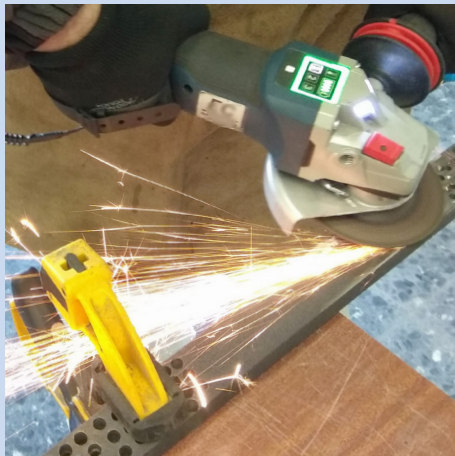




Análisis de la representatividad del valor central del muestreo de las vibraciones



Título:

Análisis de la representatividad del valor central del muestreo de las vibraciones

Autor.

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

Elaborado por:

Rafael Sánchez-Guardamino Elorriaga

Juan Leiva Pérez

Edita:

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

C/ Torrelaguna 73, 28027 Madrid

Tel. 91 363 41 00, fax 91 363 43 27

www.insst.es

Composición:

Servicio de Ediciones y Publicaciones del INSST

Edición:

Madrid, noviembre 2025

NIPO (en línea): 118-25-026-3

Hipervínculos:

El INSST no es responsable ni garantiza la exactitud de la información en los sitios web que no son de su propiedad. Asimismo la inclusión de un hipervínculo no implica aprobación por parte del INSST del sitio web, del propietario del mismo o de cualquier contenido específico al que aquel redirija.

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://cpage.mpr.gob.es>

Catálogo de publicaciones del INSST :

<http://www.insst.es/catalogo-de-publicaciones>



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	5
2.1 PROCESO DE INVESTIGACIÓN	5
2.2 MEDIOS TÉCNICOS	5
2.3 ESTRATEGIA DE MUESTREO	6
2.4 CRITERIO DE VALORACIÓN DE LA VARIABILIDAD A PARTIR DEL ANÁLISIS DE VARIANZA	7
2.5 CRITERIO DE VALORACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LAS MEDICIONES SEGÚN UNE-EN ISO 20643:2008	7
3. RESULTADOS OBTENIDOS	9
3.1 CONSIDERACIONES GENERALES	9
3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABILIDAD DE LOS RESULTADOS	11
3.2.1 MÉTODO DE ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)	12
3.2.2 VALORACIÓN DE LA VARIABILIDAD SEGÚN LA NORMA UNE-EN ISO 20643:2008	15
3.3 ANÁLISIS DE LAS FUERZAS DE ACOPLAMIENTO	19
3.4 ANÁLISIS DE LA TRANSMISIBILIDAD DE LOS GUANTES UTILIZADOS	24
4. CONCLUSIONES	26
4.1 CONCLUSIONES DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN PARA EL OBJETIVO PRINCIPAL	26
4.2 CONCLUSIONES DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN PARA EL OBJETIVO SECUNDARIO	26
4.3 RECOMENDACIONES	27
ANEXO I: INFORMES 1 A 9 “RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES”	28
Informe 1: RESULTADOS ENSAYOS VIBRACIONES DÍA 1.	28
Informe 2: RESULTADOS ENSAYOS VIBRACIONES DÍA 2.	29
Informe 3: RESULTADOS ENSAYOS VIBRACIONES DÍA 3.	31
Informe 4: RESULTADOS ENSAYOS VIBRACIONES DÍA 4.	32
Informe 5: RESULTADOS ENSAYOS VIBRACIONES DÍA 5.	33
Informe 6: RESULTADOS ENSAYOS VIBRACIONES DÍA 6.	34
Informe 7: RESULTADOS ENSAYOS VIBRACIONES DÍA 7.	35
Informe 8: RESULTADOS ENSAYOS VIBRACIONES DÍA 8.	37
Informe 9: RESULTADOS ENSAYOS VIBRACIONES DÍA 9.	38

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo ofrece en su página web diferentes calculadores y bases de datos específicas para facilitar las actividades preventivas. Una de estas herramientas es la base de datos de vibraciones mecánicas, BaseVibra, cuyo objetivo principal es facilitar la evaluación por estimación del riesgo de exposición a las vibraciones mecánicas, tal y como permite en el Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre. Para utilizar la información de una base de datos deben cumplirse varias condiciones. Por una parte, la máquina empleada en el puesto de trabajo debe encontrarse en los registros de la base de datos. Por otro lado, las condiciones de uso real de la máquina han de ser iguales o similares a las condiciones informadas. Además, el mantenimiento y el funcionamiento de la máquina deben ser correctos. Finalmente, las herramientas y accesorios empleados deben ser los mismos que los señalados en la base de datos. Los datos contenidos en BaseVibra reflejan valores de exposición a vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo o al cuerpo entero, obtenidos en condiciones reales de trabajo o en condiciones simuladas. Proviene de estudios realizados tanto por el INSST como por los órganos técnicos de las comunidades autónomas y otras instituciones tecnológicas y de investigación.

El presente estudio toma de referencia una investigación previa, cuyos resultados se incorporaron a BaseVibra y se publicaron en dos informes técnicos "Vibraciones en máquinas portátiles y otras de pequeñas dimensiones. Parte 1: Máquinas de mantenimiento y Parte 2: Máquinas de jardinería y limpieza". De dichos informes se pudo concluir que los valores de vibraciones varían significativamente al modificar las condiciones de ensayo. Parámetros como el material sobre el que se trabaja o el útil empleado con la máquina (por ejemplo, el tipo de broca de un taladro) tienen una influencia considerable en las aceleraciones continuas equivalentes obtenidas en los ensayos.

Sin embargo, de aquel doble estudio no se pudo extraer ninguna conclusión sobre la influencia de la persona trabajadora, ya que no se disponía de instrumentación que permitiera la medición de las fuerzas de acoplamiento¹. Estas limitaciones establecieron la necesidad de seguir investigando en este campo utilizando un tipo de vibrómetro provisto de un dinamómetro para poder medir la fuerza ejercida por la persona trabajadora sobre la máquina durante el ensayo.

El objeto de la presente investigación es utilizar criterios de validación de valores centrales de mediciones de vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo debidas al uso de máquinas portátiles, a partir de las directrices para los ensayos de emisión de vibraciones y del análisis de varianza. Para este estudio se ha utilizado una amoladora.

El objetivo principal de este estudio fue definir un criterio para analizar la representatividad del valor central de una población muestral de mediciones de vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo a fin de validar su incorporación a la base de datos BaseVibra o a cualquier otra similar. Como objetivo secundario, aprovechando las propiedades del vibrómetro utilizado, se formuló el análisis de la influencia de las fuerzas de acoplamiento en las vibraciones transmitidas a la mano preferente, así como el comportamiento de los guantes no certificados como antivibración utilizados durante dos ensayos adicionales frente a las vibraciones.

¹ Debe entenderse como fuerzas de acoplamiento, la suma de las fuerzas de agarre y, en caso de que haya desplazamiento de la herramienta durante la operación de la máquina, de empuje.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1 PROCESO DE INVESTIGACIÓN

Se seleccionó una amoladora que permitía realizar tres tareas –lijado, desbastado y corte– sobre la que se han realizado varios ensayos con tres personas trabajadoras, todas ellas varones de mediana edad, pero con diferente hábito en el uso de máquinas portátiles.

Se ha escogido estos dos parámetros, tarea y operario, con el objeto de poner de manifiesto la distinta naturaleza de ambos. En el caso del parámetro “tarea” no sería problemática la existencia de diferencias significativas entre las medias de sus tres poblaciones, ya que se puede caracterizar la vibración transmitida por una máquina en función de su tarea. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el parámetro “operario”, pues no se puede referenciar un valor de vibración en función de cada operario, hasta el punto de que, si existieran diferencias significativas entre las tres poblaciones, habría que desechar todas las mediciones y rehacer el estudio, probablemente con mayor número de muestras.

La metodología de trabajo empleada cumple con las especificaciones dadas en las normas: la norma 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; y la norma UNE-EN ISO 5349-2:2002 - Vibraciones mecánicas. Medición y evaluación de la exposición humana a las vibraciones transmitidas por la mano. Parte 2: Guía práctica para la medición en el lugar de trabajo.

2.2 MEDIOS TÉCNICOS

Los medios técnicos utilizados para los ensayos de medida de las vibraciones en la amoladora objeto del estudio, han sido:

- Analizador de vibraciones cuerpo humano de 6 canales (vibrómetro SV 106 A de SVANTEK). Este analizador de vibraciones, al disponer de 6 canales, permite la medida simultánea de ambas manos (mano preferente y mano guía). Se utiliza el acelerómetro SVANTEK para la medida de las vibraciones en la mano preferente que, al estar provisto de un dinamómetro, permite registrar segundo a segundo las fuerzas de acoplamiento ejercidas durante el tiempo de muestreo. El acelerómetro está encapsulado en el propio adaptador que se ajusta perfectamente a la palma de la mano, coincidiendo sus ejes x, y, z con los correspondientes ejes basicéntricos. Para la mano guía se utiliza un acelerómetro Brüel & Kjaer que no dispone de sensor de fuerza ni está encapsulado, sino que se debe adherir a un adaptador que lo fije firmemente a la máquina e impida el contacto de la mano con el acelerómetro.
- Otros medios materiales:
 - acelerómetro triaxial mano-brazo SV 105 BF de SVANTEK.
 - acelerómetro triaxial mano-brazo Brüel & Kjaer, modelo 4520-002.
 - excitador portátil de vibraciones SV 110 de SVANTEK.
 - adaptador para la comprobación in situ SA 105 B de SVANTEK.

Estos equipos están homologados, calibrados y cumplen la norma UNE-EN ISO 8041-1:2018 - Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida. Parte 1: Instrumento de medida para uso general (ISO 8041-1:2017); y la norma UNE-EN ISO 8041-2:2021 - Respuesta humana a las vibraciones. Instrumentos de medida. Parte 2: Instrumentos de medida para la exposición de las personas a las vibraciones (ISO 8041-2:2021) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en septiembre de 2021).



Figura 1. Medios técnicos utilizados en el estudio.

