



16 DE FEBRERO DE 2021

# MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE VIBRACIONES PRODUCIDAS POR TRONADURAS

MINA DON GABRIEL. REGIÓN DE COQUIMBO  
TX-AA-210216V1

CLIENTE: SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE – SMA  
ELABORADO POR: TRIAXIAL INGENIERÍA  
[www.triaxial.cl](http://www.triaxial.cl)



## Tabla de contenido

1	Resumen Ejecutivo .....	2
2	Introducción .....	2
3	Objetivos .....	3
4	Normativa Aplicable.....	3
4.1	DIN 4150-3:1999 .....	3
4.2	OSMRE - USBM RI8507 .....	5
5	Fuente de Vibración y Punto de Medicón.....	6
6	Metodología.....	9
6.1	Ubicación del equipo y configuración para monitoreo continuo .....	9
6.2	Medición presencial de vibración de fondo.....	10
6.3	Instrumentación .....	10
7	Resultados .....	11
7.1	Medición presencial de vibración de fondo.....	11
7.2	Monitoreo continuo .....	12
7.2.1	Registros de Tronaduras.....	12
7.2.2	Tronadura 1 .....	12
7.2.3	Tronadura 2 .....	13
8	Evaluación .....	15
8.1	DIN 4150.....	15
8.2	OSMRE – USBM RI8507 .....	15
9	Resumen y Conclusiones .....	16

## 1 RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe contiene los resultados del monitoreo continuo y la evaluación de las vibraciones generadas por tronaduras en la Mina Don Gabriel, operada por Minera Tres Valles, ubicada en la comunidad agrícola de Chalinga, provincia de Salamanca. A solicitud de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), se ha realizado un monitoreo continuo durante 4 días hábiles consecutivos en una de las viviendas en Manquehua. La campaña de medición se realizó entre desde el miércoles 20 al lunes 25 de enero de 2021.

Para efectos de evaluar el posible daño en las estructuras (viviendas), se utilizarán los criterios definidos en la norma y guía siguientes:

- DIN 4150:1999 *Structural Vibration Part 3: Effects of vibrations on structures*.
- Criterios OSMRE – USBM RI 8507. Structure response and damage produced by ground vibrations from Surface minie blasting

Durante el periodo de monitoreo se registraron 2 tronaduras. A continuación, en la Tabla 1.1, se resumen los resultados de la evaluación realizada con la norma DIN 4150-3:1999, para las 2 tronaduras medidas.

Tronadura	Eje dominante	PPV medido, en mm/s	Valor guía, en mm/s	Evaluación
1	Longitudinal (Y)	0,032	3	No supera
2	Longitudinal (Y)	0,72	3	No supera

Tabla 1.1. Resumen de la evaluación de la velocidad de vibración medida en las tronaduras. DIN 4150-3.

Por otra parte, en la Tabla 1.2, se resumen los resultados de la evaluación realizada con la criterio OSMRE – USBM RI 8507.

Tronadura	Eje dominante	PPV medido, en mm/s	Valor guía, en mm/s	Evaluación
1	Longitudinal (Y)	0,032	12,7	No supera
2	Longitudinal (Y)	0,72	50,8	No supera

Tabla 1.2. Resumen de la evaluación de la velocidad de vibración medida en las tronaduras. OSMRE – USBM RI8507.

## 2 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a la presentación de los resultados del monitoreo y evaluación de las vibraciones producidas por las tronaduras realizadas en la Mina Don Gabriel, rajo abierto operado por Minera Tres Valles, desde una vivienda ubicada en la localidad de Manquehua, cercana al lugar de tronadura.

Las actividades relacionadas con la operación de la Mina Don Gabriel incluyen tronaduras periódicas que conllevan la generación de vibraciones y la posterior propagación de éstas perturbaciones por el terreno. Dichas emisiones podrían generar un eventual impacto o daños en las viviendas situados en la localidad de Manquehua, cercana a la Mina Don Gabriel, siendo de interés para el presente estudio determinar si existe o no superación de los valores límite definidos para este proyecto.

Para tal efecto la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) ha seleccionado 1 vivienda en Manquehua a objeto de efectuar un monitoreo continuo, de 4 días hábiles consecutivos, de la vibración generada por las tronaduras.

A partir de los resultados obtenidos, se determinó el cumplimiento o incumplimiento de la norma de referencia DIN 4150-3 y de los criterios establecidos por la agencia OSMBE, siendo ambos aplicables a la evaluación de posibles daños estructurales producto de tronaduras.

### 3 OBJETIVOS

El objetivo general del presente estudio es medir y evaluar las vibraciones producidas por las tronaduras realizadas en la Mina Don Gabriel en una vivienda de la localidad de Manquehua, donde los vecinos han manifestado preocupación por los posibles daños que las viviendas puedan sufrir producto de las tronaduras.

Para el cumplir con este objetivo se ha realizado un monitoreo de vibración en una de las viviendas afectadas.

### 4 NORMATIVA APLICABLE

#### 4.1 DIN 4150-3:1999

Esta norma especifica una metodología de medición y evaluación de los efectos de las vibraciones en estructuras diseñada en primer término para cargas estáticas. Aplica a estructuras que no necesitan ser diseñadas para estándares específicos o que requieran cargas dinámicas.

Esta norma entrega valores guía los cuales, cuando se cumplen, no producirán daños que puedan tener un efecto adverso en el uso de la estructura. En algunos casos se entregan valores para una evaluación simplificada.

La norma se basa en valores máximos de velocidad de vibración sin ponderación,  $V_{i\max}$ , o PPV para efectos de este estudio, para los tres componentes, longitudinal (Y), transversal (X) y vertical (Z), medidos en las fundaciones del edificio o estructura.

En la Tabla 4.1 y la Figura 4.1 se muestran los valores guía  $V_{i\max}$  en las fundaciones y en plano del piso más alto para varios tipos de edificios. En la norma se indica que; *“la experiencia ha mostrado que, si se cumplen con estos valores, no se producirán daños que reduzcan el uso o servidumbre del edificio. Si sin embargo ocurre daño, se puede asumir que son debidas a otras causas. Exceder los valores de la tabla no necesariamente provoca daño, deberían ser superados ampliamente, sin embargo, se requiere una investigación más detallada”*.

Línea	Tipo de estructura	Valores guía de velocidad, $V_{i \max}$ , en mm/s			
		Velocidad de vibración en la fundación			Vibración en el plano horizontal del piso más alto para todas las frecuencias
		1 a 10 Hz	10 a 50 Hz	50 a 100 Hz	
1	Edificios con usos comerciales, industriales y de diseño similar	20	20 a 40	40 a 50	40
2	Viviendas y edificios de diseño y/o ocupación similar	5	5 a 15	15 a 20	15
3	Estructuras que, debido a su particular sensibilidad a la vibración, no pueden ser clasificadas las líneas 1 y 2, como edificios históricos	3	3 a 8	8 a 10	8

Tabla 4.1. Valores guía de velocidad de vibración. Norma DIN 4160-3.

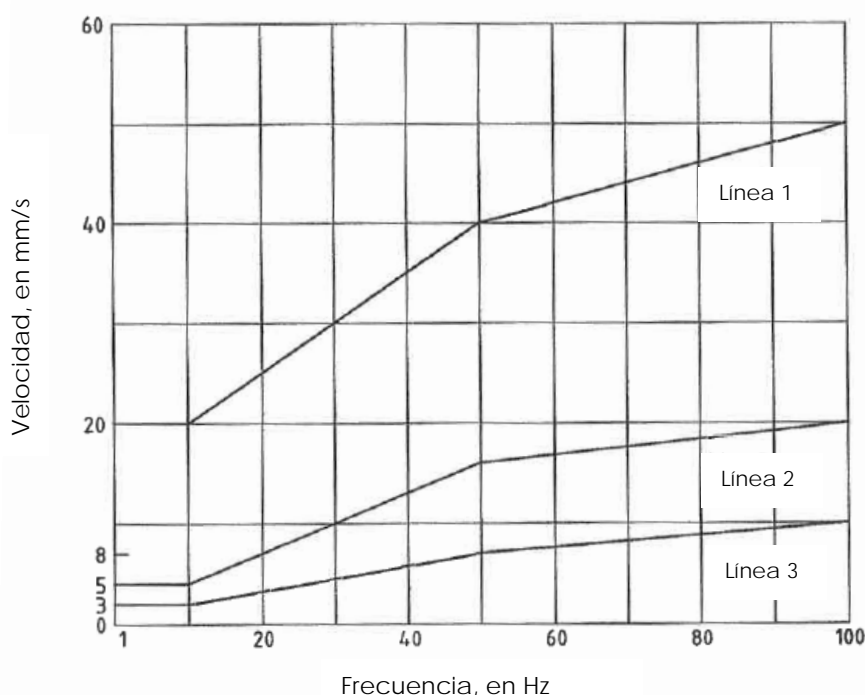


Figura 4.1. Curvas de valores guía especificados en la tabla 4.1 para velocidad de vibración medidas en las fundaciones

Para efectos de esta evaluación, se asume que las tronaduras producidas en la Mina Don Gabriel deben **cumplir con los valores de la línea 3**, que son los más restrictivas.

Por otra parte, en la norma se indica que la instrumentación utilizada debe cumplir con los requerimientos especificados en la norma DIN 45669-1 y el procedimiento debe ser el descrito en la norma DIN 45669-2. Para medir vibraciones en las fundaciones, la toma de datos para las tres direcciones de medición de realizarse en el suelo del edificio objeto de estudio, ya sea en la fundación de la pared exterior, o en la propia pared. En edificios sin sótano el punto de medición

no debe estar situada a más de 0,5 metros sobre el suelo. Los puntos de medición deben ubicarse preferentemente en el lado de la estructura que enfrenta a la fuente de epistación. Se debe registrar la historia temporal de las componentes X, Y y Z, con uno de los ejes paralelo a la pared de edificio.

## 4.2 OSMRE - USBM RI8507

La agencia estatal OSMRE (Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement) de Estados Unidos regula las vibraciones transmitidas por el suelo producidas por las actividades de las operaciones mineras. Los requerimientos se recogen en los documentos 30 CFR 816.67 y RI 8507 (1989). En ellos se indican valores recomendados de velocidad de vibración y requerimientos de la instrumentación. La OSMRE utiliza la velocidad peak de partícula  $V_{max}$ , (PPV, Peak Particle Velocity), como descriptor puesto que se correlaciona mejor con daños y quejas. El  $V_{max}$  debe ser medido simultáneamente en tres ejes ortogonales.

