

**DETERMINACIÓN Y ANALISIS DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS POR LAS
VOLADURAS REALIZADAS EN UNA MINA DE EXTRACCIÓN DE ORO UBICADA
EN EL MUNICIPIO DE BURITICÁ ANTIOQUIA.**



Juan David Martínez Solano.

Id: 000268100.

Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga

Escuela de ingeniería

Facultad de ingeniería mecánica

Bucaramanga, 2019.

ii

**DETERMINACIÓN Y ANALISIS DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS POR LAS
VOLADURAS REALIZADAS EN UNA MINA DE EXTRACCIÓN DE ORO UBICADA
EN EL MUNICIPIO DE BURITICÁ ANTIOQUIA.**

Juan David Martínez Solano.

Id: 000268100.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO MECÁNICO

Supervisor de prácticas:

Msc. Sergio Gómez Suarez

Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga.

Escuela de ingeniería.

Facultad de ingeniería mecánica

Bucaramanga, 2019.

NOTA DE ACEPTACION

FIRMA DEL DIRECTOR

DEDICATORIA

Este trabajo de grado se lo dedico a mi familia y con especial cariño a mi madre MARIA NELA SOLANO GONZALES, la cual siempre me ha dado su amor y apoyo incondicional sin los cuales no hubiera sido posible este logro.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a dios por todas las bendiciones que me ha dado, a todos mis profesores quienes han aportado con sus conocimientos y dedicación en mi formación como ingeniero mecánico y en especial a mi director de prácticas el ingeniero Sergio Andrés Gómez Suarez quien me brindo su guía en todo momento. A la empresa k-2 Ingeniería S.A.S donde tuve la oportunidad de realizar mis prácticas empresariales y donde adquirí una gran experiencia tanto profesional como personal.

A mis familiares que en toda ocasión me mostraron su apoyo el cual fue de mucha importancia para conseguir este logro que tanto añore.

Por último, agradecer a todos los amigos que conocí en mi etapa dentro de la Universidad Pontifica Bolivariana los cuales me brindaron el respaldo y la confianza para conquistar esta meta.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	13
2. DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA.....	16
3. ANTECEDENTES.....	17
4. JUSTIFICACIÓN.....	18
5. OBJETIVOS.....	19
Objetivo general.	19
Objetivos específicos.....	19
6. MARCO DE REFERENCIA.....	20
6.1. Aspectos teóricos y conceptuales	20
6.2. Importancia de la Frecuencia.....	21
6.3 Software dBTrait 6.1.0.....	22
6.4 Normas y recomendaciones para el control de vibraciones provocadas por el uso de explosivos en áreas urbanas.....	22
6.4.1. Norma Alemana (<i>DIN 4150</i>).....	23
6.5. Afectación de vibraciones a humanos	25
6.6. Conceptos básicos sobre voladuras	26
6.6.1. Voladura instantánea.....	26
6.6.2. Voladura con retardadores	26
6.7. Daños causados por la voladura	27
7. ALCANCES.....	28
8. METODOLOGÍA.....	29
9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	32
10. RESULTADOS.....	33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
LISTA DE REFERENCIAS	48

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Valores guía para la velocidad de vibración que se utilizaran al evaluar los efectos de vibraciones breves en estructuras.....	23
Tabla 2. Cronograma de actividades.....	32
Tabla 3. Lista de eventos registrados en Estación A	33
Tabla 4. Lista de eventos registrados en Estación B	34
Tabla 5. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 1	36
Tabla 6. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 2	37
Tabla 7. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 3	38
Tabla 8. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 4	39
Tabla 9. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 5	40
Tabla 10. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 6.....	41
Tabla 11. Lista de eventos registrados en Estación D	42
Tabla 12. Lista de eventos registrados en Estación E	43
Tabla 13. Lista de eventos registrados en Estación F	44
Tabla 14. Lista de eventos registrados en Estación G.....	45

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Estructura organizacional.....	14
Figura 2. Curvas para los valores de guía para las velocidades medidas en la cimentación.	24
Figura 3. Guía para predecir la respuesta humana a las vibraciones	25

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Eventos registrados de la estación A	33
Grafica 2. Eventos registrados de la estación B	34
Grafica 3. Eventos registrados de la estación C	35
Grafica 4. Eventos registrados de la estación D	42
Grafica 5. Eventos registrados de la estación E	43
Grafica 6. Eventos registrados de la estación F.....	44
Grafica 7. Eventos registrados de la estación G	45

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DETERMINACIÓN Y ANALISIS DE LAS VIBRACIONES PRODUCIDAS POR LAS VOLADURAS REALIZADAS EN UNA MINA DE EXTRACCIÓN DE ORO UBICADA EN EL MUNICIPIO DE BURITICÁ ANTIOQUIA

AUTOR(ES): Juan David Martinez solano

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Msc. Sergio Gómez Suarez

RESUMEN

El presente proyecto permite visualizar el proceso de monitoreo de las vibraciones producidas por las explosiones propias de un proyecto minero ubicado en el municipio de Buritica Antioquia, dicho monitoreo está siendo realizado por la empresa K-2 Ingeniería S.A.S. y el objetivo principal de este es corroborar que estas vibraciones no están causando ningún efecto en las comunidades aledañas al lugar expuesto. Para llevar a cabo este monitoreo se instalaron equipos Orión que captan las vibraciones en zonas estratégicas llamadas estaciones las cuales se han establecido en seis (6) estaciones fijas y una (1) estación móvil. En primera instancia fue necesario extraer los datos provenientes de los equipos ubicados en las estaciones por medio de un software de análisis dBTrait del cual la empresa tiene licencia, posteriormente estos datos fueron depurados y recopilados en un histórico de todos los meses que lleva en operación la extracción minera. Finalmente este histórico fue comparado con los datos que provee la empresa dueña del proyecto minero donde se ven reflejadas las voladuras que se han realizado en torno a la operación.

PALABRAS CLAVE:

Comunidades, minero, monitoreo, vibraciones, voladuras

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DETERMINATION AND ANALYSIS OF THE VIBRATIONS PRODUCED BY BLASTS CARRIED OUT IN A GOLD MINE LOCATED IN THE MUNICIPALITY OF BURITICÁ ANTIOQUIA

AUTHOR(S): Juan David Martinez Solano

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Msc. Sergio Gómez Suarez

ABSTRACT

The present project shows the process of monitoring the vibrations produced by the explosions typical of a mining project located in the municipality of Buritica Antioquia, this monitoring is being carried out by the company K-2 Ingeniería S.A.S. and the main objective of this is to corroborate that these vibrations are not causing any effect in the communities surrounding the exposed site. To carry out this monitoring, Orion equipment has been installed that captures vibrations in strategic zones called stations which have been established in six (6) fixed stations and one (1) mobile station. In the first instance it is necessary to extract the data from the equipment located in the stations by means of a DB Trait analysis software of which the company is licensed, these data are then purified and collected in a history of all the months that mining has been in operation. Finally this historical one is bought with the data that provides the company owner of the mining project where they are reflected the blasts that have been carried out around the operation.

KEYWORDS:

Blasting, vibrations, Orion, mining, monitoring, communities, scrubbing

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las principales actividades que se pueden encontrar en Colombia, aun así hay factores importantes que pueden afectar a las diferentes operaciones que se realizan en estas actividades como lo es el campo de las vibraciones.

El objetivo de esta práctica empresarial fue garantizar el cumplimiento de la norma DIN 4150 para vibraciones y que las actividades de minería no afecten a las comunidades cercanas a los lugares donde se producen las voladuras. Con el fin de conseguir argumentos sólidos que proporcionen datos reales y válidos para hacer los análisis posteriores se realizó un monitoreo constante con sensores de las vibraciones producidas en cada una de las estaciones que conforman la mina.

Aunque el tema de los criterios de validación para datos de vibraciones causadas por voladuras no es algo estandarizado en Colombia debido a la poca importancia que se le ha dado hasta ahora y por la misma geografía ya que el tipo de subsuelo dificulta su investigación, para la ejecución de esta práctica se tomaran en cuenta los antecedentes establecidos por proyectos dentro de K-2 ingeniería S.A.S. enfocados en temas parecidos.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

A continuación se presentan las generalidades de la empresa.

Nombre de la empresa

K-2 INGENIERÍA S.A.S.

Misión

“Somos una organización de conocimiento especializado en Ingeniería Ambiental, que brinda servicios a través de proyectos de alto impacto y calidad superior, donde la innovación y tecnología de punta son nuestra inspiración fundamental”. Generamos Confianza dentro de la Organización ofreciendo a nuestra gente oportunidades de Desarrollo Personal y Profesional, mediante una rentabilidad que genera Crecimiento Sostenible [1]

Actividad económica

K-2 INGENIERÍA S.A.S. es una empresa colombiana, constituida en 1999, que integra la experiencia en diferentes áreas de la ingeniería, en especial ambiental, civil, mecánica, electrónica y sistemas para ofrecer un completo portafolio de servicios de consultoría, monitoreo e integración de tecnologías. K-2 INGENIERÍA S.A.S. se ha especializado en el área ambiental, sector en el que desarrolla proyectos sobresalientes a nivel nacional. [2]

Está conformada por tres (3) divisiones principales: la división de ingeniería, la división de tecnologías, y la división de monitoreo.

División de ingeniería. Consultoría, Administración de redes de monitoreo ambiental e Ingeniería del agua.

División de tecnologías. K-2 INGENIERÍA S.A.S. efectúa el suministro, la instalación y puesta en marcha de redes de monitoreo integradas con transmisión en tiempo real y visualización a través de una plataforma de datos, para lo cual cuenta con una vasta experiencia certificada en redes de monitoreo de agua, aire, ruido y vibraciones, meteorología e hidrometeorología.

División de monitoreo. Monitoreo y Laboratorio ambiental.

Productos y servicios.

A continuación se relacionan los productos y servicios de cada una de las divisiones

División de ingeniería. Gerencia ambiental, Consultoría en calidades del aire, Consultoría de ruido, Consultoría en hidrología y calidad del agua, Consultoría en residuos, Consultoría en PTAR, Forestales y afines. [3]

División de tecnologías. Proyectos hidrometeorológicos, Proyectos de calidad del agua, Proyectos de aire, Proyectos de ruido y Líneas de equipos para monitoreo ambiental.

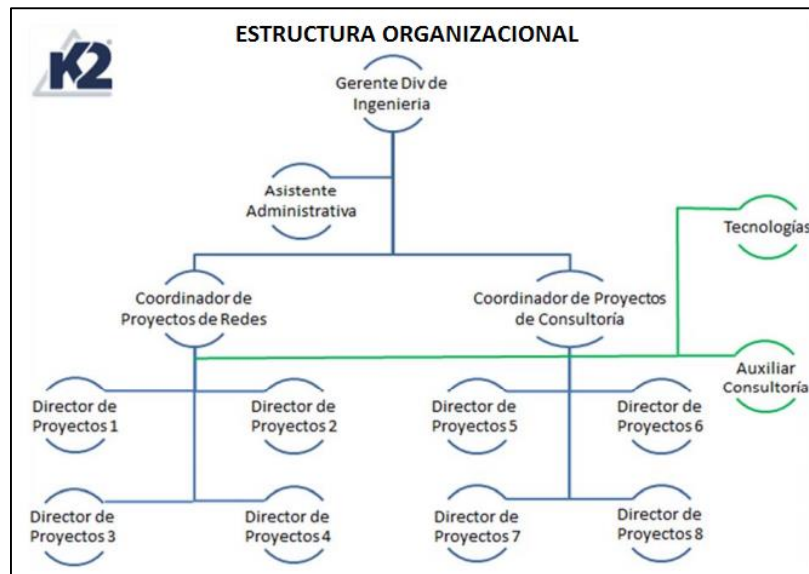
División de monitoreo. Monitoreo calidad de aire, Monitoreo ruido ambiental, Medición de emisiones de fuentes fijas, Monitoreo de calidad del agua y Modelación de contaminantes.

Número de empleados

La empresa K-2 Ingeniería S.A.S cuenta con más 220 empleados distribuidos en sus 3 áreas de trabajo principales.

Estructura organizacional [4]

Figura 1. Estructura organizacional.



Teléfono

Teléfono(s): +57 (7) 6176470 / +57 (7) 6352872;

Dirección

Dirección: Sede principal: carrera 36 No. 36-26/28 Cabecera, Bucaramanga.

