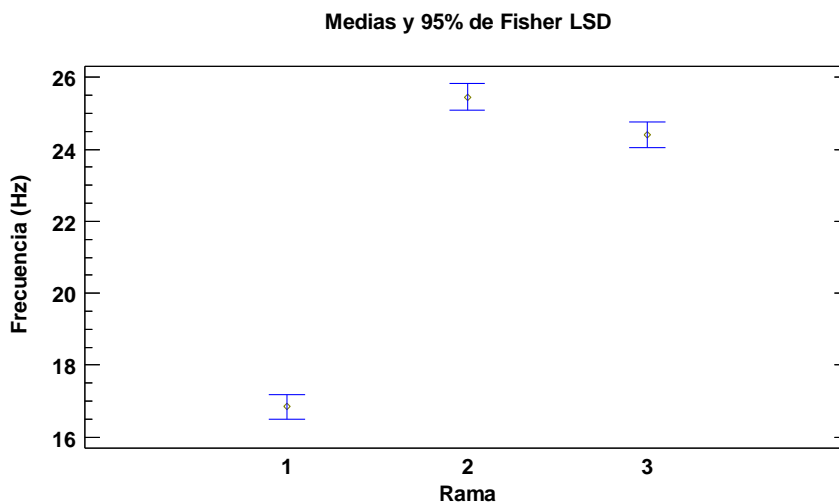


Figura 26.- Media y 95% de Fisher LSD: Frecuencia – Rama

De la misma forma que en apartados anteriores, parejo a este análisis se estudia la interacción entre los factores (rama y operador) y la frecuencia, apreciando de esta manera en la figura 26, que la frecuencia es independiente del operador que realiza el vibrado pero dependiente de la rama que se esté vibrando, es decir, la frecuencia presenta valores similares para los dos operadores vibrando la misma rama, y valores dispares de frecuencia para el mismo operario pero diferente rama.

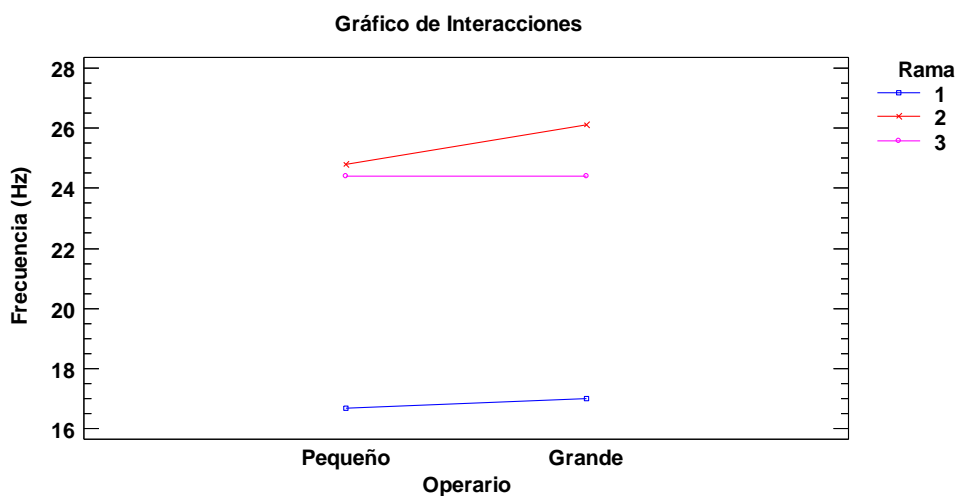


Figura 27.- Interacciones entre la frecuencia y los factores evaluados

Vibraciones mecánicas, exposición diaria estandarizada a 8 horas, A (8)

La vibración a la que se encuentra expuesto el trabajador se ha calculado aplicando el mismo procedimiento que en el caso del peine eléctrico, con la diferencia de que en este caso hay que tener cuenta que el equipo trabaja a dos tiempos, y que por lo tanto el cálculo de los valores referentes al factor de ponderación en frecuencia (*Whi*) y los valores referentes a la aceleración eficaz ponderada (*ahw*), se realiza cuando el equipo se encuentra al ralentí y cuando se encuentra vibrando a la velocidad máxima.

Los resultados obtenidos para vibrador de ramas, se presentan en la tabla 19.

