



VIBRACIONES

TABLA DE CONTENIDO

5	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	1
5.1	MEDIO ABIÓTICO	1
5.1.8	ATMÓSFERA	1
5.1.8.6	Ruido y vibración	1
5.1.8.6.4	Vibraciones	1

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1.8.1	Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo	2
Tabla 5.1.8.2	Descripción seriales equipos del sistema de monitoreo.....	4
Tabla 5.1.8.3	Límites admisibles de PPV según tipo de estructura y frecuencia (DIN 4150-3:1999)	6
Tabla 5.1.8.4	Descripción de los parámetros técnicos utilizados en el análisis vibracional 7	
Tabla 5.1.8.5	Tipo de fuente observadas en campo en los puntos de monitoreo ..	8

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1.8.1	Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo	3
Figura 5.1.8.2	Comparación de PPV vs. Frecuencia en los tres ejes de medición frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 – Punto1.....	10
Figura 5.1.8.3	Comparación de PPV vs. Frecuencia en los tres ejes de medición frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 – Punto 2	11
Figura 5.1.8.4	Comparación de PPV vs. Frecuencia en los tres ejes de medición frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 – Punto 3	12
Figura 5.1.8.5	Comparación de PPV vs. Frecuencia en los tres ejes de medición frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 – Punto 4.	13
Figura 5.1.8.6	Distribución de eventos asociados a fuentes externas en función de la PPV y frecuencia frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 en el Punto 1	14
Figura 5.1.8.7	Distribución de eventos asociados a fuentes externas en función de la PPV y frecuencia frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 en el Punto 2	15
Figura 5.1.8.8	Distribución de eventos asociados a fuentes externas en función de la PPV y frecuencia frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 en el Punto 3.	16
Figura 5.1.8.9	Distribución de eventos asociados a fuentes externas en función de la PPV y frecuencia frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 en el Punto 4.	17

MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIÓTICO

5.1.8 ATMÓSFERA

5.1.8.6 Ruido y vibración

5.1.8.6.4 Vibraciones

El presente estudio de línea base vibracional se enmarca en los requerimientos del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para la **modificación de licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote**. Su objetivo principal es caracterizar los niveles de vibración y la sobrepresión de aire en puntos estratégicos en el área de influencia, en jurisdicción del municipio de San Roque (Antioquia), previo al inicio de la fase de explotación minera.

El monitoreo y análisis de estos parámetros, realizados conforme a los criterios del TDR-13 (ANLA, 2016) permiten establecer una línea de base técnica para evaluar el cumplimiento de los estándares ambientales y de seguridad, así como para monitorear los posibles efectos de las vibraciones en las edificaciones del entorno. Este documento presenta la metodología aplicada, el análisis de los datos recolectados en los cuatro puntos de monitoreo y las conclusiones técnicas que servirán como referencia para futuras comparaciones y acciones de gestión ambiental.

A. Metodología de trabajo

La metodología aplicada en el presente estudio de línea base vibracional para la **modificación de licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote**, se desarrolló conforme a los criterios técnicos establecidos en el capítulo 5.1.8.6.4, Vibraciones de los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA para Proyectos de Explotación Minera TDR-13 (ANLA, 2016). Esta normativa establece los requerimientos mínimos para la caracterización de las vibraciones generadas por actividades mineras, así como la necesidad de aplicar estándares internacionales, como la norma DIN 4150-3 (DIN, 1999), para la evaluación del impacto sobre estructuras.

a. Selección Puntos de Muestreo

La selección de los puntos de monitoreo vibracional se realizó conforme a los lineamientos del capítulo 5.1.8.6.4 Vibraciones de los Términos de Referencia para la Elaboración del

Estudio de Impacto Ambiental – EIA para Proyectos de Explotación Minera TDR-13 (ANLA, 2016). Esta normativa establece que las mediciones deben efectuarse al aire libre y próximas a edificaciones receptoras, a fin de determinar si los niveles de vibración del suelo pueden generar riesgos o daños cosméticos en las estructuras, conforme a estándares internacionales. En este sentido, las ubicaciones se eligieron de manera estratégica con el propósito de abarcar distintas fuentes potenciales de vibración: tanto las actividades cotidianas de las comunidades (tránsito de animales, vehículos y maquinaria), como las explotaciones mineras formalizadas y no formalizadas presentes en el área. Bajo estos criterios, se definieron cuatro puntos de monitoreo dentro del área de influencia del proyecto, denominadas como: Punto 1 Caseta Manizales, Punto 2 Peñas Azules, Punto 3 La María y Punto 4 Portería de Visitantes, cuya ubicación se presenta en la Tabla 5.1.8.1 y la Figura 5.1.8.1

Tabla 5.1.8.1 Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo

Punto de muestreo (nombre)	Punto de muestreo (nomenclatura)	Coordenadas*		Vereda
		Este	Norte	
Punto 1 Caseta Manizales	P1CM	4.789.042,93	2.275.665,62	Manizales
Punto 2 Peñas Azules	P2PA	4.787.564,56	2.276.054,31	Peñas Azules
Punto 3 La María	P3LM	4.790.865,03	2.278.096,98	La María
Punto 4 Portería visitantes	P4PV	4.789.243,28	2.278385,79	Guacas Abajo