Reseña histórica

K2 Ingeniería, es una empresa colombiana, constituida en 1999, que integra la experiencia en diferentes áreas de ingeniería ambiental, civil, mecánica, electrónica y

sistemas para ofrecer un amplio portafolio de servicios de consultoría, monitoreo e integración de tecnologías. **K2 Ingeniería**, se ha especializado en el área ambiental, sector en el que desarrolla proyectos sobresalientes a nivel nacional [5]. En su primer año la empresa trabajo en las diferentes áreas de la ingeniería nombradas anteriormente y hacia final de este periodo comenzó a concentrarse en el área ambiental y especializarse en los temas de calidad del aire y residuos peligrosos [4].

Descripción del área de trabajo específica

A solicitud de la empresa, el practicante de ingeniería mecánica estará trabajando en el área de vibraciones, desarrollando labores concernientes al proceso de generación de información según el software dBTrait y el modelo de campo lejano: subida de datos a la red, generación de gráficas, presentación de informes, entre otras labores, acordes a la autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA) y a la norma internacional DIN4150.

Supervisor

Jorge Leonardo Gutiérrez Ramírez, Ingeniero ambiental y sanitario, Especialista en gestión ambiental. Cargo en la empresa: Ingeniero consultor.

2. DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

Para mayor entendimiento en este apartado se detalla el diagnóstico de la empresa. K-2 INGENIERÍA S.A.S. La cual es consciente de su compromiso y responsabilidad social en la calidad de vida de nuestra sociedad y por eso busca tener la mayor calidad en todas sus áreas de servicios, siempre innovando y avanzando en relación a las necesidades que la rodean, preocupada por el medio ambiente y la sociedad, la compañía es generadora de información altamente significativa; siempre con base en la autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA) y a la norma internacional DIN4150, entre otras [6].

Lograr avanzar en el campo de vibraciones, se ha convertido en algo indispensable actualmente, es aquí, donde la empresa sin dejar a un lado la sociedad, crea nuevos convenios en cooperación con instituciones educativas en pro del desarrollo del país, formando un área de trabajo de análisis de vibraciones y estableciendo un convenio interinstitucional con la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga, ofreciendo la oportunidad de ejecutar el ejercicio profesional al estudiante, que habiendo completado su plan de estudios y demás requisitos acorde a la normativa del organismo educativo, quiera desarrollar su práctica empresarial en la compañía [7].

El proyecto que se busca aplicar durante esta práctica tiene como fin dar un paso más para establecer unas bases sólidas, y en el futuro consolidarse como una empresa líder en tema de vibraciones.

3. ANTECEDENTES

Es importante constatar los antecedentes de la empresa, A continuación se presentan estos de manera detallada.

K-2 ingeniería S.A.S. ha contado con varios estudiantes procedentes de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga (UPB) hasta la fecha se cuentan cinco (5) convenios, de modo que este mismo número de estudiantes han desarrollado en las instalaciones de la compañía su práctica empresarial como apoyo en el área de vibraciones.

Actualmente K-2 Ingeniería se encuentra realizando un proyecto en conjunto con una mina de extracción de oro, de este proyecto se derivan la anterior práctica empresarial y la actual por lo cual ambas practicas se desarrollan en la misma línea de trabajo. En proyectos anteriores se ha sistematizado y estandarizado procesos que involucran las explosiones producidas dentro de la mina (voladuras), dicho esto, se ha determinado que este proyecto tenga continuidad con lo anteriormente hecho buscando brindar una mayor fiabilidad en los procedimientos empleados por parte de K-2 Ingeniería, logrando así mayor calidad y seguridad en los servicios prestados.

4. JUSTIFICACIÓN

Con la finalidad de entender el objetivo principal de la labor de la empresa se presenta la justificación en el siguiente apartado.

La empresa K-2 Ingeniería S.A.S se ha destacado por innovar en sus áreas de trabajo y proyectos además de brindar servicios de calidad, cumpliendo siempre con las normativas establecidas, para de esta forma evitar cualquier daño a personas o estructuras que puedan verse involucradas, por esta razón se ejecuta un monitoreo 24 horas al día los 7 días de la semana durante todo el año.

Debido a la gran cantidad de datos que obtienen los equipos que tienen la labor de monitoreo constante sobre las vibraciones producidas en la mina, se pueden generar múltiples datos que sobrepasen los límites establecidos por la norma alemana DIN 4150-3, pero estos datos pueden verse afectados por diversos factores ajenos a la actividad minera y para este proyecto minero es de vital importancia determinar si estos datos están siendo influenciados por las actividades mineras que se realizan en las diferentes estaciones que conforman el proyecto o si son ocasionadas por otros agentes externos.

Por lo cual “Determinar y analizar las vibraciones producidas por las voladuras realizadas en una mina de extracción de oro ubicada en el municipio de Buriticá Antioquia”, se ofrece como una solución a esta problemática que aqueja a este proyecto.

5. OBJETIVOS

Objetivo general.

Determinar y analizar las vibraciones producidas por las voladuras realizadas en una mina de extracción de oro ubicada en el municipio de Buriticá Antioquia.

Objetivos específicos.

1. Inventariar el histórico de datos de vibraciones y voladuras de las estaciones: A, B, C, D, E, F y G
2. Tabular histórico de eventos producidos en las estaciones: A, B, C, D, E, F y G utilizando como referencia los datos de velocidad pico de partícula en los ejes X, Y, Z y la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS).
3. Comparar histórico de voladuras con las velocidades de partículas en los ejes X, Y, Z, la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS) percibidas en los diferentes equipos de vibraciones y establecer la influencia que generan las voladuras de acuerdo a los eventos registrados.

6. MARCO DE REFERENCIA

Es importante tener en cuenta la teoría planteada en el desarrollo del proyecto para esto a continuación se presenta el marco referencial con el fin de sustentar los aspectos conceptuales.

6.1. Aspectos teóricos y conceptuales

Al ser detonada una carga explosiva en el interior de un macizo rocoso, toda la energía potencial pasa a ser liberada en un periodo considerablemente corto de tiempo. El estallido de la carga explosiva crea una elevada presión en el lugar de la reacción química. Esta presión provoca una onda de choque que se utiliza para la tarea de segmentación de la roca y para la formación, sobre el frente de explosión, de fragmentos de forma apropiada para su carga. Otra parte de esa energía es liberada en el ambiente, extendiéndose a través del macizo rocoso y del aire.

La expansión de una onda lleva consigo un flujo de energía del foco emisor al medio a lo largo del trazado en la que la onda avanza, en donde se propaga una alteración que consiste en un movimiento vibratorio. La onda de choque se va atenuando a medida que su frente se aleja del origen. Además del fenómeno geométrico de dispersión de energía en un espacio tridimensional, el carácter no completamente elástico de las rocas y la presencia de agua llenando vacíos son también factores de amortiguamiento del temblor. La amplitud, la velocidad y la aceleración del movimiento oscilatorio disminuyen con la distancia, sucediendo lo mismo con la frecuencia de oscilación. [8]

Retomando en lo comentado en el párrafo anterior y a sabiendas que los conceptos de física, más concretamente la propagación de ondas mecánicas, se utilizan en el análisis de vibraciones, es necesario conocer una serie de definiciones que se relacionan con todo lo referido a la propagación de ondas mecánicas.

Empezando por el concepto de movimiento ondulatorio, es el proceso por el cual se propaga energía de un lugar a otro sin transferencia de materia, mediante ondas. Cuando estas ondas necesitan un medio material, se llaman ondas mecánicas. Si se produce una vibración en un punto de un medio elástico, esta se transmite a todos los puntos de éste. Las ondas mecánicas son las perturbaciones que se transmiten por este medio. Al pasar dos veces por la posición de equilibrio es decir se mueve la partícula desde un extremo a otro y de vuelta, decimos que se ha realizado una oscilación completa. La amplitud de no aplicarse ninguna fuerza ira en una disminución progresiva, pero a veces es posible compensar esta pérdida de amplitud con impulsos de forma que cada vibración sea idéntica a la precedente. En este caso decimos que el movimiento es periódico y se llama período (T), al tiempo que tarda en tener lugar una oscilación completa. Se llama frecuencia (f) al número de oscilaciones por unidad de tiempo, el número de ciclos por segundo se llama hercio (Hz), y es la unidad con la cual se mide la frecuencia. Por la propia definición, el período es el inverso de la frecuencia: $T = 1/f$. [9]

La frecuencia, a la par con la velocidad de propagación (v) tiene una relación directa con la longitud de onda (λ), la cual se conoce como la distancia que recorrida por una onda del principio al final de una oscilación completa. Para obtener la longitud de onda es necesario utilizar la fórmula: longitud = velocidad de propagación * periodo, lo que se traduce como una ecuación que relaciona v , λ , y f es: $v = \lambda \cdot f$. también hay que tener en cuenta que criterios como el tipo de onda, la elasticidad del medio y la rigidez afectan a la velocidad de propagación

Al hablar de la clasificación de las ondas según su dirección de propagación nos encontramos que hay de dos clases. Ondas longitudinales o primarias (P), para la que la vibración de la onda es paralela a la dirección de propagación. En el segundo tipo están las ondas transversales o secundarias (S), donde hallamos que la vibración es perpendicular a la dirección de onda. Añadido a esto, ambas se denominan como ondas de cuerpo.

En las interfaces aire/superficie del terreno las ondas de cuerpo dan lugar a las ondas llamadas superficiales, que se propagan en ese límite. Las ondas de superficie se caracterizan por frecuencias más bajas que las de cuerpo. Las ondas Raleigh (R) son las ondas de superficie más comúnmente encontradas y transportan la mayor parte de la energía propagada en superficie y por ende presentan mayor potencial de riesgo a las estructuras. [10]

Al igual que las ondas, la frecuencia también es dependiente de la geología o medio en el que se propagan y es uno de los factores más importantes a controlar por la respuesta de las estructuras. La importancia de la frecuencia se basa en que una estructura responde de diferentes maneras dependiendo de la frecuencia dominante de la señal que la excita, es por ello que este factor debe tomarse en cuenta dentro de los parámetros que implican a la voladura.

6.2. Importancia de la Frecuencia.

El espectro de frecuencias se caracteriza por la distribución de amplitudes para cada frecuencia de un fenómeno ondulatorio (sonoro, luminoso o electromagnético) que sea superposición de ondas de varias frecuencias. Y es de vital importancia para el análisis de posibles daños estructurales. En trabajos previos se ha determinado que cada estructura reacciona distinto las diferentes vibraciones que la afecten. Una estructura residencial responderá menos a un movimiento de terreno de 12mm/s a una frecuencia principal de 80Hz que a una frecuencia principal de 10Hz. Entonces, el movimiento a 80Hz tiene menos probabilidad de producir una fisura en la estructura que el movimiento a 10Hz [11].

Cuando se presentan frecuencias bajas se debe tener en cuenta que la frecuencia principal del movimiento vibratorio tiene la posibilidad de tener el mismo orden que la resonancia o la frecuencia natural que tiene la estructura, si esto llega a darse significara

que el movimiento se amplificara y las deformaciones tendrán mayor alcance. Adicionalmente se define la resonancia como la situación en la que un sistema mecánico, acústico produce vibraciones como respuesta a una fuerza que se aplica con una frecuencia natural del sistema o una frecuencia aproximada. [11]

6.3 Software dBTrait 6.1.0

Es la herramienta utilizada por la empresa K-2 ingeniería S.A.S. para el tratamiento y procesamiento de datos referentes al análisis de vibraciones. “El paquete de software dBTrait se ha desarrollado para el procesamiento de datos de medición de ruido y vibración ambiental, así como para el análisis de la exposición del cuerpo humano a las vibraciones.” [12]

6.3.1. **PPV_{tk}**. Peak Particle Velocity, velocidad máxima de la partícula o velocidad pico de la partícula: es la mayor velocidad instantánea de la partícula en el eje k (PPV_X, PPV_Y, PPV_Z), durante un intervalo de tiempo t . [12]

6.3.2. **PVSt**. Peak Vector Sum, suma vectorial máxima o máximo real de la velocidad resultante: es el máximo verdadero de la velocidad resultante de la partícula, obtenida al sumar de forma vectorial los tres componentes ortogonales que coinciden en el tiempo t . [12]

6.3.3. **DF_j**. Dominant Frequency, frecuencia dominante (FD): frecuencia correspondiente al máximo de un espectro FFT (Trasformada rápida de Fourier) propio de la velocidad máxima de la partícula (PPV) en el tiempo t . [12]

6.3.4. **Espectro**. Es una representación de los componentes de la frecuencia de una señal. Este espectro se obtiene a través del análisis de frecuencia. Los espectros pueden ser: promediados (se calcula y se promedia un solo espectro en un intervalo de tiempo t) o multiespectro (se calcula una serie de espectros en un intervalo de tiempo t , así el termino multiespectro designa una historia temporal de espectros). [12].