Tabla 19.- Valores de aceleración eficaz ponderada (*ahw*) para el vibrador de ramas

Operario	ahi (m/s ²)		Frecuencia (Hz)		Whi		ahw (m/s ²)	
	Vibrando	Ralentí	Vibrando	Ralentí	Vibrando	Ralentí	Vibrando	Ralentí
Pequeño	75,55	24,92	21,96	37,78	0,729	0,439	55,08	10,94
Grande	52,26	24,80	22,51	38,08	0,714	0,435	37,31	10,79

Una vez obtenidos los valores de aceleración eficaz ponderada, se determinan el A (8) para cada operador, utilizando los tiempos estimados en la tabla 3. Teniendo en cuenta que el trabajo se lleva a cabo como mínimo por dos operadores, la tabla 20 muestra los resultados obtenidos en función de los tiempos de trabajo, establecidos anteriormente, en función de la intensidad.

Tabla 20.- Valores de A (8) para el vibrador de ramas en función de la intensidad de trabajo

Operario		Intensidad			
		Baja	Media	Intensa	Muy intensa
Pequeño	2 operarios	10,11	13,82	16,51	20,13
	4 operarios	7,15	9,77	11,68	14,23
Grande	2 operarios	7,13	9,74	11,64	14,18
	4 operarios	5,04	6,88	8,23	10,03

7.4. Resultados del vibrador de troncos

En el estudio del vibrador de troncos no se ha realizado un análisis estadístico de las aceleraciones y de las frecuencias, ya que los valores de frecuencia y aceleración de la vibración transmitida al pie y a la mano eran similares para distintos trabajadores y árboles.

Centrándonos en el estudio del A(8), el procedimiento seguido, al igual que en los apartados anteriores, se ha realizado obteniendo en primera instancia los valores de la aceleración eficaz y de frecuencia (tabla 21) para los dos ejes predominantes, en este caso el eje B y el eje C.

Tabla 21.- Frecuencias y aceleraciones para el vibrador de troncos

	Repetición	Frecuencia (Hz)	ahi (m/s ²) B		ahi (m/s ²) C	
			Ralentí	Vibrando	Ralentí	Vibrando
Pie izquierdo	1	15,86	12,68	13,03	12,07	12,33
	2	17,84	13,40	14,31	11,92	12,93
	3	16,03	13,60	14,44	12,05	12,96
	4	17,84	13,76	15,46	12,20	14,10
	5	15,98	13,42	15,15	12,30	14,15
Mano derecha	1	16,03	10,58	11,20	11,48	11,91
	2	18,18	11,19	14,04	11,05	11,73
	4	18,22	11,17	11,82	10,83	11,61
	5	18,28	12,14	16,34	11,51	11,94

Una vez determinados los valores de aceleración y frecuencia, se ha calculado la aceleración eficaz ponderada, a partir del factor de ponderación en frecuencia (*Whi*). Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 22.- Valores de aceleración eficaz ponderada (ahw) para el vibrador de troncos

	Whi	ahw (m/s ²)	
		Ralentí	Vibrando
Pie izquierdo	0,898	15,73	16,12
	0,844	15,13	16,27
	0,895	16,26	17,37
	0,844	15,51	17,65
	0,896	16,32	18,58
Mano derecha	0,895	13,97	14,63
	0,834	13,11	15,25
	0,833	12,96	13,80
	0,831	13,90	16,82

El valor de A (8) en el caso del vibrador de troncos se ha realizado, para dos rendimientos de la maquinaria distintos (60% y 80), según las experiencias en campo y los rendimientos establecidos en Tabla del Anuario de ASAE, modificado según (Ortiz-Cañavate *et al.*, 2003) según se indica en la tabla 4.

Los valores de A (8) para cada rendimiento según la parte del cuerpo evaluada se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 23.- Valores de A (8) en función del rendimiento para el vibrador de troncos

		A(8) m/s²	
		Rend. 60%	Rend. 80%
		1 Operario	
Pie		12,61	14,15
Mano		10,89	12,40
		2 Operarios	
Pie		6,30	7,07
Mano		5,45	6,20

Como se puede observar en la tabla 23 la vibración transmitida al operador depende del rendimiento de la maquinaria, aumentando en 2 m/s^2 el valor de A(8) tanto para el pie como para la mano. También, se observa que la vibración a la que está sometido el pie es mayor que la de la mano, esto es debido a que es el pie izquierdo el encargado de acelerar el tractor a velocidad máxima para conseguir el vibrado del olivo, provocando que soporte la mayor parte de la vibración.