2.3 ESTRATEGIA DE MUESTREO

Las estrategias de muestreo se han diseñado conforme a lo establecido en la norma UNE-EN ISO 5349, partes 1 y 2, de tal forma que la aceleración continua equivalente reflejada para un ensayo corresponde a cuatro medidas de campo promediadas en el tiempo, con una duración cada una de ellas de aproximadamente 25 segundos.

Se han reproducido en diferentes fechas las mismas condiciones de trabajo de la máquina, funcionando a velocidad alta y actuando sobre el mismo material durante los ensayos, con una doble finalidad:

- Valorar la variabilidad de los resultados obtenidos para cada trabajador y cada tipo de tarea: lijado, desbastado y corte.
- Analizar la influencia de la fuerza de acoplamiento en las vibraciones medidas.

Previamente a la realización de los ensayos, se ha diseñado la estrategia de muestreo en la que se establecían:

- Las condiciones de funcionamiento de la máquina que se iban a mantener invariables: la velocidad y el material. Se ha seleccionado la velocidad máxima de la máquina y como material sobre el que se van a realizar los ensayos, se ha utilizado una barra de hierro de 14 mm de espesor. El peso específico aproximado del hierro-acero es de 7.700 kg/m³.
- Los parámetros de ensayo a analizar para establecer una comparativa de los resultados obtenidos son el operario (Operario 1, Operario 2 y Operario 3) y la tarea (lijado, desbastado y corte).
- Las condiciones operativas de los ensayos: se realiza la medida de la aceleración continua equivalente simultáneamente en las dos manos (mano preferente y mano guía). Se utilizó el

acelerómetro provisto de sensor de fuerza (dinamómetro) para la mano preferente. Por ello, todos los resultados de fuerza de acoplamiento se refieren a la fuerza ejercida por la mano preferente, ya que el acelerómetro empleado para la mano guía no dispone de dinamómetro.

- Los operarios designados para trabajar con la máquina: los 3 operarios que accionan la máquina poseen destreza en su utilización y conocen el funcionamiento normal de la misma, pero tienen distinto grado de habitualidad en su uso.

Para registrar los resultados se ha cumplimentado una ficha de campo indicando los datos generales de la máquina, su marca, su modelo, la fecha de ensayo, las condiciones del ensayo (velocidad de la máquina, material de trabajo, etc.), la referencia de cada trabajador y cada tarea, así como las mediciones obtenidas, que al mismo tiempo quedaban registradas en el equipo de medida.

Dada la variabilidad de las aceleraciones continuas equivalentes medidas en los distintos ensayos, incluso para el mismo operario y misma tarea –lijado, desbastado o corte–, se hace necesario valorarla con el objeto de determinar si se puede encontrar un valor representativo de la aceleración continua equivalente. Por este motivo, este estudio incluye un análisis estadístico de la variabilidad de los resultados de las aceleraciones obtenidas en los ensayos en cada mano. En este estudio se utilizan dos criterios, el análisis de varianza y valoración de variabilidad de la norma UNE-EN ISO 20643:2008.

2.4 CRITERIO DE VALORACIÓN DE LA VARIABILIDAD A PARTIR DEL ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Se agruparon los resultados de los promedios de cada ensayo por cada trabajador para todas las tareas, y también, al revés, por cada tarea para todos los trabajadores. De esta forma, el análisis de varianza permite determinar si hay diferencias significativas entre las medias dentro de cada grupo y entre grupos para considerar si alguno de los factores, operario o tarea, son críticos al obtener un valor central que sea representativo dentro de cada grupo y entre grupos. Dado que el factor “tarea” es fácilmente identificable, no va a ser problemático en el caso de que haya diferencias significativas, ya que se puede asignar distintos valores centrales de la aceleración continua equivalente para cada tarea. No ocurre así con el factor “operario”, ya que es una característica individual y, por tanto, en caso de que haya diferencias significativas entre grupos, no sería posible encontrar un valor central que sea representativo para todas las personas trabajadoras.

El análisis de varianza se basa en el cálculo del estadístico F. Si F es menor que el valor crítico, o bien si la probabilidad de rechazar una hipótesis nula siendo cierta (probabilidad de considerar que un valor medio no es representativo de las mediciones de vibración, cuando sí lo sea) sea mayor que 0,05, lo que es lo mismo, la hipótesis de que el valor medio es representativo es aceptable.

En resumen, la variabilidad será aceptable si:

El estadístico $F < F_{\text{crítico}}$ o bien, probabilidad $p > 0,05$.

2.5 CRITERIO DE VALORACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LAS MEDICIONES SEGÚN UNE-EN ISO 20643:2008

Se han repetido los ensayos con 3 operarios diferentes en distintas fechas, un mínimo de 3 veces, calculando como valor representativo la mediana de la serie de valores obtenidos en determinadas condiciones.

También se ha aplicado este criterio al registro de las fuerzas promedio segundo a segundo durante el tiempo de muestreo.

La norma UNE-EN ISO 20643:2008 - Vibraciones mecánicas. Maquinaria sujeta y guiada con la mano. Principios para la evaluación de la emisión de las vibraciones. (ISO 20643:2005), propone para los códigos de ensayos de vibraciones que el criterio de validación de los ensayos sea que la variación entre los resultados de los ensayos con diferentes personas trabajadoras, como mínimo tres, cumpla al menos una de las siguientes condiciones:

$$S_{N-1} \leq 0,3.$$

$$C_v \leq 0,15.$$

Donde, S_{N-1} es la desviación típica insesgada, y C_v es el coeficiente de variación, que se calculan respectivamente mediante las siguientes ecuaciones:

donde:

Ecuación 1.

$$S_{N-1} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (a_{hvi} - \bar{a}_{hv})^2}$$

donde:

\bar{a}_{hv} : Valor medio de las series.

a_{hvi} : Valor medido i.

N.: número de valores medidos.

Ecuación 2.

$$C_v = \frac{S_{N-1}}{\bar{a}_{hv}}$$

donde:

N: número de valores medidos.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Se han realizado 31 ensayos con un mínimo de 4 medidas de campo por cada uno. Estas medidas reflejan situaciones reales de trabajo y en ella han participado 3 operarios diferentes.

Por otra parte, se han realizado 2 ensayos adicionales, en los que el trabajador ha introducido el acelerómetro con sensor de fuerza en el interior del guante para la tarea de corte. La finalidad de estos ensayos es comprobar la atenuación de los guantes empleados, sin prestaciones específicas de protección frente a vibraciones.

TAREA	OPERARIO			N° DE ENSAYOS TOTALES
	Operario 1	Operario 2	Operario 3	
Lijado	3	3	4	10
Desbastado	3	3	5	11
Corte	3	3	4	10
TOTAL	9	9	13	31

Tabla 1. Distribución número de ensayos por tarea y operario.

En la figura 2 se observan los distintos discos utilizados para las tres tareas.

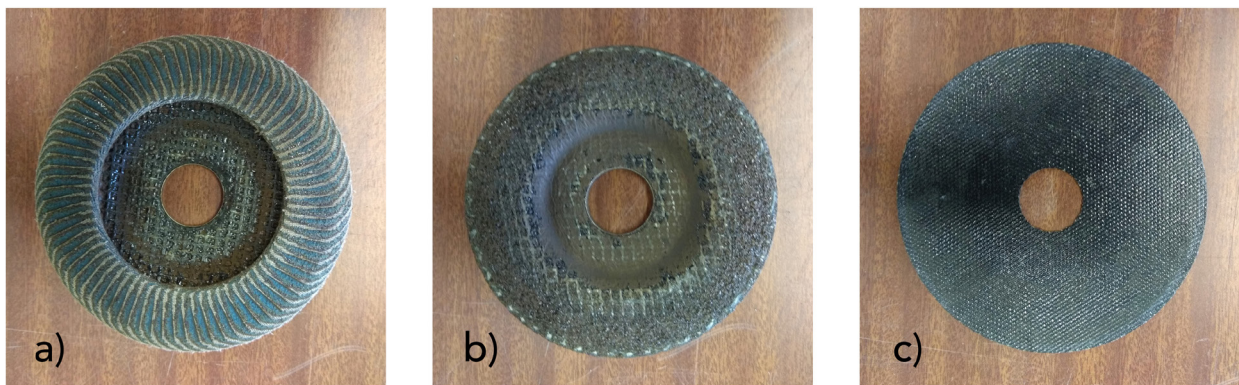


Figura 2. a) disco de lijado; b) disco de desbastado; c) disco de corte.

La particularidad de uso de la amoladora para trabajo de corte respecto a los otros dos tipos de trabajo, lijado y desbastado, es la distinta colocación de la herramienta, que, además, condiciona la postura de la persona trabajadora.

En las figuras 3 y 4 se observan diferentes posiciones de la herramienta cuando se utiliza durante el lijado y el desbastado y cuando se utiliza durante la tarea de corte. Durante las tareas de lijado y desbastado los esfuerzos se ejercen sobre la superficie del disco, es decir, se trata de esfuerzos axiales. Durante la tarea de corte el disco se dispone verticalmente, de tal forma que las fuerzas se ejercen en la dirección radial del disco.



Figura 3. Posición de la herramienta durante las tareas de lijado y desbastado.



Figura 4. Posición de la herramienta durante la tarea de corte.

Los resultados obtenidos en los ensayos se muestran en la Tabla 2. Los valores que se presentan como resultados de los ensayos son los correspondientes al promedio de los valores de las 4 muestras ponderados en el tiempo de muestreo. En cada tarea se indican, para cada operario sobre el que se realizaron mediciones, las fechas de muestreo, la aceleración eficaz (m/s^2), medida en la mano preferente (MP) y en la mano guía (MG), así como la fuerza de acoplamiento (Fz.) expresada en newtons (N), correspondiente a la mano preferente.