*Coordenadas en Magna Sirgas Origen Nacional
Fuente: Orica Colombia S.A.S., 2025

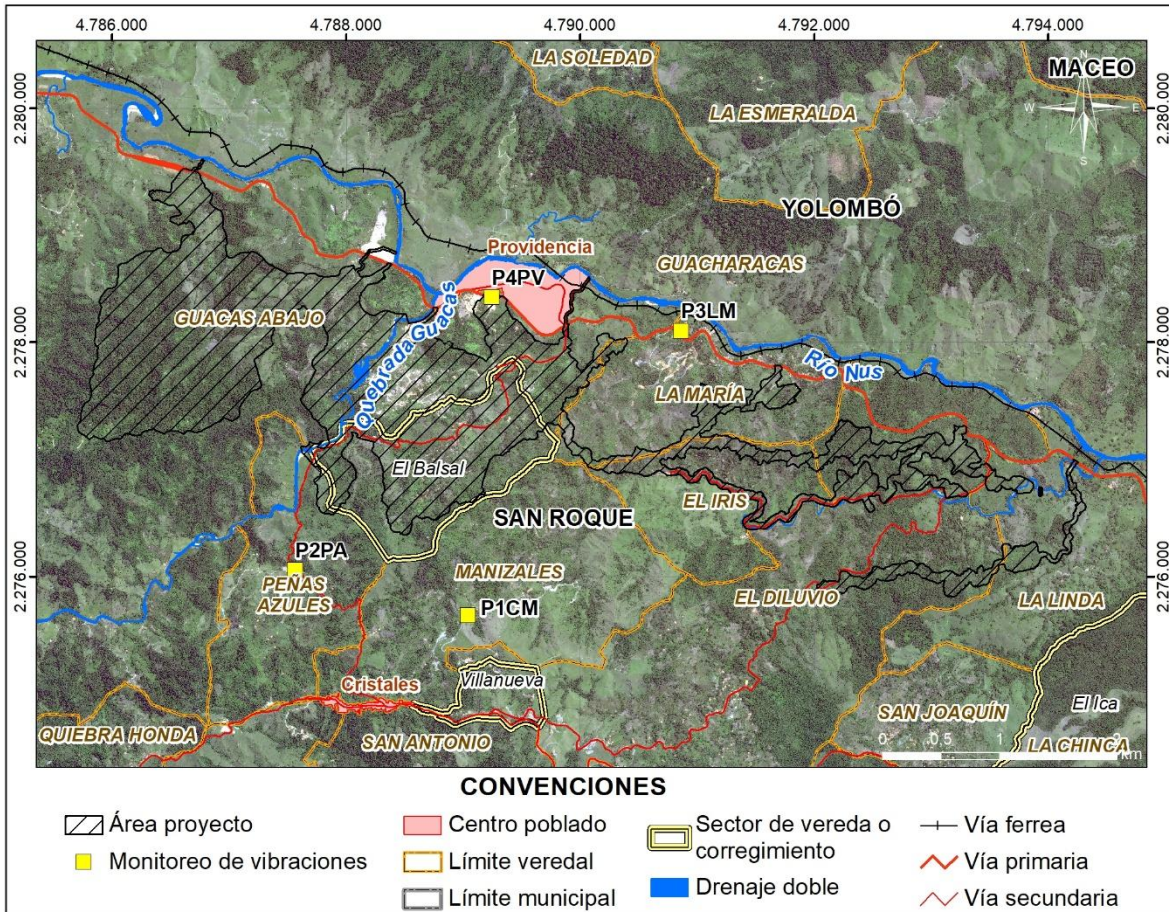


Figura 5.1.8.1

Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo

Fuente: Integral S.A., 2025

b. Equipos de registro

De acuerdo con lo establecido en el capítulo 5.1.8.6.4 de los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA para Proyectos de Explotación Minera TDR-13 (ANLA, 2016), el monitoreo de vibraciones debe realizarse mediante sensores sísmicos y sistemas de adquisición capaces de registrar parámetros de aceleración y velocidad del suelo en tres ejes ortogonales, en bandas de tercio de octava entre 1 y 315 Hz. En cumplimiento de esta disposición se empleó un sistema de monitoreo continuo compuesto por geófonos triaxiales Infra V12 (rango 0,04–20 mm/s; 1–315 Hz), sensores de presión de aire Infra S10 (hasta 160 dBL) y unidad de registro Infra 4100. Lo que permitió la recolección y almacenamiento continuo de datos, asegurando trazabilidad y control durante toda la campaña de monitoreo.

Tabla 5.1.8.2 Descripción seriales equipos del sistema de monitoreo

Punto	Geófono triaxial	Sensor de presión de aire	Unidad de registro
Punto 1 Caseta Manizales. Punto 3 La María.	INFRA V12 SN:18710	INFRA S10 SN:14545	MASTER SN: 2598
Punto 2 Peñas Azules. Punto 4 Portería Visitantes	INFRA V12 SN: 8990	INFRA S10 SN: 8629	MASTER SN: 837

Fuente: Orica Colombia S.A.S.,2025

Los equipos de medición conformados por geófonos triaxiales Infra V12 y sensores de presión de aire Infra S10, contaron con certificados de calibración que se anexan como soporte de trazabilidad metrológica y confiabilidad de resultados (ver ANEXO_CHARACTERIZACIÓN_VIBRACIONES_CERTIFICADO_CALIBRACIÓN). En el caso de las unidades de registro Infra 4100, no aplica la emisión de certificados, dado que su función se limita a la adquisición y transmisión de datos, sin realizar mediciones directas.

Las fichas técnicas completas de la instrumentación se anexan para consulta de especificaciones y condiciones de operación (ver ANEXO_CHARACTERIZACIÓN_VIBRACIONES_FICHAS_TEC_SIST_MONI).

La instalación de los geófonos se realizó directamente sobre el terreno natural, compuesto por materiales no consolidados. Para tal fin, se excavaron cavidades de aproximadamente 30 cm de ancho x 30 cm de largo x 20 cm de profundidad en las que se ubicaron los geófonos nivelados, orientando su eje longitudinal en dirección al proyecto. Posteriormente, las cavidades fueron rellenadas con el mismo material previamente retirado, con el propósito de simular las condiciones in-situ del medio y garantizar una transmisión de la onda sísmica.

Adicionalmente, el sensor de presión de aire se instaló a una altura aproximada de 1,0 m sobre el nivel del terreno, asegurando su correcta exposición para la detección de sobrepresiones generadas por las fuentes.

El proceso de instalación fue documentado fotográficamente como parte del registro técnico de campo (ver ANEXO_CHARACTERIZACIÓN_VIBRACIONES_PROCE_INSTAL_PUNT_MONI).

c. Recolección de datos

El monitoreo se realizó de manera continua durante siete (7) días en cada punto, con el objetivo de abarcar un ciclo semanal completo que incluyera tanto días hábiles como fines de semana. Este periodo permitió registrar el comportamiento de las vibraciones y la presión de aire bajo distintas condiciones identificando posibles variaciones asociadas a actividades antrópicas y a voladuras provenientes de explotaciones mineras formalizadas y no formalizadas presentes en el área de influencia.

El programa de medición se desarrolló en dos fases consecutivas:

- Fase 1: Del 8 al 14 de julio de 2025, se realizó la medición continua en los puntos denominados Punto 1 Caseta Manizales y Punto 2 Peñas Azules.
- Fase 2: Del 15 al 21 de julio de 2025, los equipos fueron trasladados e instalados en el Punto 3 La María y Punto 4 Portería de Visitantes, donde se continuó con el monitoreo bajo las mismas condiciones técnicas.

Durante el monitoreo, los sistemas operaron en modo de registro por activación, capturando de manera simultánea la velocidad pico de partícula (PPV) en milímetros por segundo (mm/s), la aceleración en metros por segundo cuadrado (m/s^2) y la frecuencia en hercios (Hz) en los tres ejes ortogonales (X, Y, Z). De forma complementaria, se midió el nivel de presión de aire en decibelios lineales (dBL).

Para contextualizar los datos instrumentales, el personal de campo documentó en bitácoras (ver ANEXO_CHARACTERIZACIÓN_VIBRACIONES_BITACORAS_CAMPO) las posibles fuentes externas asociadas a cada evento, tales como el tránsito vehicular, el paso de personas, el movimiento de animales y otras actividades antrópicas. Esta información observacional fue fundamental para el análisis de los registros y la posterior caracterización de los eventos vibracionales.

d. Procesamiento de datos

El procesamiento de la información consistió en contrastar los registros instrumentales de vibración y presión de aire con las observaciones de campo, con el fin de caracterizar el comportamiento vibracional del área de influencia y evaluarlo frente a los límites establecidos por la norma DIN 4150-3:1999. Este procedimiento permitió correlacionar los valores registrados con las posibles fuentes identificadas, proporcionando una base técnica sólida para la interpretación de los resultados y su comparación con los umbrales normativos aplicables. En el ANEXO_CHARACTERIZACIÓN_VIBRACIONES_TAB_REG_VIBRA_PUNTO_MONI se presentan las tablas que compilan los valores de velocidad, aceleración frecuencia y fuente asociada registrados para cada punto de monitoreo. En el ANEXO_CHARACTERIZACIÓN_VIBRACIONES_TAB_REG_SOBRE_PUNTO_MONI, se incluyen tablas con los valores de presión de aire correspondientes a cada punto medido.

e. Resultados y análisis

El análisis de los datos se desarrolló siguiendo los criterios técnicos de la norma DIN 4150-3:1999: Structural vibration – Part 3: Effects of vibration on structures (DIN, 1999), que define los umbrales de velocidad pico de partícula (PPV) para distintos tipos de estructuras. Esta evaluación se llevó a cabo en dos etapas: una revisión general para confirmar que todos los valores registrados en los tres ejes de medición se mantuvieron dentro de los límites admisibles, y una caracterización detallada de los eventos de mayor magnitud, que fueron correlacionados con las fuentes externas identificadas en campo para un análisis más preciso.