8. Discusión de resultados

Según la Norma UNE-EN ISO 5349-1:2001 la probabilidad de que un determinado individuo pueda desarrollar síntomas del síndrome de las vibraciones mano-brazo, depende de su susceptibilidad, de cualquier tipo de condiciones y enfermedades preexistentes, y del tipo de trabajo realizado, ambiente y factores personales.

La prevalencia de síntomas en un grupo de personas, tal que cada una desarrolla trabajos equivalentes utilizando una herramienta similar, en los que las vibraciones se acoplan a las manos, es adicionalmente dependiente de los factores individuales y de exposición en el grupo.

Ha habido intentos de estimar la exposición a las vibraciones requeridas para producir diferentes prevalencias de dedo blanco en grupos de personas desarrollando un trabajo equivalente realizado con herramientas similares. La tabla 24 muestra la exposición diaria a las vibraciones, $A(8)$, que es estimada para producir dedo blanco inducido por las vibraciones en un 10% de las personas expuestas.

Tabla 24.- Valores de la exposición diaria a las vibraciones $A(8)$ para los que puede esperarse que se produzcan episodios de dedo blanco en un 10% de las personas expuestas durante un número dado de años D_y

Años	1	2	3	4
$A(8)$ m/s ²	26	14	7	3,7

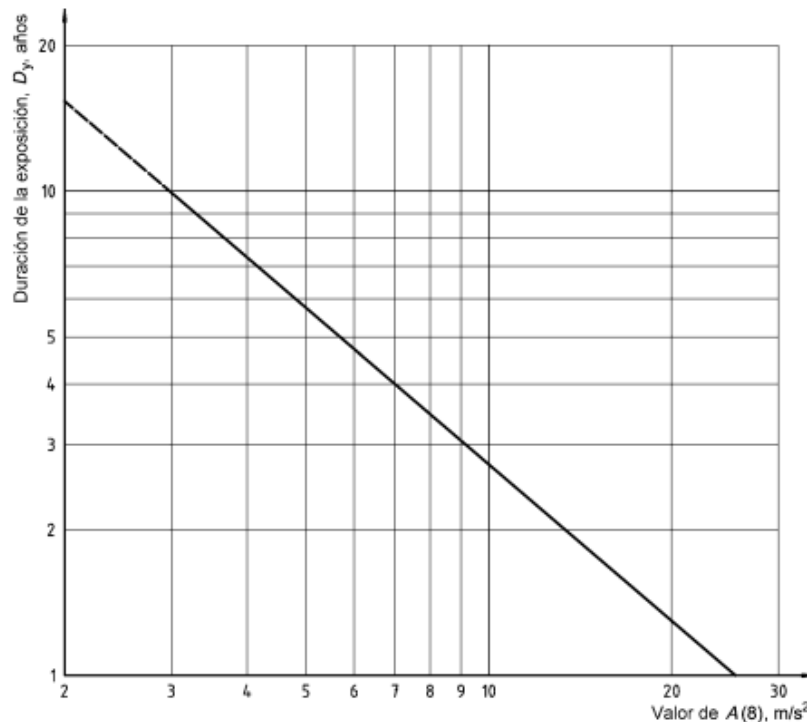


Figura 28.-Exposición a las vibraciones para una prevalencia prevista del 10% de dedo blanco inducido por las vibraciones en un grupo de personas expuesto

Por otro lado, de acuerdo con lo establecido por el Real Decreto 1311/2005 la evaluación del riesgo derivado de la exposición a vibraciones mecánicas debe hacerse determinando el valor del parámetro A(8), que representa el valor de la exposición diaria normalizado para un periodo de 8 horas, y comparando el valor obtenido con el valor que da lugar a una acción y con el valor límite que vienen fijados en el propio real decreto y que se recogen en la tabla 25.

De esta comparación pueden derivarse tres situaciones:

- A(8) es inferior al valor que da lugar a una acción.
- A(8) está comprendido entre el valor de acción y el valor límite
- A(8) es superior al valor límite.

Tabla 25.- Valores que dan lugar a una acción y valores límites

	Valor que da lugar a una acción	Valor límite
Vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo	2,5 m/s ²	5 m/s ²

A continuación, y en base a los límites establecidos por la normativa, se ha realizado un análisis de los resultados obtenidos para cada uno de los equipos evaluados.

