

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE  
ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

ALEJANDRO MOSCOSO ACERO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2019

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE  
ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

ALEJANDRO MOSCOSO ACERO

Práctica empresarial para optar al título de Ingeniero Mecánico

Profesor supervisor

OSCAR FELIPE AMELINES SARRIA

Ph.D.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2019

## **Dedicatoria**

*A mi madre, guía y sabiduría ahora y siempre.*

*A mi padre, carácter y resiliencia en cada momento de la vida.*

## **Agradecimientos**

*A la empresa K-2 Ingeniería S.A.S. por la oportunidad como practicante de vibraciones.*

*A Ginneth Herrera, Alexandra Castro y Jorge L. Gutiérrez.*

## Contenido

Contenido .....	i
Lista de tablas .....	iv
Lista de figuras .....	v
Introducción.....	1
Capítulo 1 Generalidades de la empresa.....	2
Nombre .....	2
Misión .....	2
Actividad económica .....	2
Productos y servicios .....	2
División de ingeniería. ....	2
División de tecnologías. ....	2
División de monitoreos. ....	2
Estructura organizacional .....	3
Número de empleados.....	3
Contacto. ....	3
Reseña histórica .....	3
Área de trabajo específica.....	4
Supervisor .....	4
Capítulo 2 Diagnóstico de la empresa .....	5
Capítulo 3 Antecedentes.....	6
Capítulo 4 Justificación .....	9
Capítulo 5 Disponibilidad de recursos .....	10
Capítulo 6 Objetivos.....	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos .....	11
Capítulo 7 Cronograma de actividades.....	12
Capítulo 8 Marcos de referencia.....	15
Marco Geográfico .....	15
Localización. ....	15

Estaciones de monitoreo.....	15
Marco conceptual.....	16
Vibración en voladuras.....	16
Voladura.....	16
Voladura controlada.....	16
Ondas sísmicas.....	17
Características de una onda.....	17
Modelos de vibraciones:.....	18
Software dBTrait 6.1.0.....	18
Marco teórico.....	19
Norma DIN4150-3: efectos de la vibración sobre estructuras.....	20
Norma DIN45669-1: equipo de medición.....	22
Norma DIN45669-2: procedimiento de medición.....	22
Capítulo 9 Metodología.....	23
Datos.....	23
Compilación.....	23
Validación técnica.....	23
Procesamiento y organización.....	23
Filtrado de máximos.....	23
Filtrado de eventos.....	23
Representación.....	24
Depuración.....	24
Etapa 1: Depuración gráfica.....	24
Etapa 2: Depuración por caracterización.....	24
Emparejamiento.....	24
Plantilla de voladuras.....	24
Bitácora de voladuras.....	25
Capítulo 10 Desarrollo y resultados.....	26
Datos.....	26
Compilación.....	26
Validación técnica.....	26
Procesamiento y organización.....	27
Filtrado de máximos.....	30

Filtrado de eventos .....	30
Representación .....	31
Depuración .....	31
Etapa 1: Depuración gráfica.....	31
Etapa 2: Depuración por caracterización. ....	54
Emparejamiento .....	54
Plantilla de voladuras. ....	54
Bitácora de Voladuras. ....	54
Confidencialidad .....	56
Capítulo 11 Conclusiones y recomendaciones .....	57
Lista de referencias .....	58

## Lista de tablas

Tabla 1. Disponibilidad de recursos. ....	10
Tabla 2. Cronograma de actividades, objetivo específico 1. ....	12
Tabla 3. Cronograma de actividades, objetivo específico 2. ....	13
Tabla 4. Cronograma de actividades, objetivo específico 3. ....	14
Tabla 5. Valores guía para la velocidad de vibración que se utilizaran al evaluar los efectos de vibraciones breves en estructuras. ....	21
Tabla 6. Cuantía de datos estación A. ....	27
Tabla 7. Cuantía de datos estación B. ....	28
Tabla 8. Cuantía de datos estación C. ....	28
Tabla 9. Cuantía de datos estación D. ....	29
Tabla 10. Cuantía de datos estación E. ....	29
Tabla 11. Filtrado de máximos, todas las estaciones. ....	30
Tabla 12. Filtrado de eventos, datos incompletos, todas las estaciones. ....	30
Tabla 13. Filtrado de eventos, horas de voladuras, todas las estaciones. ....	30
Tabla 14. Depurado de máximos y eventos, todas las estaciones. ....	32