LIJADO												
OPERARIO 1				OPERARIO 2				OPERARIO 3				
Fechas	a_{hv} (m/s^2)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s^2)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s^2)		Fz. (N)	
	MP	MG			MP	MG			MP	MG		
Día 1	1,6	3,8	9,2	Día 2	1,9	4,0	29,8	Día 3	3,3	3,2	26,3	
Día 2	1,3	3,3	3,2	Día 7	3,5	4,2	7,9	Día 5	1,8	2,3	21,7	
Día 9	3,7	4,4	47,7	Día 8	3,9	4,0	102,3	Día 6	2,3	2,9	21,9	
-	-	-	-	-	-	-	-	Día 7	4,0	3,5	15,4	
DESBASTADO												
OPERARIO 1				OPERARIO 2				OPERARIO 3				
Fechas	a_{hv} (m/s^2)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s^2)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s^2)		Fz. (N)	
	MP	MG			MP	MG			MP	MG		
Día 2	2,6	3,2	11,7	Día 2	4,5	8,2	31,1	Día 3	2,9	2,6	12,1	
Día 2	2,4	3,2	8,3	Día 7	2,4	3,5	9,6	Día 4	2,7	2,9	18,6	
Día 9	4,6	4,2	20,0	Día 8	2,4	3,5	106,7	Día 5	2,1	1,9	17,9	
-	-	-	-	-	-	-	-	Día 6	2,5	2,5	29,2	
-	-	-	-	-	-	-	-	Día 7	3,0	2,6	15,0	
CORTE												
OPERARIO 1				OPERARIO 2				OPERARIO 3				
Fechas	a_{hv} (m/s^2)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s^2)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s^2)		Fz. (N)	
	MP	MG			MP	MG			MP	MG		
Día 1	1,9	1,5	6,2	Día 2	2,3	3,5	11,5	Día 3	2,1	2,7	26,2	
Día 2	1,9	4,0	18,5	Día 7	2,2	4,1	11,5	Día 5	1,8	2,6	15,9	
Día 9	3,2	6,0	18,6	Día 8	2,0	4,0	86,7	Día 6	2,0	2,7	14,7	
-	-	-	-	-	-	-	-	Día 7	2,4	3,7	28,5	

Tabla 2. Resultados obtenidos en los ensayos por fechas para las tres tareas y los tres operarios.

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABILIDAD DE LOS RESULTADOS

El objetivo de este apartado es determinar la posibilidad de establecer un valor representativo de la aceleración continua equivalente para cada mano mediante el análisis de la variabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos objeto del estudio.

3.2.1 MÉTODO DE ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

A continuación, se analiza la varianza de las vibraciones considerando las tres tareas por operario, primero para la mano preferente y, posteriormente, para la mano guía.

Como ya se ha indicado en el apartado 3.3. de este informe, para realizar el análisis de varianza se procede a aplicar el método ANOVA.

Se consideran en cada serie (resultados de los ensayos en cada mano) tres grupos –operario 1, operario 2 y operario 3–, de forma que para cada operario se agrupan todos los ensayos, independientemente de la tarea –lijado, desbastado y corte–, y de la fecha en la que se realizaron los ensayos. Posteriormente se agrupan las aceleraciones de los 3 operarios por tarea. El método ANOVA se utiliza para comparar 3 o más grupos y consiste en comprobar que la dispersión de los datos dentro de cada grupo, y entre los 3 grupos es lo suficientemente pequeña como para concluir que el valor de la media aritmética es representativo.

Nº	OPERARIO 1	OPERARIO 2	OPERARIO 3	Nº	LIJADO	DESBASTADO	CORTE
1	1,60	1,90	3,30	1	1,6	2,6	1,9
2	1,30	3,50	1,80	2	1,3	2,4	1,9
3	3,70	3,90	2,30	3	3,7	4,6	3,2
4	2,60	4,50	4,00	4	1,9	4,5	2,3
5	2,40	2,40	2,90	5	3,5	2,4	2,2
6	4,60	2,40	2,70	6	3,9	2,4	2,0
7	1,90	2,30	2,10	7	3,3	2,9	2,1
8	1,90	2,20	2,50	8	1,8	2,7	1,8
9	3,20	2,00	2,50	9	2,3	2,1	2,0
10	-	-	3,00	10	4,0	2,5	2,4
11	-	-	2,10	11	-	3,0	-
12	-	-	1,80				
13	-	-	2,40				

Media aritmética (AM)	2,62
Desviación estándar aritmética (ASD)	0,85
Media geométrica (GM)	2,50
Desviación estándar geométrica (GSD)	1,36
Mínimo	1,30
Máximo	4,60
Mediana	2,40
Rango	3,30

Tabla 3. Resultados de la aceleración continua equivalente, en m/s^2 , de la mano preferente obtenidos en los distintos ensayos considerando las tres tareas para cada operario y los tres operarios para cada tarea.

		N	Media (m/s ²)	Desvi. estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media	
						Límite inferior	Límite superior
						VARIABILIDAD SEGÚN OPERARIO	Operario 1
Operario 2	9	2,730	0,8994	0,2844	2,087		3,373
Operario 3	13	2,569	0,6210	0,1722	2,194		2,944
Total	31	2,600	0,8265	0,1439	2,307		2,893

VARIABILIDAD SEGÚN TAREA	Lijado	10	2,730	1,0489	0,3317	1,980	3,480
	Desbastado	11	2,918	0,8448	0,2547	2,351	3,486
	Corte	10	2,180	0,4050	0,1281	1,890	2,470
	Total	31	2,619	0,8475	0,1522	2,308	2,930

		N	Mínimo	Máximo	F	p
VARIABILIDAD SEGÚN OPERARIO	Operario 1	9	1,3	4,6	5,955	0,834
	Operario 2	9	1,9	4,5		
	Operario 3	13	1,8	4,0		
	Total	31	1,3	4,6		
VARIABILIDAD SEGÚN TAREA	Lijado	10	1,3	4,0	2,295	0,119
	Desbastado	11	2,1	4,6		
	Corte	10	1,8	3,2		
	Total	31	1,3	4,6		

Tabla 4. Análisis de varianza de las series que figuran en la Tabla 3.

- **Análisis de la varianza de las vibraciones para la mano preferente**

El análisis sobre mano preferente revela que la magnitud media de la intensidad de las vibraciones, medida como aceleración continua equivalente (m/s²), se distribuye homogéneamente tanto entre operarios (p=0,834) como en las diferentes tareas (p=0,119), no existiendo diferencias

estadísticamente significativas ni entre operarios ni entre las tareas de lijado, desbastado y corte.

- **Análisis de la varianza de las vibraciones para la mano guía**

Nº	OPERARIO 1	OPERARIO 2	OPERARIO 3	Nº	LIJADO	DESBASTADO	CORTE
1	3,8	4,0	3,2	1	3,8	3,2	1,5
2	3,3	4,2	2,3	2	3,3	3,2	4,0
3	4,4	4,0	2,9	3	4,4	4,2	6,0
4	3,2	8,2	3,5	4	4,0	8,2	3,5
5	3,2	3,5	2,6	5	4,2	3,5	4,1
6	4,2	3,5	2,9	6	4,0	3,5	4,0
7	1,5	3,5	1,9	7	3,2	2,6	2,7
8	4,0	4,1	2,5	8	2,3	2,9	2,6
9	6,0	4,0	2,6	9	2,9	1,9	2,7
10	-	-	2,7	10	3,5	2,5	3,7
11	-	-	2,6	11	-	2,6	-
12	-	-	2,7				
13	-	-	3,7				

Media aritmética (AM)	3,50
Desviación estándar aritmética (ASD)	1,23
Media geométrica (GM)	3,32
Desviación estándar geométrica (GSD)	1,38
Mínimo	1,50
Máximo	8,20
Mediana	3,50
Rango	6,70

Tabla 5. Resultados de la aceleración continua equivalente, en m/s^2 , de la mano guía obtenidos en los distintos ensayos considerando las tres tareas para cada operario.

		N	Media (m/s)	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media	
						Límite inferior	Límite superior
						VARIABILIDAD SEGÚN OPERARIO	Operario 1
Operario 2	9	4,333	1,4765	0,4922	3,198		5,468
Operario 3	13	2,777	0,4799	0,1331	2,487		3,067
Total	31	3,506	1,2296	0,2208	3,055		3,957

VARIABILIDAD SEGÚN TAREA	Lijado	10	3,560	0,6484	0,2050	3,096	4,024
	Desbastado	11	3,482	1,6822	0,5072	2,352	4,612
	Corte	10	3,480	1,2127	0,3835	2,612	4,348
	Total	31	3,506	1,2296	0,2208	3,055	3,957

		N	Mínimo	Máximo	F	p
VARIABILIDAD SEGÚN OPERARIO	Operario 1	9	1,5	6,0	5,955	0,007
	Operario 2	9	3,5	8,2		
	Operario 3	13	1,9	3,7		
	Total	31	1,5	8,2		
VARIABILIDAD SEGÚN TAREA	Lijado	10	2,3	4,4	0,013	0,987
	Desbastado	11	1,9	8,2		
	Corte	10	1,5	6,0		
	Total	31	1,5	8,2		

Tabla 6. Análisis de varianza de las series que figuran en la Tabla 5.

La tabla 5 recoge todas las mediciones de aceleración obtenidas en la mano guía por cada uno de los tres operarios, agrupando todas las tareas.

El análisis sobre mano guía revela que la magnitud media de la intensidad de las vibraciones, medida como aceleración continua equivalente (metros/segundo²), **no se distribuye homogéneamente entre operarios, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre estos** ($p=0,007$).

Sin embargo, en relación con las diferentes tareas **la aceleración continua equivalente media se distribuyó homogéneamente**, no existiendo diferencias significativas entre las tareas de lijado, desbastado y corte ($p= 0,987$).

3.2.2 VALORACIÓN DE LA VARIABILIDAD SEGÚN LA NORMA UNE-EN ISO 20643:2008

- **Variabilidad de los resultados en distintas fechas para cada operario y tarea:**

En las Tablas 7, 8 y 9 se muestran los resultados de la Tabla 2 donde vienen recogidas las aceleraciones continuas equivalentes de la mano preferente (MP) y la mano guía (MG), así como la fuerza de acoplamiento (Fz) de la mano preferente. Los valores corresponden a cada ensayo identificado por operario, tarea y fecha. En dichas tablas, los resultados destacados en negrita y cursiva indican incumplimiento de los criterios de representatividad de la norma UNE-EN ISO 20643:2008 (véase apartado 2.4).

Además, se añaden los siguientes parámetros estadísticos para las aceleraciones en mano preferente y mano guía y para la fuerza de acoplamiento (Fz.):

- **Mediana**, calculada como el valor central del intervalo, una vez dispuestos los elementos de la serie en orden creciente o decreciente. Se procede desechando los valores extremos de forma sucesiva hasta que quede el valor centrado, o los dos valores centrados, en cuyo caso se calcula la media aritmética de ambos.
- **Media aritmética**, que se obtiene a partir de la suma de todos los valores de la serie dividida entre el número de sumandos.
- **Desviación típica insesgada**, S_{N-1} , que conforme a UNE-EN ISO 20643 debe ser $S_{N-1} \leq 0,3$.