8.1. Discusión de resultados del peine eléctrico

8.1.1. Discusión de resultados del peine eléctrico en relación con la normativa

Los resultados obtenidos para el peine eléctrico muestran que los trabajadores están expuestos a altos niveles de vibración sobrepasando, para cualquiera que sea la intensidad de trabajo, los límites establecidos por el Real Decreto 1311/2005.

En el supuesto de que el trabajo se realizará en una plantación familiar, donde en época de recolección de la oliva se realice el trabajo entre varios operarios a una intensidad de trabajo baja, nos encontramos con valores de A(8) muy cercanos al valor límite para ambas manos, llevando a una situación de riesgo.

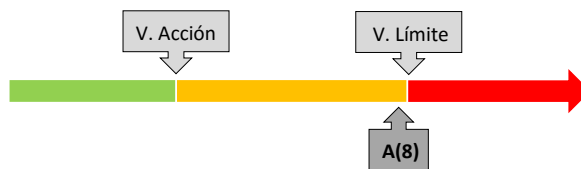


Figura 29.- El valor de A(8) está entre el valor de acción y el valor límite

Por otro lado el uso prolongado de este equipo, de acuerdo a la Norma UNE-EN ISO 5349-1:2001, debido a los valores de A(8) obtenidos para un trabajador a una intensidad de trabajo media, en el caso de que el trabajo se desarrollará de manera continuada durante todo el año, el 10% de la población expuesta podría

sufrir el síndrome de vibración mano-brazo (dedo blanco) después de un año y de tres años en el caso de que el trabajo se realizara entre dos trabajadores.

8.1.2. Discusión de resultados del peine eléctrico en relación con estudios previos

El uso de vibradores de troncos está limitado por las malas condiciones de traficabilidad, por la propia topografía del terreno, por el tipo de plantación y por el tamaño de la explotación que implica condicionantes económicos. Todo esto hace que en muchas ocasiones se utilicen equipos portátiles como los peines eléctricos y los vibradores de ramas.

Aunque el uso de los peines eléctricos está menos extendido que el vibrador de ramas debido a que su rendimiento no es tan elevado para intensidades de trabajo normales, los trabajadores se encuentran expuestos a valores de $A(8)$ entorno a los 22 m/s^2 . Estos resultados obtenidos coinciden con los referidos en los trabajos realizados por el Departamento de Ingeniería Agrícola de Catania (Italia) en el año 2010, donde para los equipos evaluados dieron valores de $A(8)$ en torno a 20 m/s^2 .

8.2. Discusión de resultados del vibrador de ramas

8.2.1. Discusión de resultados del vibrador de ramas en relación con la normativa

Los resultados obtenidos para el vibrador de ramas muestran que los trabajadores están expuestos a altos niveles de vibración sobrepasando, para cualquiera que sea la intensidad de trabajo, los límites establecidos por el Real Decreto 1311/2005.

En este caso la estimación del $A(8)$ se ha realizado en función de dos tipos de trabajadores (pequeño y grande) llevando bajo todas las condiciones de trabajo estimadas, a una situación de riesgo intolerable, incluso para los trabajos realizados por cuatro operadores de gran tamaño con una intensidad de trabajo baja ($A(8)$ $5,62 \text{ m/s}^2$).

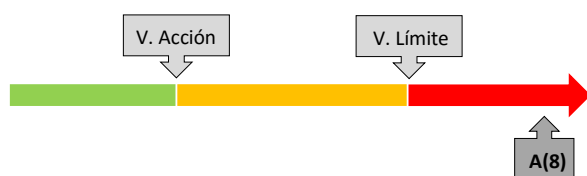


Figura 30.- El valor $A(8)$ supera el valor límite

Al igual que en el caso del peine eléctrico, el uso prolongado de este equipo, de acuerdo a la Norma UNE-EN ISO 5349-1:2001, debido a los valores de $A(8)$ obtenidos, indica que en el 10% de la población expuesta podría sufrir el síndrome del dedo blanco después de tres años en el caso de los operadores de alto peso, y después de únicamente un año en el caso de operadores de bajo peso, en el uso continuo de los equipos y bajo las condiciones de tiempo estimados.