Si bien la norma DIN 4150-3:1999 (DIN, 1999) no establece umbrales para el nivel de presión de aire, su reporte se realiza en cumplimiento de lo solicitado en los Términos de Referencia TDR-13 (ANLA, 2016) para la elaboración de estudios ambientales, con el fin de contar con un registro complementario que permita evaluar condiciones ambientales asociadas a la propagación de onda aérea.

B. Resultados y Análisis

La información obtenida constituye una línea base vibracional en el área del proyecto para la modificación de licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote, fundamental para futuras comparaciones y para verificar el cumplimiento de los límites técnicos durante las siguientes fases de operación minera.

Los registros obtenidos en los cuatro puntos definidos fueron procesados con base en los criterios técnicos establecidos en la norma DIN 4150-3:1999 – Structural vibration – Part 3: Effects of vibration on structures, la cual establece límites admisibles de velocidad pico de partícula (PPV) según el tipo de estructura expuesta (residencial, comercial, industrial o sensible).

Para una adecuada comprensión del análisis, se presentan a continuación los aspectos técnicos que lo respaldan.

a. Criterios Normativos

El análisis se basa en la norma internacional DIN 4150-3:1999 – Structural vibration – Part 3: Effects of vibration on structures, la cual establece límites de velocidad pico de partícula (PPV) admisibles para proteger estructuras de posibles daños por efectos vibracionales. Esta norma clasifica las estructuras expuestas en tres categorías, cada una con umbrales diferenciados según el rango de frecuencia dominante del evento registrado:

- Tipo 1: Edificaciones industriales, oficinas similares con diseños robustos
- Tipo 2: Edificaciones residenciales y construcciones similares.
- Tipo 3: Otras edificaciones sensibles vibraciones o las no incluidas en las dos anteriores clases.

Los valores normativos se estructuran en función de tres intervalos de frecuencia:

- 1 – 10 Hz
- 10 – 50 Hz
- 50 – 100 Hz

En la Tabla 5.1.8.3 se presentan los límites admisibles de velocidad pico de partícula (PPV) según el tipo de estructura y frecuencia de la norma DIN 4150-3:1999.

Tabla 5.1.8.3 Límites admisibles de PPV según tipo de estructura y frecuencia (DIN 4150-3:1999)

Clase de construcción	Categoría	Frecuencia fundamental			NS ^a
		1 a 10 Hz	10 a 50 Hz	50 a 100 Hz	TF ^b
Edificaciones industriales, oficinas y similares o con diseños robustos	Tipo 1	20	20 – 40	40-50	40
Edificaciones residenciales y	Tipo 2	5	5 - 15	15-20	15

Clase de construcción	Categoría	Frecuencia fundamental			NS ^a
		1 a 10 Hz	10 a 50 Hz	50 a 100 Hz	TF ^b
construcciones similares					
Otras edificaciones sensibles a vibraciones o las no incluidas en las dos anteriores clases	Tipo 3	3	3 - 8	8 -10	8

Notas:

^a Nivel Superior componente horizontal.

^b Todas las frecuencias.

^c Velocidades de partícula em mm/s.

Fuente: Tomada de DIN 4150-3: Structural vibration – Part 3: Effects of vibration on structures. Berlin: Beuth Verlag GmbH. Disponible en: <https://www.beuth.de/en/standard/din-4150-3/262430160> (documento de acceso pago)

b. Presentación de los parámetros analizados

Durante el monitoreo se registraron las siguientes variables técnicas, las cuales fueron utilizadas para el análisis vibracional en cada uno de los puntos evaluados: velocidad pico de partícula (PPV), frecuencia dominante y presión sonora (onda aérea). A continuación, en la Tabla 5.1.8.4 se describen brevemente estos parámetros:

Tabla 5.1.8.4 Descripción de los parámetros técnicos utilizados en el análisis vibracional

Parámetro	Unidad	Descripción
Velocidad Pico Partícula (PPV)	mm/s	Velocidad máxima a la que una partícula del suelo vibra debido a una fuente de energía, como una voladura, maquinaria pesada, o tráfico.
Frecuencia	Hz	Número de ciclos de vibración por segundo.
Presión de aire	dBL	Nivel de presión generado por la onda expansiva en el aire.
Componente direccional	-	Dirección en que se mide la vibración: vertical (V), longitudinal (L) y transversal (T).

Fuente: Orica Colombia S.A.S., 2025







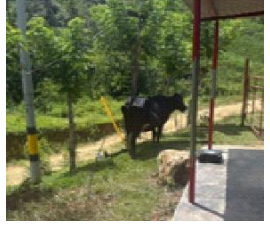

Cada parámetro fue registrado mediante el sistema de monitoreo continuo, previamente instalado en campo, garantizando trazabilidad, precisión y almacenamiento seguro de la información para su posterior análisis.

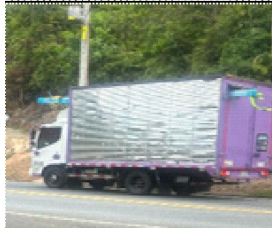





c. Clasificación de las fuentes observadas

La correcta identificación de las fuentes de vibración en el área de influencia es crucial para interpretar los datos instrumentales de manera precisa. A continuación, en la Tabla 5.1.8.5 se presentan las principales fuentes observadas en campo, ilustradas con ejemplos, con el fin de correlacionar los registros de vibración con los posibles orígenes de los eventos.

Véase ANEXO_CARACTERIZACIÓN_VIBRACIONES_TAB_REG_VIBRA_PUNTO_MONI se presentan las tablas que compilan los valores de velocidad, aceleración frecuencia y fuente asociada registrados para cada punto de monitoreo y en el ANEXO_CARACTERIZACIÓN_VIBRACIONES_TAB_REG_SOBRE_PUNTO_MONI, se incluyen tablas con los valores de presión de aire correspondientes a cada punto medido

Tabla 5.1.8.5 Tipo de fuente observadas en campo en los puntos de monitoreo

Tipo de fuente	Imagen referencia	Tipo de fuente	Imagen referencia
Mula		Bus	
Camioneta		Camión	
Carro		Volqueta	
Animal (Perro, Caballo, Vaca)		Persona	

Tipo de fuente	Imagen referencia	Tipo de fuente	Imagen referencia
Furgón		Campero	
Retroexcavadora		Moto	
Chiva		Voladura (Minería)	

Fuente: Orica Colombia SAS., 2025

Una vez definidos los parámetros técnicos, el criterio normativo aplicado y la clasificación de las fuentes observadas, se procede con el desarrollo del análisis vibracional. Este se estructura en dos etapas complementarias, que permiten evaluar el comportamiento general de los registros y caracterizar los eventos más representativos.

d. Etapa 1. Evaluación general por punto de monitoreo

En esta etapa se analiza el comportamiento de los valores registrados en los tres ejes de medición (vertical, longitudinal y transversal) para cada punto de monitoreo, comparándolos con los límites establecidos por la norma DIN 4150-3:1999 según el tipo de estructura. Esta revisión permite verificar que los niveles registrados se mantuvieron dentro de los márgenes permisibles definidos para cada tipo de estructura (Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3).