LIJADO1											
OPERARIO 1				OPERARIO 2				OPERARIO 3			
Fechas	a_{hv} (m/s ²)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s ²)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s ²)		Fz. (N)
	MP	MG			MP	MG			MP	MG	
Día 1	1,6	3,8	9,2	Día 2	1,9	4,0	29,8	Día 3	3,3	3,2	26,3
Día 2	1,3	3,3	3,2	Día 7	3,5	4,2	7,9	Día 5	1,8	2,3	21,7
Día 9	3,7	4,4	47,7	Día 8	3,9	4,0	102,3	Día 6	2,3	2,9	21,9
-	-	-	-	-	-	-	-	Día 7	4,0	3,5	15,4
Mediana	1,6	3,8	9,2	Mediana	3,5	4,0	29,8	Mediana	2,8	3,1	21,8
Media	2,2	3,8	20,0	Media	2,7	4,1	18,9	Media	2,8	3,0	21,3
S_{N-1}	1,29	0,57	24,15	S_{N-1}	1,03	0,14	49,4	S_{N-1}	1,01	0,53	4,48
C_v	0,59	0,15	1,21	C_v	0,33	0,03	1,06	C_v	0,36	0,18	0,21

Tabla 7. Resultados obtenidos en los ensayos para lijado.

DESBASTADO											
OPERARIO 1				OPERARIO 2				OPERARIO 3			
Fechas	a_{hv} (m/s ²)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s ²)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s ²)		Fz. (N)
	MP	MG			MP	MG			MP	MG	
Día 2	2,6	3,2	11,7	Día 2	4,5	8,2	31,1	Día 3	2,9	2,6	12,1
Día 2	2,4	3,2	8,3	Día 7	2,4	3,5	9,6	Día 4	2,7	2,9	18,6
Día 9	4,6	4,2	20,0	Día 8	2,4	3,5	106,7	Día 5	2,1	1,9	17,9
-	-	-	-	-	-	-	-	Día 6	2,5	2,5	29,2
-	-	-	-	-	-	-	-	Día 7	3,0	2,6	15,0
Mediana	2,6	3,2	11,7	Mediana	2,4	3,5	31,1	Mediana	2,7	2,6	17,9
Media	3,2	3,5	13,3	Media	3,1	5,0	49,1	Media	2,6	2,5	18,6
S_{N-1}	1,23	0,56	6,02	S_{N-1}	1,22	2,71	51,0	S_{N-1}	0,36	0,35	6,48
C_v	0,38	0,16	0,45	C_v	0,40	0,54	1,04	C_v	0,14	0,14	0,35

Tabla 8. Resultados obtenidos en los ensayos para desbastado.

CORTE											
OPERARIO 1				OPERARIO 2				OPERARIO 3			
Fechas	a_{hv} (m/s ²)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s ²)		Fz. (N)	Fechas	a_{hv} (m/s ²)		Fz. (N)
	MP	MG			MP	MG			MP	MG	
Día 1	1,9	1,5	6,2	Día 2	2,3	3,5	11,5	Día 3	2,1	2,7	26,2
Día 2	1,9	4,0	18,5	Día 7	2,2	4,1	11,5	Día 5	1,8	2,6	15,9
Día 9	3,2	6,0	18,6	Día 8	2,0	4,0	86,7	Día 6	2,0	2,7	14,7
-	-	-	-	-	-	-	-	Día 7	2,4	3,7	28,5
Mediana	1,9	4,0	18,5	Mediana	2,2	4,0	11,5	Mediana	2,0	2,7	21,1
Media	2,4	3,8	14,4	Media	2,2	3,9	36,6	Media	2,1	2,9	21,3
S_{N-1}	0,72	2,25	7,13	S_{N-1}	0,12	0,31	43,42	S_{N-1}	0,26	0,54	7,04
C_v	0,31	0,59	0,49	C_v	0,05	0,08	1,19	C_v	0,13	0,18	0,33

Tabla 9. Resultados obtenidos en los ensayos para corte.

- **Coefficiente de variación**, C_v , que conforme a UNE-EN ISO 20643 debe ser $C_v \leq 0,15$.

Los dos últimos calculados conformes a las ecuaciones 1 y 2, respectivamente.

Se observa en las Tablas 7 (lijado), 8 (desbastado) y 9 (corte) que la variabilidad de los resultados es muy elevada en la mayoría de los casos. Si se excluye del análisis las fuerzas de acoplamiento que serán referidas en otro apartado, la variabilidad sería aceptable aproximadamente en el 40 % de los resultados obtenidos (7 cumplimientos de 18). Se considera aceptable cuando se cumpla al menos uno de los dos criterios.

La tarea más estable es la de corte, ya que cumple los criterios de validación en el 50 % de los casos. El trabajador que registra mayor variabilidad es el Operario 1.

	LIJADO		DESBASTADO		CORTE	
	a_{hv} (m/s ²)		a_{hv} (m/s ²)		a_{hv} (m/s ²)	
	MP	MG	MP	MG	MP	MG
Operario 1	1,6	4,4	2,6	3,2	1,9	4,0
Operario 1	3,5	4,0	2,4	3,5	2,2	4,0
Operario 1	2,8	3,1	2,7	2,6	2,0	2,7
Mediana	2,8	4,0	2,6	3,2	2,0	4,0
Media	2,6	3,8	2,6	3,1	2,0	3,6
S_{N-1}	0,96	0,67	0,15	0,46	0,15	0,75
C_v	0,36	0,17	0,06	0,15	0,08	0,21

Tabla 10. Variabilidad de las medianas de los trabajadores por tarea y mano.

- **Variabilidad de las medianas de los trabajadores para cada tarea y cada mano**

Considerando los criterios establecidos por la norma UNE-EN ISO 20643:2008, la variabilidad de las vibraciones obtenidas al cambiar de trabajador para la tarea de desbastado y ambas manos es aceptable, ya que se cumple al menos uno de los dos criterios. En el caso de la tarea de corte, la variabilidad es aceptable para la mano preferente; mientras que para la tarea de lijado no se cumple ninguno de los criterios en la mano preferente, pero se cumple el criterio del coeficiente de variación, C_v , en la mano guía.

Los códigos de ensayo que utilizan las empresas fabricantes de maquinaria para determinar su emisión de vibraciones son objeto de esta norma, por lo que la variabilidad de los resultados en función del parámetro "operario" es un factor crítico. Si una máquina para unas condiciones de uso determinadas cumple los criterios establecidos, permite a las empresas fabricantes obtener un valor representativo de la vibración para cualquier persona trabajadora, que a su vez se podrá declarar en el manual de instrucciones.

	a_{hv} (m/s ²)	
	MP	MG
LIJADO	2,8	3,8
DESBASTADO	2,6	3,2
CORTE	2,0	4,0
Mediana	2,6	3,8
Media	2,5	3,7
S_{N-1}	0,42	0,42
C_v	0,17	0,11

Tabla 11. Variabilidad de las medianas de las tareas (calculada a partir de las medianas de los operarios) por cada mano.

- **Variabilidad de las medianas de las tareas para cada mano, calculadas a partir de las medianas de los operarios**

La Tabla 11 muestra que la variabilidad de la mediana de las tareas, lijado, desbastado y corte, para la mano guía, es aceptable, al ser el $C_v \leq 0,15$. Sin embargo, en el caso de la mano preferente la variabilidad no cumple los criterios para poder considerar la mediana de las tres tareas como representativa de la vibración transmitida a dicha mano.

3.3 ANÁLISIS DE LAS FUERZAS DE ACOPLAMIENTO

La prestación proporcionada por el acelerómetro SVANTEK provisto de sensor de fuerza permite la medición de la fuerza de acoplamiento ejercida por cada operario en cada tarea. En este apartado se analiza cómo influye la fuerza de acoplamiento en las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo.

- **Influencia de la fuerza de acoplamiento en la vibración medida**

LIJADO					
OPERARIO 1		OPERARIO 2		OPERARIO 3	
FUERZA (N)	a_{hv} MP (m/s ²)	FUERZA (N)	a_{hv} MP (m/s ²)	FUERZA (N)	a_{hv} MP (m/s ²)
3,2	1,3	7,9	3,5	15,4	4,0
9,2	1,6	29,8	1,9	21,7	1,8
47,1	3,7	103,3	3,9	21,9	2,3
-	-	-	-	26,3	3,3

Tabla 12. Vibración obtenida en función de las fuerzas de acoplamiento durante la tarea de **lijado**.

DESBASTADO					
OPERARIO 1		OPERARIO 2		OPERARIO 3	
FUERZA (N)	a_{hv} MP (m/s ²)	FUERZA (N)	a_{hv} MP (m/s ²)	FUERZA (N)	a_{hv} MP (m/s ²)
8,3	2,4	9,6	2,4	12,1	2,9
11,7	2,6	31,1	4,5	15,0	3,0
20,0	4,6	106,7	2,4	17,9	2,1
-	-	-	-	18,6	2,7
-	-	-	-	29,2	2,5

Tabla 13. Vibración obtenida en función de las fuerzas de acoplamiento durante la tarea de **desbastado**.

CORTE					
OPERARIO 1		OPERARIO 2		OPERARIO 3	
FUERZA (N)	a_{hv} MP (m/s ²)	FUERZA (N)	a_{hv} MP (m/s ²)	FUERZA (N)	a_{hv} MP (m/s ²)
6,2	1,9	11,5	2,3	14,7	2,0
18,5	1,9	11,5	2,2	15,9	1,8
18,6	3,2	86,7	2,0	26,2	2,1
-	-	-	-	28,5	2,4

Tabla 14. Vibración obtenida en función de las fuerzas de acoplamiento durante la tarea de **cor**te.

En los gráficos 1 y 2 se representa la tendencia de la vibración en la mano preferente al incrementar la fuerza que ejerce cada trabajador para cada tarea. Únicamente, en el caso del Operario 1 se puede concluir que, al aumentar las fuerzas de acoplamiento, aumenta la vibración. Sin embargo, no se puede concluir cuál es la influencia de las fuerzas de acoplamiento en las vibraciones transmitidas a los Operario 2 y Operario 3.