8.2.2. Discusión de resultados del vibrador de ramas en relación con estudios previos

En algunas plantaciones familiares donde una única persona podría trabajar con el vibrador de ramas, mientras el resto de trabajadores están a cargo de otras operaciones, teniendo en cuenta que está trabajando la mitad del tiempo con el equipo (dos horas y media al ralenti y una hora y cuarto de vibración) el valor de A(8) incrementaría hasta 27 m/s² para una jornada de trabajo muy intensa.

Estos resultados coinciden con los encontrados en estudios previos (Pascuzzi *et al.*, (2008), Calvo *et al.*, (2014)) y confirmando la idea de que los vibradores de ramas presentan un alto grado de riesgo para el trabajador, incluso cuando se utiliza en una intensidad de trabajo baja.

8.3. Discusión de resultados del vibrador de troncos

8.3.1. Discusión de resultados del vibrador de troncos en relación con la normativa

La creciente demanda de tractores que se ha producido en plantaciones de alta intensidad, ha sustituido a la mano de obra en muchos de los trabajos que se realizan en el olivar.

Las características del tractor deben adaptarse al estudio realizado en este trabajo, teniendo en cuenta las diferentes operaciones que realiza, entre las que siempre destacará el derribo de la aceituna mediante vibradores acoplados al tripunjal delantero del tractor o a los brazos de una pala cargadora al tripunjal delantero del tractor..

Con este fin hay que tomar en consideración que para vibrar entre 300 y 600 troncos por día, se necesitan realizar otras operaciones de aproximación y separación. Al manejarse el conjunto de mandos del vibrador con la mano derecha y una vez enganchado el vibrador al árbol se necesita acelerar el motor del tractor con el pie izquierdo, se han tomado en consideración ambas partes para el análisis de la vibración transmitida.

En el caso del vibrador de troncos el cálculo del A (8), como ya se ha mencionado anteriormente, se ha realizado para la mano derecha y el pie izquierdo, sin embargo, para este último únicamente se muestran los valores de vibración obtenidos, sin entrar en un análisis en base a la normativa ya que ésta sólo refleja el sistema mano-brazo.

De nuevo el valor de A (8) obtenido para el sistema mano-brazo, se encuentra por encima del límite establecido, para cualquier rendimiento y realizando el trabajo entre dos operarios, lo cual nos lleva a un riesgo intolerable.

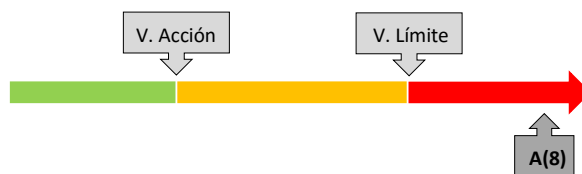


Figura 31.- El valor A(8) supera el valor límite

Siguiendo la misma dinámica que en el peine eléctrico y el vibrador de ramas, el uso prolongado de esta maquinaria, indica que el 10% de la población expuesta podría sufrir el síndrome del dedo blanco después de tres años en el uso continuado de los equipos y bajo las condiciones de rendimientos estimados.

8.3.2. Discusión de resultados del vibrador de troncos en relación con estudios previos

A la hora de determinar los valores de $A(8)$ se apreciaba al igual que en los estudios realizados por la Universidad de Zagreb (Vlado Gloglia *et al.*, 2006), que habían dos ejes predominantes que presentaban aceleraciones mucho mayores, llevando a valores de $A(8)$ entorno a los 10 m/s y concluyendo que tras tres o cuatro años de trabajo continuado podrían desarrollar el trastorno del dedo blanco.

9. Análisis comparativo entre los sistemas de recolección

Como último análisis se ha decidido comparar los valores de $A(8)$ entre el peine eléctrico y el vibrador de ramas, bajo diferentes ítems de condiciones de trabajo.

En primer lugar, en la figura 32, se confrontan los valores de $A(8)$ obtenidos para los dos equipos, a tres intensidades de trabajo distintas, realizando el trabajo por dos operarios de dimensiones pequeñas.

Se puede apreciar que el vibrador de ramas presenta valores muy superiores de vibración frente al peine eléctrico, por lo que, el vibrador de ramas es mucho más agresivo para el sistema mano-brazo en operarios de pequeño tamaño que el peine eléctrico.

Esto es debido a que el vibrador de ramas cuando no está vibrando no transmite tanta vibración como la que transmite el peine eléctrico que trabaja a una vibración constante, sin embargo, cuando se procede a la vibración a velocidad máxima, los valores de $A(8)$ se disparan, no pudiendo estar el operario más de 10 minutos de vibrado continuado.