## Lista de figuras

Figura 1. Estructura organizacional.....	3
Figura 2. Mapa con la ubicación de las cinco (05) estaciones de monitoreo de vibraciones en Buriticá.....	15
Figura 3. Ciclo de esfuerzo sobre la roca, compresión seguida por tensión.....	16
Figura 4. Propagación ondas P y ondas S.....	17
Figura 5. Propagación onda Rayleigh.....	17
Figura 6. Curvas para los valores de guía para las velocidades medidas en la cimentación.....	21
Figura 7. ORION Smart Vibration Terminal .....	26
Figura 8. Estación A – Diagrama de cajas #1, máximos después del filtrado. ....	33
Figura 9. Estación A – Diagrama de cajas #2, máximos después del depurado. ....	34
Figura 10. Estación B – Diagrama de cajas #1, máximos después del filtrado.....	35
Figura 11. Estación B – Diagrama de cajas #2, máximos después del depurado.....	36
Figura 12. Estación C – Diagrama de cajas #1, máximos después del filtrado.....	37
Figura 13. Estación C – Diagrama de cajas #2, máximos después del depurado.....	38
Figura 14. Estación C – Diagrama de cajas #3, máximos después del depurado.....	39
Figura 15. Estación D – Diagrama de cajas #1, máximos después del filtrado.....	40
Figura 16. Estación D – Diagrama de cajas #2, máximos después del depurado. ....	41
Figura 17. Estación D – Diagrama de cajas #3, máximos después del depurado. ....	42
Figura 18. Estación D – Diagrama de cajas #4, máximos después del depurado. ....	43
Figura 19. Estación E – Diagrama de cajas #1, máximos después del filtrado.....	44
Figura 20. Estación A – Eventos después del filtrado.....	45
Figura 21. Estación A – Eventos después del depurado etapa 1. ....	46
Figura 22. Estación B – Eventos después del filtrado.....	47
Figura 23. Estación B – Eventos después del depurado etapa 1.....	48
Figura 24. Estación C – Eventos después del filtrado.....	49
Figura 25. Estación C – Eventos después del depurado etapa 1.....	50
Figura 26. Estación D – Eventos después del filtrado.....	51
Figura 27. Estación D – Eventos después del depurado etapa 1. ....	52
Figura 28. Estación E – Eventos después del filtrado.....	53
Figura 29. Plantilla de voladuras (dividida en dos tramos).....	55



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** Determinar los criterios de validación para los datos de entrada al modelo de campo lejano de K-2 Ingeniería S.A.S.

**AUTOR(ES):** Moscoso Acero Alejandro

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** Amelis Sarria Oscar Felipe

### RESUMEN

A continuación se detalla el proceso de búsqueda, procesamiento y filtrado de los datos recopilados con los sensores de K-2 Ingeniería S.A.S. desde su origen hasta la fecha: 28 de febrero de 2019. Estos sensores están ubicados en cinco estaciones diferentes del área minera en Buriticá, Antioquia. Además de buscar obtener una vista clara de los máximos y determinar los valores válidos para finalmente filtrar e introducir los datos aceptados al modelo de campo lejano (MCL), los propósitos de la práctica empresarial son complementar el modelo y aumentar su confiabilidad. Para lograr el objetivo general, se diseñaron tres objetivos específicos y, con la ayuda del software dBTrait 6.1.0, se realizó el tratamiento de la información, este software es muy útil y fácil para interpretar y representar los datos recopilados en el campo. Finalmente, los criterios se determinan y aplican a la compilación histórica de cada estación y se muestran los resultados y conclusiones de la práctica.

### PALABRAS CLAVE:

Criterios validación datos modelo campo lejano MCL

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** Determine the validation criteria for the input data to the far field model of K-2 Ingeniería S.A.S.