I. Punto 1 Caseta Manizales

El entorno del punto de monitoreo se encuentra influenciado por la presencia de los proyectos formalizados El Caimo, Bonanza y Búcaro, los cuales representan una fuente potencial de generación de vibraciones debido a sus actividades operativas.

La Figura 5.1.8.2 presentada a continuación ilustra el comportamiento general de los valores registrados de PPV en función de la frecuencia en cada dirección de medición: Longitudinal (L), vertical (V) y transversal (T), comparados con los límites máximos permisibles establecidos en la norma DIN 4150-3:1999 para los tres tipos de estructuras. Esta visualización permite verificar si alguno de los registros excede los umbrales

normativos y constituye un primer nivel de diagnóstico del comportamiento vibracional en el punto monitoreado.

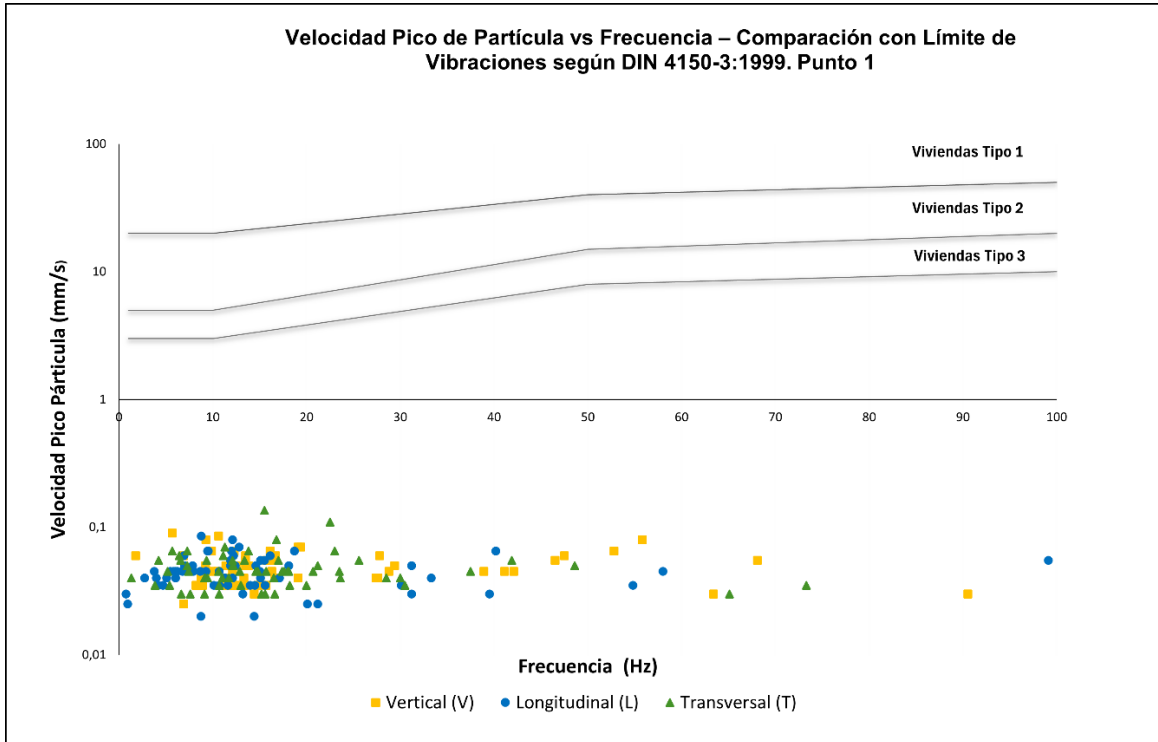


Figura 5.1.8.2 Comparación de PPV vs. Frecuencia en los tres ejes de medición frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 – Punto1.

Fuente: Orica Colombia S.A.S.,2025

De acuerdo con los resultados observados, la mayoría de los eventos registrados se ubican por debajo de los umbrales normativos, lo que indica que no se superaron los límites establecidos para ninguno de los tipos de estructura. Esto sugiere que, durante el periodo de monitoreo, las condiciones vibracionales registradas no representan un riesgo estructural para las edificaciones dentro del área de influencia.

II. Punto 2 Peñas Azules

Los resultados observados en la Figura 5.1.8.3 indican que los niveles de vibración registrados se mantuvieron por debajo de los umbrales normativos para todas las categorías de estructuras. Esto sugiere que, durante el periodo de monitoreo, las condiciones vibracionales no comprometieron la integridad estructural de las edificaciones en el área de influencia.

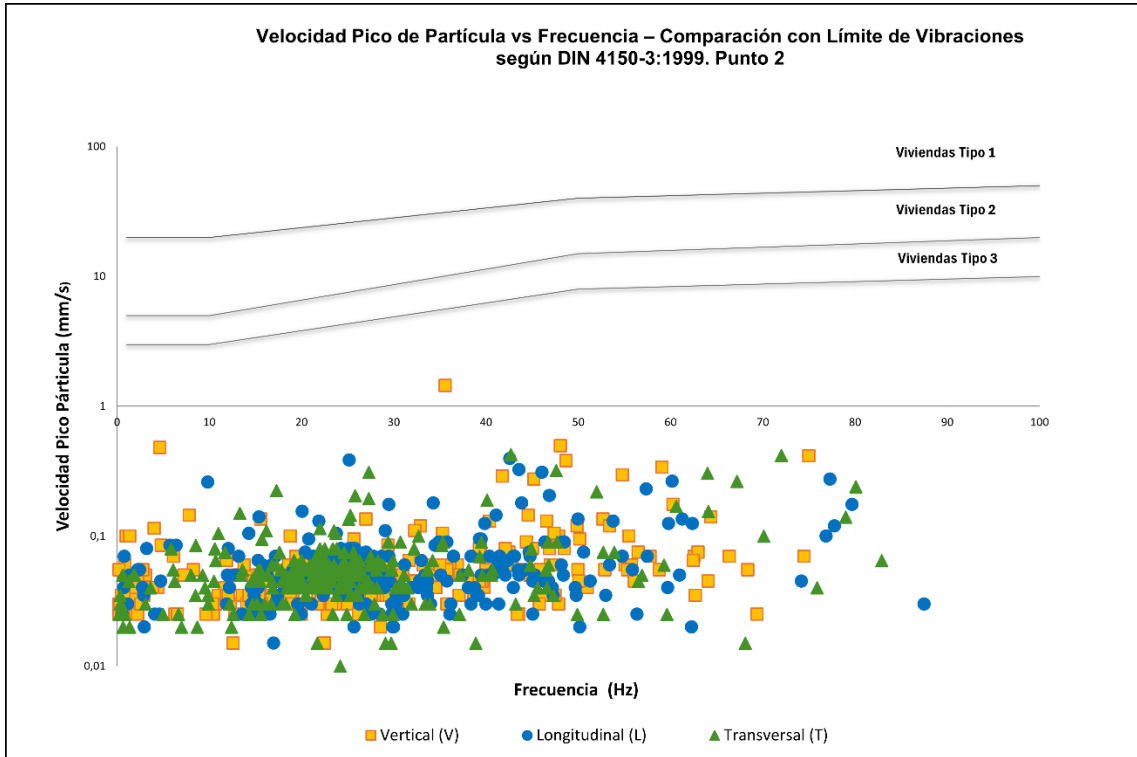


Figura 5.1.8.3 Comparación de PPV vs. Frecuencia en los tres ejes de medición frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 – Punto 2

Fuente: Orica Colombia S.A.S., 2025.