6.3.5. **Transformada rápida de Fourier**. La FFT es un algoritmo matemático que toma datos (muestras digitalizadas) en el dominio del tiempo y calcula su representación en el dominio de la frecuencia, este algoritmo está basado en la teoría de Fourier que relaciona matemáticamente el dominio del tiempo y la frecuencia. [13]

6.4 Normas y recomendaciones para el control de vibraciones provocadas por el uso de explosivos en áreas urbanas

Las normas establecen los parámetros que se deben seguir para llegar a estándar de calidad evitar daños estructurales, en el caso de los proyectos que requieren el uso de explosivos es muy importante tener todo controlado, no únicamente por los daños que pueda ocasionar a lecho rocoso o estructuras colindantes (casas, edificios, edificaciones históricas etc.), sino también por los efectos que tienen las vibraciones producidas por voladuras en los seres humanos que puedan vivir o realizar actividades en las áreas adyacentes. El impacto ambiental aumento de la presión atmosférica y propagación excesiva de ruido también son factores a tener en cuenta.

Para determinar que norma usar en cada caso es necesario considerar muchos elementos ya que los valores límites de vibración normales para un terreno pueden variar y pueden ser perturbados por diferentes causas. Por lo cual es importante hacer un previo estudio verificado sobre que límites establecer a la hora de iniciar un proceso que conlleve voladuras

6.4.1. Norma Alemana (*DIN 4150*)

El Instituto de Normalización Alemana o DIN (Deutsches Institut für Normung), tiene criterios para niveles máximos de vibración, plasmados en sus estándares técnicos, los cuales tienen un apartado especial para edificaciones históricas lo que hace que esta norma se haya convertido en una de las normas más exigentes y restrictivas que se encuentran actualmente a disposición del público. [14]

La normativa alemana DIN 4150 en su tercera parte (línea) habla acerca de los efectos en edificios y sus elementos estructurales de vibraciones de carácter internas o externas.

Antes de crearse esta norma había una discordia en Alemania sobre que norma o recomendaciones usar, esto debido a que el propio país se encontraba fracturado. En Alemania oriental se regían sobre dos parámetros: la tipología estructural del edificio que estuviese sometido a las vibraciones y la frecuencia particular del fenómeno vibratorio, en contra posición la Alemania occidental admitía varias frecuencias basándose en la estructura del edificio y solo tomaban como referencia la componente vertical de la velocidad de partícula (V_p).

Pasados los años y unificada nuevamente Alemania se estableció a la norma DIN 4150 como norma patrón para todos los temas concernientes a vibraciones. Dicha norma establece los valores límites de velocidad de partícula en mm/s y el intervalo de frecuencia en Hz. Las tres clases de edificios que reconoce la norma son:

- ⌚ Edificios estructurales o industriales
- ⌚ Edificios residenciales
- ⌚ Edificios históricos y construcciones sensibles (madera, barro, etc.)

La norma también establece que las frecuencias deben ser analizadas en tres intervalos los cuales son: valores menores de 10Hz, valores entre 10-50Hz y valores entre 50-100Hz. La norma prevé que para frecuencias encima de 100Hz, a estructura soporta niveles altos de vibración.

Los valores de velocidad de vibración de partícula definidos varían de 3mm/s, en el caso de monumentos y construcciones delicadas con frecuencia inferior a 10Hz, hasta 50 mm/s en el caso de estructuras industriales con frecuencia entre 50-100Hz. En la evaluación de daños estructurales causados por las vibraciones del terreno, los valores límites de V_p admitidos para diversos tipos de construcciones, en función de la frecuencia, son presentados en la *Tabla 1*.

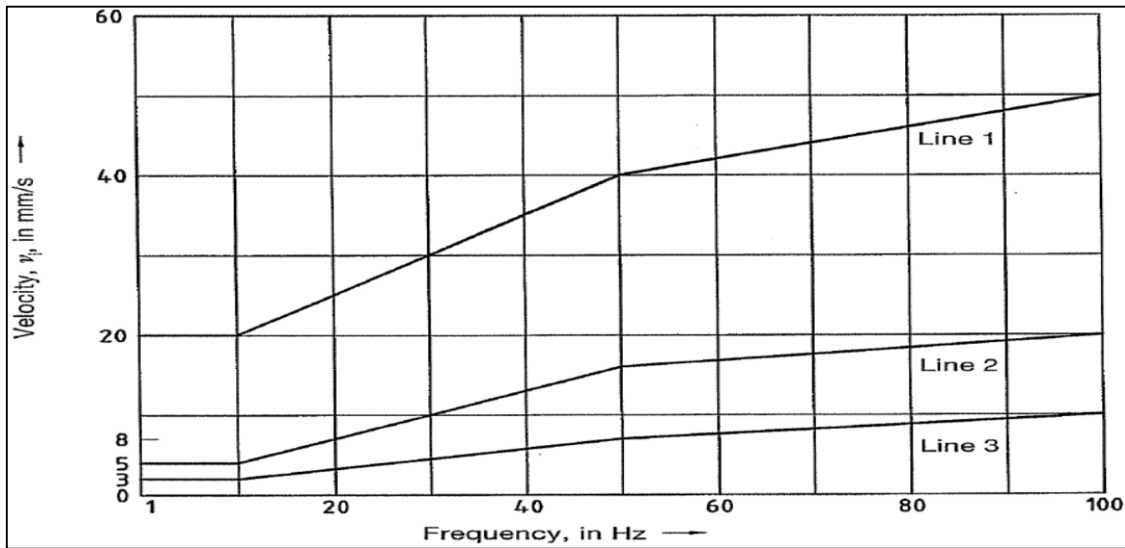
Tabla 1. Valores guía para la velocidad de vibración que se utilizaran al evaluar los efectos de vibraciones breves en estructuras.

Línea	Tipo de estructura	Valores guía para la velocidad en mm/s			
		Vibración en la cimentación a una frecuencia de			Vibración en el plano horizontal del piso más alto, en todas las frecuencias
		1 Hz a 10 Hz	10 Hz a 50 Hz	50 Hz a 100 Hz	
1	Edificios utilizados con fines comerciales, edificios industriales y edificios de diseño similar	20	20 a 40	40 a 50	40
2	Viviendas y edificios de diseño y/o ocupaciones similares	5	5 a 15	15 a 20	15
3	Estructuras que, debido a su particular sensibilidad a la vibración, no pueden clasificarse bajo las líneas 1 y 2 y son de gran valor intrínseco (por ejemplo, edificios bajo orden de conservación)	3	3 a 8	8 a 10	8

* A frecuencias superiores a 100 Hz, los valores dados en esta columna pueden ser usados como valores mínimos.

De manera adicional y para facilidad de aplicación se muestra en la siguiente figura, la gráfica de las tres líneas guía de la norma, esquema útil y representativo para este proyecto. [15]

Figura 2. Curvas para los valores de guía para las velocidades medidas en la cimentación.



Valores de frecuencia por encima de 100Hz pueden ser aceptados en la parte más alta de los edificios. Otros valores, medidos por debajo de los límites especificados anteriormente son considerados como no perjudiciales a la estructura civil.

6.5. Afectación de vibraciones a humanos

Al ser uno de los objetivos de este trabajo garantizar que las comunidades aledañas no están siendo afectadas por las voladuras es importante tener claro los conceptos de porque los efectos de las vibraciones pueden ser perjudiciales para los seres humanos y de esa forma determinar cuál es la forma más efectiva de evitar posibles consecuencias negativas, a continuación se mostraran algunos estudios acerca de este tema y sobre la sensibilidad que tiene el ser humano a las vibraciones.

Las vibraciones surgen de forma natural en muchas maquinas o equipos, al pensar en grandes maquinas viales, tractores, martillos neumáticos sin lugar a dudas debido a su propio funcionamiento generan una gran cantidad de vibraciones. [16]

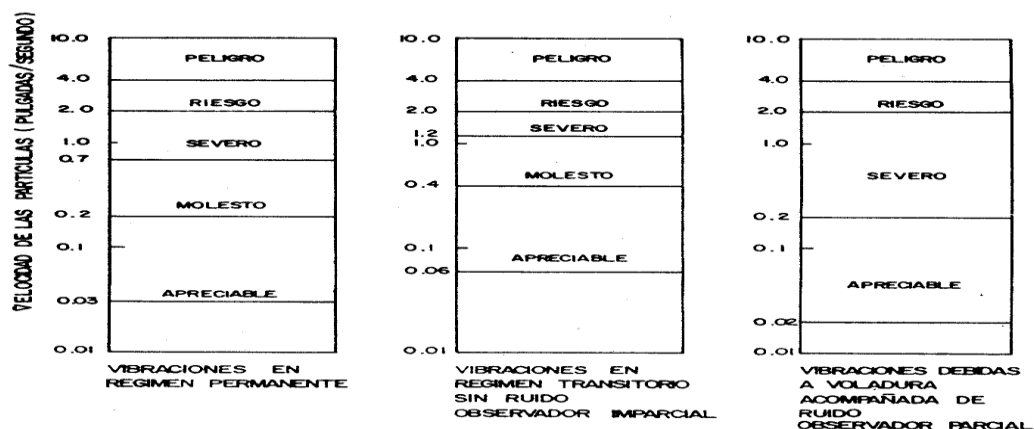
Un claro síntoma de los efectos que pueden causar las vibraciones en el cuerpo humano es la aparición de nauseas, en el caso de que montes a un automóvil un barco o un avión que se mueve con una frecuencia natural con valores cercanos a los del estómago.

Si el cuerpo humano entra en contacto con alguna objeto vibrante o superficie vibrante se produce una agresión mecánica que generan una incomodidad, reducción de la eficiencia o lesiones Estos efectos se deben en general a la aparición de fuerzas oscilantes que son contrarrestadas físicamente por tres mecanismos:

1. La tensión muscular
2. La compresión de los tejidos
3. La aceleración de las masas de tejido, produciendo un estrés articulario [17]

A continuación se presentara una guía donde se muestra como es la respuesta humana cuando entra en contacto con vibraciones. [18]

Figura 3. Guía para predecir la respuesta humana a las vibraciones



Cada ser humano tiene una percepción diferente sobre lo que tolera o considera normal y lo que no. Por ejemplo, alguien que trabaja en los últimos pisos en un edificio alto

puede ser menos afectado por la vibración del edificio que alguien que no trabaja en el edificio.

6.6. Conceptos básicos sobre voladuras

El concepto de voladura se asocia a una explosión que a través de una liberación de energía genera ondas y vibraciones de forma radial en múltiples direcciones. Nos centramos en dos casos particulares de cómo pueden producirse estas voladuras, el primero es en un instante de tiempo muy pequeño donde se agota toda la carga explosiva a la vez a este caso se le conoce como voladura instantánea. En otros casos, la carga explosiva puede ir consumiéndose de manera progresiva y controlada con un elemento llamado retardador, de esta manera se forma una secuencia continuada de diferentes voladuras instantáneas desplazadas en el tiempo. [19]

6.6.1. Voladura instantánea

Cuando la liberación de energía al realizar la explosión se produce de manera inmediata en el tiempo se puede llamar de forma instantánea, el lugar donde se encuentre o la carga explosiva se puede agrupar en dos grupos el primero es el puntual (de un solo barreno) y el segundo es el lineal (dos o más barrenos a lo largo de una línea). [19].

6.6.2. Voladura con retardadores

Los retardadores funcionan de manera que pueda programarse una explosión de manera secuencial o progresiva este elemento se agrupa a lo largo de la línea de tiro de la forma más acorde lo que la operación necesite según sea el caso. Estas voladuras con retardador se ven más frecuentemente en los proyectos de explotación de cantera y excavación dentro de las diferentes divisiones de ingeniería. Los diferentes criterios empleados para su diseño y posterior diagramación son: (a) el tipo de explosivo, (b) la roca presente, (c) las condiciones geológicas y litológicas del sitio, (d) los requerimientos y tipo de material a utilizar, (e) la presencia de centros poblados en las proximidades, (f) las estructuras propias del proyecto.