**AUTHOR(S):** Moscoso Acero Alejandro

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** Amelis Sarria Oscar Felipe

### ABSTRACT

Following is the process of searching, processing and filtering the data collected with sensors of K-2 Ingeniería S.A.S. from its origin to date: February 28, 2019. These sensors are in five different stations of mining area in Buriticá, Antioquia. Besides looking for a clear view of the maximums and determine the valid values to finally filter and enter the accepted data in the far field model (MCL), the purposes of the business practice are to complement the model and increase its reliability. In order to achieve the general objective, three specific objectives were drawn and with the help of dBTrait 6.1.0 software, the treatment of information did, this software is very useful and easy for the interpretation and representation the data collected in the field. Finally, the criteria are determined and applied to the historical compilation of each station and, the results and conclusions of the practice are shown.

### KEYWORDS:

Criteria validation data model far field MFF

Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## **Introducción**

A pesar de ser una actividad antigua, la minería subterránea no ha tenido amplia producción investigativa que genere información concerniente al análisis de vibraciones generadas por voladuras o a la depuración de datos erróneos del bloque original de datos arrojados por un evento vibratorio.

Esta práctica empresarial da a conocer el proceso de creación del histórico de datos experimental (datos reales) de vibraciones de las estaciones A, B, C, y D mediante la recopilación de información en campo a través de sensores, agregando la estación E, antiguamente usada como unidad móvil, instalada recientemente muy cerca de las voladuras con el fin de establecer argumentos sólidos en cuanto a la determinación de los criterios de los datos de entrada al modelo de campo lejano.

Cabe resaltar que la determinación de criterios para la validación de datos es un tema poco investigado en la vibración causada por voladuras en minas de extracción de minerales y que a raíz de la geografía colombiana y el tipo de subsuelo se prevé difícil estandarizar su aplicación al campo minero en general.

## **Capítulo 1**

### **Generalidades de la empresa**

#### **Nombre**

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”. (K-2 Ingeniería S.A.S., 2017)

#### **Actividad económica**

“K-2 Ingeniería S.A.S. integra la experiencia en diferentes áreas de la ingeniería, para ofrecer un completo portafolio de servicios de consultoría, monitoreo e integración de tecnologías”. (K-2 Ingeniería S.A.S., 2017)

#### **Productos y servicios**

**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”. (K-2 Ingeniería S.A.S., 2017)

**División de tecnologías.** “Proyectos hidrometeorológicos, Proyectos de calidad del agua, Proyectos de aire, Proyectos de ruido y Líneas de equipos para monitoreo ambiental”. (K-2 Ingeniería S.A.S., 2017)

**División de monitoreos.** “Monitoreos calidad de aire, ruido ambiental, de calidad del agua, medición de emisiones de fuentes fijas y modelación de contaminantes”. (K-2 Ingeniería S.A.S., 2017)

### Estructura organizacional



Figura 1. Estructura organizacional.  
Fuente: (Castro Dávila, 2016)

**Número de empleados.** La empresa cuenta con 200 empleados aproximadamente, agrupando 6 personas por área de trabajo de acuerdo con la tarea y la locación.

**Contacto.** Teléfono: +57 (7) 6176470 / +57 (7) 6352872; Dirección: Sede principal: carrera 36 No. 36-26/28 Cabecera, Bucaramanga.

### Reseña histórica

Constituida en 1998, su primer año trabajó en diferentes áreas de la ingeniería y hacia final de este periodo se concentró en el área ambiental especializándose en los temas de calidad del aire y residuos peligrosos. En los años siguientes la empresa ganó reconocimiento a nivel nacional, expandiéndose hacia Panamá y de manera continua hasta hoy ha tenido presencia en las principales ciudades del país y en el Ecuador. (Castro Dávila, 2016)

## DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

4

### **Área de trabajo específica**

A solicitud de la empresa, el practicante de ingeniería mecánica fue asignado al área de vibraciones, desarrollando labores concernientes al proceso de generación de información (mediante el software dBTrait) y asignación de datos al 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), la norma internacional DIN4150 y la reglamentación de la empresa.