III. Punto 3 La María

El entorno de este punto de monitoreo se caracteriza por la presencia del proyecto formalizado La María S.A.S, así como por un flujo constante de vehículos pesados y livianos que transitan en caravana, incluyendo tractomulas, camiones y automóviles. Esta dinámica vehicular sostenida generó una alta frecuencia de activación del sistema de monitoreo, lo cual se reflejó en registros con una notable dispersión en el rango de frecuencias.

La Figura 5.1.8.4 presenta la distribución de todos los registros de PPV en función de la frecuencia, comparados con los límites máximos permisibles establecidos en la norma DIN 4150-3:1999 para los tres tipos de estructuras: Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3. En términos generales, la mayoría de los eventos registrados se mantuvieron por debajo de los límites establecidos por la norma, lo que indica que, a pesar de la alta frecuencia de activación, no se evidenciaron niveles de vibración que representen un riesgo estructural para el entorno monitoreado.

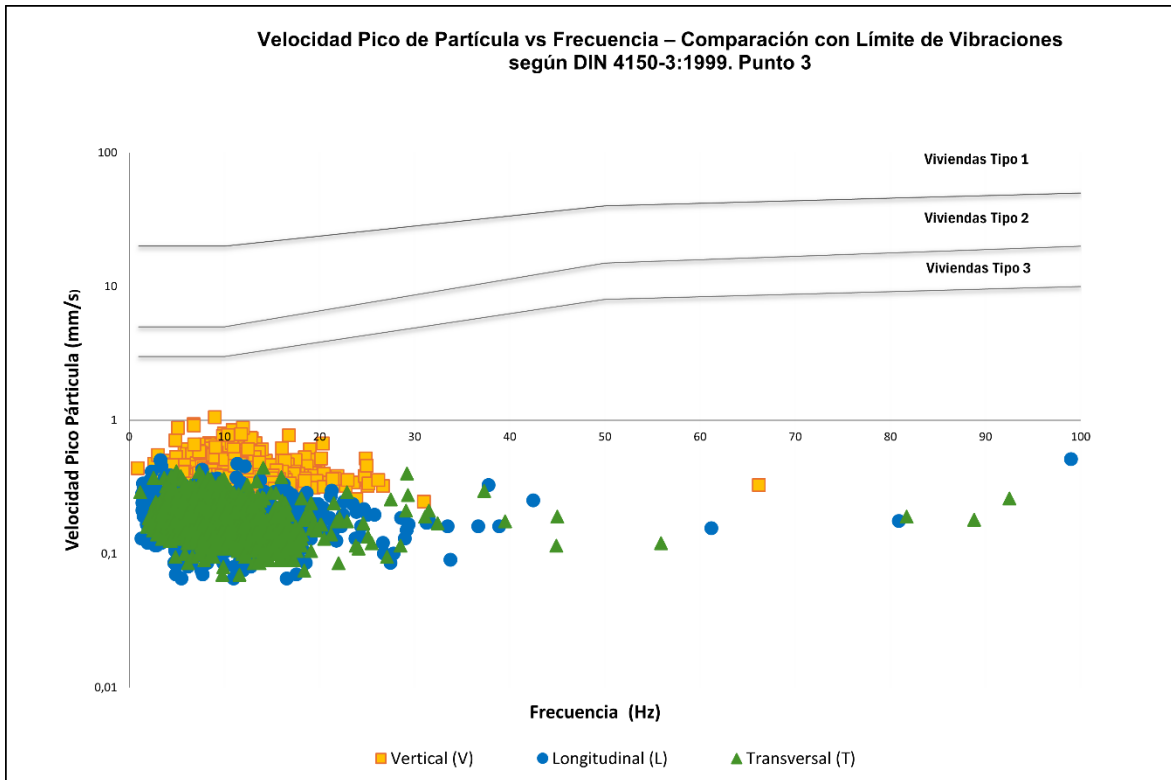


Figura 5.1.8.4 Comparación de PPV vs. Frecuencia en los tres ejes de medición frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 – Punto 3

Fuente: Orica Colombia S.A.S., 2025

IV. Punto 4 Portería visitantes

El entorno de este punto se caracterizó por un alto flujo vehicular, con frecuentes episodios de caravanas de varios vehículos (tractomula–camión–automóvil–camioneta). Este patrón de tránsito genera un alto número de activaciones del sistema y valores dispersos en el rango de frecuencias.

La Figura 5.1.8.5 presenta la distribución de todos los registros de PPV en función de la frecuencia, comparados con los límites máximos permisibles establecidos en la norma DIN 4150-3:1999 para los tres tipos de estructuras: Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3. En términos generales, la mayor parte de los registros se ubicó por debajo de los valores límite, concentrándose en frecuencias bajas-medias (5–25 Hz) con niveles de PPV reducidos. No obstante, se identificó un evento puntual en el eje vertical que superó el límite establecido para estructuras Tipo 2. Este comportamiento indica la ocurrencia de vibraciones de magnitud considerable, que, bajo condiciones repetitivas o prolongadas, podrían representar un riesgo de afectación estructural, especialmente en edificaciones residenciales y sensibles. Estos casos serán analizados en la segunda etapa para su asociación con fuentes específicas.

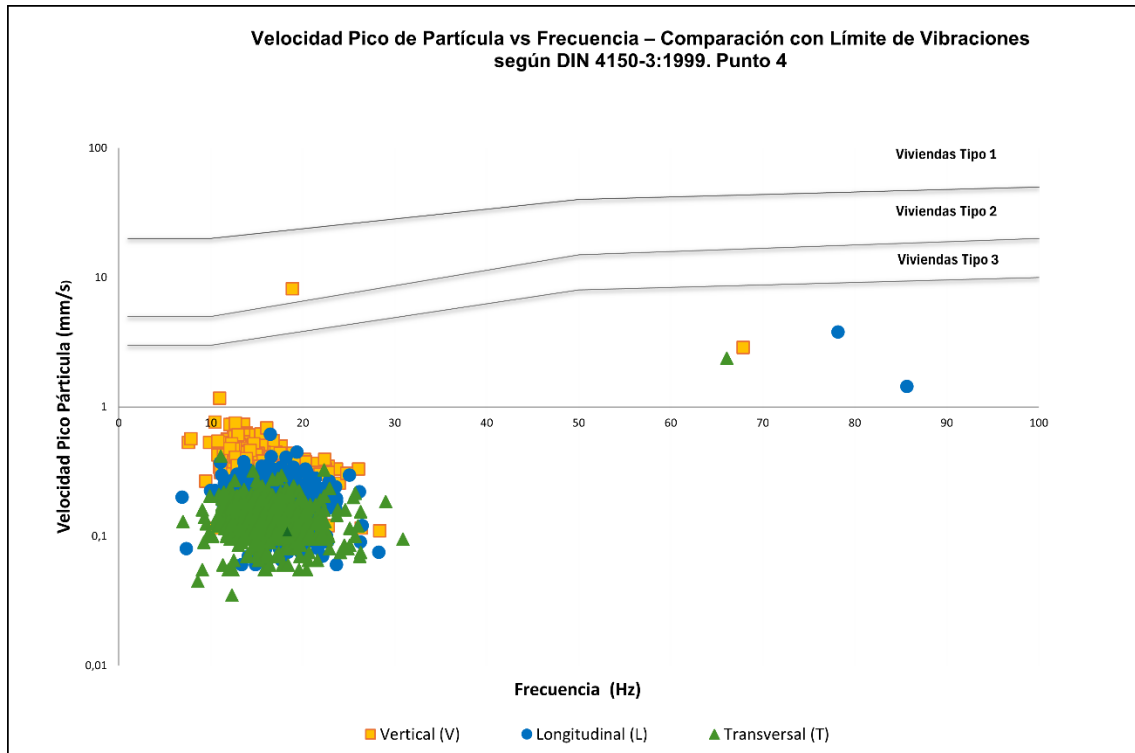


Figura 5.1.8.5 Comparación de PPV vs. Frecuencia en los tres ejes de medición frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 – Punto 4.