La distribución de explosivo y el diseño de la voladura son muy variables. Existen muchas técnicas y variaciones. Cada una tiene sus propias peculiaridades y características:

- ✦ Ubicación del punto de interés, (estructura en función del diseño de la voladura).
- ✦ Punto de encendido.
- ✦ Tipo y distribución de los retardadores.
- ✦ Orientación del frente libre en función de la estructura.
- ✦ Duración total de la voladura en función del número de retardadores.
- ✦ Relación entre duración calculada y duración efectiva de registro.
- ✦ Velocidad de propagación de ondas corpóreas.
- ✦ Características geológicas y geotécnicas del área.

6.7. Daños causados por la voladura

Toda falla en el desarrollo de estas actividades traerá consecuencias, pérdidas económicas y sobre todo pérdidas humanas. Los efectos de una explosión son tres principalmente: [20].

- La detonación se propaga a través del aire como una onda P de compresión que genera un aumento de la presión atmosférica (con riesgo de rotura de cristales, tabiques, etc.) y es percibido como un ruido por los seres vivos a los que puede dañar si es de gran intensidad.
- El terreno transmite vibraciones complejas que incluyen ondas P de compresión con origen en el foco, ondas S de corte que provienen de reflexiones y/o refracciones de las ondas P cuando encuentran discontinuidades del terreno y finalmente ondas L o R de superficie que se transmiten a través de la superficie y tienen componentes de compresión y de corte. Estas vibraciones pueden causar daño a las construcciones.
- Hay con frecuencia proyección aérea de las rocas en la zona de la explosión que al caer puedan originar daños importantes a las personas y a las cosas.

7. ALCANCES

Posteriormente se presentan los alcances del trabajo hecho en uno de los proyectos más importantes en la actualidad dentro de la empresa K-2 Ingeniería, el proyecto minero de extracción de oro ubicado en Buriticá Antioquia el cual ya cuenta con diversos procesos dentro de la división de ingeniería-consultoría de la empresa. Por medio del proyecto Determinación y análisis las vibraciones producidas por las voladuras realizadas en una mina de extracción de oro ubicada en el municipio de Buriticá Antioquia se busca implementar un análisis comparativo que pueda mostrar si las voladuras producidas en la mina tienen o no algún tipo de impacto en los resultados finales del monitoreo, y así garantizar que los valores obtenidos se mantengan dentro de la norma DIN 4150-3.

8. METODOLOGÍA

Seguidamente se presentan los pasos implementados en la metodología durante el desarrollo del proyecto.

8.1. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de tipo no experimental esto debido a que se está estudiando un fenómeno ya existente, no se están manipulando variables deliberadamente gracias a que se observa un suceso perteneciente a la operación natural en la que encuentra la mina buscando aplicar satisfactoriamente los objetivos del proyecto.

Para el desarrollo de este tipo de diseño es conveniente organizar y planificar una lista de pasos y actividades, adicionalmente se decidió dividir el seguimiento de estos pasos en fases para ir supervisando el cumplimiento de los objetivos planteados

- Pedir autorización a la empresa K-2 Ingeniería para poder hacer uso de los datos recopilados de forma mensual de las voladuras en las estaciones
- Compilar los datos de voladuras provenientes de los equipos ORION ubicados en cada una de las estaciones pertenecientes al proyecto minero, para poder posteriormente procesarlos como datos CSV en hojas de cálculo
- Mediante el software licenciado dBTrait extraer los datos de los espectros que se han marcado como eventos
- Una vez extraídos los datos se procesan en una hoja de cálculo haciendo una depuración en base a los criterios de velocidad pico en los ejes X, Y, Z frecuencia y la suma vectorial (PCPV, PVS) y ver cuales están por encima de los valores permitidos para la ejecución del proyecto
- Hacer una gráfica de comparación donde se muestre cada evento presentado en cada estación y si hubo voladuras durante esa fecha

8.2. Fases

Para la supervisión del cumplimiento de los objetivos planteados en el trabajo de grado se decidió dividir este seguimiento en fases siguiendo la línea de los objetivos establecido en tres (3) fases de desarrollo.

8.2.1. Desarrollo fase 1

El estudio de las vibraciones generadas por voladura en el proyecto minero ubicado en Buriticá-Antioquia tiene como objetivo el análisis de las ondas generadas y la afectación que se produce en poblaciones y viviendas cercanas a la operación, así mismo definir la periodicidad del monitoreo en la fase productiva del proyecto.

Para la medición de vibraciones por voladura, se instalaron equipos Orión, que capturan la frecuencia y velocidad pico de partícula de vibraciones para cada eje X, Y, Z. Estos equipos difieren de los empleados en estudios anteriores en su practicidad y oportunidad de medición continua con entrega de información en tiempo real, lo cual en la etapa actual del proyecto minero es de suma importancia.

Una de las ventajas que tiene el uso de este tipo de equipo es que tiene diferentes dominios de medición, como las vibraciones en demoliciones, obras de construcción, explosiones (minas, túneles, etc.), construcciones de túneles y transporte (carretera, ferrocarril). La evaluación de la vibración se basa en el registro de velocidad o aceleración en tres ejes X, Y, Z en la frecuencia de banda de 0.4Hz-150 o 500Hz. De acuerdo con los estándares de diferentes países, las cantidades medidas se comparan con curvas de tolerancia cuyos valores difieren dependiendo de la frecuencia. El equipo tiene configuradas internamente los límites de la norma DIN 4150.

Dado lo anterior, para el monitoreo de vibraciones por voladura, se ubicaron los equipos Orión en diferentes estaciones con dirección longitudinal al lugar de las voladuras (Eje X). De acuerdo al avance y dinámica que ha tenido la operación, en el estudio actual, se instalaron los equipos Orión en las estaciones A, B, C, D, E y F para garantizar la correcta supervisión de la mina y de las comunidades que se encuentran cercanas al proceso de voladuras.

Los datos crudos recopilados en el Orión llegan de forma semanal a la empresa K-2 Ingeniería para ser extraídos, procesados y posteriormente enviados a la compañía a cargo del proyecto. Estos datos son extraídos gracias al software DBTrait, son llevados a hojas de cálculos.

8.2.2. Desarrollo fase 2

La primera fase de este trabajo de grado se ha enfocado en la obtención de los datos producidos por las explosiones (voladuras) típicas en este tipo de proyectos mineros, para la ejecución de la fase 2(segundo objetivo específico) es necesario crear una lista (histórico) de los eventos que se ha venido registrando por medio del Orión. Habiendo completado la primera fase de recopilación de datos de campo extraídos del orión (datos crudos), se llevaron a hojas cálculo para ser depurados con la macro proporcionada por la empresa K-2 Ingeniería, desarrollada previamente con este fin.

Debido a que los datos vienen de forma cruda es necesario utilizar el software de análisis DBTrait para posteriormente pasarlos a formatos CSV. Ya en las hojas de cálculo se aprecian los criterios para realizar el análisis de vibraciones y los cuales son tenidos en consideración para la depuración, estos criterios son: velocidad PPV (PEAK PARTICULE

SPEED) y frecuencia FD (FREQUENCY DOMINANT), en cada uno de los ejes cartesianos, además se registraba el tiempo de duración del evento y el eje(X, Y, Z) en el que se presentaba. Adicionalmente se tiene en cuenta los límites PCPV y PVS.

El paso siguiente teniendo ya agregados el/los evento(s) y listos para examinar se procese a filtrar o eliminar los eventos registrados que sobrepasan las límites establecidos por la empresa, estos vienen incorporados dentro de la macro, estas medidas o límites fueron dispuestos en relación a la norma DIN 4150-3 de línea 3 por el supervisor a cargo del monitoreo del proyecto y quedaron fijados en un máximo de 20 mm/s para los valores de velocidad de partícula (PPV) en cualquiera de sus ejes.

Luego de haber realizado el filtro aquellos eventos que sobrepasan los límites son eliminados y aquellos que cumplen con las medidas establecidas son llevados a la parte “final” de la hoja de cálculo donde esta recopilado el histórico de toda la operación.

8.2.3. Desarrollo fase 3

En última instancia se procede a comparar los datos recopilados de cada evento que se presentó en cada estación con los datos en donde hay constancia que se realizó voladura los cuales vienen configurados con la fecha la hora y el lugar donde se realizó dicha voladura y determinar si existe relación alguna entre ambos.

9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

De esta forma se expone el cronograma empleado en el desarrollo de actividades durante el proyecto.

Tabla 2. Cronograma de actividades.

#	ACTIVIDADES	MES					
		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.
1	Pedir autorización a la empresa K-2 Ingeniería para poder hacer uso de los datos recopilados de forma mensual de las voladuras en las estaciones A, B, C, D, E que conforman al proyecto minero.						
2	Compilar los datos de voladuras provenientes de los equipos ORION ubicados en cada una de las estaciones pertenecientes al proyecto minero, para poder posteriormente procesarlos como datos CSV en hojas de cálculo y favorecer su utilización.						
3	Mediante el software licenciado dBTrait extraer los datos de los espectros que se han marcado como eventos por haber superado los valores previamente calibrados para el equipo. Este seguimiento se hace de forma semanal.						
4	Una vez extraídos los datos se procesan en una hoja de cálculo haciendo una depuración en base a los criterios de velocidad pico en los ejes X, Y, Z frecuencia y la suma vectorial (PCPV, PVS) y ver cuales están por encima de los valores permitidos para la ejecución del proyecto						
5	Al tener ya el histórico de las voladuras por estación de forma mensual y el recopilado de los eventos registrados de forma semanal se procese a hacer una gráfica de comparación donde se muestre cada evento presentado en cada estación y si hubo voladuras durante esa fecha y en que estación se hizo la voladura, si se confirma que coincidieron voladuras durante estas fechas se pasa a tener en cuenta los criterios de la distancia a la que se encontraba del equipo que registro el evento y la carga operante que contenía la voladura y si realmente estaban a una distancia suficientemente cerca con una carga operante suficientemente grande como hacer que se presentara un evento que sobrepasa la línea 3 de la norma DIN 4150.						

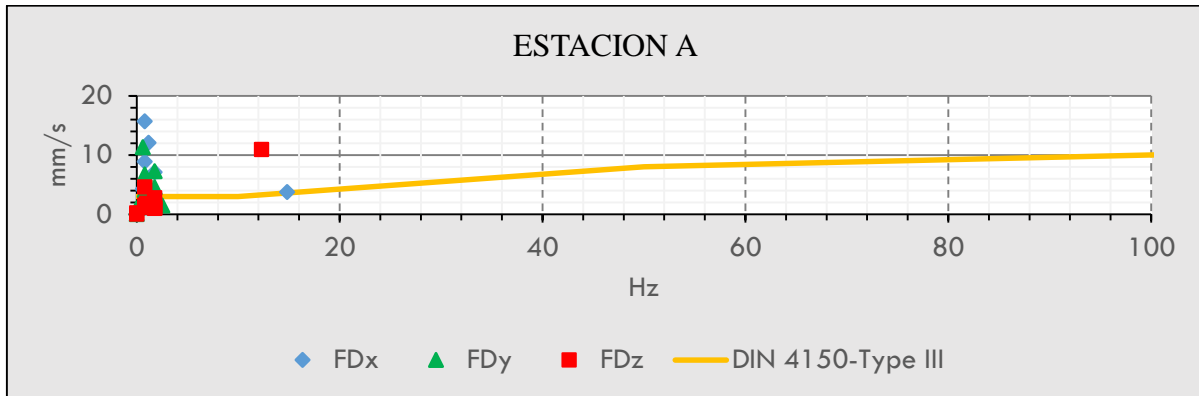
[Fuente autor del proyecto]

10.RESULTADOS

Seguidamente aparecen los resultados y discusiones a partir de lo realizado durante el proyecto ejecutado en la empresa K-2 Ingeniería. Los eventos registrados durante el periodo del muestreo se representan de forma gráfica siendo comparada con la norma DIN 4150-3.