### **Supervisor**

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

## **Capítulo 2**

### **Diagnóstico de la empresa**

K-2 Ingeniería S.A.S. es una empresa innovadora, con nuevas tecnologías y un personal capacitado y en crecimiento conforme 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.

En efecto, el avance hacia nuevos campos de acción como el de VIBRACIONES, son una prioridad en la actualidad, 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. (Universidad Pontificia Bolivariana, 2018)

Sin embargo, al ser un área relativamente nueva y en auge, es necesario sentar bases sólidas, verificar procesos y ampliar el lote de datos base para la generación de información veraz y confiable, mejorando constantemente y retroalimentando los métodos usados. Así surge, el objetivo de la práctica empresarial.

### **Capítulo 3**

#### **Antecedentes**

Entre 2017 y 2019, la empresa ha establecido cuatro (04) convenios con la Universidad Pontificia Bolivariana (seccional Bucaramanga), gracias a los cuales los alumnos han desarrollado en las instalaciones de la compañía su práctica empresarial como auxiliares de ingeniería para monitoreo de vibraciones. A su vez, cada estudiante ha aportado su trabajo según lo requiere la compañía y en efecto, el modelo de campo lejano fue determinado y aplicado en K-2 ingeniería S.A.S. en sus estaciones: A, B, C, D y E, proyectando los valores recomendados para las distancias entre las voladuras (en el campo minero) y las edificaciones cercanas de acuerdo con la normativa.

Sin embargo, la gran cantidad de datos obtenidos a diario por los sensores de vibraciones en las estaciones anteriores muestra parte de los datos con valores alejados de la realidad, errores aleatorios que alteran la medida y el control de la actividad minera frente a la protección que se lleva a cabo en las poblaciones. A pesar de que sistemas de filtrado de datos son aplicados a diversos procesos en varios sectores productivos del mundo, en el sector minero, específicamente en el control y análisis de vibraciones, no se han establecido criterios que permitan validar y eliminar datos de sensores de vibraciones por fuera de un intervalo real de medición, lo que generaría confiabilidad del proceso y disminución de errores en el tratamiento de los datos como: el factor humano, entre otros.

En 2003, Benjumea mencionó después de investigar las vibraciones causadas por actividad humana en la Mina la Calera de Cementos del Valle desde la perspectiva de la ingeniería civil que los datos obtenidos por el proyecto versus la norma alemana demostraban que las vibraciones producidas cumplieron con los estándares, en efecto, el desarrollo de su trabajo de grado, deja de lado la depuración de los datos erróneos. (Benjumea Cadavid, 2003)

Pinto et al. en su artículo de investigación “Monitoreo y control de vibraciones por efecto de voladuras en el túnel Sumapaz, concesión Bogotá-Girardot” (Revista de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia) realizaron, como su nombre lo indica, un monitoreo de las vibraciones producidas por las voladuras de la obra, dieron a conocer los resultados y presentaron, entre otras, la “Figura 10” estipulando que las vibraciones por voladuras realizadas en el túnel y sus cercanías, no representan ningún tipo de amenaza, lo que deja observar que no se enfrentaron a valores por encima de la norma o errores de medición a filtrar. (Pinto Morales, Fuentes Fuentes, & Hernandez, 2013)

En el trabajo especial de grado escrito por Borges en Venezuela, el autor hace referencia a la separación de registros gracias a que tuvo conocimiento de cuáles son los eventos producidos por la actividad humana y los producidos por la voladura mediante la observación de los espectros de onda, además ejemplifica en la “Figura 4.3.1.” de su tesis una señal de ruido ambiental pre-evento producida por actividad humana. Borges, exhibe que el método comparativo entre graficas de las ondas le fue de gran ayuda al momento de filtrar los datos, sin embargo, estos eventos inherentes a las voladuras requieren de experimentación desde el sitio de trabajo debido a la calidad del subsuelo y el tipo de sucesos que puedan ocurrir, además no publica el proceso de filtrado mediante este método ni la cantidad de datos depurados. (Borges Viralta, 2004)