Fuente: Orica Colombia SAS., 2025.

e. Etapa 2. Caracterización de eventos asociados a fuentes observadas por punto de monitoreo

En una segunda etapa, se realiza una caracterización detallada de los eventos vibracionales representativos, con base en los valores de velocidad pico de partícula y las fuentes externas asociadas identificadas en campo. Esta caracterización incluye la comparación puntual de dichos eventos frente a los umbrales normativos, permitiendo establecer el nivel de criticidad y su posible impacto.

I. Punto 1 Caseta Manizales

En esta etapa se seleccionaron los eventos de valor máximos para cada fuente registrados en el Punto 1 Caseta Manizales que pudieron asociarse a fuentes externas observadas directamente en campo.

La Figura 5.1.8.6 presenta la distribución de estos eventos en función de la velocidad pico de partícula (PPV) y la frecuencia, diferenciando cada fuente mediante colores específicos. Asimismo, se incluyen las curvas de los límites máximos permisibles establecidos en la norma DIN 4150-3:1999 para los tres tipos de estructuras, lo que permite verificar de forma visual si los eventos asociados a cada fuente superan o no los umbrales normativos.

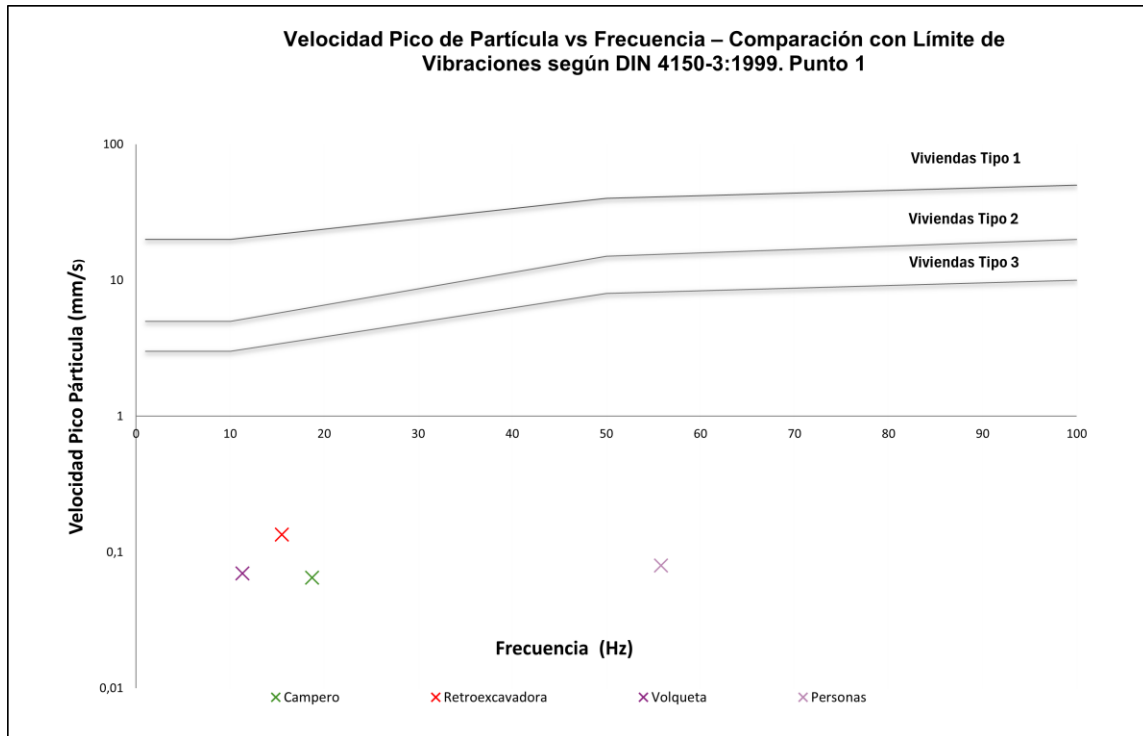


Figura 5.1.8.6 Distribución de eventos asociados a fuentes externas en función de la PPV y frecuencia frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 en el Punto 1

Fuente: Orica Colombia SAS., 2025

La Figura 5.1.8.6 presenta los eventos registrados para las fuentes principales: campero, retroexcavadora, volqueta y personas, los cuales se encuentran dentro del rango de frecuencia considerado por la norma DIN 4150-3 (hasta 100 Hz). Adicionalmente, se registraron eventos generados por otras fuentes como animal, moto y camioneta, cuyos valores de frecuencia superan el rango visual establecido. Por ejemplo, se obtuvieron valores de 0,055 mm/s a 200 Hz para el animal, 0,165 mm/s a 213 Hz para la moto y 5,02 mm/s a 123 Hz para la camioneta. Todos los registros se mantuvieron por debajo de los valores límite establecidos por la norma, lo que indica que, durante el periodo de medición, no se presentaron niveles de vibración que pudieran generar afectaciones estructurales en las edificaciones dentro del área de influencia. Es importante considerar que la magnitud de la vibración se ve directamente influenciada por la distancia de la fuente al sensor; por lo tanto, este registro máximo es atribuible a la cercanía o contacto directo con el geófono.

II. Punto 2 Peñas Azules

En esta etapa se seleccionaron los eventos con los valores máximos de velocidad, los cuales pudieron asociarse a fuentes externas observadas en campo, tales como el paso de vehículos livianos y pesados, tránsito de personas, operación de maquinaria y movimiento de animales. La Figura 5.1.8.7 presenta la distribución de estos eventos en función de la velocidad pico de partícula (PPV) y la frecuencia, comparados con los límites de la norma DIN 4150-3:1999.