Las recomendaciones de la OSMRE indican la vibración máxima no debe en ninguna de las ubicaciones de cualquier vivienda, edificios públicos, escuelas, iglesias o edificios comunitarios o públicos, exceder los límites resumidos en la Tabla 4.2. En esta tabla se han cambiado las unidades del documento original, pulgadas/segundos, a mm/s.

Distancia (D) desde el sitio de tronadura, en metros	Máximo permitido de velocidad peak de partícula, $V_{max}$ , en mm/s
0 a 91,4	31,75
91,4 a 1.524	25,4
1.524 y más lejos	19,05

Tabla 4.2. Valores máximos de velocidad de partícula recomendados por la OSMRE.

Además, se incluye un criterio alternativo que permite evaluar los daños en viviendas en función del tipo de paredes interiores y la frecuencia del valor  $V_{max}$ . Este criterio de resume en la Tabla 4.3 y se muestra en la Figura 4.2. En ambos casos se han cambiado las unidades del documento original, pulgadas/segundo, a mm/s.

Tipo de Vivienda	Máximo permitido de velocidad peak de partícula, $V_{max}$ , en mm/s			
	Frecuencia, en Hz			
Vivienda paredes interiores de cartón yeso	1 a 4 Hz	4 a 16 Hz	16 a 30 Hz	40 a 100 Hz
	5 - 19	19	19 – 50,8	50,8
Vivienda con revestimiento de yeso en paredes interiores	Frecuencia, en Hz			
	1 a 2,6 HZ	2,6 a 10 Hz	10 a 40 Hz	40 a 100 HZ
	5 -12,7	12,7	12,7 – 50, 8	50,8

Tabla 4.3. Valores máximos de velocidad de partícula recomendados en el documento RI8507.

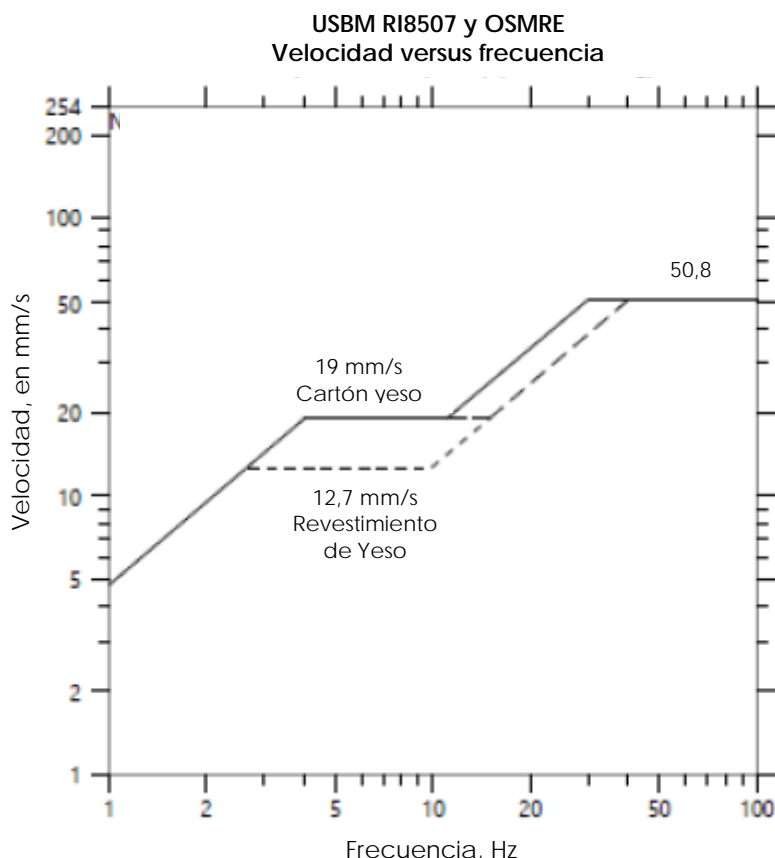


Figura 4.2. Valores máximos de velocidad de partícula recomendados en el documento RI8507.

Para efectos de esta evaluación, se asume que las tronaduras producidas en la Mina Don Gabriel deben **cumplir con la curva definida para viviendas con revestimiento de yeso**, siendo ésta la más restrictiva.

## 5 FUENTE DE VIBRACIÓN Y PUNTO DE MEDICIÓN

La fuente de vibración objeto de estudio son las tronaduras realizadas por en la Mina Don Gabriel, rajo abierto operado por Minera Tres Valles. No se ha definido un horario fijo para las tronaduras, pudiendo realizarse entre las 8.00 y las 18.00 horas, de lunes a viernes.

La ubicación de la mina, próxima a la localidad de Manquehua, se muestra en la Ilustración 5.1.



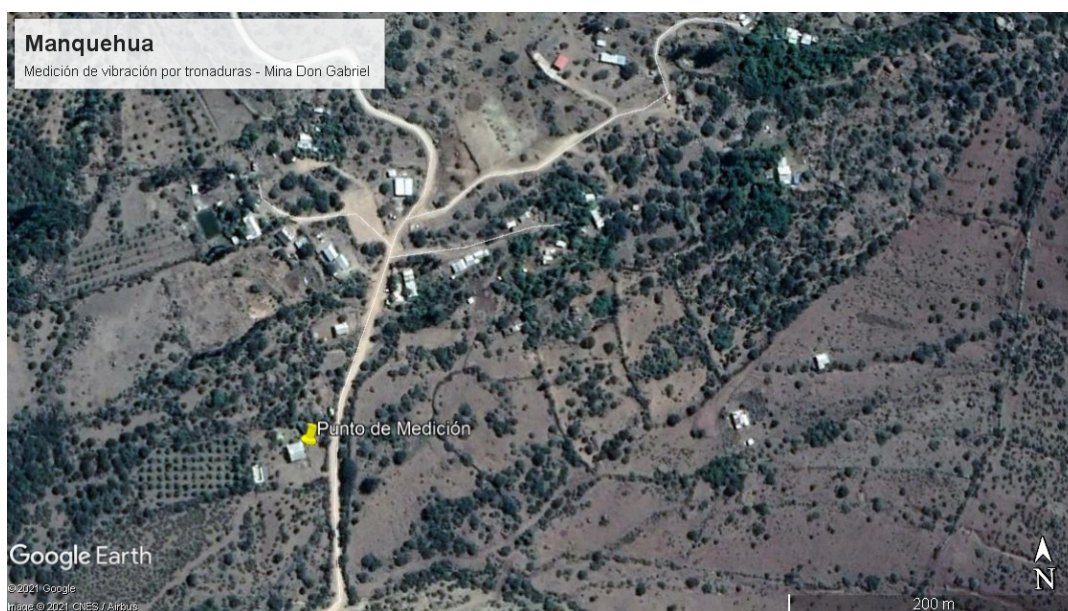


*Ilustración 5.1. Ubicación de la mina Don Gabriel y punto de medición en Manquehua.*

Para la evaluación de las vibraciones de las tronaduras se ha definido un punto de medición en una vivienda situada en la localidad de Manquehua. La distancia entre la mina y el punto de medición es de 1.800 metros aproximadamente. La ubicación de la vivienda se muestra en las ilustraciones 5.1 y 5.2. Las coordenadas se resumen en la Tabla 5.1.

Uso	Coordenada este	Coordenada norte
19 J	315900	6490174

*Tabla 5.1. Coordenadas de la vivienda objeto de estudio.*



*Ilustración 5.2. Ubicación de la vivienda donde se realizan las mediciones de vibración.*



La vivienda es de un piso, tiene fundaciones y losa de hormigón, estructura de tabiques revestidos exteriormente y techo de planchas de zinc. Actualmente la vivienda no está habitada y se utiliza como sede social. En la Ilustración 5.3 se muestran fotografías de la vivienda.



*Ilustración 5.3 Fotografías de la vivienda objeto de estudio.*

## 6 METODOLOGÍA

### 6.1 Ubicación del equipo y configuración para monitoreo continuo

El equipo de medición fue situado en el suelo, próximo a la pared de la fachada orientada hacia la mina Don Gabriel, fachada este. En esta zona de la casa está ubicada la cocina. Se retiraron todos los elementos que pudiesen alterar los valores de vibración, como por ejemplo los electrodomésticos.

El equipo se dispuso de manera que los ejes quedan de la manera siguiente:

- Eje X, Transversal, paralelo a la pared
- Eje Y, Longitudinal, perpendicular a la pared de fachada
- Eje Z, Vertical

El equipo fue conectado a la red eléctrica de la vivienda con una batería de respaldo. En la Ilustración 6.1 se muestran fotografías de la ubicación del equipo en la vivienda, acorde con las recomendaciones de la norma DIN 4150-3.

El equipo fue instalado el miércoles 20 de enero de 2021, entre las 13.00 y 14.30 h, y fue desinstalado el lunes 25 de enero de 2021, entre las 15.00 y 15.30 h.



Ilustración 6.1. Fotografías de la disposición del equipo al interior de la vivienda.

Para registrar las vibraciones se utilizaron 2 de los modos de almacenamiento del equipo, eventos y background. El primero es el modo de registro de eventos por superación de un umbral de vibración o trigger. El equipo está monitorizando la vibración de manera continua, el usuario define un valor de vibración, en mm/s, como valor umbral y se registra el evento de vibración cuando se supera dicho valor. Esto permite registrar solo las vibraciones asociadas a un evento con valores de vibración cercanos a los valores guía. Se registra la historia temporal del evento, esto es, el valor de vibración en mm/s versus tiempo. Con estos datos el equipo calcula posteriormente los valores Peak (PPV), y su frecuencia dominante. Estos resultados serán comparados con los valores guía, en este caso los valores definidos en la norma DIN 4150-3 y criterios OMSRE - USBM RI8507. Los valores de umbral fueron definidos una vez realizadas las mediciones presenciales durante la instalación del equipo, descritas en el apartado 6.2.



El segundo modo de registro, modo background, permite almacenar un valor de vibración cada cierto intervalo de tiempo, 30 segundos, por ejemplo. De esta manera se registran valores de velocidad de vibración durante todo el periodo de monitoreo independiente de si supera o no el valor umbral del modo eventos.

La configuración utilizada para el monitoreo continuo de vibración se resume en la Tabla 6.1.