En el repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú se encuentra la tesis desarrollada por Orihuela y Dapello en donde clasifican la data como parte del estudio de vibraciones, mostrando y comparando el “Grafico 3.” con el “Grafico 4”, concluyendo que las ondas del segundo grafico se ven perturbadas en forma constante y por un lapso de tiempo prolongado, al analizarlo, los autores argumentan que la causa más probable es que dicho evento sea a causa de las personas que se encontraban en la zona de pruebas, acomodación de equipos, uso de motores eléctricos u otros sucesos transcurridos en el mismo intervalo de tiempo, a pesar de esto, al no existir un patrón comparativo de este tipo

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE  
ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

8

ondas, dicha información carece de veracidad en cuanto al filtro de una gran cantidad de eventos en una locación diferente. (Orihuela Castillo & Dapello Vizcarra, 2011)

En general, la depuración y separación de eventos erróneos de la data correcta ha sido tema poco investigado o mostrado, dejando en la confidencialidad de cada entidad el proceso y demostrando que la particularidad de cada sector impide generalizar y estandarizar el proceso de depuración del tema tratado.

## **Capítulo 4**

### **Justificación**

K-2 ingeniería S.A.S. brinda soluciones, monitoreando y verificando que los dinamismos mineros se desarrollen conforme a la normativa y así evitar daños y/o perjudicar a las personas y/o edificaciones aledañas al lugar de trabajo; este monitoreo vibracional, entre otros, se realiza 24 horas y los 7 días de la semana, en las estaciones: A, B, C, D y E de un proyecto minero ubicado en Buriticá, Antioquia.

En efecto, se obtienen datos cada minuto (en ocasiones cada segundo), para un total de 86,400<sup>1</sup> fechas<sup>2</sup>/día (máximo) y a su vez, 2'592,000 fechas/mes (30 días), esta cantidad de fechas debe ser depurada y procesada, filtrando todos los posibles errores, vibraciones ajenas a las voladuras y datos atípicos, tarea que en la actualidad, se desarrolla de manera manual (trabajador en un computador), apareando datos de diferentes fechas, horas, listas y diferentes estaciones, lo que puede acarrear fallas en el trascurso de esta refinación (desde fallas humanas hasta fallas digitales), perjudicando la validez y la confianza de este esquema.

Sistematizar y estandarizar el proceso se sugiere como parte de la solución a esta problemática, así mismo, “Determinar los criterios de validación para los datos de entrada al modelo de campo lejano” es una de las necesidades a cubrir, ofreciendo una disminución en el tiempo de ejecución de la tarea y abasteciendo el lote de datos históricos, ganando mayor soporte y precisión en el modelo aplicado de DEVINE.

---

<sup>1</sup> Para esta práctica empresarial se usa en numeración la coma (“,”) para miles y el punto (“.”) para decimales.

<sup>2</sup> Para esta práctica empresarial se le denomina fecha al conjunto de fecha y hora (yyyy-mm-dd hh:mm:ss).

## Capítulo 5

### Disponibilidad de recursos

La práctica empresarial abarcó la manipulación y procesamiento de datos, entre otras labores, para tal fin, fue necesario contar con:

Tabla 1.  
Disponibilidad de recursos.

Cantidad	Recursos	U.P.B.	K-2 ingeniería S.A.S.
-	Internet	-	X
01	Computador	-	X
-	Software dBTrait 6.0	-	X
-	Plataforma Ambiens Q Suit	-	X
-	Software Microsoft Excel	-	X
-	Software Microsoft Word	-	X
-	Software R	-	X

Fuente: Autoría propia.

## **Capítulo 6**

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

Determinar los criterios de validación para los datos de entrada al modelo de campo lejano, aplicado a las estaciones: A, B, C, D y E de un proyecto minero ubicado en Buriticá, monitoreado por K-2 Ingeniería S.A.S. en el departamento de Antioquia, Colombia.