Se dan dos circunstancias que pueden condicionar este fenómeno:

- El Operario 1 es el trabajador más habituado a la utilización de este tipo de maquinaria, y ello puede facilitar que se dé una relación lógica entre fuerza y vibración.
- El sensor de fuerza del acelerómetro no distingue entre las distintas fuerzas que ejerce el trabajador, fuerza de agarre de la empuñadura, fuerza de presión de la herramienta sobre el material y fuerza de empuje, que sólo aplica en la tarea de corte. Es posible que las distintas componentes de la fuerza de acoplamiento tengan un efecto inverso en las vibraciones que se transmiten a través de la mano.

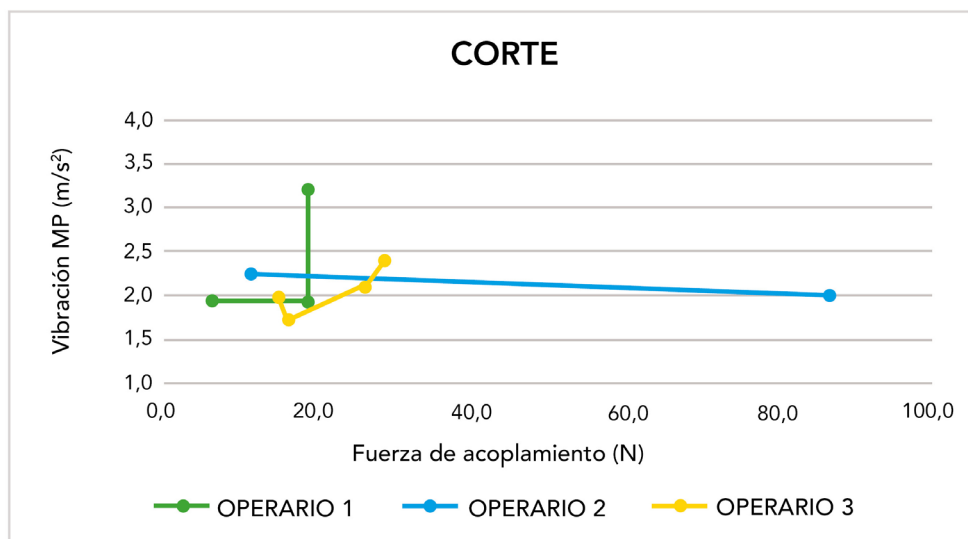
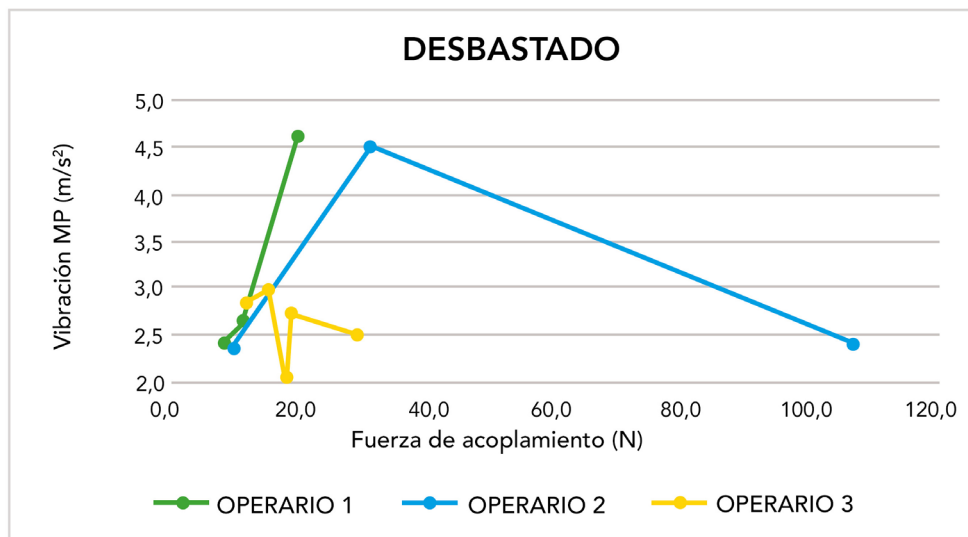
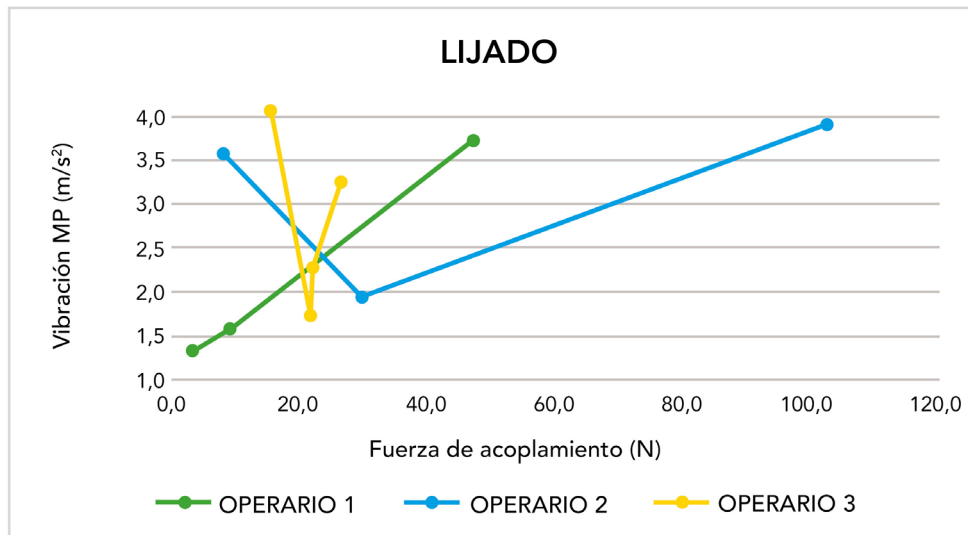


Gráfico 1. Influencia de la fuerza de acoplamiento en la vibración para diferentes operarios por tarea (lijado, desbastado y corte).

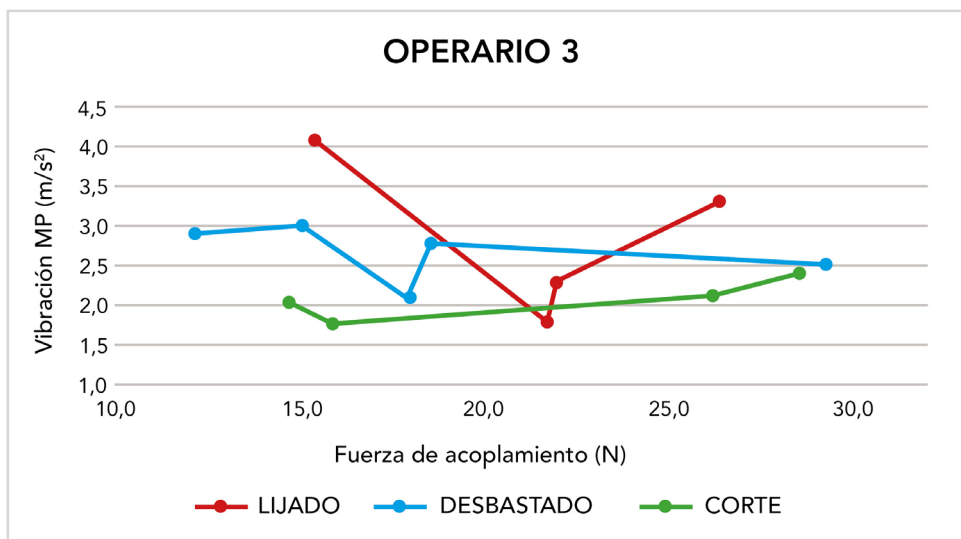
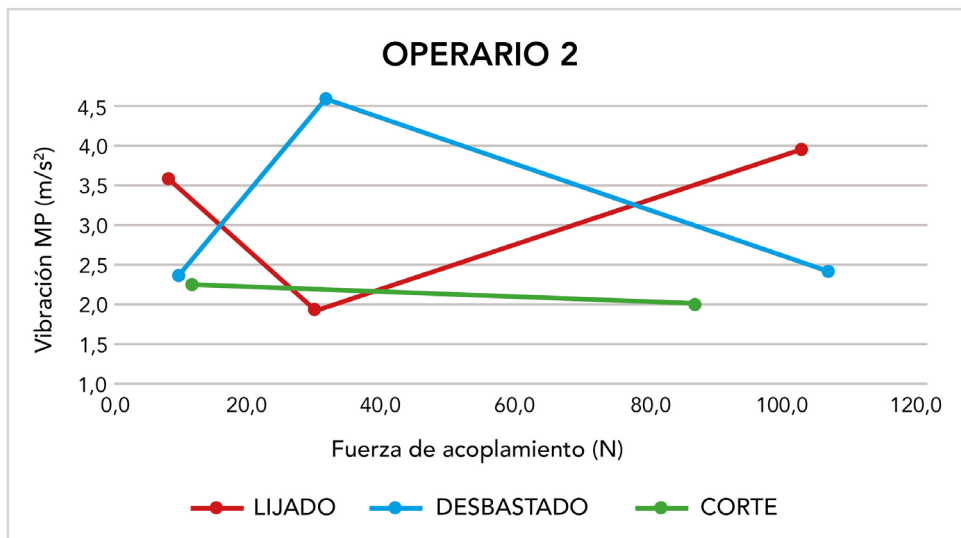
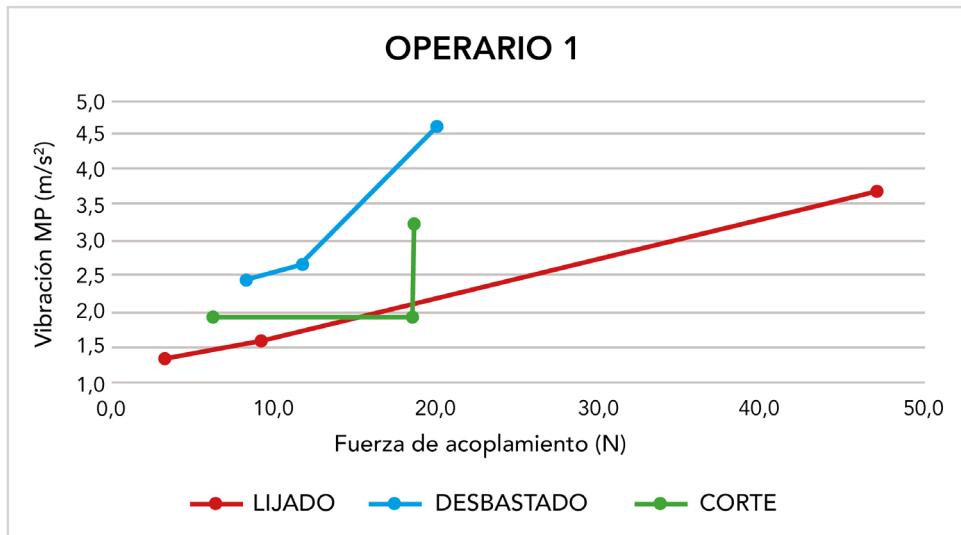


Gráfico 2. Influencia de la fuerza de acoplamiento en la vibración para diferentes tareas por operario (Operario 1, Operario 2 y Operario 3).