12.1. Estación A

Grafica 1. Eventos registrados de la estación A



[Fuente: Autor del proyecto]

Tabla 3. Lista de eventos registrados en Estación A

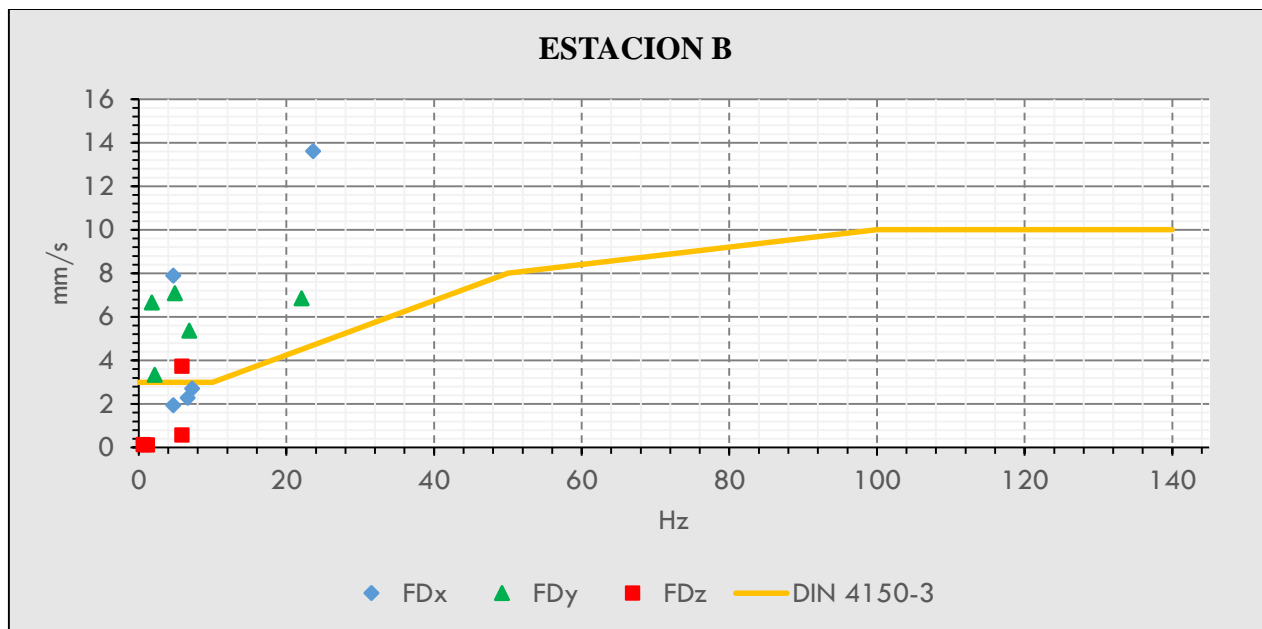
Conformity analysis - DIN 4150		ESTACION A		PPV				Spectrum		
Inicio	01/04/2019	PPV	peak particle speed	Dominant Frequency			Duration seg (s)	Axes		
Fin	30/09/2019 <th>FD</th> <td></td> <th>FDx</th> <th>FDy</th> <th>FDz</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th>	FD		FDx	FDy	FDz		X	Y	Z
Device type	ORION 10153	List of appearance of the source								
Appearances	PPVx mm/s	FDx Hz	PPVy mm/s	FDy Hz	PPVz mm/s	FDz Hz				
2019-04-04 07:26:30	3.75	14.84	4.57	1.76	10.99	12.30			X	
2019-04-05 06:07:30	3.64	1.17	1.51	2.54	1.25	1.17	5.12	X		
2019-04-14 18:33:10	1.67	1.76	3.34	1.76	1.07	1.76	5.12		X	
2019-04-15 19:07:20	1.64	1.76	3.24	1.76	1.10	1.76	5.12		X	
2019-04-21 00:54:30	4.28	0.59	0.02	0.00	0.03	0.00	5.12	X		
2019-04-29 05:48:40	1.78	1.76	3.49	1.76	1.37	1.76	5.12		x	
2019-04-29 13:42:40	3.58	0.98	0.99	0.00	1.21	1.17	5.12	x		
2019-05-02 10:17:10	8.89	0.78	5.29	0.78	1.34	0.78	5.12	x	X	
2019-05-24 17:56:40	1.53	1.76	3.16	1.76	1.04	1.76	5.12		x	
2019-06-22 13:05:40	4.13	0.78	4.07	0.78	4.65	0.78	5.12	x	x	
2019-06-22 13:06:30	3.43	0.98	1.52	0.78	1.49	0.78	5.12	x		
2019-06-25 12:33:00	1.72	1.17	3.06	1.17	1.90	0.98	5.12		x	
2019-07-18 09:51:30	15.73	0.78	6.75	0.78	1.30	0.98	NO SE OBERVA EL ESPECTRO			
2019-07-18 09:57:00	12.10	1.17	11.33	0.59	1.58	0.78	NO SE OBERVA EL ESPECTRO			
2019-08-12 12:14:30	7.10	1.76	7.30	1.76	2.78	1.76	NO SE OBERVA EL ESPECTRO			
2019-08-12 12:24:00	2.05	0.78	3.80	0.98	0.27	0.00	5.12		x	

[Fuente: Autor del proyecto]

Estación A: La estación de monitoreo de vibraciones ubicada en el punto A la cual se encuentra en el túnel de operación, registró dieciséis (16) eventos que superaron los rangos establecidos por DIN 4150-Type III, como se puede observar en la Grafica 1. El récord de velocidad PPV más alto fue de 15.73 mm/s en el eje X a una frecuencia de 0,78 Hz, en el eje Y, el valor más alto alcanzado de PPV fue de 11.33 mm/s a una frecuencia de 0,59 Hz, finalmente, en el eje Z, el valor más alto de PPV fue de 10.99 mm/s con una frecuencia de 12,30 Hz.

12.2. Estación B

Grafica 2. Eventos registrados de la estación B



[Fuente: Autor del proyecto]

Tabla 4. Lista de eventos registrados en Estación B

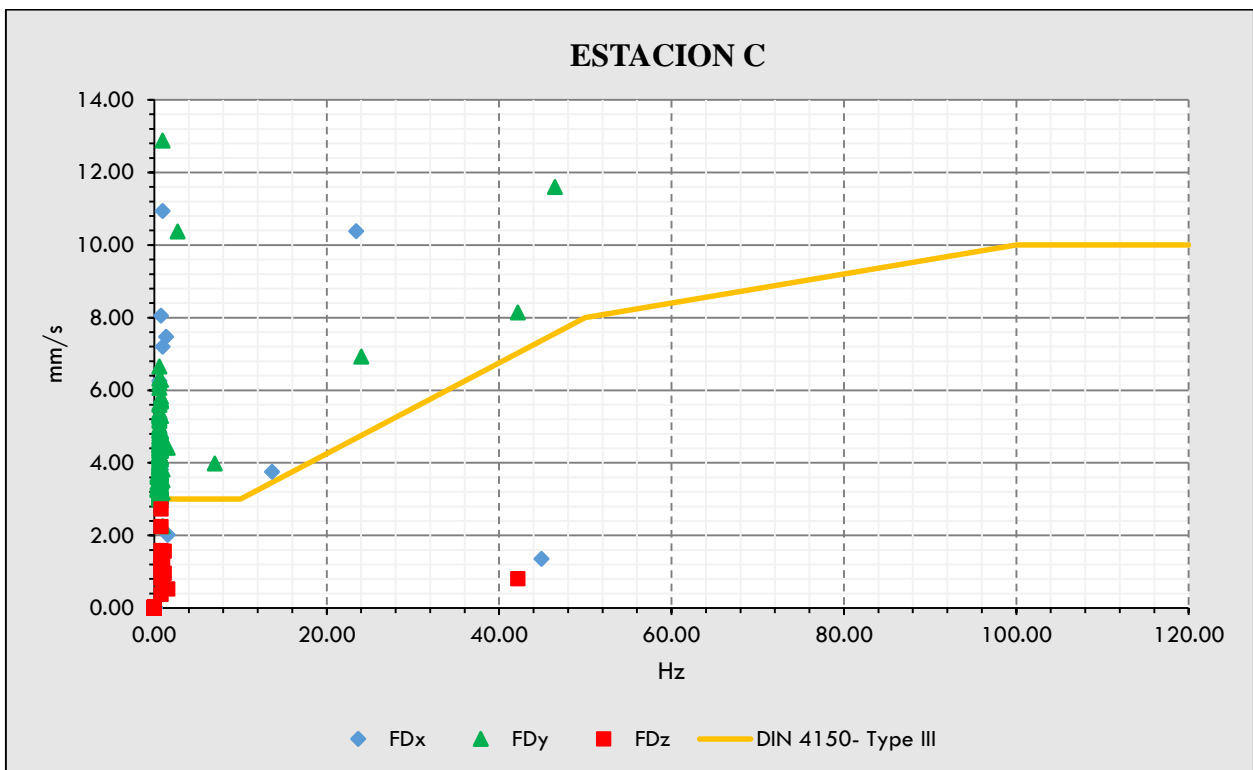
Conformity analysis - DIN 4150	ESTACION B					
Inicio	01/04/2019					
Fin	30/09/2019					
Device type	ORION 10136	PPV	peak particle speed			
		FD	Dominant Frequency			
List of appearance of the source						
Appearances	PPVx	FDx	PPVy	FDy	PPVz	FDz
	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz
2019-04-02 16:53:00	7.89	4.69	7.09	4.88	3.74	5.86
2019-05-17 13:14:00	1.95	4.69	3.34	2.15	0.14	0.59
2019-06-22 12:29:30	2.71	7.23	6.66	1.76	0.58	5.86
2019-06-30 07:52:00	13.61	23.63	6.86	22.07	4.19	161.13
2019-07-18 10:43:30	2.28	6.64	5.37	6.84	0.12	1.17

[Fuente: Autor del proyecto]

ESTACION B: La estación de monitoreo de vibraciones ubicada en punto B, registró cinco (5) eventos que superaron los rangos establecidos por DIN 4150-Type III, como se observa en la Grafica 2. El récord de velocidad PPV más alto fue de 13.61 mm/s en el eje X a una frecuencia de 23.63 Hz, en el eje Y, el valor más alto alcanzado de PPV fue de 7.09 mm/s a una frecuencia de 4.88 Hz, finalmente, en el eje Z, el valor más alto de PPV fue de 4.19 mm/s con una frecuencia de 161.13 Hz.

12.3. Estación C

Grafica 3. Eventos registrados de la estación C



[Fuente: Autor del proyecto]

Tabla 5. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 1

Conformity analysis - DIN 4150	ESTACION C					
Inicio	01/04/2019					
Fin	30/09/2019	PPV	peak particle speed			
Device type	ORION 10196	FD	Dominant Frequency			
List of appearance of the source						
Appearances	PPVx	FDx	PPVy	FDy	PPVz	FDz
	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz
2019-04-14 10:44:30	10.39	23.44	6.93	24.02	1.57	1.17
2019-05-06 16:48:20	7.20	0.98	2.26	0.98	1.17	0.98
2019-05-11 08:40:20	2.79	0.78	11.60	46.48	2.25	0.78
2019-05-11 08:49:40	3.76	13.67	5.70	0.78	0.79	0.98
2019-05-13 17:28:40	2.91	0.59	3.99	7.03	0.96	1.17
2019-05-18 01:20:10	0.01	0.00	3.11	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 01:24:30	0.01	0.00	3.44	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 01:27:30	0.01	0.00	3.61	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 01:27:50	0.01	0.00	5.60	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 01:34:50	0.01	0.00	3.31	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 01:35:20	0.01	0	3.29	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 01:40:40	0.01	0	4.73	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 01:41:30	0.01	0.00	3.57	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 01:50:50	0.01	0.00	3.60	0.78	0.02	0.00
2019-05-18 01:53:40	0.01	0.00	3.14	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 01:54:50	0.01	0.00	4.73	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 01:55:30	0.01	0.00	4.88	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 02:01:50	0.01	0.00	5.34	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 02:02:50	0.02	0.00	3.58	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 02:12:40	0.01	0.00	4.40	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 02:16:20	0.01	0.00	3.72	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 02:21:50	0.01	0.00	3.18	0.98	0.01	0.00
2019-05-18 02:22:30	0.01	0.00	3.20	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 02:25:40	0.01	0.00	3.25	0.39	0.01	0.00
2019-05-18 02:26:30	0.02	0.00	3.21	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 02:27:40	0.01	0.00	4.81	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 02:30:40	0.01	0.00	4.40	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 02:35:00	0.01	0.00	3.02	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 02:36:20	0.01	0.00	3.25	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 11:38:30	0.02	0.00	3.80	0.59	0.03	0.00
2019-05-18 11:46:20	0.02	0.00	3.76	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 11:56:20	0.01	0.00	3.10	0.78	0.03	0.00
2019-05-18 11:58:40	0.02	0.00	4.09	0.59	0.02	0.00