#### **Objetivos específicos**

1. Recopilar el histórico de datos de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E.
2. Seleccionar los datos de velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z, la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS) y los eventos, monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E.
3. Emparejar la plantilla de voladuras con los datos procesados de velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z, la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS) y los eventos, monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E con la “bitácora de voladuras” suministrada por la empresa K-2 ingeniería S.A.S.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

**Capítulo 7**  
**Cronograma de actividades**

Tabla 2.  
Cronograma de actividades, objetivo específico 1.

<i>OBJ. ESP.</i>	#	<i>ACTIVIDADES</i>	<i>MES</i>					
			oct	nov	dic	ene	feb	mar
Recopilar el histórico de datos de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E.	1	Solicitar autorización a la empresa K-2 ingeniería S.A.S., para el tratamiento de los datos de las estaciones: A, B, C, D y E desde el inicio de los monitoreos de vibraciones hasta la fecha: 28/02/2019.						
	2	Compilar los datos de velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z, la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS) por hora (01 hora) y los eventos, monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E desde el inicio de los monitoreos de vibraciones hasta la fecha: 28/02/2019.						
	3	Procesar los datos de velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z, la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS) por hora (01 hora) y los eventos, monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E desde el inicio de los monitoreos de vibraciones hasta la fecha: 28/02/2019.						
	4	Organizar los datos de velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z, la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS) por hora (01 hora) y los eventos, monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E desde el inicio de los monitoreos de vibraciones hasta la fecha: 28/02/2019.						

Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

Tabla 3.  
Cronograma de actividades, objetivo específico 2.

OBJ. ESP.	#	ACTIVIDADES	MES					
			oct	nov	dic	ene	feb	mar
Seleccionar los datos de velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z, la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS) y los eventos, monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E.	5	Filtrar los eventos registrados por la norma DIN4150-3, velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z y su respectiva frecuencia (PPVX, PPVY, PPVZ, FDX, FDY, FDZ), monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E desde el inicio de los monitoreos de vibraciones hasta la fecha: 28/02/2019.						
	6	Filtrar los máximos de la suma vectorial (PVS), monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E desde el inicio de los monitoreos de vibraciones hasta la fecha: 28/02/2019, dentro de los tiempos de voladuras (04:30-05:30 y 16:30-17:30).						
	7	Representar gráficamente el histórico validado de los datos de vibraciones (máximos y eventos) de las estaciones: A, B, C, D y E desde el inicio de los monitoreos de vibraciones hasta la fecha: 28/02/2019.						
	8	Depurar los eventos y máximos filtrados de velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z, la suma vectorial y su respectiva frecuencia (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS, FDX, FDY, FDZ), monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E desde el inicio de los monitoreos de vibraciones hasta la fecha: 28/02/2019.						

Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

Tabla 4.  
Cronograma de actividades, objetivo específico 3.

OBJ. ESP.	#	ACTIVIDADES	MES					
			oct	nov	dic	ene	feb	mar
Emparejar la plantilla de voladuras con los datos procesados de velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z, la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS) y los eventos, monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E con la "bitácora de voladuras" suministrada por la empresa K-2 ingeniería S.A.S.	9	Elaborar la plantilla de voladuras de las estaciones: A, B, C, D y E donde se involucre la carga operante, las distancias entre coordenadas de los sitios, la velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z y la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS).						
	10	Solicitar la bitácora de voladuras mensual a la empresa K-2 ingeniería S.A.S., para el tratamiento de los datos de las estaciones: A, B, C, D y E desde el inicio de los monitoreos de vibraciones hasta la fecha: 28/02/2019.						
	11	Complementar la plantilla de voladuras con la bitácora de voladuras mensual de las estaciones: A, B, C, D y E.						
	12	Emparejar por mes, fecha y hora la plantilla de voladuras con los valores máximos de los datos de velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z y la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS), monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E.						
	13	Verificar que los datos emparejados por mes, fecha y hora entre los datos emparejados por mes, fecha y hora la plantilla de voladuras con los valores máximos de los datos de velocidad pico de la partícula en los ejes X, Y, Z y la suma vectorial (PPVX, PPVY, PPVZ, PVS), monitoreados por los sensores de vibraciones de las estaciones: A, B, C, D y E.						

Fuente: Autoría propia.