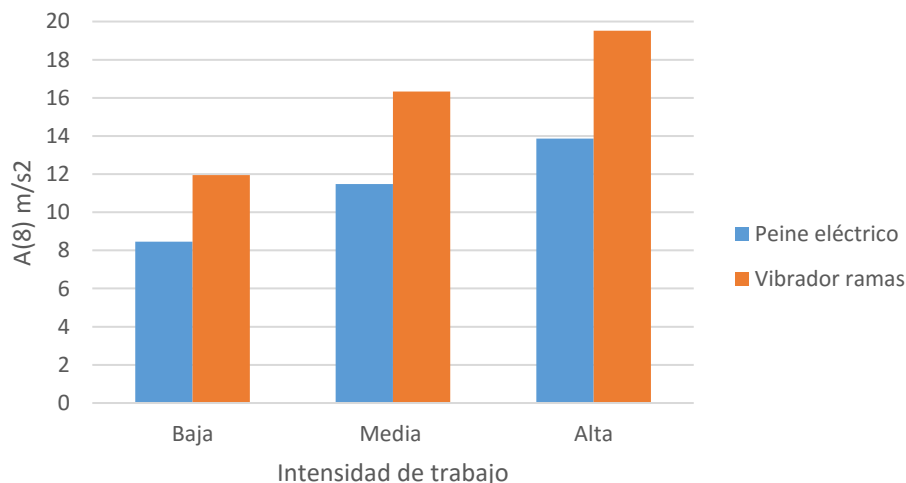


Figura 32.- Comparación de los valores de $A(8)$ entre el peine eléctrico y el vibrador de ramas (2 operarios pequeños)

Ahora bien, si se realiza la misma comparativa con operarios de gran tamaño (figura 33), la diferencia entre los valores de $A(8)$ entre el peine eléctrico y el vibrador de ramas, se invierten, es decir, aunque la diferencia no es significativamente tan grande como en el caso anterior, las vibraciones transmitidas al operario son mayores con el peine eléctrico.

La explicación de éste hecho radica en que los operarios de gran tamaño son capaces de amortiguar mejor las vibraciones transmitidas por el vibrador de ramas cuando se procede a la vibración, sin embargo, la vibración constante a la que están expuestos con el peine eléctrico junto con las bajas frecuencias hace que este equipo transmita mayores vibraciones a este tipo de operarios.

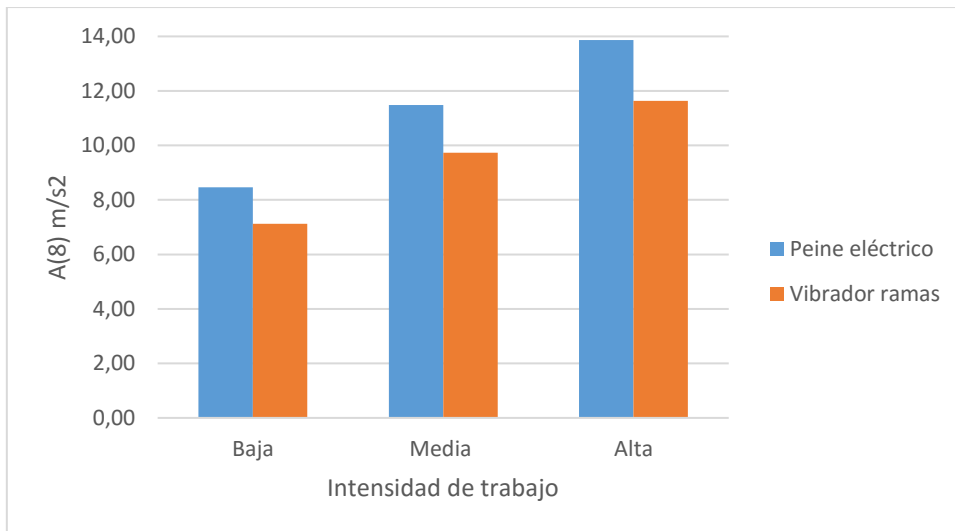


Figura 33.- Comparación de los valores de A(8) entre el peine eléctrico y el vibrador de ramas (2 operarios grandes)

El trabajo realizado con el peine eléctrico, además de utilizarse como un pre-vibrado, se realiza en condiciones de intensidad baja, ya que al ser menos agresivo que el vibrador de ramas, requiere una menor especialización y por ende, es utilizado por varios operarios de la cuadrilla durante la jornada

Por el contrario, el vibrador de ramas requiere mayor experiencia y una complejión atlética por parte del operario, por lo que el trabajo se realiza por uno o dos operarios durante toda la jornada y debido a su alto rendimiento, a intensidades de trabajo elevadas.