Tabla 6. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 2

2019-05-18 11:59:00	0.01	0.00	3.41	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 11:59:40	0.01	0.00	3.10	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 12:01:00	0.01	0.00	3.27	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 12:23:40	0.01	0.00	3.32	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 12:40:00	0.02	0.00	3.43	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:16:50	0.01	0.00	3.22	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:19:30	0.01	0.00	3.44	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 13:22:30	0.01	0.00	3.29	0.39	0.01	0.00
2019-05-18 13:23:00	0.01	0.00	3.43	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:23:40	0.01	0.00	3.91	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:26:20	0.02	0.00	3.21	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:29:00	0.02	0.00	3.15	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:29:50	0.01	0.00	3.56	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 13:37:00	0.01	0.00	3.51	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:38:00	0.01	0.00	3.30	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:38:40	0.01	0.00	3.17	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 13:40:10	0.01	0.00	3.82	0.98	0.01	0.00
2019-05-18 13:41:00	0.01	0.00	3.58	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:41:50	0.01	0.00	4.17	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:42:50	0.01	0.00	4.23	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:43:50	0.01	0.00	3.06	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:45:20	0.02	0.00	3.53	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:45:40	0.01	0.00	4.53	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 13:46:20	0.01	0.00	3.48	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:46:50	0.01	0.00	3.69	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:47:10	0.01	0.00	4.57	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:47:50	0.01	0.00	5.21	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:48:40	0.01	0.00	3.51	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:50:20	0.02	0.00	4.18	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:51:20	0.01	0.00	3.28	0.39	0.02	0.00
2019-05-18 13:53:10	0.02	0.00	3.57	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 13:54:10	0.01	0.00	3.31	0.78	0.02	0.00
2019-05-18 13:54:40	0.01	0.00	5.28	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:55:50	0.01	0.00	4.90	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:56:40	0.02	0.00	4.97	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:58:00	0.01	0.00	4.38	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 13:58:30	0.01	0.00	3.29	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 13:59:00	0.01	0.00	4.00	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:00:10	0.02	0.00	3.15	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 14:00:50	0.01	0.00	4.24	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 14:01:50	0.01	0.00	3.83	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 14:03:00	0.01	0.00	4.38	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 14:04:00	0.01	0.00	3.75	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:04:30	0.01	0.00	4.24	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:05:00	0.01	0.00	3.83	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:05:50	0.01	0.00	3.90	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:06:50	0.02	0.00	3.70	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 14:07:20	0.01	0.00	4.87	0.78	0.02	0.00
2019-05-18 14:08:20	0.01	0.00	6.07	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:09:20	0.01	0.00	4.21	0.59	0.01	0.00

Tabla 7. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 3

2019-05-18 14:10:00	0.02	0.00	5.38	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 14:10:30	0.01	0.00	4.66	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 14:11:10	0.02	0.00	3.97	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:11:40	0.01	0.00	5.16	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:13:20	0.01	0.00	5.64	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:14:20	0.01	0.00	4.49	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 14:15:10	0.01	0.00	3.86	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:15:40	0.02	0.00	5.41	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:17:40	0.01	0.00	4.63	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:18:20	0.01	0.00	4.82	0.78	0.02	0.00
2019-05-18 14:20:20	0.01	0.00	4.59	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:21:40	0.02	0.00	5.72	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 14:24:20	0.02	0.00	3.36	0.39	0.02	0.00
2019-05-18 14:24:40	0.01	0.00	3.43	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:25:00	0.02	0.00	6.20	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:25:30	0.03	0.00	3.62	0.39	0.02	0.00
2019-05-18 14:26:10	0.02	0.00	5.02	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:27:00	0.01	0.00	5.32	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:28:30	0.01	0.00	6.66	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:32:00	0.01	0.00	3.68	0.39	0.01	0.00
2019-05-18 14:32:50	0.02	0.00	3.66	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:33:20	0.02	0.00	3.35	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:34:40	0.01	0.00	5.29	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:35:40	0.02	0.00	4.90	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:36:10	0.02	0.00	5.29	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 14:36:30	0.01	0.00	3.67	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 14:37:00	0.01	0.00	6.32	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 14:38:50	0.02	0.00	4.24	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 14:53:10	0.02	0.00	5.82	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 14:54:40	0.02	0.00	3.07	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 14:57:20	0.01	0.00	3.09	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:00:00	0.01	0.00	4.01	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:01:10	0.01	0.00	3.28	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:01:50	0.01	0.00	3.05	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:02:50	0.02	0.00	3.33	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:04:40	0.01	0.00	3.88	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 15:06:30	0.01	0.00	4.15	0.78	0.02	0.00
2019-05-18 15:07:40	0.01	0.00	3.45	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 15:08:00	0.01	0.00	3.38	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 15:08:40	0.02	0.00	3.41	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 15:09:20	0.02	0.00	3.50	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 15:10:40	0.02	0.00	3.25	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 15:12:30	0.02	0.00	3.55	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:12:50	0.01	0.00	3.82	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 15:13:20	0.01	0.00	3.10	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 15:15:20	0.01	0.00	3.76	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:27:30	0.01	0.00	3.05	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:28:20	0.01	0.00	3.38	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:29:10	0.01	0.00	3.18	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:30:30	0.01	0.00	3.54	0.59	0.01	0.00

Tabla 8. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 4

2019-05-18 15:34:40	0.02	0.00	3.47	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:37:20	0.02	0.00	3.62	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:47:30	0.01	0.00	3.93	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:48:10	0.03	0.00	3.53	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:50:10	0.01	0.00	3.32	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 15:54:00	0.02	0.00	3.61	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:03:50	0.01	0.00	3.01	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:10:40	0.01	0.00	3.26	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:14:40	0.01	0.00	3.25	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 16:17:30	0.01	0.00	4.33	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 16:19:30	0.01	0.00	3.55	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:20:30	0.02	0.00	3.72	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:22:50	0.02	0.00	3.88	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:25:20	0.01	0.00	3.46	0.39	0.01	0.00
2019-05-18 16:25:40	0.02	0.00	3.44	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 16:28:10	0.01	0.00	3.57	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:29:40	0.01	0.00	4.16	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:30:20	0.01	0.00	3.05	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 16:30:40	0.01	0.00	4.07	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:35:00	0.01	0.00	3.28	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:37:30	0.01	0.00	3.16	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:39:20	0.01	0.00	3.15	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 16:41:20	0.02	0.00	3.13	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 16:43:10	0.01	0.00	4.01	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 16:45:30	0.01	0.00	3.15	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 16:48:00	0.01	0.00	3.08	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 16:52:10	0.01	0.00	3.89	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:53:20	0.01	0.00	4.15	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:53:50	0.01	0.00	3.20	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 16:54:10	0.01	0.00	3.12	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 16:55:30	0.02	0.00	3.32	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 16:56:20	0.01	0.00	3.88	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:57:20	0.01	0.00	4.22	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 16:59:10	0.02	0.00	3.48	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 16:59:40	0.01	0.00	4.02	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:00:40	0.01	0.00	3.39	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:02:40	0.02	0.00	3.14	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:03:00	0.02	0.00	3.85	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:03:30	0.02	0.00	3.14	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:03:50	0.01	0.00	3.36	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 17:04:10	0.02	0.00	3.47	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 17:05:40	0.02	0.00	4.33	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:06:00	0.02	0.00	4.21	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:06:30	0.01	0.00	3.09	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:09:10	0.01	0.00	3.24	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 17:11:20	0.02	0.00	4.33	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 17:12:10	0.01	0.00	4.51	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:12:40	0.01	0.00	3.82	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 17:14:10	0.02	0.00	3.07	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:15:00	0.01	0.00	3.11	0.59	0.02	0.00

Tabla 9. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 5

2019-05-18 17:15:20	0.01	0.00	3.41	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:17:40	0.02	0.00	3.23	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:18:40	0.01	0.00	3.68	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 17:22:30	0.01	0.00	3.24	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:23:10	0.01	0.00	3.04	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:24:40	0.01	0.00	3.49	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:27:20	0.01	0.00	3.72	0.78	0.02	0.00
2019-05-18 17:28:50	0.02	0.00	3.40	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:32:30	0.01	0.00	3.03	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:39:00	0.01	0.00	5.73	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 17:43:30	0.02	0.00	3.21	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:44:50	0.01	0.00	3.95	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:45:40	0.02	0.00	3.02	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:53:10	0.02	0.00	3.41	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 17:54:30	0.02	0.00	3.60	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 17:55:30	0.01	0.00	3.21	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 17:56:40	0.01	0.00	3.32	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 18:01:00	0.01	0.00	3.06	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 18:01:40	0.02	0.00	3.59	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:06:00	0.04	0.00	3.05	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:06:20	0.01	0.00	3.24	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 18:06:50	0.03	0.00	3.75	0.78	0.02	0.00
2019-05-18 18:07:10	0.05	0.00	3.51	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:07:30	0.03	0.00	3.78	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:08:20	0.06	0.00	3.45	0.59	0.04	0.00
2019-05-18 18:09:20	0.01	0.00	3.65	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:09:50	0.02	0.00	3.25	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 18:11:40	0.02	0.00	4.72	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:12:10	0.01	0.00	3.17	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 18:16:40	0.01	0.00	3.57	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 18:17:50	0.02	0.00	3.30	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 18:18:30	0.03	0.00	3.68	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:23:10	0.02	0.00	3.27	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 18:23:30	0.02	0.00	3.07	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 18:24:00	0.01	0.00	3.55	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 18:27:50	0.01	0.00	3.95	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 18:28:40	0.01	0.00	3.54	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:31:20	0.02	0.00	3.25	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:31:40	0.01	0.00	3.21	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:32:30	0.02	0.00	3.36	0.78	0.02	0.00
2019-05-18 18:33:00	0.01	0.00	4.09	0.78	0.02	0.00
2019-05-18 18:33:40	0.02	0.00	3.23	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 18:41:30	0.02	0.00	3.27	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 18:45:00	0.01	0.00	3.49	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 18:47:40	0.02	0.00	4.47	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:48:00	0.02	0.00	3.05	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 18:49:20	0.02	0.00	3.41	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:50:50	0.02	0.00	3.18	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:51:40	0.02	0.00	3.52	0.98	0.01	0.00
2019-05-18 18:55:30	0.02	0.00	3.14	0.59	0.02	0.00