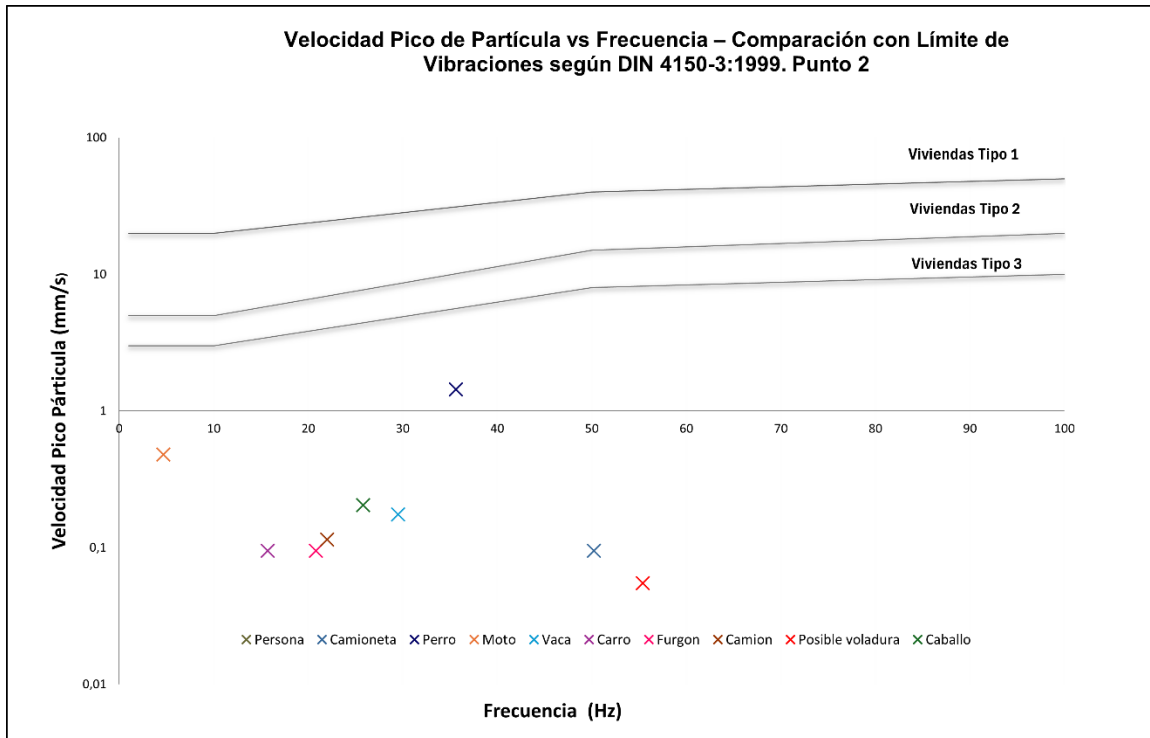


Figura 5.1.8.7 Distribución de eventos asociados a fuentes externas en función de la PPV y frecuencia frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 en el Punto 2

Fuente: Orica Colombia SAS., 2025.

El análisis de los registros demostró que, durante el periodo de monitoreo, el valor máximo de PPV, de 1,44 mm/s a 35,6 Hz, fue asociado a la fuente animal (perro). Es importante considerar que la magnitud de la vibración se ve directamente influenciada por la distancia de la fuente al sensor; por lo tanto, este registro máximo es atribuible a la cercanía o contacto directo con el geófono.

III. Punto 3 La María

En esta etapa se seleccionaron los eventos máximos registrados en el Punto 3 La María que pudieron asociarse a fuentes externas observadas durante el trabajo de campo. Entre estas se incluyeron vehículos de diferente porte (camionetas, camiones, mulas, buses, busetas, volquetas, turbo, furgón, motocicletas, chivas, grúas y automóviles particulares). En algunos casos, debido al alto flujo vehicular y a la ocurrencia de caravanas de paso (varios vehículos en secuencia), la identificación precisa de un único vehículo que activó el sensor no fue posible. En estos casos, para el análisis se tomó como referencia el vehículo de mayor peso observado en la caravana.

La Figura 5.1.8.8 presenta la distribución de estos eventos en función de la velocidad pico de partícula (PPV) y la frecuencia, diferenciando cada fuente mediante colores específicos, junto con las curvas de los límites máximos permisibles de la norma DIN 4150-3:1999 para los tres tipos de estructuras.

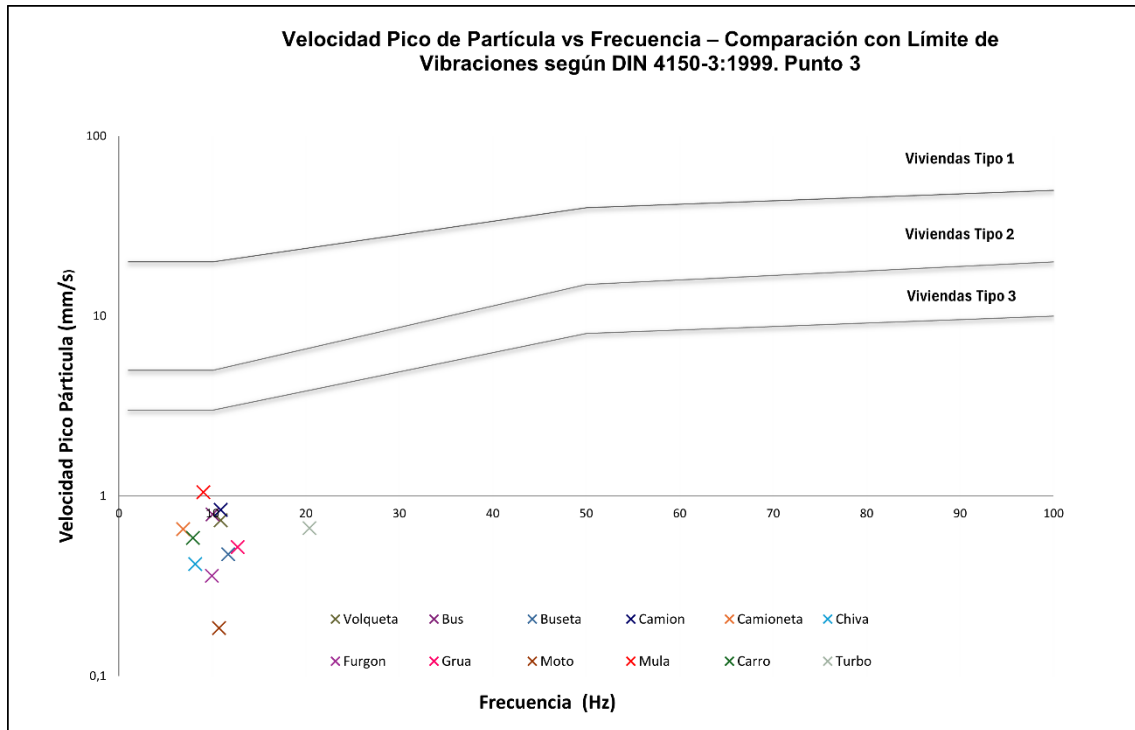


Figura 5.1.8.8 Distribución de eventos asociados a fuentes externas en función de la PPV y frecuencia frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 en el Punto 3.

Fuente: Orica Colombia SAS., 2025

El evento de mayor amplitud del periodo de monitoreo se asoció al tránsito de un vehículo pesado (mula), el cual registró un PPV de 1,05 mm/s y una frecuencia de 9,03 Hz. La caracterización de este evento confirma que, a pesar de ser el valor más alto, las vibraciones se mantuvieron por debajo de los umbrales normativos de la norma DIN 4150-3:1999. Lo que indica que, durante el periodo de medición, no se presentaron niveles de vibración que pudieran generar afectaciones estructurales en las edificaciones dentro del área de influencia.

IV. Punto 4 Portería visitantes

Durante esta fase se agruparon los eventos de valor máximo registrados en el Punto 4 de acuerdo con las fuentes identificadas en campo, tales como vehículos de carga pesada (turbo, camión, tractocamión, volqueta, mula, grúa), vehículos livianos (carro, camioneta, moto), transporte colectivo (bus, chiva). Al igual que en el Punto 3, el entorno en este punto se caracterizó por la presencia de caravanas de vehículos, lo que dificultó la identificación precisa de un único activador. Por lo tanto, para el análisis se mantuvo el mismo criterio de tomar como referencia el vehículo de mayor peso dentro del grupo.