<u>Registro de vibración</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Rango de frecuencia: 1 a 315 Hz</li><li>• Frecuencia de sampleo: 800 Hz</li></ul>
<u>Modo Eventos:</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Valor umbral: <b>0,5 mm/s</b> para cada eje</li><li>• Pre evento: 10 segundos</li><li>• Post evento: 20 segundos</li><li>• Máxima duración del evento: 60 segundos</li></ul>
<u>Modo Background</u> <ul style="list-style-type: none"><li>• Registro de Velocidad Peak y frecuencia dominante cada 30 segundos</li></ul>

*Tabla 6.1. Configuración utilizada para el monitoreo continuo de vibración. Manquehua*

Es importante mencionar que, por la carretera de acceso a Manquehua, situada delante de la vivienda, no circulan vehículos pesados. Este hecho, sumado a que la vivienda no está habitada, hace esperar que no se producirán valores elevados de vibración por otras fuentes distintas de la tronadura. Esto ha permitido dejar el umbral en un valor bajo, 0,5 mm/s.

## 6.2 Medición presencial de vibración de fondo

Durante la instalación del sistema de monitoreo se realizaron mediciones de la vibración del lugar. Estos resultados permitieron definir el valor umbral para el registro de eventos y, además, caracterizar los niveles de vibración presentes en el lugar.

Se realizó un registro durante 10 minutos de manera continua, en modo manual, almacenando registros de 1 minuto, 10 en total. La configuración del equipo fue la indicada en la Tabla 6.1. Se registró el paso de vehículos por la carretera cercana y de un vehículo al entrar al estacionamiento de la vivienda, justo delante de ésta.

## 6.3 Instrumentación

La instrumentación utilizada fue la siguiente:

- Sistema de monitoreo de vibración Syscom modelo MR3000 s/n 16210001, con sensor triaxial interno de velocidad de vibración (geófono)
- GPS Garmin modelo etrex 10
- Computador portátil

El certificado de calibración del equipo se incluye en el anexo II.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Medición presencial de vibración de fondo

A continuación, en la Tabla 7.1 se resumen los resultados de la medición presencial, valores peak de velocidad de vibración, durante los 10 minutos de medición.

Registro	Hora	Duración, s	Valor peak, en mm/s		
			Eje X	Eje Y	Eje Z
5	13:26:00	60	0,007	0,005	0,01
6	13:26:59	60	0,001	0,001	0,001
7	13:27:59	60	0,001	0,001	0,001
8	13:28:59	60	0,007	0,01	0,022
9	13:29:59	60	0,007	0,01	0,012
10	13:30:59	60	0,008	0,008	0,012
11	13:31:59	60	0,003	0,002	0,003
12	13:32:59	60	0,002	0,003	0,005
13	13:33:59	60	0,001	0,002	0,003
14	13:34:59	60	0,001	0,001	0,001

Tabla 7.1. Resumen de los niveles de ruido de fondo. Horario diurno.

Tal como se observa en la tabla anterior, todos los valores resultan especialmente bajos al compararlos con el valor guía de la norma DIN 4150-3, que es 3 mm/s en el caso más exigente.

A modo de ejemplo, en la Figura 7.1 se muestran el registro temporal obtenido en el registro 9 de la medición presencial para los 3 ejes. En este caso se registró el paso de un vehículo por la carretera y en el estacionamiento de la vivienda. En el anexo I se incluyen todos los registros.

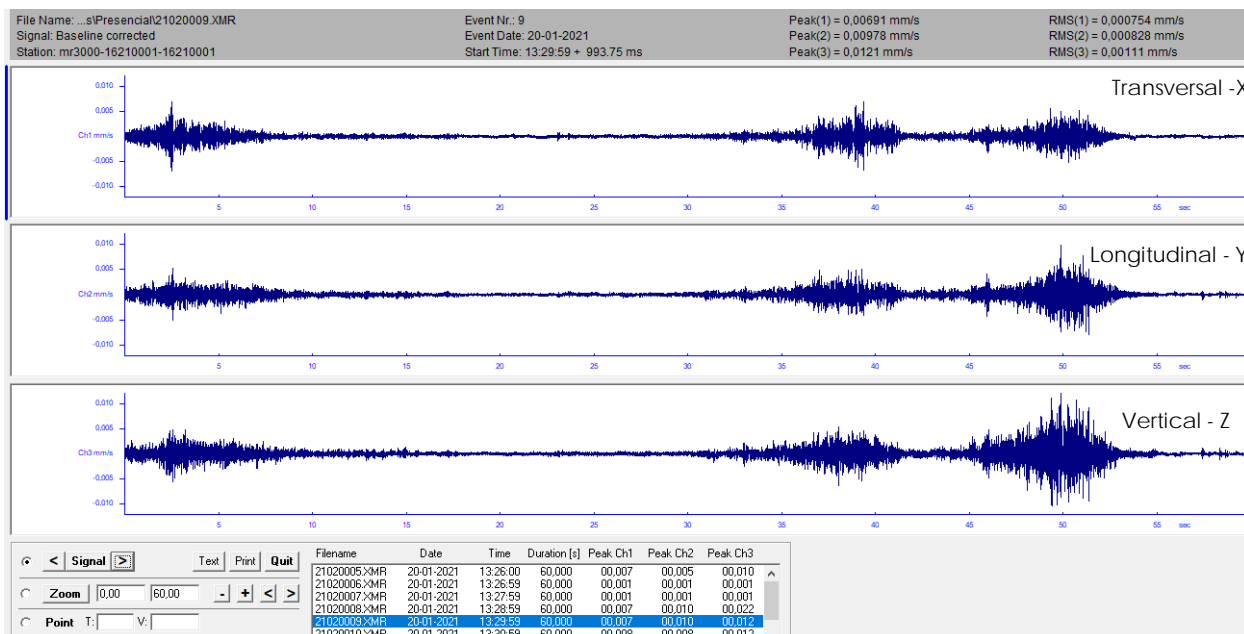


Figura 7.1. Historia temporal de velocidad de vibración. Medición presencial, registro 9.

## 7.2 Monitoreo continuo

### 7.2.1 Registros de Tronaduras

Durante el periodo de monitoreo continuo, desde las 14.30 horas del miércoles 20 de enero y hasta el lunes 25 de enero a las 15.30 horas no se registraron eventos de vibración. Esto significa que no existieron vibraciones por sobre los 0,5 mm/s, que fue el valor utilizado como umbral.

Sin embargo, de acuerdo a la información proporcionada por la persona encargada de la vivienda, se realizaron 2 tronaduras en el periodo de monitoreo. La primera, el viernes 22 de enero entorno a las 17.45 horas, y la segunda, el lunes 25 de enero cerca de las 14.00 horas.

Por otra parte, al revisar los datos obtenidos en el modo Background, se puede constatar que efectivamente hay valores de velocidad de vibración en la hora de las tronaduras, inferiores a los 0,5 mm/s.

### 7.2.2 Tronadura 1

En la Figura 7.2 se muestran los valores peak de vibración (PPV) obtenidos en la Tronadura 1, entre las 17.22 y las 18.22 horas del viernes 22 de enero de 2021, para los tres ejes ortogonales, con el modo background.



Figura 7.2. Valores de velocidad peak de vibración registrados en modo background. Tronadura 1 (22.02.21).

Tal como se observa en la figura anterior, el valor más alto se produce a las 17.45 horas en los 3 ejes simultáneamente, siendo el eje longitudinal (Y) el de mayor valor. Esta hora coincide con el horario de la tronadura indicado por la persona encargada de la vivienda.

La Figura 7.3 muestra la distribución de los valores PPV en frecuencia y magnitud. Todos los registros todos son inferiores a 0,1 mm/s y están por debajo de 60 Hz.

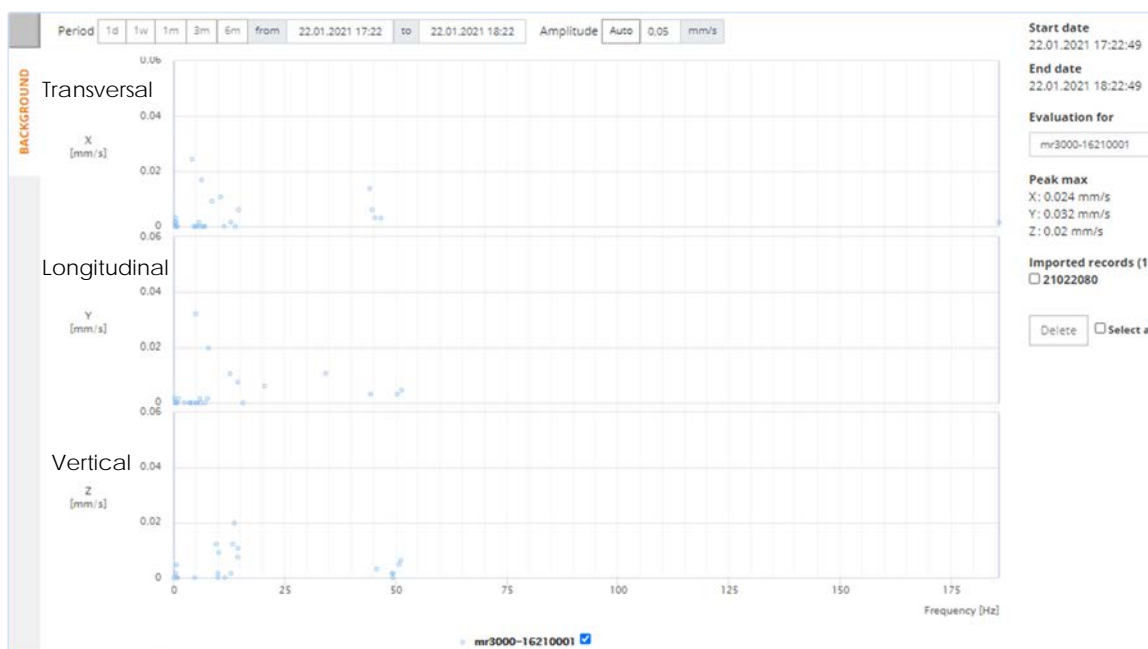


Figura 7.3. Valores de velocidad peak de vibración y frecuencia dominante registrados en modo background. Tronadura 1 (22.02.21).

### 7.2.3 Tronadura 2

En la Figura 7.4 se muestran los valores peak de vibración (PPV) obtenidos en la Tronadura 2, entre las 13.22 y las 14.22 horas del lunes 25 de enero de 2021, para los tres ejes ortogonales, con el modo background.



Figura 7.4. Valores de velocidad peak de vibración registrados en modo background. Tronadura 2 (25.02.21).