- **Problemática encontrada en la medida de la fuerza de acoplamiento por pérdida de señal del sensor de fuerza (dinamómetro)**

En algunos de los ensayos recogidos en los 5 primeros informes adjuntos en el anexo I se han registrado fallos en la lectura de las fuerzas, de forma que el sensor ha registrado fuerza nula durante varios segundos.

Estos fallos han ocurrido durante las tareas de lijado y desbastado. No así en la tarea de corte, donde la señal de fuerza es más estable a lo largo de cada muestreo, presentando una variabilidad menor que en las otras dos tareas.

Tras el análisis de las diferencias entre las condiciones de ensayo durante las tareas de lijado y desbastado, respecto a las condiciones de ensayo correspondientes a la tarea de corte, se concluye que la distinta colocación del acelerómetro provisto de sensor de fuerza podría ser la causa de los fallos de lectura de fuerza en los ensayos relativos a las dos primeras tareas.

Aparte de las diferencias en el posicionamiento de la máquina durante las tareas de lijado y desbastado respecto a su posicionamiento en la tarea de corte, se colocó el acelerómetro en la parte de la mano que hace de pinza entre los dedos pulgar e índice, ya que es la zona dónde mayor presión hace el operario sobre la empuñadura. Sin embargo, en la tarea de corte se colocó el acelerómetro en la palma de la mano. En las figuras 5 y 6 se aprecia la diferencia de colocación del acelerómetro entre las tareas referidas.



Figura 5. Posicionamiento acelerómetro durante las tareas de lijado y desbastado.



Figura 6. Posicionamiento acelerómetro durante la tarea de corte.

A partir del 6.º informe adjunto en el Anexo I se modifica el posicionamiento del acelerómetro sobre la mano preferente durante los ensayos de las tareas de lijado y desbastado de forma similar a su posicionamiento en la tarea de corte, solucionando las pérdidas de señal del sensor de fuerza. Véase la diferencia de posicionamiento de la mano preferente entre las figuras 5 y 6.

Figura 7. Nuevo posicionamiento acelerómetro durante las tareas de lijado y desbastado.



3.4 ANÁLISIS DE LA TRANSMISIBILIDAD DE LOS GUANTES UTILIZADOS

Se han realizado dos ensayos adicionales durante la tarea de corte, localizando el acelerómetro de la mano preferente dentro del guante, de forma que entre la empuñadura de la máquina y el acelerómetro se interpone el tejido del guante. Los dos tipos de guante utilizados para estos ensayos no están calificados como antivibración. El objetivo de este análisis es verificar el potencial efecto atenuante o amplificador de vibraciones de los guantes empleados.

Los modelos de guante utilizados son los que se muestran en la figura 8.



Figura 8. a) Modelo de guante operario 3; b) Modelo de guante operario 2.

El Operario 3 utilizó un guante de piel flor vacuno y lona, con resistencia mecánica. El Operario 2 empleó un guante de nitrilo con resistencia mecánica y resistente a aceites y lubricantes; pero ninguno de ellos con calidad de protección frente a vibraciones.

Para el Operario 3 se obtuvieron los siguientes resultados:

Operario 3	Acelerómetro sobre empuñadura		Acelerómetro dentro del guante	
	a_{hv} (m/s ²)	T (s)	a_{hv} (m/s ²)	T (s)
Fecha: día 9				
Muestreo 1	3,5	25	3.3	27
Muestreo 2	3,2	27	3.6	26
Muestreo 3	3,4	27	2.9	28
Muestreo 4	2,5	28	2.9	27
Promedio pond.	3,186 m/s ²		3,196 m/s ²	

Tabla 15. Muestreo del guante utilizado por el operario 3.

El índice de transmisibilidad, TR, se define como el cociente entre la aceleración continua equivalente disponiendo el acelerómetro en el interior del guante y la aceleración continua equivalente disponiendo el acelerómetro directamente sobre la empuñadura.

$$TR = \frac{a_{hv} \text{ acel. dentro del guante}}{a_{hv} \text{ acel. sobre la empuñadura}}$$

De forma que, si $TR > 1$ el guante amplifica la señal; y si $TR < 1$ el guante atenúa la señal.

$$TR_{\text{guante operario 3}} = \frac{3,196 \text{ m/s}^2}{3,186 \text{ m/s}^2} = 1,003.$$

Para el Operario 2 se obtuvieron los siguientes resultados:

Operario 2 Fecha: día 8	Acelerómetro sobre empuñadura		Acelerómetro dentro del guante	
	a_{hv} (m/s ²)	T (s)	a_{hv} (m/s ²)	T (s)
Muestreo 1	2,5	27	1,8	27
Muestreo 2	1,4	26	2,0	26
Muestreo 3	2,0	26	2,0	26
Muestreo 4	2,1	28	1,8	27
Promedio ponderado	2,048 m/s ²		1,912 m/s ²	

Tabla 16. Muestreo del guante utilizado por el operario 2.

En este caso el índice de transmisibilidad sería:

$$TR_{\text{guante operario 2}} = \frac{1,912 \text{ m/s}^2}{2,048 \text{ m/s}^2} = 0,934.$$

Se observa que el uso de guantes apenas afecta a la transmisión de las vibraciones, ni la atenúa ni la amplifica; lo cual entra dentro de lo razonable ya que los guantes utilizados no protegen específicamente frente a las vibraciones.

4. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que:

1º La variabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos realizados en distintas fechas para cada operario y una determinada tarea (lijado, desbastado y corte) es muy elevada. Sin embargo, considerando para cada tarea la variabilidad de las medianas correspondientes a los tres operarios, se puede concluir que es aceptable para la tarea de desbastado para las dos manos, y para la tarea de corte para la mano preferente. En principio se podría concluir que para:

- la tarea de desbastado los valores representativos (media) de aceleración continua equivalente son: $a_{hv} = 2,6 \text{ m/s}^2$ para la mano preferente y $a_{hv} = 3,1 \text{ m/s}^2$ para la mano guía;
- la tarea de lijado, $a_{hv} = 3,8 \text{ m/s}^2$ para la mano guía, no siendo representativo el valor obtenido para la mano preferente;
- la tarea de corte, $a_{hv} = 2,0 \text{ m/s}^2$ para la mano preferente, no siendo representativo el valor obtenido para la mano guía.

2º Respecto al análisis de varianza debe observarse que el valor central cuya representatividad se trata de estudiar es la media aritmética. El análisis se ha realizado para cada una de las manos, considerando tres grupos relativos a cada operario (Operario 1, Operario 2 y Operario 3), en los que se han agrupado las tres tareas (lijado, desbastado y corte). De dicho análisis se puede concluir que para la mano preferente el valor de la media aritmética, $a_{hv} = 2,62 \text{ m/s}^2$, es representativo de la exposición del operario para las tres tareas. No así en el caso de la mano guía que, del análisis de varianza, se concluye que la media $a_{hv} = 3,50 \text{ m/s}^2$ no cumple el criterio de representatividad.

4.1 CONCLUSIONES DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN PARA EL OBJETIVO PRINCIPAL

El método de análisis de varianza se ajusta mejor que los criterios de la norma UNE-EN ISO 20643:2008 a la hora de validar los valores centrales obtenidos como aceleración representativa de la serie de mediciones realizadas para incorporarlos a BaseVibra o similares.

De esta forma, los valores representativos de la aceleración continua equivalente de la amoladora objeto de este estudio para cualquiera de las tareas estudiadas, que pueden introducirse en BaseVibra son los siguientes:

- mano preferente: $a_{hv} = 2,60 \text{ m/s}^2$, a partir del análisis de varianza de la media aritmética para la mano preferente;
- mano guía: se debería desechar los ensayos, y volver a realizarlos hasta cumplir el criterio de aceptación del análisis de varianza.

4.2 CONCLUSIONES DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN PARA EL OBJETIVO SECUNDARIO

Respecto al análisis de la influencia de las fuerzas de acoplamiento (fuerza de agarre + fuerza de empuje) en las vibraciones transmitidas a la mano preferente, no se puede concluir de forma general que al aumentar la fuerza de acoplamiento aumenten las vibraciones, ya que esta relación lógica solo se cumple en uno de los tres operarios, el Operario 1, que es el más habituado al uso de este tipo de máquinas. Sin embargo, el aumento de la vibración no es lineal al incrementar la fuerza de acoplamiento.

Por otra parte, del análisis de la transmisibilidad de los guantes utilizados en los dos ensayos adicionales, se concluye que el uso de las dos marcas de guantes no clasificados como antivibración, no afecta en absoluto a las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo. Dado que estos dos modelos de guantes no amplifican la vibración transmitida al sistema mano-brazo por el uso de esta máquina durante la tarea de corte, sería recomendable utilizar este tipo de guante en ambientes fríos con el propósito de mantener las manos calientes y prevenir el riesgo del síndrome de dedo blanco. Este análisis abre la posibilidad de realizar estudios sobre la transmisibilidad de los guantes con el uso de instrumentación adecuada.