Tabla 10. Lista de eventos registrados en Estación C. Parte 6

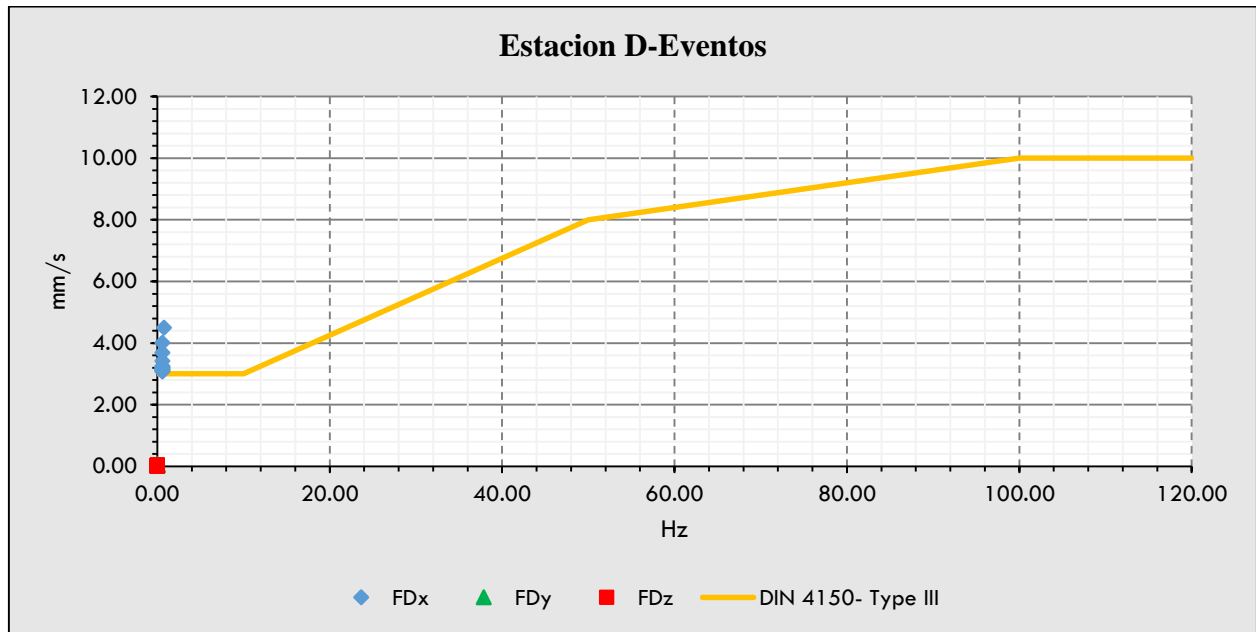
2019-05-18 18:57:30	0.02	0.00	3.07	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 18:58:10	0.02	0.00	3.32	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 18:59:10	0.01	0.00	3.47	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:02:40	0.02	0.00	3.42	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 19:05:40	0.02	0.00	3.18	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:06:20	0.02	0.00	3.11	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:07:00	0.02	0.00	3.02	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 19:07:20	0.02	0.00	3.86	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 19:08:30	0.01	0.00	3.08	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:08:50	0.02	0.00	3.53	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:15:30	0.01	0.00	3.43	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:27:20	0.02	0.00	3.42	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:28:40	0.01	0.00	3.77	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:30:20	0.02	0.00	3.14	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:41:00	0.01	0.00	3.16	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:42:30	0.01	0.00	3.00	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:51:10	0.02	0.00	3.25	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:56:10	0.02	0.00	3.50	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 19:58:20	0.02	0.00	3.02	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 20:16:20	0.02	0.00	4.11	0.59	0.02	0.00
2019-05-18 20:35:00	0.01	0.00	3.32	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 20:38:20	0.02	0.00	3.17	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 20:43:50	0.02	0.00	3.07	0.78	0.01	0.00
2019-05-18 20:44:50	0.02	0.00	3.23	0.59	0.01	0.00
2019-05-18 20:48:20	0.02	0.00	3.29	0.59	0.01	0.00
2019-05-19 06:48:00	0.01	0.00	3.54	0.59	0.01	0.00
2019-05-19 06:51:50	0.01	0.00	3.04	0.59	0.01	0.00
2019-05-19 09:11:50	0.02	0.00	3.38	0.59	0.02	0.00
2019-05-19 09:26:40	0.01	0.00	3.31	0.59	0.01	0.00
2019-05-20 11:06:40	8.06	0.78	3.43	0.59	1.16	0.78
2019-05-20 15:47:20	10.94	0.98	4.46	0.59	1.59	0.78
2019-05-20 21:25:30	0.02	0.00	3.02	0.59	0.01	0.00
2019-05-20 21:35:20	0.01	0.00	3.14	0.59	0.01	0.00
2019-05-20 22:11:40	0.02	0.00	4.18	0.59	0.01	0.00
2019-05-20 22:40:50	0.01	0.00	3.26	0.59	0.02	0.00
2019-05-22 03:03:10	0.01	0.00	3.10	0.59	0.01	0.00
2019-07-04 15:10:00	3.82	0.78	6.29	0.78	0.38	0.78
2019-07-04 15:34:40	1.36	44.92	8.15	42.19	0.81	42.19
2019-07-06 09:17:25	7.48	1.37	12.88	0.98	1.24	0.78
2019-08-17 11:22:35	4.54	0.78	3.16	0.78	0.83	0.78
2019-08-17 11:23:05	2.02	1.56	4.42	1.56	0.53	1.56
2019-08-29 13:41:35	6.26	0.59	10.38	2.73	2.73	0.78

[Fuente: Autor del proyecto]

ESTACION C: durante el período de monitoreo de la estación c, se registraron doscientos setenta y cinco (275) eventos, que superaron el rango establecido por DIN 4150-type III. El registro de velocidad ppv fue de 10.94 mm/s con una frecuencia de 0.98 Hz para el eje x, para el eje y, el valor fue de 12.88 mm/s con una frecuencia de 0.98 Hz y para el eje z, el valor registrado fue de 2.73 mm/s con una frecuencia de 0.78 Hz.

12.4. Estación D

Grafica 4. Eventos registrados de la estación D



[Fuente: Autor del proyecto]

Tabla 11. Lista de eventos registrados en Estación D

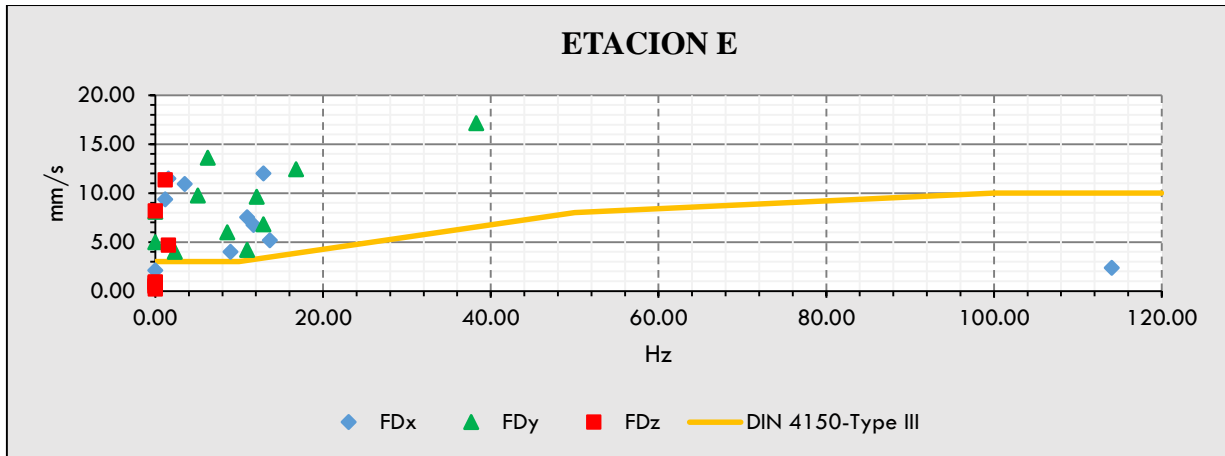
Conformity analysis - DIN 4150		ESTACION D					
Inicio		01/04/2019					
Fin		30/09/2019					
Device type		ORION 10160	PPV	peak particle speed			
			FD	Dominant Frequency			
List of appearance of the source							
Appearances	PPVx	FDx	PPVy	FDy	PPVz	FDz	
	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	
2019-05-03 05:34:00	3.25	0.59	0.06	0.00	0.02	0.00	
2019-05-03 05:35:20	3.21	0.59	0.03	0.00	0.03	0.00	
2019-05-03 05:35:50	3.22	0.59	0.02	0.00	0.02	0.00	
2019-05-03 05:37:30	3.18	0.59	0.04	0.00	0.04	0.00	
2019-05-03 05:38:15	3.07	0.59	0.02	0.00	0.01	0.00	
2019-05-03 05:38:50	3.15	0.59	0.03	0.00	0.03	0.00	
2019-05-03 05:39:05	4.49	0.78	0.03	0.00	0.02	0.00	
2019-05-03 05:40:20	3.11	0.59	0.04	0.00	0.03	0.00	
2019-05-03 05:40:55	3.15	0.59	0.02	0.00	0.01	0.00	
2019-05-03 05:43:45	4.01	0.59	0.03	0.00	0.01	0.00	
2019-05-03 05:47:05	3.10	0.59	0.04	0.00	0.01	0.00	
2019-05-03 05:48:50	3.41	0.59	0.03	0.00	0.02	0.00	
2019-05-03 05:49:35	3.69	0.59	0.06	0.00	0.03	0.00	

[Fuente: Autor del proyecto]

ESTACION D: La estación de monitoreo de vibraciones ubicada en el punto D, durante el período de muestreo registró trece (13) eventos que superaron los rangos establecidos por DIN 4150-Tipo III. El registro PPV fue de 4.49 mm/s en el eje X a una frecuencia de 0.78 Hz; en el eje Y, el valor alcanzado de PPV fue de 0.06 mm/s con una frecuencia de 0 Hz; finalmente, en el eje Z, el valor de PPV era de 0,04 mm/s con una frecuencia de 0 Hz.

12.5. Estación E

Grafica 5 Eventos registrados de la estación E



[Fuente: Autor del proyecto]

Tabla 12. Lista de eventos registrados en Estación E

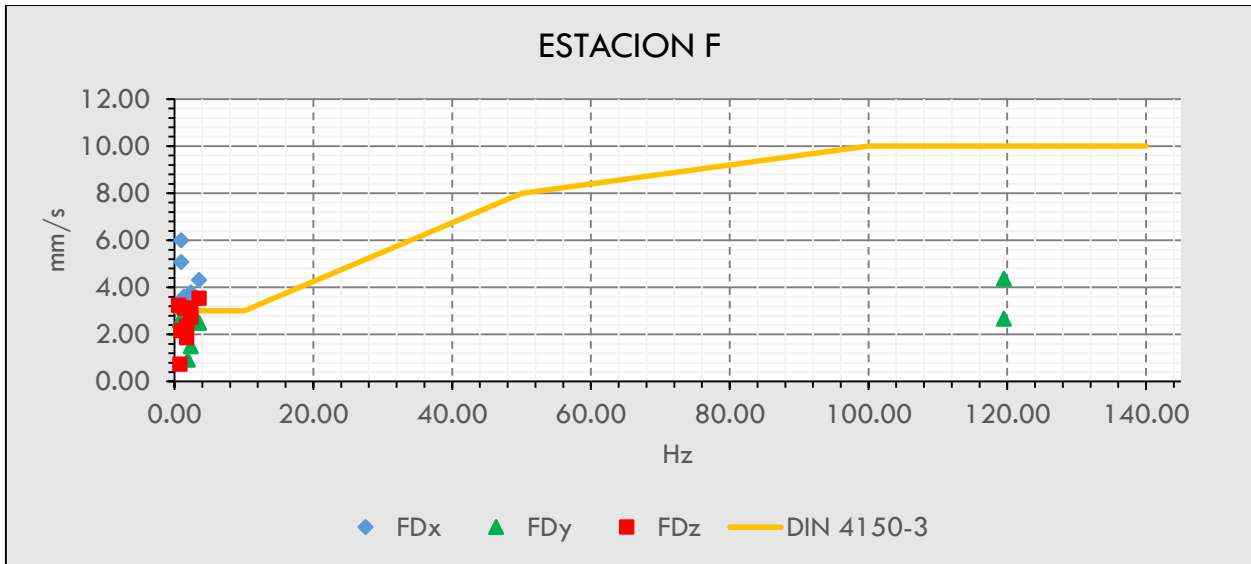
Conformity analysis - DIN 4150		ESTACION E				
Inicio		01/04/2019				
Fin		PPV	peak particle speed			
Device type		FD	Dominant Frequency			
List of appearance of the source						
Appearances	PPVx	FDx	PPVy	FDy	PPVz	FDz
	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz
2019-04-11 15:23:30	11.50	1.56	8.09	0.0	4.68	1.56
2019-04-18 19:25:30	4.00	8.98	5.99	8.59	0.55	0.0
2019-05-02 07:22:00	7.55	10.94	13.63	6.25	0.80	0.0
2019-05-07 13:40:00	12.00	12.89	17.14	38.28	2.39	128.52
2019-05-23 18:05:30	1.40	134.38	4.20	10.94	0.46	0.0
2019-06-04 21:15:00	2.38	114.06	6.83	12.89	0.93	0.0
2019-06-07 12:01:00	2.11	0.00	4.01	2.34	0.20	0.0
2019-06-17 11:01:30	5.19	13.67	12.44	16.80	0.86	0.0
2019-06-21 15:08:00	6.74	11.72	9.64	12.11	8.19	0.0
2019-06-21 15:09:30	10.93	3.52	9.76	5.08	0.54	0.0
2019-07-04 19:59:30	9.38	1.17	4.99	0.00	11.36	1.17

[Fuente: Autor del proyecto]

ESTACION E: La estación de monitoreo de vibraciones ubicada en el punto E, durante el período de muestreo registró once (11) eventos que superaron los rangos establecidos por DIN 4150-Tipo III. El registro PPV fue de 12,00 mm/s en el eje X a una frecuencia de 12.89 Hz; en el eje Y, el valor alcanzado de PPV fue de 17.14 mm/s con una frecuencia de 38.28 Hz; finalmente, en el eje Z, el valor de PPV era de 11.36 mm/s con una frecuencia de 1.17 Hz.