Tal como se observa en la figura anterior, el valor más alto se produce a las 13.58 horas en los 3 ejes simultáneamente, siendo el eje longitudinal (Y) el de mayor valor. Esta hora coincide con el horario de la tronadura indicado por la persona encargada de la vivienda.

La Figura 7.5 muestra la distribución de los valores PPV en frecuencia y magnitud. Todos los registros son inferiores a 0,1 mm/s.



Figura 7.5. Valores de velocidad peak de vibración y frecuencia dominante registrados en modo background. Tronadura 2 (25.02.21).

## 8 EVALUACIÓN

### 8.1 DIN 4150

En las tablas 7.1 y 7.2 se comparan los resultados obtenidos para las 2 tronaduras medidas, viernes 22 y lunes 25 de enero de 2021, con los valores guía definidos en la norma DIN 4150-3 (ver Figura 4.1).

Eje	Valor $V_{peak}$ , en mm/s	Frecuencia dominante, en Hz	Valor guía DIN 4150-3, en mm/s	Evaluación
Transversal (X)	0,024	4,2	3 (1 a 10 Hz)	No supera
Longitudinal (Y)	0,032	5,0	3 (1 a 10 Hz)	No supera
Vertical (Z)	0,02	13,7	3 a 8 (10 a 50 Hz)	No supera

Tabla 8.1. Resultados y evaluación de la velocidad de vibración. Tronadura 1, 22.01.21. DIN 415-3.

Eje	Valor $V_{peak}$ , en mm/s	Frecuencia dominante, en Hz	Valor guía DIN 4150-3, en mm/s	Evaluación
Transversal (X)	0,052	4,2	3 (1 a 10 Hz)	No supera
Longitudinal (Y)	0,72	34,6	3 (1 a 10 Hz)	No supera
Vertical (Z)	0,089	28,3	3 a 8 (10 a 50 Hz)	No supera

Tabla 8.2. Resultados y evaluación de la velocidad de vibración. Tronadura 2, 25.01.21. DIN 415-3.

### 8.2 OSMRE – USBM RI8507

En las tablas 7.1 y 7.2 se comparan los resultados obtenidos para las 2 tronaduras medidas, viernes 22 y lunes 25 de enero de 2021, con los valores guía definidos en el documento RI8507 (ver Figura 4.2).

Eje	Valor $V_{peak}$ , en mm/s	Frecuencia dominante, en Hz	Valor guía RI8507, en mm/s	Evaluación
Transversal (X)	0,024	4,2	12,7 (2,6 a 10 Hz)	No supera
Longitudinal (Y)	0,032	5,0	12,7 (2,6 a 10 Hz)	No supera
Vertical (Z)	0,02	13,7	12,7 – 50,8 (10 a 40 Hz)	No supera

Tabla 8.3. Resultados y evaluación de la velocidad de vibración. Tronadura 1, 22.01.21. RI8507

Eje	Valor $V_{peak}$ , en mm/s	Frecuencia dominante, en Hz	Valor guía RI8507, en mm/s	Evaluación
Transversal (X)	0,052	4,2	12,7 (2,6 a 10 Hz)	No supera
Longitudinal (Y)	0,72	34,6	12,7 – 50,8 (10 a 40 Hz)	No supera
Vertical (Z)	0,089	28,3	12,7 – 50,8 (10 a 40 Hz)	No supera

Tabla 8.4. Resultados y evaluación de la velocidad de vibración. Tronadura 1, 25.01.21. RI8507

## 9 RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se ha realizado un monitoreo continuo para medir y evaluar las vibraciones producidas por las tronaduras que forman parte de la operación de la Mina Don Gabriel, en la comuna de Salamanca.

El monitoreo de vibración se ha realizado en una vivienda situada en la localidad de Manquehua. Se han registrado 2 tronaduras en el periodo en que estaba instalado el equipo de medición.

Los valores de vibración PPV obtenidos fueron de **0,032 mm/s** para la tronadura 1 y de **0,72 mm/s** para la tronadura 2. Ambos valores se obtuvieron en el eje longitudinal (Y). Estos resultados están muy por debajo de los valores recomendados la norma DIN 4150-3:1999 y los criterios de la OSMRE – USBM RI 8507.

Además, de acuerdo con algunos autores<sup>1</sup>, el umbral de percepción del ser humano se sitúa entre 0,15 y 0,48 mm/s de velocidad de vibración PPV. En este rango existe una posible instrucción en las personas, pero no se producirán daños de ningún tipo. En base a esta información se puede afirmar que solo la tronadura 2 es perceptible.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que las viviendas no sufrirán daños estructurales producto de las tronaduras realizadas en la Mina Don Gabriel. Esto es válido siempre que las tronaduras se realicen bajo el mismo procedimiento de las evaluadas en este estudio.



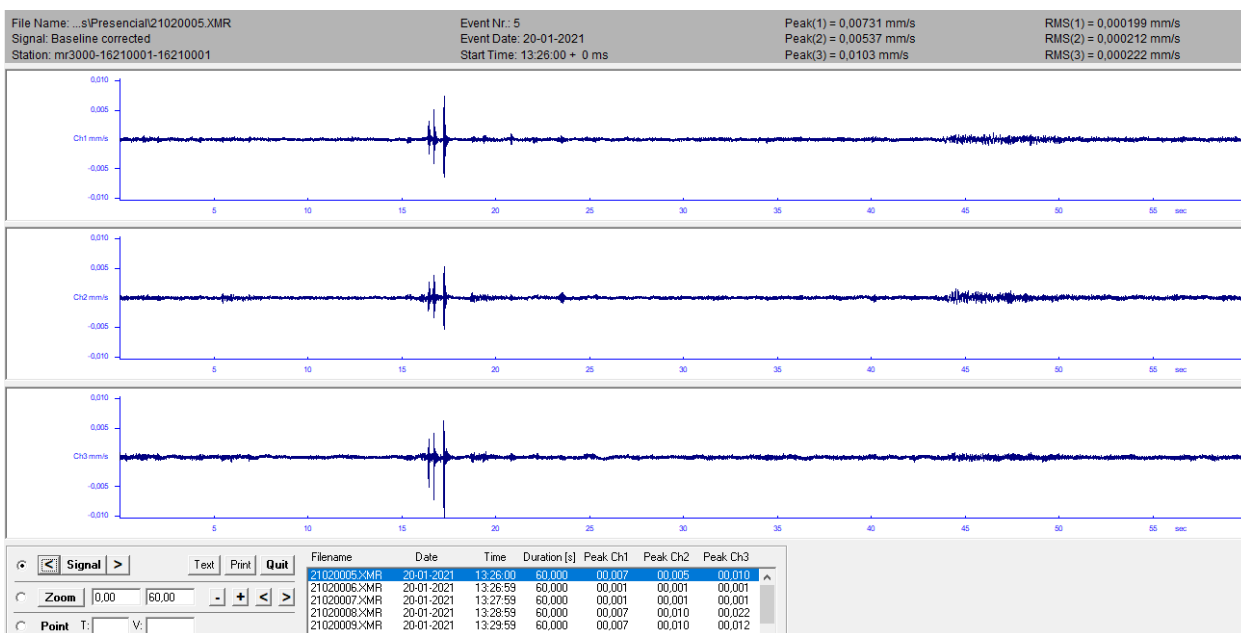
Pablo Hernández S.  
Ing. Acústico,  
MSc Sound & Vibration