4.3 RECOMENDACIONES

Atendiendo a los resultados obtenidos y las conclusiones que se derivan de este proyecto de investigación, cabe destacar las siguientes recomendaciones:

- A la hora de planificar las mediciones, debe considerarse los parámetros que van a utilizarse en el estudio estadístico, teniendo en cuenta cuales pueden caracterizarla cuando haya diferencias significativas entre las medias de sus poblaciones, como ocurre en este estudio con el parámetro "tarea" y, cuales no pueden caracterizarse, como ocurre con el parámetro "operario".
- Los informes que reúnan los resultados de parámetros que puedan caracterizarse deberían especificar los valores centrales que sean representativos de cada una de las poblaciones. En el caso de que no haya diferencias significativas entre las medias poblacionales, bastaría con dar un único valor central, tal como ilustra este estudio para el parámetro "tarea", para el que no hay diferencias significativas entre las tres medias poblaciones de lijado, desbastado y corte. En caso de ensayar una única tarea, debería indicarse en el informe que el valor central es representativo exclusivamente para esa tarea.
- En el caso de que los parámetros no puedan caracterizarse no debería haber diferencias significativas entre las medias poblacionales, y si las hubiera, habría que rehacer el estudio, desechando las mediciones realizadas. Este estudio muestra este caso para el parámetro "operario", en el que sí hay diferencias significativas de las medias poblacionales para la mano-guía.
- Los informes deberían especificar toda la información concreta, evitando términos ambiguos:
 - Los datos de la máquina: marca, modelo y cualquier otra información que fuera relevante.
 - La tarea, el utillaje, referencia de la persona trabajadora (no identificativa), material sobre el que se trabaja, condiciones de funcionamiento de la máquina, etc.
 - Datos del ensayo: número de ensayo y número de muestras por ensayo, observaciones de funcionamiento de la tarea (si incluye pausas o se hace una simulación de varios ciclos seguidos sin pausas), etc.
 - Los resultados por ensayo y muestra, incluyendo duración de cada muestra y los resultados de aceleración por eje, así como el vector suma, en caso de vibración mano-brazo. En caso de vibración cuerpo entero, se debería especificar si los valores registrados por eje están multiplicados por el factor 1,4 o no, según corresponda.
 - Cualquier anomalía que pudiera suceder durante el muestreo o cualquier otra observación que se considere oportuna, por ejemplo, si se incluyen los valores de fuerza de acoplamiento.

ANEXO I: INFORMES 1 A 9 "RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES"

INFORME 1: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES DÍA 1

DATOS GENERALES:

Operario: Operario 1
Máquina: Amoladora
Tareas: Corte y lijado
Material: Barra de hierro de 14mm de espesor
N.º Ensayos / N.º muestreos: 2/8
Observaciones: Se han realizado 4 muestreos por ensayo, sin hacer pausas entre muestreo y muestreo.

RESULTADOS:

Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Corte	Muestreo 1	2,1	1,4	4,46 / 3,10	$C_v = 0,78$
	Muestreo 2	2,1	1,5	12,28 / 15,67	$C_v = 0,50$
	Muestreo 3	1,8	1,3	3,25 / 3,30	$C_v = 0,10$
	Muestreo 4	1,8	1,6	4,72 / 4,38	$C_v = 0,22$
Lijado	Muestreo 5	1,7	3,5	5,54 / 5,42	$C_v = 0,07$
	Muestreo 6	1,6	4,2	8,58 / 8,54	$C_v = 0,07$
	Muestreo 7	1,5	3,4	11,97 / 12,79	$C_v = 0,16$
	Muestreo 8	1,5	4,1	12,80 / 12,79	$C_v = 0,01$

INFORME 2: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES DÍA 2

DATOS GENERALES:

Operario: Operario 1 y Operario 2
 Máquina: Amoladora
 Tareas: Lijado, desbastado y corte
 Material: Barra de hierro de 14mm de espesor
 N.º Ensayos / N.º muestreos: 7/30
 Observaciones: Se han realizado 5 ensayos de 4 muestreos y 2 ensayos de 5 muestreos, sin hacer pausas entre muestreo y muestreo.

RESULTADOS:

Operario: Operario 1					
Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Lijado	Muestreo 1	1,4	3,5	0,71 / 0,51	$C_v = 1,01$
	Muestreo 2	1,3	3,6	0,62 / 0,62	$C_v = 0,30$
	Muestreo 3	1,4	3,0	0,91 / 0,77	$C_v = 0,64$
	Muestreo 4	1,3	3,4	1,27 / 0,74	$C_v = 1,27$
	Muestreo 5	1,3	3,0	11,68 / 11,50	$C_v = 0,07$
Desbastado	Muestreo 6	2,2	3,1	10,17 / 10,24	$C_v = 0,14$
	Muestreo 7	2,9	3,3	10,76 / 9,32	$C_v = 0,26$
	Muestreo 8	2,9	3,2	14,30 / 13,99	$C_v = 0,10$
	Muestreo 9	2,5	3,1	11,80 / 11,91	$C_v = 0,06$
Desbastado	Muestreo 10	2,7	3,5	6,06 / 6,12	$C_v = 0,10$
	Muestreo 11	2,4	3,3	7,81 / 7,33	$C_v = 0,20$
	Muestreo 12	2,2	2,9	10,44 / 11,19	$C_v = 0,17$
	Muestreo 13	2,3	2,9	9,10 / 9,12	$C_v = 0,08$
Corte	Muestreo 14	1,8	3,7	19,09 / 18,95	$C_v = 0,03$
	Muestreo 15	1,8	3,6	19,70 / 20,06	$C_v = 0,05$
	Muestreo 16	2,2	5,1	19,18 / 19,39	$C_v = 0,07$
	Muestreo 17	1,8	3,5	16,06 / 16,08	$C_v = 0,12$

Operario: Operario 2					
Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Corte	Muestreo 18	1,7	3,6	18,06 / 18,09	$C_v = 0,05$
	Muestreo 19	1,9	2,8	13,85 / 13,65	$C_v = 0,07$
	Muestreo 20	2,4	3,1	6,06 / 6,12	$C_v = 0,10$
	Muestreo 21	2,9	4,4	7,81 / 7,33	$C_v = 0,20$
Lijado	Muestreo 22	1,9	4,5	32,86 / 33,07	$C_v = 0,02$
	Muestreo 23	2,0	4,4	31,06 / 31,06	$C_v = 0,00$
	Muestreo 24	2,2	4,4	31,47 / 31,58	$C_v = 0,01$
	Muestreo 25	1,4	3,2	23,89 / 24,05	$C_v = 0,07$
	Muestreo 26	2,0	3,2	35,05 / 34,90	$C_v = 0,01$
Desbastado	Muestreo 27	4,8	8,1	29,41 / 29,30	$C_v = 0,02$
	Muestreo 28	4,4	7,9	29,28 / 29,27	$C_v = 0,01$
	Muestreo 29	4,3	7,6	30,64 / 29,40	$C_v = 0,08$
	Muestreo 30	4,5	9,0	34,86 / 34,77	$C_v = 0,01$

INFORME 3: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES DÍA 3

DATOS GENERALES:

Operario: Operario 3
 Máquina: Amoladora
 Tareas: Lijado, desbastado y lijado
 Material: Barra de hierro de 14mm de espesor
 N.º Ensayos / N.º muestreos: 3/12
 Observaciones: Se han realizado 4 muestreos por ensayo, haciendo una pausa entre muestreo para permitir la recolocación del acelerómetro por si se hubiera desplazado debido al efecto de la vibración. De esta forma, se puede controlar mejor la aplicación de la fuerza sobre el acelerómetro.

RESULTADOS:

Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Lijado	Muestreo 1	3,5	3,1	30,2 / 30,8	$C_v = 0,12$
	Muestreo 2	3,2	3,1	22,4 / 24,3	$C_v = 0,21$
	Muestreo 3	3,4	3,4	-	Pérdida de señal sensor Fz.
	Muestreo 4	3,0	3,4	-	Pérdida de señal sensor Fz.
Desbastado	Muestreo 5	3,0	2,7	7,1 / 5,9	$C_v = 0,43$
	Muestreo 6	2,6	2,5	19,7 / 19,1	$C_v = 0,20$
	Muestreo 7	3,0	2,7	8,3 / 9,7	$C_v = 0,62$
	Muestreo 8	2,7	2,4	13,0 / 11,5	$C_v = 0,24$
Corte	Muestreo 9	2,0	3,7	20,7 / 20,1	$C_v = 0,10$
	Muestreo 10	2,1	3,5	31,8 / 32,1	$C_v = 0,02$
	Muestreo 11	2,0	3,6	24,6 / 24,9	$C_v = 0,10$
	Muestreo 12	2,3	3,9	28,0 / 27,8	$C_v = 0,06$

INFORME 4: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES DÍA 4

DATOS GENERALES:

Operario: Operario 3
Máquina: Amoladora
Tareas: Desbastado, lijado y corte
Material: Barra de hierro de 14mm de espesor
N.º Ensayos / N.º muestreos: 1/4
Observaciones: Se han realizado 4 muestreos por ensayo, haciendo una pausa entre muestreo para permitir la recolocación del acelerómetro. La máquina deja de funcionar sin causa aparente, por lo que no puede procederse a los ensayos correspondientes de lijado y corte.

RESULTADOS:

Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Desbastado	Muestreo 1	2,7	2,8	29,9 / 30,5	$C_v = 0,07$
	Muestreo 2	2,7	2,8	14,7 / 16,1	$C_v = 0,21$
	Muestreo 3	2,9	3,0	-	Pérdida de señal sensor Fz.
	Muestreo 4	2,6	2,9	10,7 / 12,7	En los últimos 7s baja la señal de Fz.

INFORME 5: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES DÍA 5

DATOS GENERALES:

Operario: Operario 3
 Máquina: Amoladora
 Tareas: Lijado, desbastado y corte
 Material: Barra de hierro de 14mm de espesor
 N.º Ensayos / N.º muestreos: 3/12
 Observaciones: Se han realizado 4 muestreos por ensayo, haciendo una pausa entre muestreo para permitir la recolocación del acelerómetro.