Por consiguiente, con el fin de reflejar la realidad, la siguiente figura muestra la comparación entre el peine eléctrico utilizado por cuatro operarios a una intensidad de trabajo baja frente al vibrador de ramas utilizado por dos operarios a una intensidad alta de trabajo.

Como se puede apreciar, el valor de A(8) para el vibrador de ramas es mucho más elevado frente al peine eléctrico, presentando un valor significativamente mayor en el operario de tamaño pequeño.

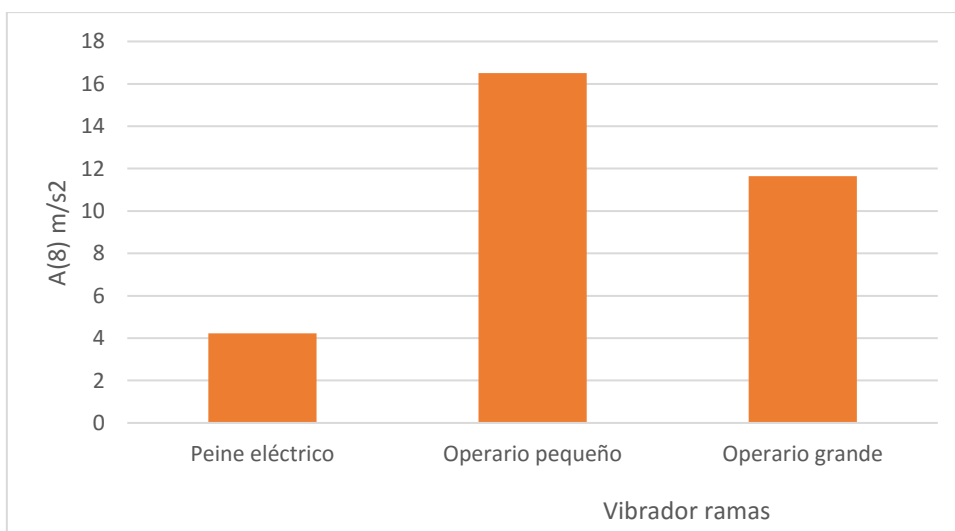


Figura 34.- Comparación de los valores de A(8) en condiciones reales de trabajo

10. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha evaluado y analizado la exposición a vibraciones en el sistema mano-brazo en diferentes equipos utilizados durante la recolección del olivar, a través de la captura y medición de las aceleraciones y frecuencias en los propios operarios.

El análisis de los datos ha llevado a determinar que entre los inconvenientes de los equipos, se pueden señalar el excesivo peso en algunos modelos y que la vibración la soporta directamente el operario, lo cual, puede hacer aparecer lesiones debidas a su utilización durante largos periodos de tiempo. En cuanto al peso se ha avanzado mucho pues ahora son máquinas mucho más ligeras, entre 10 y 15 kg, pues se están diseñando con materiales como los termoplásticos de ingeniería, también el titanio o aleaciones de aluminio sumamente resistentes y livianas pero aun así resulta una labor pesada que requiere que a lo largo de la jornada al menos 4 personas se turnen el manejo de los equipos. Sin embargo son equipos muy eficientes y los daños que ocasionan al árbol son mínimos.

Como punto crítico de este trabajo podría establecerse el tiempo de utilización de estos equipos, ya que no se utilizan durante todo el año, sino únicamente los meses de recolección de la aceituna, sin embargo, la Directiva Europea 2002/44/CE no menciona que tiempos de exposición mínimos se necesitan para evaluar la vibración, por lo que para exposiciones a vibraciones transmitidas en actividades estacionales los datos deben ser tratados como si el trabajo fuera continuado durante todo el año.

La observación de las operaciones llevadas a cabo durante el trabajo con el peine eléctrico, lleva a la conclusión de que la ligereza del mismo no lleva a una mejor amortiguación de la energía liberada cuando éste golpea las ramas, además al trabajar con una vibración constante a bajas frecuencias, hace que al final de la jornada el trabajador esté expuesto a altos niveles de vibración.