---

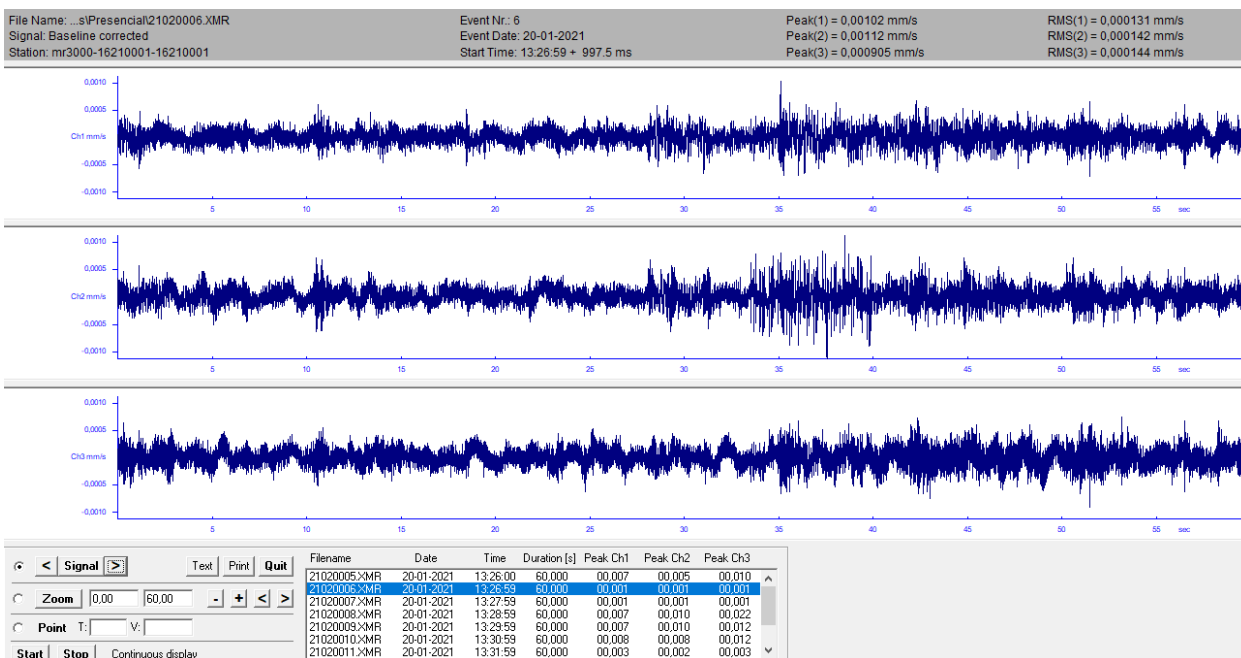
<sup>1</sup> Jones and Stokes 2004

## Anexo I. Resultados de la medición presencial.

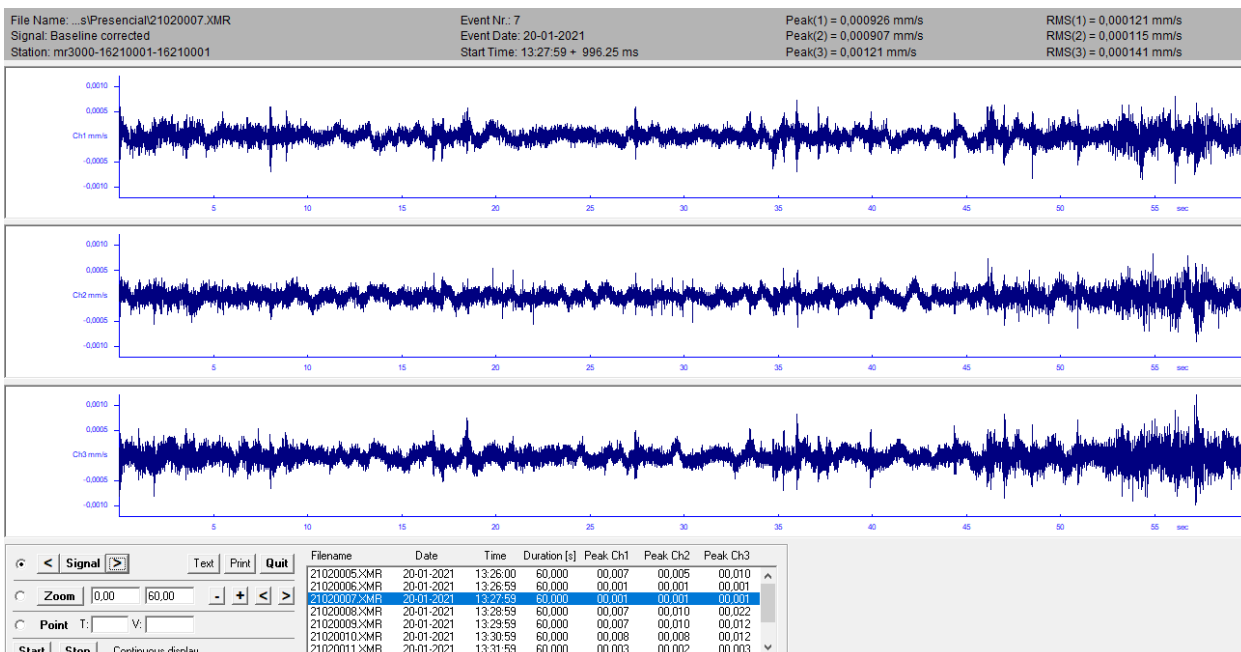
### Registro 5



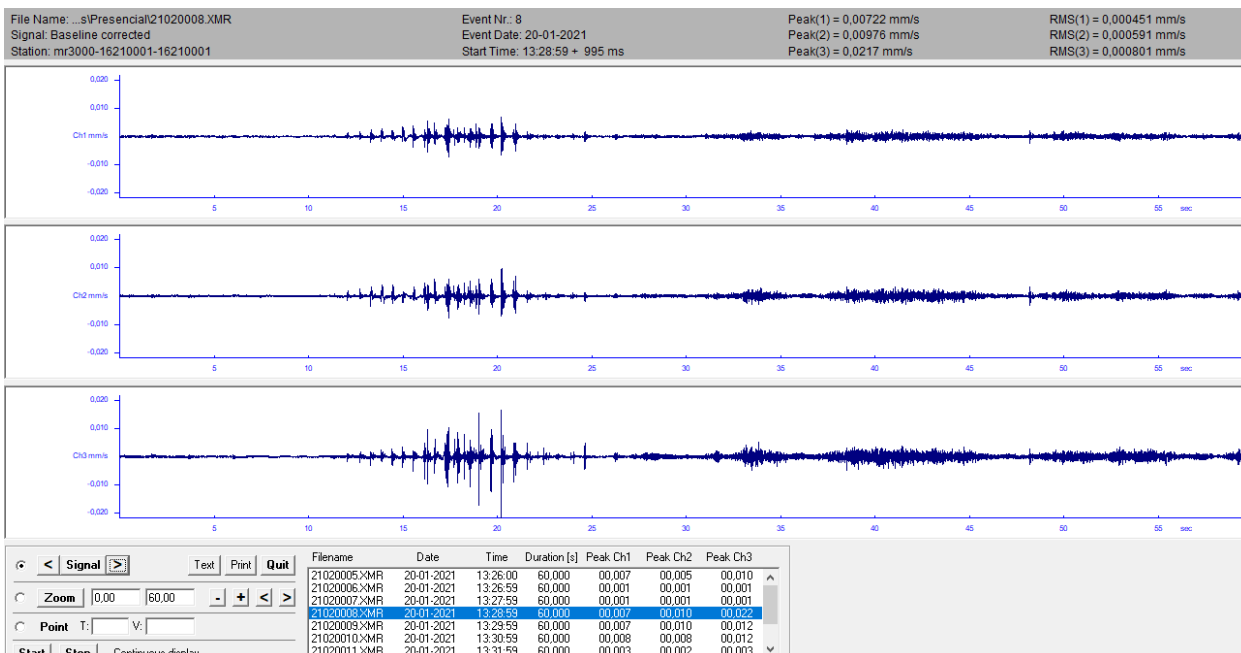
### Registro 6



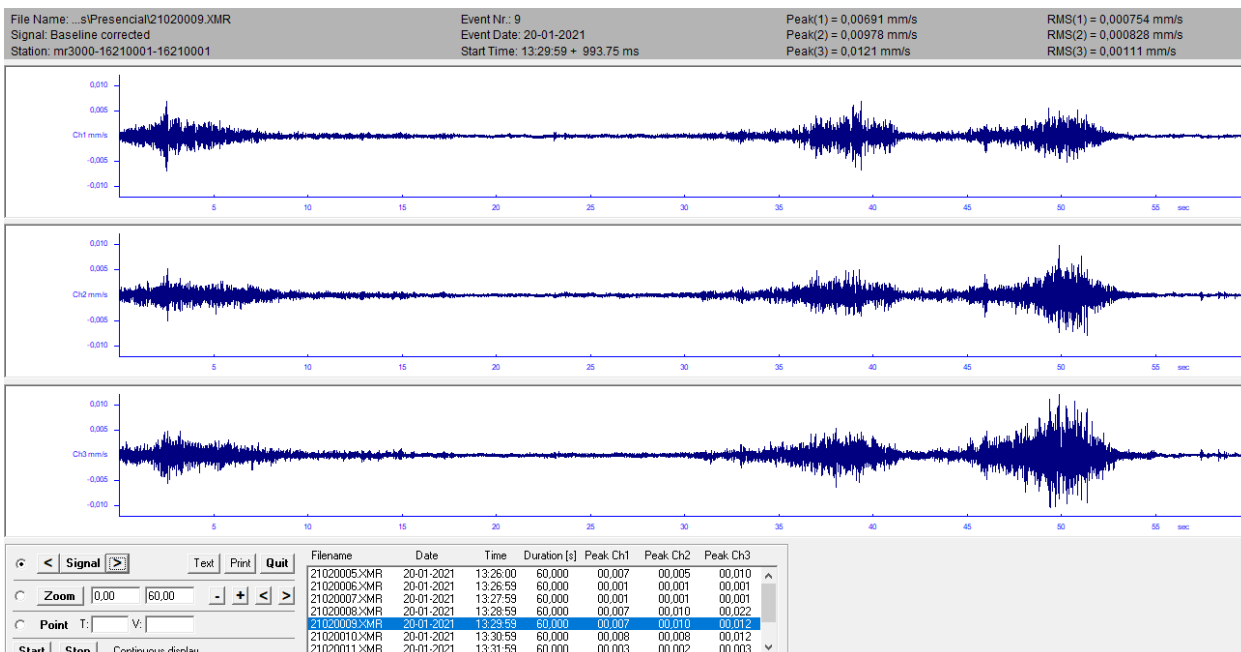
## Registro 7



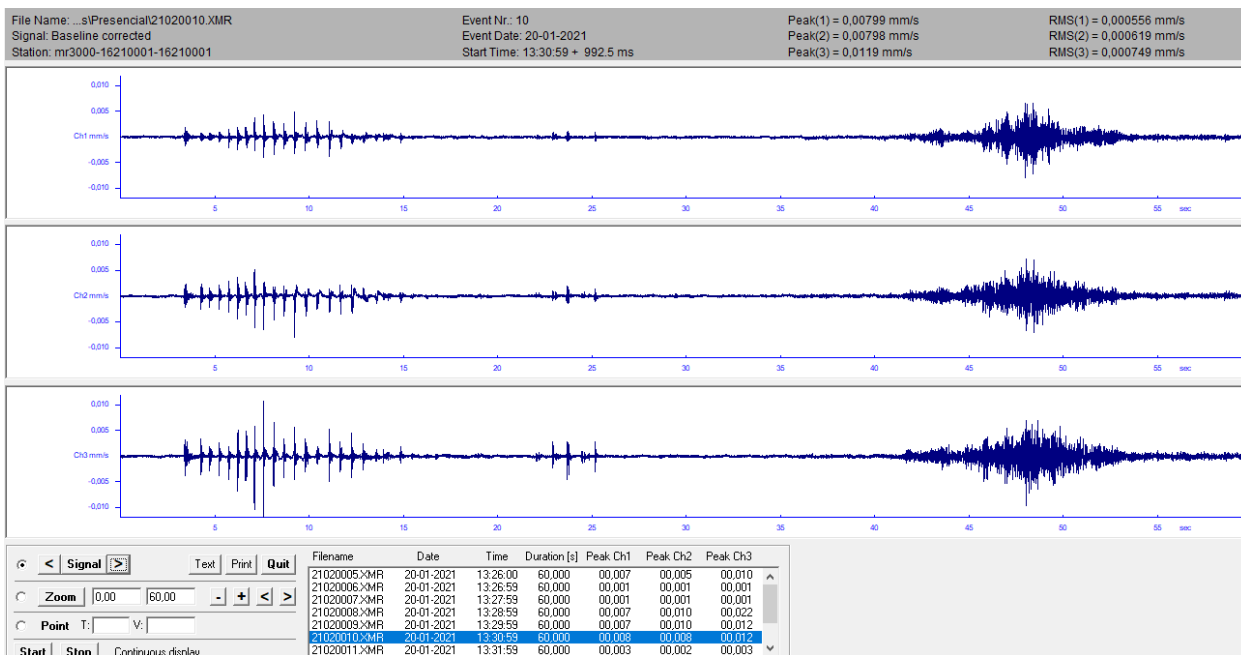
## Registro 8



## Registro 9

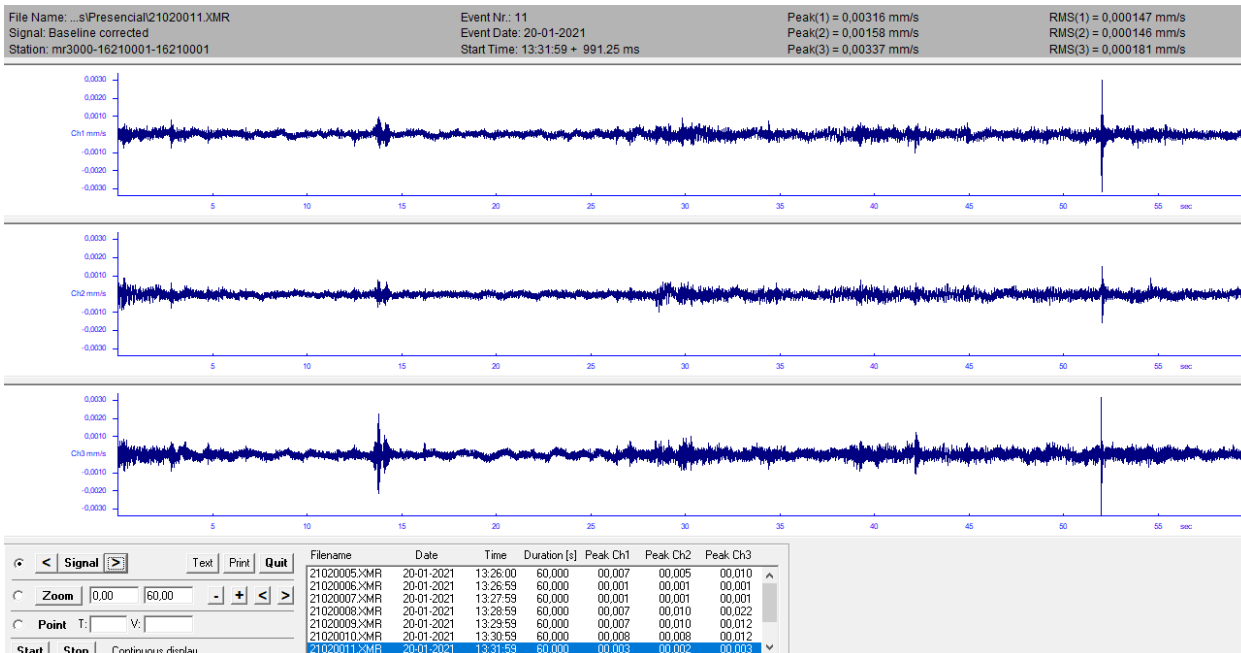


## Registro 10

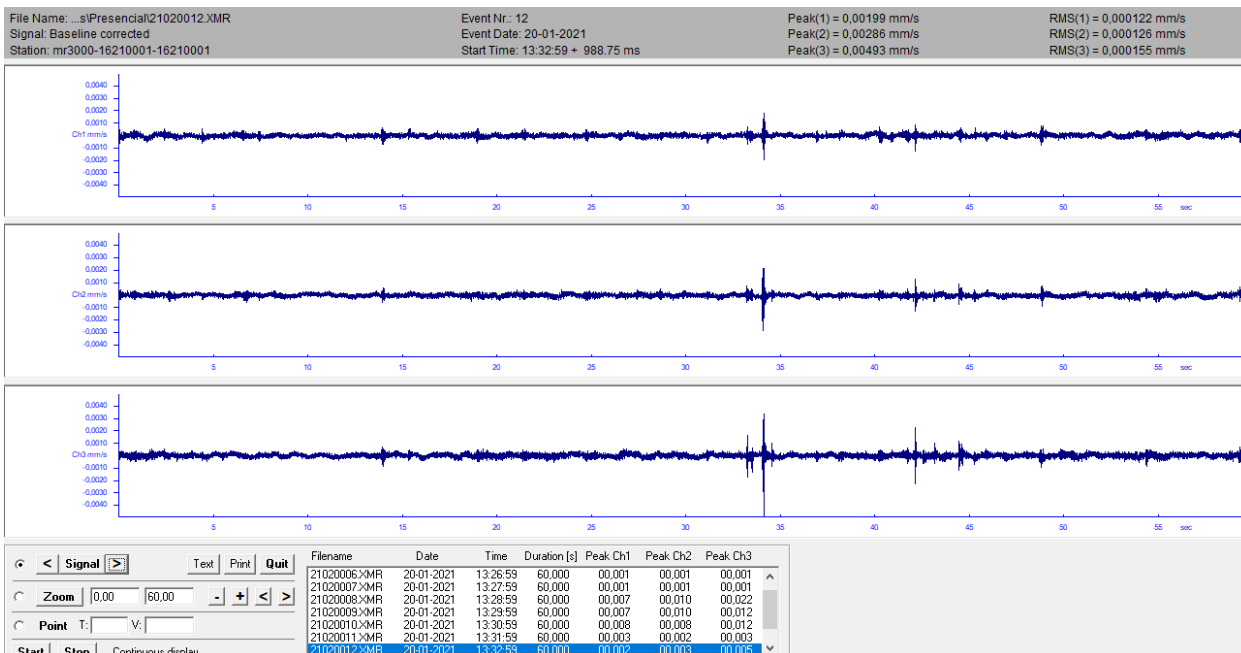




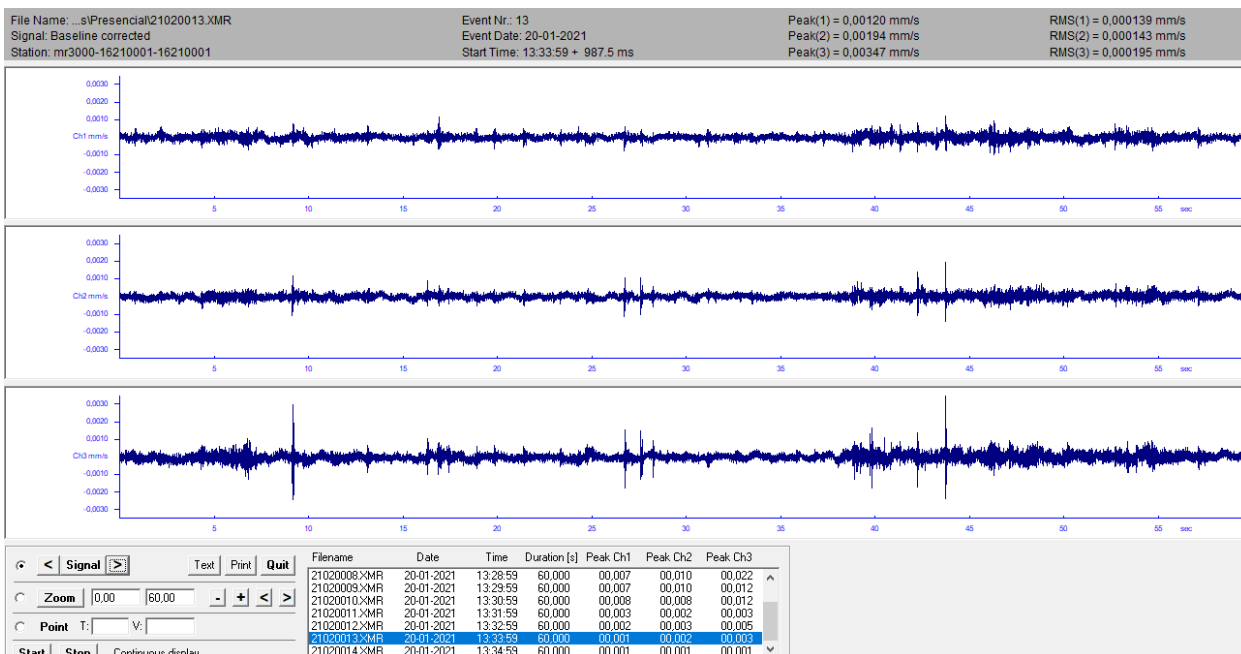