La Figura 5.1.8.9 presenta la relación entre la velocidad pico de partícula (PPV) y la frecuencia para cada evento, diferenciando visualmente las fuentes mediante colores y marcadores, junto con las curvas de los límites máximos establecidos en la norma DIN 4150-3:1999 para los tres tipos de estructuras.

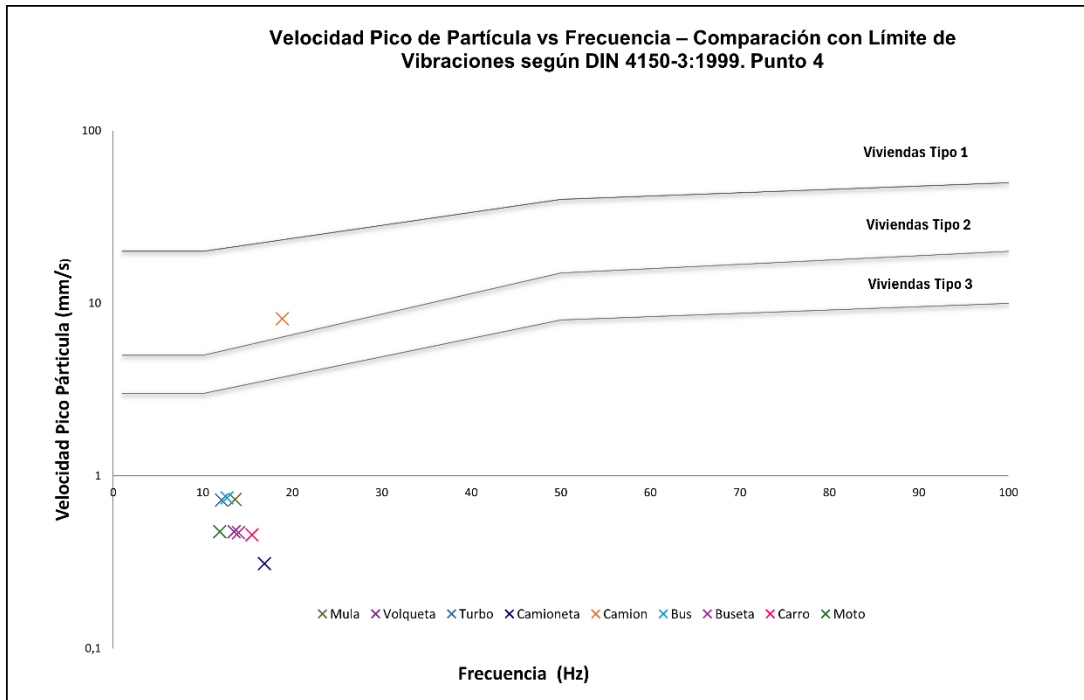


Figura 5.1.8.9 Distribución de eventos asociados a fuentes externas en función de la PPV y frecuencia frente a los umbrales de la norma DIN 4150-3:1999 en el Punto 4.

Fuente: Orica Colombia SAS., 2025

En general, la mayoría de los eventos se ubicaron por debajo del umbral correspondiente a estructuras Tipo 3; no obstante, se identificó un caso particular asociado a un vehículo pesado (camión) con 8,14 mm/s a 18,9 Hz que superó el límite establecido para el Tipo 2, de acuerdo con los criterios de la norma DIN 4150-3:1999. Este resultado indica que, en condiciones puntuales, las vibraciones generadas por el paso de vehículos pesados en proximidad al punto de medición podrían alcanzar niveles con potencial de afectar edificaciones de uso residencial o asimilable.

C. Conclusiones

- El monitoreo vibracional realizado en los cuatro puntos establecidos dentro del área de influencia correspondiente a la modificación de licencia ambiental del proyecto de minería de oro a cielo abierto Gramalote permitió establecer una línea base técnica y confiable para la evaluación de vibraciones, en estricto cumplimiento de los Términos de Referencia TDR-13 y aplicando como criterio de análisis la norma DIN 4150-3:1999 – Structural vibration – Part 3: Effects of vibration on structures.
- El entorno evaluado se caracteriza por la presencia de actividades mineras tanto formalizadas como informales, que incluyen procesos de voladura; sin embargo, debido a las profundidades en las que estas se realizan, no se percibieron niveles de vibración significativos durante los monitoreos. En las cercanías de los puntos evaluados se identificaron unidades mineras formalizadas como el proyecto La María S.A.S en el sector La María, y los proyectos El Caimo, Bonanza y Búcaro en el sector Manizales. A pesar de la actividad minera y del tránsito constante de vehículos pesados y livianos, los

registros obtenidos se mantuvieron por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la norma DIN 4150-3:1999, lo que indica que no se evidencian riesgos estructurales asociados a las vibraciones en el entorno monitoreado.

- Si bien la mayoría de los registros de velocidad pico de partícula (PPV) se mantuvieron por debajo de los límites permisibles para estructuras sensibles en los puntos 1, 2 y 3, se identificó un evento único en el Punto 4 Portería visitantes que sobrepasó los umbrales normativos. Este caso, asociado a un vehículo pesado (camión), registró un PPV de 8,14 mm/s a 18,9 Hz, lo que representa una excedencia al límite establecido para las edificaciones residenciales (Tipo 2) de la norma DIN 4150-3:1999.
- La caracterización detallada de las fuentes, realizada durante la segunda etapa del análisis, permitió identificar y diferenciar el aporte vibracional de diversas fuentes como el tránsito de vehículos pesados (mulas, camiones, volquetas), vehículos livianos, motocicletas, y el movimiento de personas y animales. En el Punto 3 (La María) y en el Punto 4 (Portería de Visitantes), las mayores amplitudes de PPV correspondieron a vehículos pesados, lo que confirma su predominancia como principal fuente de vibración en el área.
- De manera complementaria, se llevó a cabo el registro de presión de aire conforme a lo estipulado en la TDR-13, capítulo 5.1.8.6. Aunque la norma DIN 4150-3:1999 no establece umbrales específicos para la presión de aire, los valores obtenidos aportan información de referencia útil para correlacionar picos de vibración con eventos específicos y para futuras comparaciones en campañas de seguimiento.
- La información obtenida constituye un insumo fundamental para el seguimiento en fases posteriores del proyecto, permitiendo evaluar la evolución de los niveles vibracionales y establecer medidas de control y mitigación en caso de detectarse tendencias de incremento o excedencias recurrentes.
- En conclusión, el desarrollo de esta línea base vibracional, complementada con el registro de presión de aire, no solo cumple con los requerimientos normativos establecidos en la TDR-13 y la DIN 4150-3:1999, sino que también fortalece la capacidad del proyecto Gramalote Colombia Limited para anticipar, prevenir y mitigar posibles afectaciones derivadas de las actividades mineras. Su implementación como referencia en fases posteriores garantizará un seguimiento riguroso, permitiendo que la ejecución del proyecto se mantenga dentro de los estándares técnicos y ambientales exigidos, contribuyendo a la protección del entorno físico y a la seguridad de las comunidades aledaña.

BIBLIOGRAFÍA

ANLA. (2016). *Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA Proyectos de Explotación Minera*. Bogotá: ANLA.

DIN. (1999). DIN 4150-3. *Structural vibration-part 3: Effects of vibration on structures*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.