RESULTADOS:

Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Lijado	Muestreo 1	1,8	2,2	28,3 / 29,9	$C_v = 0,27$
	Muestreo 2	1,8	2,4	-	Pérdida de señal sensor Fz.
	Muestreo 3	1,7	2,3	-	Pérdida de señal sensor Fz.
	Muestreo 4	1,7	2,4	14,8 / 12,3	$C_v = 0,36$
Desbastado	Muestreo 5	2,2	2,2	-	Pérdida de señal sensor Fz.
	Muestreo 6	2,2	1,9	15,7 / 18,2	$C_v = 0,49$
	Muestreo 7	1,9	1,7	25,2 / 23,7	$C_v = 0,10$
	Muestreo 8	1,9	1,8	13,2 / 12,8	$C_v = 0,12$
Corte	Muestreo 9	1,9	3,0	16,1 / 15,7	$C_v = 0,10$
	Muestreo 10	1,7	2,5	10,3 / 10,3	$C_v = 0,02$
	Muestreo 11	1,6	2,3	21,0 / 21,0	$C_v = 0,02$
	Muestreo 12	1,8	2,6	16,2 / 17,3	$C_v = 0,26$

INFORME 6: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES DÍA 6

DATOS GENERALES:

Operario:	Operario 3
Máquina:	Amoladora
Tareas:	Desbastado. lijado y corte
Material:	Barra de hierro de 14mm de espesor
N.º Ensayos / N.º muestreos:	3/12
Observaciones:	Se han realizado 4 muestreos por ensayo, haciendo una pausa entre muestreos para permitir la recolocación del acelerómetro. Es la primera vez que se realizan los ensayos de desbastado y lijado apoyando el acelerómetro en la palma de la mano. Hasta ahora se apoyaba en la pinza entre pulgar e índice. Se resuelve el problema de pérdida de señal del sensor de fuerza., aunque el CV da desigual.

RESULTADOS:

Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Desbastado	Muestreo 1	1,9	2,3	34,4 / 29,8	$C_v = 0,37$
	Muestreo 2	2,2	2,3	36,5 / 33,7	$C_v = 0,20$
	Muestreo 3	3,0	2,7	23,7 / 23,1	$C_v = 0,09$
	Muestreo 4	2,8	2,6	21,4 / 21,4	$C_v = 0,08$
Lijado	Muestreo 5	2,3	2,9	25,1 / 24,7	$C_v = 0,10$
	Muestreo 6	2,5	3,0	22,6 / 22,3	$C_v = 0,07$
	Muestreo 7	2,1	2,8	23,0 / 22,7	$C_v = 0,03$
	Muestreo 8	2,2	2,9	17,0 / 18,4	$C_v = 0,30$
Corte	Muestreo 9	2,1	2,9	16,7 / 15,4	$C_v = 0,21$
	Muestreo 10	1,9	2,7	6,7 / 6,4	$C_v = 0,37$
	Muestreo 11	2,0	2,9	17,7 / 17,1	$C_v = 0,08$
	Muestreo 12	1,9	2,5	17,5 / 17,4	$C_v = 0,07$

INFORME 7: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES DÍA 7

DATOS GENERALES:

Operario: Operario 2 y Operario 3
 Máquina: Amoladora
 Tareas: Corte, desbastado y lijado
 Material: Barra de hierro de 14mm de espesor
 N.º Ensayos / N.º muestreos: 6/23
 Observaciones: Se han realizado 4 muestreos por ensayo, haciendo una pausa entre muestreo para permitir la recolocación del acelerómetro. **Los ensayos de desbastado y lijado se realizan apoyando el acelerómetro en la palma de la mano**, al igual que en el informe 6.

RESULTADOS:

Operario: Operario 2					
Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Corte	Muestreo 1	2,2	3,7	17,7 / 17,8	$C_v = 0,03$
	Muestreo 2	2,3	4,1	11,1 / 11,1	$C_v = 0,03$
	Muestreo 3	2,3	4,2	9,7 / 9,9	$C_v = 0,03$
	Muestreo 4	2,2	4,2	7,9 / 7,9	$C_v = 0,01$
Desbastado	Muestreo 5	2,0	3,4	15,5 / 15,2	$C_v = 0,07$
	Muestreo 6	2,5	3,5	8,6 / 8,5	$C_v = 0,06$
	Muestreo 7	2,5	3,7	9,6 / 9,5	$C_v = 0,15$
	Muestreo 8	2,4	3,4	4,5 / 4,3	$C_v = 0,22$
Lijado	Muestreo 9	3,1	3,5	-	Pérdida de señal sensor Fz.
	Muestreo 10	3,7	4,5	10,2 / 10,1	$C_v = 0,20$
	Muestreo 11	3,5	4,3	5,7 / 5,8	$C_v = 0,05$
	Muestreo 12	3,8	4,5	7,9 / 7,9	$C_v = 0,15$

Operario: Operario 3					
Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Lijado	Muestreo 1	4,5	4,0	15,6 / 15,3	$C_v = 0,10$
	Muestreo 2	4,1	3,7	22,6 / 25,3	$C_v = 0,29$
	Muestreo 3	4,1	3,4	14,7 / 14,0	$C_v = 0,16$
	Muestreo 4	3,4	3,0	9,3 / 9,1	$C_v = 0,18$
Desbastado	Muestreo 5	2,8	2,7	20,8 / 21,9	$C_v = 0,48$
	Muestreo 6	2,9	2,7	12,6 / 12,5	$C_v = 0,10$
	Muestreo 7	3,3	2,6	14,8 / 13,9	$C_v = 0,31$
	Muestreo 8	2,8	2,4	11,7 / 12,1	$C_v = 0,17$
Corte	Muestreo 9	2,5	4,0	37,5 / 36,4	$C_v = 0,07$
	Muestreo 10	2,3	3,5	19,1 / 18,7	$C_v = 0,12$
	Muestreo 11	2,4	3,7	1,9 / 1,8	$C_v = 0,44$ ANULADO

En el muestreo 11 se corta la medición al agotarse la batería de la máquina ensayada. El tiempo de muestreo es de 19 segundos, y aunque la aceleración se mantiene las fuerzas de acoplamiento disminuyen drásticamente, por lo que el ensayo se tendrá en cuenta para las aceleraciones, pero no para las fuerzas.

INFORME 8: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES DÍA 8

DATOS GENERALES:

Operario: Operario 2
 Máquina: Amoladora
 Tareas: Corte, desbastado y lijado
 Material: Barra de hierro de 14mm de espesor
 N.º Ensayos / N.º muestreos: 4/16
 Observaciones: Se han realizado 4 muestreos por ensayo, haciendo una pausa entre muestreos para permitir la recolocación del acelerómetro. **Los ensayos de desbastado y lijado se realizan apoyando el acelerómetro en la palma de la mano**, al igual que en los informes 6 y 7. El último ensayo se realiza con el acelerómetro de la mano preferente dentro del guante, para verificar la atenuación.

RESULTADOS:

Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Lijado	Muestreo 1	3,8	4,0	99,4 / 99,3	$C_v = 0,00$
	Muestreo 2	3,9	4,0	103,5 / 103,5	$C_v = 0,01$
	Muestreo 3	3,7	3,8	102,5 / 102,3	$C_v = 0,01$
	Muestreo 4	3,9	4,0	103,8 / 103,4	$C_v = 0,02$
Desbastado	Muestreo 5	2,5	3,7	106,3 / 106,1	$C_v = 0,01$
	Muestreo 6	2,2	3,5	103,7 / 103,6	$C_v = 0,01$
	Muestreo 7	2,4	3,4	104,1 / 103,9	$C_v = 0,01$
	Muestreo 8	2,5	3,4	112,6 / 111,9	$C_v = 0,02$
Corte	Muestreo 9	2,5	4,6	85,2 / 85,2	$C_v = 0,00$
	Muestreo 10	1,4	2,9	86,6 / 86,6	$C_v = 0,00$
	Muestreo 11	2,0	4,1	89,5 / 89,5	$C_v = 0,00$
	Muestreo 12	2,1	4,2	85,5 / 84,4	$C_v = 0,01$
Corte: acelerómetro dentro guante	Muestreo 13	1,8	3,4	79,6 / 80,9	$C_v = 0,03$
	Muestreo 14	2,0	4,0	84,5 / 84,5	$C_v = 0,01$
	Muestreo 15	2,0	4,1	83,9 / 84,1	$C_v = 0,01$
	Muestreo 16	1,8	3,9	76,4 / 76,0	$C_v = 0,01$

INFORME 9: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE VIBRACIONES DÍA 9

DATOS GENERALES:

Operario:	Operario 1
Máquina:	Amoladora
Tareas:	Corte, desbastado y lijado
Material:	Barra de hierro de 14mm de espesor
N.º Ensayos / N.º muestreos:	4/16
Observaciones:	Se han realizado 4 muestreos por ensayo, haciendo una pausa entre muestreos para permitir la recolocación del acelerómetro. Los ensayos de desbastado y lijado se realizan apoyando el acelerómetro en la palma de la mano , al igual que en los informes 6 ,7 y 8. Se ha realizado un ensayo de corte con el operario 1 y con el acelerómetro de la mano preferente dentro del guante, para verificar la atenuación.

RESULTADOS:

Operario: Operario 1					
Ensayo	Muestreo	Vibración MP	Vibración MG	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Corte	Muestreo 1	3,5	6,1	11,2 / 10,4	$C_v = 0,31$
	Muestreo 2	3,2	6,2	20,7 / 20,2	$C_v = 0,22$
	Muestreo 3	3,4	6,4	18,6 / 15,5	$C_v = 0,33$
	Muestreo 4	2,5	4,4	23,1 / 23,5	$C_v = 0,05$
Corte: acelerómetro dentro guante	Muestreo 5	3,3	5,7	-	Pérdida de señal sensor Fz.
	Muestreo 6	3,6	6,2	-	Pérdida de señal sensor Fz.
	Muestreo 7	2,9	5,1	28,0 / 28,6	$C_v = 0,24$
	Muestreo 8	2,9	4,6	41,3 / 39,9	$C_v = 0,17$
Lijado	Muestreo 9	3,7	4,7	58,9 / 57,9	$C_v = 0,07$
	Muestreo 10	3,9	4,7	49,9 / 51,0	$C_v = 0,09$
	Muestreo 11	3,4	4,1	40,1 / 40,0	$C_v = 0,03$
	Muestreo 12	3,6	4,1	41,0 / 39,8	$C_v = 0,09$

Operario: Operario 1					
Ensayo	Muestreo	Vibración M.P	Vibración M.G	Fuerza Media/Mediana	Observaciones
Desbastado	Muestreo 13	5,5	4,7	21,9 / 24,2	$C_v = 0,35$
	Muestreo 14	4,8	4,7	19,7 / 19,6	$C_v = 0,18$
	Muestreo 15	4,7	3,8	18,1 / 17,3	$C_v = 0,27$
	Muestreo 16	3,3	3,3	21,2 / 21,1	$C_v = 0,26$