## Registro 11



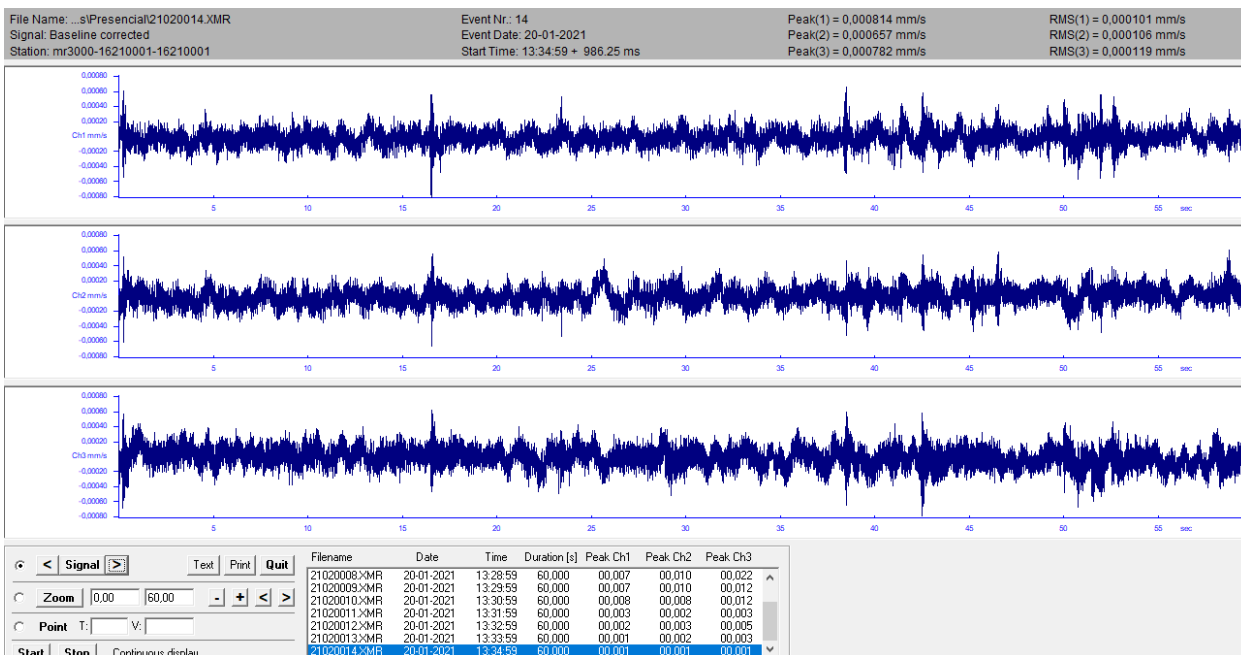
## Registro 12



## Registro 13



## Registro 14



Anexo II. Certificados de calibración de la instrumentación utilizada

2000121155516218001

**BARTEC SYSCOM**

## Calibration Certificate

<i>Subject</i>	<i>Vibration measurement</i>
<i>Manufacturer</i>	<i>SYSCOM Instruments SA</i>
<i>Type</i>	<i>MR3000C with MS2003+ internal (3-axial velocity sensor)</i>
<i>Serial number</i>	<i>MR : 16210001</i>
<i>Date of the calibration</i>	<i>11.12.2020</i>

The sensor is compliant to DIN 45669-1 for class 1 devices.