12.6. Estación F

Grafica 6. Eventos registrados de la estación F



[Fuente: Autor del proyecto]

Tabla 13. Lista de eventos registrados en Estación F

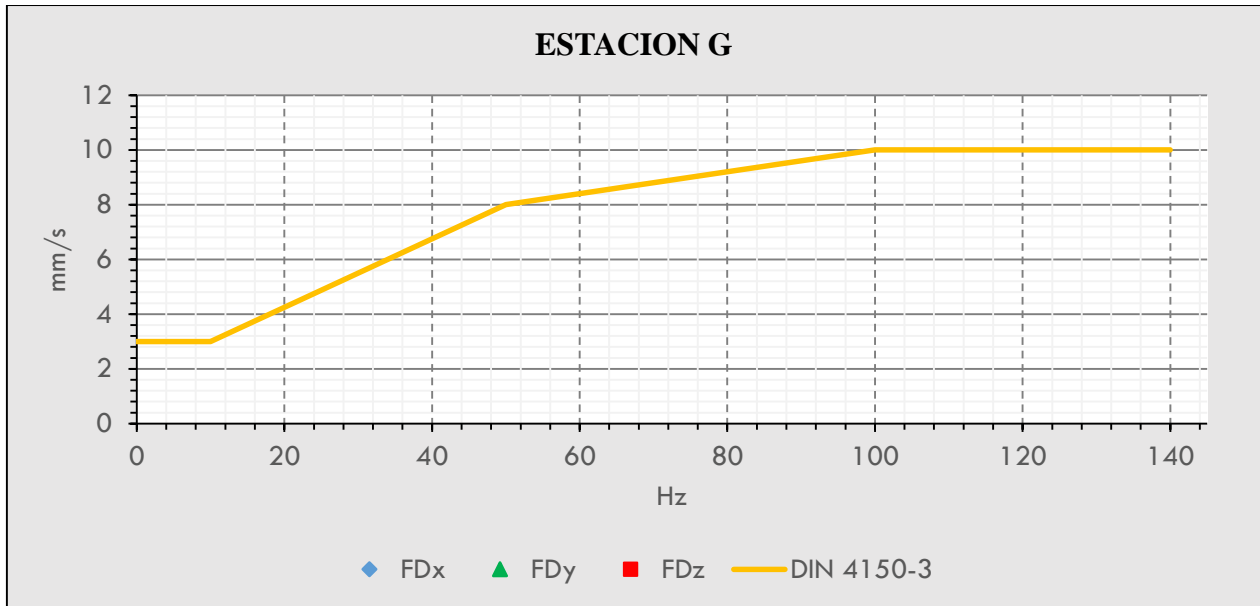
Conformity analysis - DIN 4150		ESTACION F				
Inicio	01/07/2019					
Fin	30/09/2019	PPV	peak particle speed			
Device type	ORION 10136	FD	Dominant Frequency			
List of appearance of the source						
Appearances	PPVx	FDx	PPVy	FDy	PPVz	FDz
	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz
2019-07-12 18:45:25	3.25	1.37	2.55	1.37	2.72	2.34
2019-07-13 09:11:45	6.00	0.98	2.61	0.78	0.74	0.78
2019-07-14 06:20:25	3.78	2.34	1.50	2.34	3.05	2.34
2019-07-15 06:19:35	3.61	1.37	2.23	1.37	3.13	1.37
2019-07-15 18:17:10	3.31	1.76	0.93	1.95	2.36	1.76
2019-07-16 18:19:40	4.31	3.52	2.50	3.52	3.54	3.52
2019-07-25 18:14:10	3.33	0.78	2.67	119.53	2.17	0.98
2019-08-02 19:19:55	3.41	1.76	4.37	119.53	3.24	0.59
2019-08-16 12:15:15	5.08	0.98	2.28	0.98	1.87	1.76

[Fuente: Autor del proyecto]

ESTACION F: La estación de monitoreo de vibraciones ubicada en el punto F, durante el período de muestreo registró nueve (9) eventos que superaron los rangos establecidos por DIN 4150-Tipo III. El registro PPV fue de 6 mm/s en el eje X a una frecuencia de 0.98 Hz; en el eje Y, el valor alcanzado de PPV fue de 4.37 mm/s con una frecuencia de 119,53 Hz; finalmente, en el eje Z, el valor de PPV era de 3.54 mm/s con una frecuencia de 3.52 Hz.

10.7. Estación G

Grafica 7. Eventos registrados de la estación G



[Fuente: Autor del proyecto]

Tabla 14. Lista de eventos registrados en Estación G

Conformity analysis - DIN 4150		Higabra Casa Evelio				
Inicio	01/08/2019					
Fin	30/09/2019	PPV	peak particle speed			
Device type	ORION 10136	FD	Dominant Frequency			
List of appearance of the source						
Appearances	PPVx	FDx	PPVy	FDy	PPVz	FDz
	mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz

[Fuente: Autor del proyecto]

Estación G: No se registró ningún evento que superara el umbral de la norma DIN 4150-Type III.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a que las edificaciones pertenecientes a las comunidades cercanas al proyecto minero se encuentran bajo observación y su estructura física debe ser conservada se aplica la línea 3 (la cual tiene los límites permitidos más bajos) de la norma alemana DIN 4150-3 para el análisis de las vibraciones.

Los equipos Orión que miden las vibraciones pueden verse afectados por diferentes factores ajenos a los procesos realizados dentro del proyecto minero como lo puede ser la actividad humana, tráfico constante o incluso incursión de animales.

Al comienzo del proyecto se habían estipulado cinco (5) estaciones para llevar a cabo el monitoreo de las vibraciones, de las cuales una se encontraba en la vivienda de uno de los habitantes de la comunidad alojada cerca de la mina (estación G) pero debido a inconvenientes con el dueño de la vivienda esta estación fue cambiada de lugar a la estación F, adicionalmente se agregó una nueva estación dentro del túnel de la mina la estación D.

La duración de cada evento se reduce a un aproximado de cinco (5) segundos y aunque este valor puede variar a partir del mes de enero se reincidió continuamente en 5.12 segundos de duración en relación a lo que captado el Orión.

Se presentaron eventos donde no se podía observar el espectro de onda por esta razón en la pestaña FINAL dentro de la hoja de cálculo se agregó una casilla de "Observaciones" donde se pueda expresar y detallar este y cualquier otro tipo de circunstancias imprevistas que se puedan presentar.

Al finalizar el proceso de filtrado es necesario guardar el trabajo en formato CSV (delimitado por comas) esto debido a que adicionalmente se cargan los resultados obtenidos en el sistema de gestión ambiental AMBIENSQSUITE.

Las voladuras se realizaban durante los siguientes intervalos: [4:00-5:30] y [15:30-17:00] durante los primeros meses de la operación pero a partir del mes de abril estas horas empezaron a variar lo cual dificultó el seguimiento de las mismas. Por esta razón fue necesario empezar a depurar y comparar de forma manual cada evento registrado con el día y la hora en que fue hecha la voladura y así determinar si la voladura es causante de dicho evento.

En la estación A se recopilaron un total de diecisiete (16) eventos, donde se puede descartar que los mismos hayan tenido relación con las voladuras ya que se presentaron en días y horas distintas.

En la estación B se recopilaron un total de cinco (5) eventos, donde se puede observar que se presentó un evento el día 02-04-2019 a las 16:53:00, coincidiendo con la hora de voladura que se registró que se fue de [16:30-18:00], por lo tanto este evento pudo haber sido causado por la voladura.

En la estación C se recopilaron un total de doscientos setenta y cinco (275) eventos, donde se puede descartar que los mismos hayan tenido relación con las voladuras ya que durante el mes donde se registraron los eventos no hubo voladura en esta estación.

En la estación D se recopilaron un total de trece (13) eventos, donde se puede descartar que los mismos hayan tenido relación con las voladuras ya que durante el mes donde se registraron los eventos no hubo voladura en esta estación. Esta estación tenía la finalidad de servir como campamento por lo que se puede inferir que estos eventos no corresponden a actividades de voladura, sino que pueden ser producto del tráfico vehicular pesado que transita por la carretera y los movimientos cercanos al sensor.

En la estación E se recopilaron un total de once (11) eventos, donde se puede descartar que los mismos hayan tenido relación con las voladuras ya que se presentaron en días y horas distintas. La estación estuvo en funcionamiento hasta el mes de julio donde por problemas con el dueño de la vivienda fue necesario cambiarla de lugar y la nueva estación fue llamada "estación G".

En la estación F se recopilaron un total de nueve (9) eventos, donde se puede descartar que los mismos hayan tenido relación con las voladuras ya que se presentaron en días y horas distintas. Esta estación fue agregada posteriormente para conseguir un

En la estación G durante el tiempo de recopilación de datos no registro ningún evento.

Las estaciones F y G entraron en funcionamiento a partir del mes de agosto.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] K-2 Ingenieria S.A.S, «K-2 INGENIERÍA S.A.S./mision,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.k2ingenieria.com/mision/>.
- [2] K-2 INGENIERÍA S.A.S., «K-2 INGENIERÍA S.A.S./home,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.k2ingenieria.com/>. [Último acceso: 31 octubre 2018].
- [3] K-2 INGENIERÍA S.A.S, «K-2 INGENIERÍA S.A.S/u-d-n/ingenieria,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.k2ingenieria.com/unidades-de-negocio/ingenieria/>. [Último acceso: 31 octubre 2018].
- [4] J. J. Castro Dávila, «Propuesta para la implementacion de una oficina de gestion de proyectos bajo el marco del PMI para la division de ingenieria de la empresa K-2 Ingenieria S.A.S.,» 2016. [En línea]. Available: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/163188.pdf>. [Último acceso: octubre 2018].
- [5] K-2 Ingenieria , «K-2 Ingenieria,» [En línea]. Available: <https://www.k2ingenieria.com/>.
- [6] K-2 INGENIERÍA S.A.S., «K-2 INGENIERÍA S.A.S./home,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.k2ingenieria.com/>. [Último acceso: 31 octubre 2018].
- [7] Universidad Pontificia Bolivariana, «GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTO, PLAN DE TRABAJO O INFORMES DE AVANCE DE TRABAJOS DE GRADO,» Piedecuesta, 2018.
- [8] L. E. SANCHEZ, Control de Vibraciones. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental, vol. I, UNESCO, 1995.
- [9] R. A. SERWAY, Fisica, vol. 4 Edicion, Mc Graw Hill, 1997.
- [10] J. TRITSCH, Les vibrations engendrées par les tirs de mines en carrières et grands travaux, Verneil-en-Halatte: CERCHAR, 1983.
- [11] C. H. DOWDING, Blast vibration monitoring and control, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1985.
- [12] 01dB ACOEM Group, dBTrait software, User Manual, 01dB - Metravib S.A.S., 2017.
- [13] J. Martin, «Analizadores de espectros tipo II. El analizador FFT,» *Revista española de electronica*, pp. 78-81, Junio 2006.
- [14] *Norma DIN45669-1*, 1995.

- [15] *Norma DIN4150-3*, 1999.
- [16] S. Pablo Girón La Malfa, D. Ramborger y C. Riesco, «UTEc Noticias,» [En línea]. Available: <https://www.frbb.utn.edu.ar/utec/utec/29/n3.html>. [Último acceso: 19 11 2019].
- [17] F. Miyara, «Criterios sobre vibraciones,» *UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO*, 2005.
- [18] L. ORIARD, *Blasting operations in the urban enviroment*, Washintong: Geol Annual Meeting, 1970.
- [19] J. APARICIO, *Investigación de voladuras como fuente de información para fines ingenieriles*, vol. Tomo I, Sociedad Venezolana de Geólogos, 1997.
- [20] J. JIMÉNEZ, *Geotecnia y cimientos, Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la Geotecnia.*, vol. Tomo III, Editorial Rueda, 1980.
- [21] C. H. DOWDING y P. G. Corser, *Cracking and construction blasting*, Journal of the Construction Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1981.
- [22] M. FORNARO, *Vibrazioni dannose per le costruzioni in conseguenza dello sparo di mine: esame di quanto amesso dalle norme e suggerito dall'esperienza*, Notiziario dell'Associazione Mineraria Subalpina, Anno, 1980.
- [23] F. J. CRANDELL, *Ground vibrations due to blasting and its effect upon structures.*, Journal of the Boston Society of Civil Engineers, 1949.
- [24] T. RATHBONE, *Human sensitivy to product vibration*, Product Engineering., 1963.