Por otra parte, el vibrador de ramas que presenta mayores valores de vibración frente al peine eléctrico, es el preferido por los operarios, ya que éstos al trabajar por temporadas y cobrar en función de las aceitunas recogidas, prefieren equipos que desprendan mejor las aceitunas y por consiguiente permiten una mayor productividad. Por lo que los trabajadores, aceptan pasivamente tener una sensación de hormigueo en los dedos al finalizar el trabajo diario de la recolección.

Durante la fase de campo del vibrador de troncos, se decidió medir las aceleraciones a la que estaba sometido el pie izquierdo, ya que el operador indicó que al realizar la vibración del olivo, percibía un alto nivel de vibración en el mismo, sin embargo, tras obtener el valor del A(8), el análisis de la vibración a las que se encuentran sometidos los pies en la diferente maquinaria agrícola, queda propuesta para estudios futuros al no quedar enmarcado dentro del sistema mano-brazo evaluado a lo largo de este trabajo.

Un paso siguiente es implicar a los fabricantes, proporcionándoles estándares para certificar que los valores de vibración de sus equipos, están por debajo de los establecidos por la normativa vigente, ya que aparte de del riesgo de padecer el trastorno del dedo blanco, la utilización de estos equipos pueden derivar en problemas músculo-esqueléticos de las extremidades superiores, además de problemas de tipo neurosensorial y vascular.

Los riesgos físicos como la vibración mano-brazo o el síndrome del dedo blanco, son mucho menos conocidos que otros factores, debido a que presentan problemas a largo plazo, especialmente en el sector del

cultivo del olivar donde los operarios trabajan sin contratos y se les paga por productividad, dejando de lado la seguridad y salud de mismos, debido en gran parte a la ausencia de controles en este sector.

11. Referencias bibliográficas

- Myers, M. L., Field, W. E., Griffin, M. J.** 2001. Agricultura y sectores basados en recursos naturales. En Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*.
- Ruiz, L. R.** 2007. *NTP 771. Agricultura: prevención de riesgos biológicos*.
- Ministerio de Empleo y Seguridad Social.** 2015. *Estadísticas de Accidentes de Trabajo. Enero - Diciembre 2014*.
- Garrido-Fernández, A. F.-D.** 2013. Olives Production and Processing. *Recolección mecanizada del olivar de mesa con vibradores de troncos*. Madrid.
- Márquez, L.** 2009. La mecanización en el olivar. *Suplemento Especial*.
- Porras, A., Marcilla, I., González, J. A., & Redondo, A.** (s.f.). *Recolección mecanizada de aceituna*.
- Sánchez, C. O.** (s.f.). Prácticas Maquiaria y Equipos para la Producción Agroalimentaria. *Sistemas de recolección de frutos arbóreos*.
- Sierra, J. G.** 2005. Maquinaia para derribo y recogida de aceituna. *Vida Rural*, 68.
- Sierra, J. G.** 2006. Últimas novedades en la recolección mecanizada de la aceituna. *Vida Rural*, 4.
- Calvo, A., Deboli, R., Preti, C., De María, A.** 2014. *Daily exposure to hand arm vibration by different electric olive beaters*. Journal of Agricultural Engineering. 45 (424): 103-110.
- Gerhardsson. L., Burstrom. L., Hagberg. M., Lundstrom. R; Nilsson. T.** 2013. *Quantitative neurosensory findings symptoms and signs in young vibration exposed workers*. Journal of Occupational Medicine and Toxicology. 8:8
- Cerruto. E; Manetto. G; Schillaci. G.** 2010. *Vibrations Produced by Electric Shakers for Olive Harvesting*. International Conference Ragusa SHWA2010 – September 16-18. 2010 Ragusa Ibla Campus- Italy “Work Safety and Risk Prevention in Agro-food and Forest Systems”
- Goglia. V.** 2006. *Influence on operator's health of hand-transmitted vibrations from handles of a single-axle tractor*.
- Senovilla, L.P.** 2009. *NTP 839. Exposición a vibraciones mecánicas. Evaluación del riesgo*.
- AENOR. UNE-EN ISO 5349:1 (2002).** *Vibraciones mecánicas Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano Parte 1: Requisitos generales*.