In Sainte-Croix, the 11.12.2020



Gaël Figuet, Calibration Manager

20200121 12V516218064

**BARTEC SYSCOM**

## Calibration Procedure

The device to be calibrated is mounted on a moving table of an electrodynamic vibration exciter (Long Stroke Shaker) and exposed to sinusoidal acceleration. The movement of the table is controlled by means of a reference sensor while data are acquired in [mg] by the measuring chain being calibrated. The output voltage of the shaker's reference sensor is linear to the acceleration applied to the shaker table. The ratio between measured acceleration level by the device and the output of the reference sensor as a function of frequency reflects the calibrated transfer function.

## Calibration Equipement

<i>Equipement</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Type</i>	<i>Serial Number</i>	<i>Calibrated</i>
Long Stroke Shaker (Horizontal)	SPEKTRA	APS 129-M	1216	
Long Stroke Shaker (Vertical)	SPEKTRA	APS 113-AB	2235	
Reference Accelerometer (Horizontal)	SILICON DESIGNS	2240-005	3135	20.04.2020
Reference Accelerometer (Vertical)	SILICON DESIGNS	2240-005	3250	21.04.2020

## Environmental Conditions

Thermo-hygrometer COMET T3510 SN 13962934

Room temperature during measurement :  $(21,8 \pm 0,6) ^\circ\text{C}$

Relative humidity during measurement :  $(22,4 \pm 2,5) \%$

Position of excited axis relative to the earth gravity :

- Horizontal (X&Y Axis)
- Vertical (Z Axis)

The device under test is screwed by means of an adapter plate to the shaker table.

Tightening torque is : 2 Nm

Configuration of the Motion Recorder (MR) :

- Filter type : 1-315 Hz (DIN 45669-1)
- Sampling rate : 2000 Hz

SYSCOM Instruments SA  
Rue de l'Industrie 21  
CH-1450 Sainte-Croix

FAQ 51.309 rev 5

[www.bartec-syscom.com](http://www.bartec-syscom.com)  
Page 2 / 6

20201213P516210005

**BARTEC SYSCOM**

## Calibration Results X - axis

Deviation of displayed value :

Frequency	Reference displacement $V_{ref}$	Excitation measurement of the device $V_{meas}$	Deviation $100 \cdot (V_{meas} - V_{ref}) / V_{ref}$	Frequency impermeability to 10%	Uncertainty* of frequency response
1.00 Hz	9.97 mm/s	9.17 mm/s	-16.02 %	-16.10 %	1.0%
1.25 Hz	9.98 mm/s	9.33 mm/s	-6.99 %	-6.87 %	1.0%
2.00 Hz	9.99 mm/s	10.02 mm/s	0.29 %	0.18 %	1.0%
3.15 Hz	9.98 mm/s	10.05 mm/s	0.76 %	0.61 %	1.0%
4.00 Hz	10.05 mm/s	10.09 mm/s	0.35 %	0.25 %	1.0%
5.00 Hz	10.04 mm/s	10.07 mm/s	0.33 %	0.14 %	1.0%
6.30 Hz	9.98 mm/s	9.99 mm/s	0.18 %	0.07 %	1.0%
8.00 Hz	9.99 mm/s	9.99 mm/s	0.03 %	-0.06 %	1.0%
10.00 Hz	10.04 mm/s	10.05 mm/s	0.09 %	0.00 %	1.0%
11.50 Hz	10.00 mm/s	10.01 mm/s	0.09 %	-0.61 %	1.0%
50.00 Hz	10.03 mm/s	10.03 mm/s	-0.07 %	-0.36 %	1.0%
80.00 Hz	10.00 mm/s	9.94 mm/s	-0.54 %	-0.64 %	1.0%
115.00 Hz	5.00 mm/s	4.96 mm/s	-1.16 %	-1.45 %	3.0%
180.00 Hz	1.98 mm/s	1.90 mm/s	-3.62 %	-3.30 %	3.0%
250.00 Hz	0.95 mm/s	0.92 mm/s	-3.42 %	-3.50 %	3.0%
315.00 Hz	0.95 mm/s	0.91 mm/s	-16.18 %	-10.19 %	3.0%

\*See "Measurement Uncertainty"

Conformance to DIN 45669-1 :

Frequency	Reference displacement $V_{ref}$ (mm/s)	Excitation measurement of the device $V_{meas}$	Deviation $100 \cdot (V_{meas} - V_{ref}) / V_{ref}$	Maximum tolerances DIN 45669-1	
				Class 1	Class 2
10.00 Hz	10.04 mm/s	10.05 mm/s	0.09 %	± 4 %	± 8 %

Frequency	Reference displacement $V_{ref}$ (mm/s)	Excitation measurement of the device $V_{meas}$	Deviation $100 \cdot (V_{meas} - V_{ref}) / V_{ref}$	Frequency impermeability to 10%	Maximum tolerances DIN 45669-1	
					Class 1	Class 2
1.00 Hz	9.97 mm/s	9.17 mm/s	-16.02 %	-16.10 %	± 20 %	± 30 %
1.25 Hz	9.98 mm/s	9.33 mm/s	-6.99 %	-6.87 %	± 10 %	± 10 %
2.00 Hz	9.99 mm/s	10.02 mm/s	0.29 %	0.18 %	± 10 %	± 10 %
3.15 Hz	9.98 mm/s	10.05 mm/s	0.76 %	0.14 %	± 10 %	± 10 %
4.00 Hz	10.04 mm/s	10.09 mm/s	0.49 %	0.10 %	± 10 %	± 10 %
5.00 Hz	10.04 mm/s	10.07 mm/s	0.36 %	0.17 %	± 10 %	± 10 %
6.30 Hz	9.97 mm/s	9.99 mm/s	0.18 %	0.08 %	± 10 %	± 10 %
8.00 Hz	9.99 mm/s	9.99 mm/s	0.04 %	-0.06 %	± 10 %	± 10 %
10.00 Hz	10.04 mm/s	10.05 mm/s	0.09 %	0.00 %	Reference	
11.50 Hz	10.00 mm/s	10.01 mm/s	0.09 %	-0.61 %		
50.00 Hz	10.03 mm/s	10.03 mm/s	-0.05 %	-0.36 %	± 10 %	± 10 %
80.00 Hz	9.99 mm/s	9.94 mm/s	-0.46 %	-0.50 %	± 10 %	± 10 %
115.00 Hz	5.00 mm/s	4.96 mm/s	-0.86 %	-0.95 %	± 10 %	± 10 %
180.00 Hz	1.99 mm/s	1.90 mm/s	-3.53 %	-1.61 %	± 10 %	± 10 %
250.00 Hz	0.93 mm/s	0.92 mm/s	-1.35 %	-1.39 %	± 10 %	± 10 %
315.00 Hz	0.95 mm/s	0.91 mm/s	-6.71 %	-6.68 %	± 20 %	± 30 %

In the operating frequency range of [f = 1 Hz to f = 315 Hz], X-axis displayed measurement value of the vibration sensor is inside the required tolerance according to DIN 45669-1 for class 11 devices.

### Calibration Results Y - axis

Deviation of displayed value :

Frequency	Reference measurement $\nu_{\text{ref}}$	Excitation measurement of the device $\nu_{\text{exc}}$	Deviation 2003 Hz $\Delta \nu_{\text{exc}}$	Frequency response relative to 1 Hz	Linearity of frequency response
1.00 Hz	9.98 mHz	8.40 mHz	-15.80%	-15.80%	1.0%
1.25 Hz	9.96 mHz	9.35 mHz	-8.07%	-8.12%	1.0%
2.00 Hz	9.97 mHz	12.05 mHz	0.83%	8.88%	1.0%
2.50 Hz	9.96 mHz	18.18 mHz	1.31%	13.98%	1.0%
4.00 Hz	9.96 mHz	18.05 mHz	0.89%	8.98%	1.0%
5.00 Hz	10.01 mHz	12.12 mHz	0.72%	8.68%	1.0%
6.80 Hz	10.00 mHz	12.08 mHz	0.26%	8.32%	1.0%
8.00 Hz	9.96 mHz	9.51 mHz	0.36%	8.03%	1.0%
15.00 Hz	10.02 mHz	18.02 mHz	0.93%	8.08%	1.0%
31.50 Hz	10.00 mHz	12.00 mHz	0.04%	0.07%	1.0%
50.00 Hz	9.98 mHz	9.95 mHz	-0.18%	-0.16%	1.0%
60.00 Hz	9.98 mHz	9.89 mHz	-0.58%	-1.01%	2.0%
115.00 Hz	4.00 mHz	4.83 mHz	-3.35%	-2.86%	1.0%
280.00 Hz	1.97 mHz	1.85 mHz	-6.08%	-6.12%	1.0%
350.00 Hz	1.00 mHz	0.94 mHz	-56.22%	-18.15%	3.0%
315.00 Hz	1.00 mHz	0.86 mHz	-54.64%	-16.26%	3.0%

\*See "Measurement Uncertainty"

Conformance to DIN 45669-1 :

Frequency	Reference measurement $V_{ref}$ (V <sub>rms</sub> /measured)	Excitation frequency of the device $f_{exc}$	Excitation $\frac{100 \times  V_{measured} }{V_{ref}}$	Maximum harmonics (EN 61010-1)	
				class 1	class 2
18.00 Hz	18.00 mVrms	18.00 mVrms	0.01 %	≤ 4 %	≤ 8 %

Frequency	Reference measurement $V_{\text{ref}}$ ( $\mu\text{V}/\text{mm/s}$ )	Facility measurement of the device $V_{\text{dev}}$	Linearity $100 \pm B_{\text{dev}} - B_{\text{ref}}$ $V_{\text{ref}}$	Frequency response relative to 10 Hz	Maximum difference (IN-4000-1)		
					Dist.1	Dist.2	Dist.3
1.00 Hz	8.48 mm/s	8.40 mm/s	-0.04	-0.07%	$\pm 2.0\%$		$\pm 3.0\%$
1.25 Hz	9.21 mm/s	9.31 mm/s	1.00%	1.47%	$\pm 3.0\%$		$\pm 3.0\%$
2.00 Hz	9.85 mm/s	10.05 mm/s	2.12%	2.08%	$\pm 3.0\%$		$\pm 3.0\%$
3.50 Hz	9.91 mm/s	10.10 mm/s	1.96%	1.83%	$\pm 3.0\%$		$\pm 3.0\%$
4.00 Hz	9.96 mm/s	10.05 mm/s	0.97%	0.94%	$\pm 3.0\%$		$\pm 3.0\%$
5.00 Hz	10.03 mm/s	10.10 mm/s	0.74%	0.71%	$\pm 3.0\%$		$\pm 3.0\%$
6.00 Hz	10.08 mm/s	10.06 mm/s	-0.16%	-0.16%	$\pm 3.0\%$		$\pm 3.0\%$
8.00 Hz	9.98 mm/s	9.81 mm/s	-1.67%	-0.60%	$\pm 3.0\%$		$\pm 3.0\%$
16.00 Hz	10.02 mm/s	10.02 mm/s	0.03%	0.00%	Reference		
17.50 Hz	10.05 mm/s	10.00 mm/s	-0.46%	-0.10%			
30.00 Hz	9.98 mm/s	9.85 mm/s	-1.29%	-0.33%			
60.00 Hz	9.98 mm/s	9.80 mm/s	-1.80%	-0.53%			
125.00 Hz	9.94 mm/s	9.81 mm/s	-1.35%	-1.88%			
180.00 Hz	9.91 mm/s	9.81 mm/s	-0.96%	-0.89%	$\pm 3.0\%$		$\pm 3.0\%$
250.00 Hz	9.89 mm/s	9.81 mm/s	-1.30%	-1.33%	$\pm 3.0\%$		$\pm 3.0\%$
315.00 Hz	9.87 mm/s	9.80 mm/s	-1.35%	-1.32%	$\pm 3.0\%$		$\pm 3.0\%$

In the operating frequency range of  $[f = 1 \text{ Hz to } f = 315 \text{ Hz}]$ , Y-axis displayed measurement value of the vibration sensor is inside the required tolerance according to DIN 45669-1 for class II devices.



30301311595362 00001

**BARTEC SYSCOM**

## Calibration Results Z - axis

Deviation of displayed value :

Frequency	Reference measurement $a_{ref}$	Excitation measurement of the device $a_{dev}$	Deviation $\frac{100 \times (a_{dev} - a_{ref})}{a_{ref}}$	Frequency response relative to 10 Hz	Uncertainty <sup>2</sup> of frequency response
1,00 Hz	9,95 mm/s	8,83 mm/s	-11,34 %	-35,25 %	3,8 %
1,25 Hz	9,95 mm/s	5,34 mm/s	-45,52 %	-4,42 %	5,8 %
2,00 Hz	10,00 mm/s	10,88 mm/s	8,78 %	0,86 %	2,5 %
2,50 Hz	10,00 mm/s	10,14 mm/s	1,43 %	1,44 %	2,5 %
4,00 Hz	9,95 mm/s	10,84 mm/s	9,93 %	1,84 %	2,5 %
5,00 Hz	10,00 mm/s	10,84 mm/s	8,42 %	0,55 %	2,8 %
6,30 Hz	10,00 mm/s	10,81 mm/s	8,06 %	0,84 %	1,5 %
8,00 Hz	9,95 mm/s	9,93 mm/s	-0,22 %	-0,11 %	1,5 %
16,00 Hz	10,00 mm/s	10,80 mm/s	8,00 %	0,00 %	1,8 %
31,50 Hz	9,95 mm/s	9,95 mm/s	-0,35 %	-0,84 %	1,8 %
50,00 Hz	10,00 mm/s	9,98 mm/s	-0,34 %	-0,21 %	1,8 %
80,00 Hz	9,98 mm/s	9,93 mm/s	-0,50 %	-0,26 %	4,8 %
125,00 Hz	9,98 mm/s	4,98 mm/s	-50,00 %	-0,88 %	4,8 %
180,00 Hz	1,57 mm/s	1,96 mm/s	24,84 %	0,50 %	4,8 %
250,00 Hz	1,00 mm/s	0,88 mm/s	-12,00 %	-14,17 %	4,8 %
315,00 Hz	1,06 mm/s	0,91 mm/s	-14,15 %	-12,33 %	4,8 %

\*See "Measurement Uncertainty"

Conformance to DIN 45669-1 :

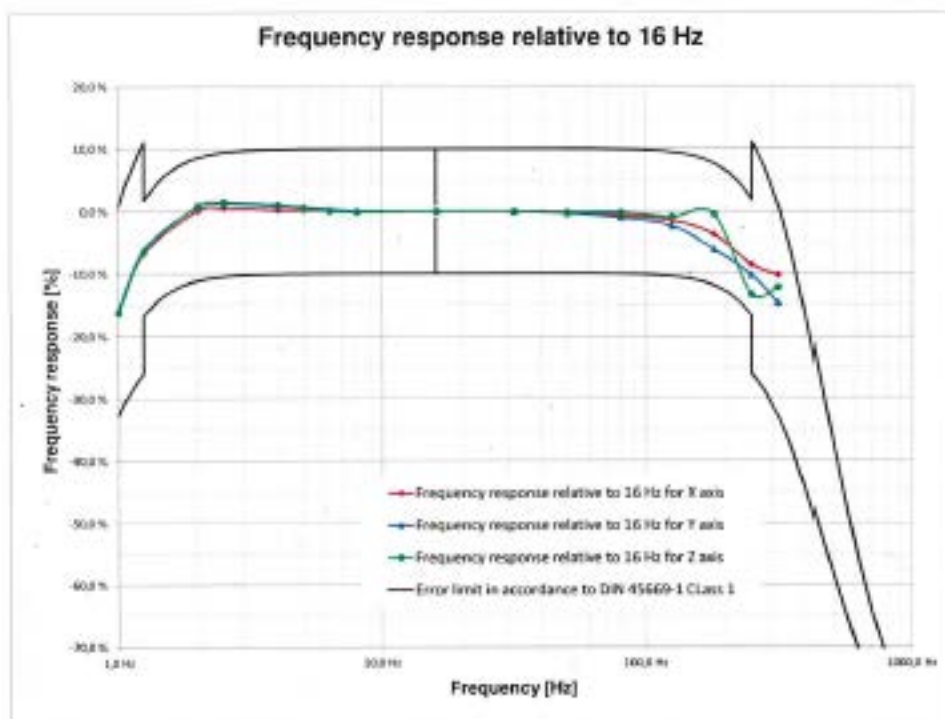
Frequency	Reference measurement $a_{ref}$ ( $a_{ref} = a_{dev} = 10$ )	Excitation measurement of the device $a_{dev}$	Deviation $\frac{100 \times (a_{dev} - a_{ref})}{a_{ref}}$	Maximum tolerances DIN 45669-1	
				Class 1	Class 2
16,00 Hz	10,81 mm/s	10,00 mm/s	-8,12 %	± 4 %	± 8 %

Frequency	Reference measurement $a_{ref}$ ( $a_{ref} = a_{dev} = 10$ )	Excitation measurement of the device $a_{dev}$	Deviation $\frac{100 \times (a_{dev} - a_{ref})}{a_{ref}}$	Frequency response relative to 10 Hz	Maximum tolerances DIN 45669-1	
					Class 1	Class 2
1,00 Hz	9,95 mm/s	8,83 mm/s	-11,34 %	-35,25 %	± 30 %	± 30 %
1,25 Hz	9,95 mm/s	5,34 mm/s	-45,52 %	-4,42 %	± 30 %	± 30 %
2,00 Hz	10,00 mm/s	10,88 mm/s	8,78 %	0,86 %	± 30 %	± 20 %
2,50 Hz	10,00 mm/s	10,14 mm/s	1,43 %	1,44 %	± 30 %	± 20 %
4,00 Hz	9,95 mm/s	10,84 mm/s	9,93 %	1,84 %	± 30 %	± 20 %
5,00 Hz	10,00 mm/s	10,84 mm/s	8,42 %	0,55 %	± 30 %	± 20 %
6,30 Hz	10,00 mm/s	10,81 mm/s	8,06 %	0,84 %	± 30 %	± 20 %
8,00 Hz	9,95 mm/s	9,93 mm/s	-0,22 %	-0,11 %	± 30 %	± 20 %
16,00 Hz	10,01 mm/s	10,80 mm/s	8,00 %	0,00 %	Reference	
31,50 Hz	9,96 mm/s	9,95 mm/s	-0,15 %	-0,84 %		
50,00 Hz	10,00 mm/s	9,98 mm/s	-0,31 %	-0,21 %	± 30 %	± 20 %
80,00 Hz	9,98 mm/s	9,93 mm/s	-0,50 %	-0,26 %	± 30 %	± 20 %
125,00 Hz	9,98 mm/s	4,98 mm/s	-50,00 %	-0,88 %	± 30 %	± 20 %
180,00 Hz	1,58 mm/s	1,96 mm/s	24,05 %	0,50 %	± 30 %	± 20 %
250,00 Hz	0,94 mm/s	0,88 mm/s	-6,38 %	-8,60 %	± 30 %	± 20 %
315,00 Hz	0,89 mm/s	0,91 mm/s	2,25 %	-12,33 %	± 30 %	± 30 %

In the operating frequency range of [f = 1 Hz to f = 315 Hz], Z-axis displayed measurement value of the vibration sensor is inside the required tolerance according to DIN 45669-1 for class 1 devices.

20200715/YS16218001

**BARTEC SYSCOM**



## Measurement Uncertainty

The reported uncertainty of measurement is stated as the combined standard uncertainty multiplied by a coverage factor  $k = 2$ . The measurement value ( $y$ ) and the associated expanded uncertainty ( $U$ ) represent the interval ( $y \pm U$ ) which contains the value of the measured quantity with a probability of approximately 95%. The uncertainty was estimated following the guidelines of the ISO (GUM:1995).

The measurement uncertainty contains contributions originating from the measurement standards, from the calibration method, from the environmental conditions and from the device being calibrated. The long-term characteristics of the device being calibrated is not included.