## Capítulo 8

### Marcos de referencia

#### Marco Geográfico

**Localización.** El proyecto minero está ubicado en Buriticá, en la región noroccidental de Colombia, es un terreno montañoso con una elevación máxima de 2,000 msnm, la zona de concentración es una pendiente montañosa de 900 metros de longitud vertical aproximadamente; de fácil acceso, alrededor de dos horas y media desde Medellín (Antioquia), sobre la vía Panamericana.

**Estaciones de monitoreo.** Para el proyecto fueron instalados cinco (05) sensores, ubicados en las zonas de probable incidencia de vibraciones producidas por voladuras y así evaluar los efectos sobre las viviendas, en la siguiente figura se muestra su localización (iconos circulares de color celeste):

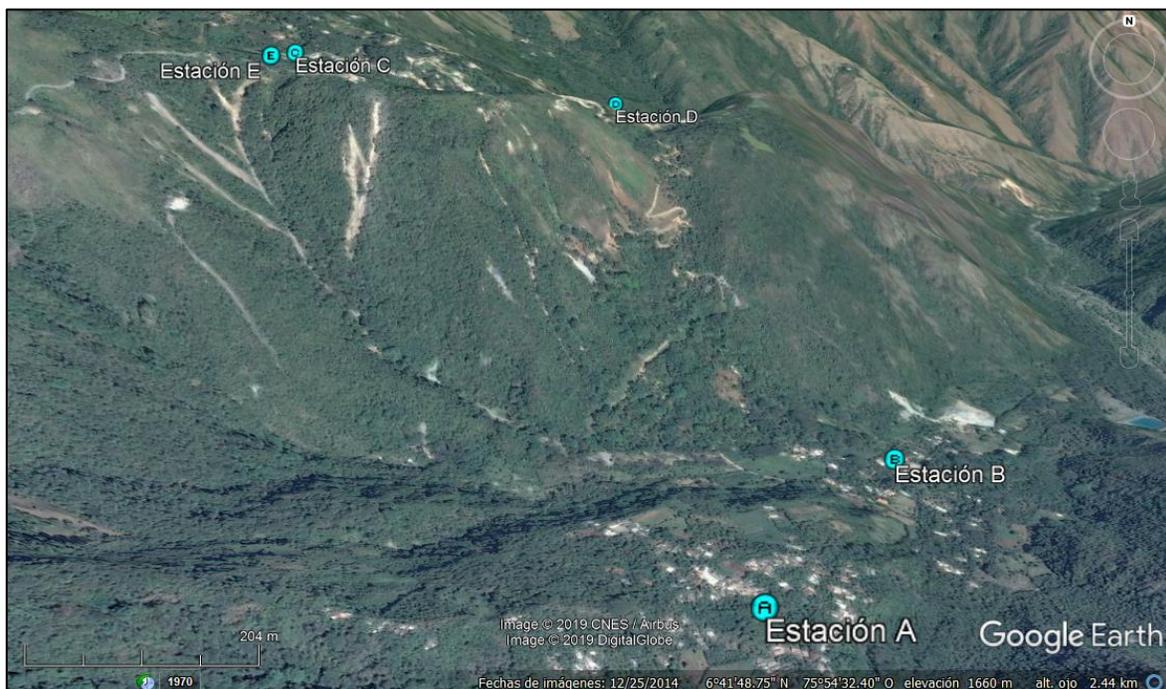


Figura 2. Mapa con la ubicación de las cinco (05) estaciones de monitoreo de vibraciones en Buriticá.  
Fuente: Google Earth, Mapa en relieve zona Buriticá, Antioquia, Colombia.

## Marco conceptual

**Vibración en voladuras.** “...una vibración es un fenómeno de transmisión de energía mediante la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio.” [...] “En el caso de las vibraciones generadas por voladuras, se trata de una onda que se generan en el interior del taladro<sup>3</sup>, como consecuencia de la detonación de un explosivo y que se propagaran por el terreno circundante y/o el aire (es el caso de voladuras a cielo abierto).” (Cruzado Mendoza & Diaz Choroco, 2017)

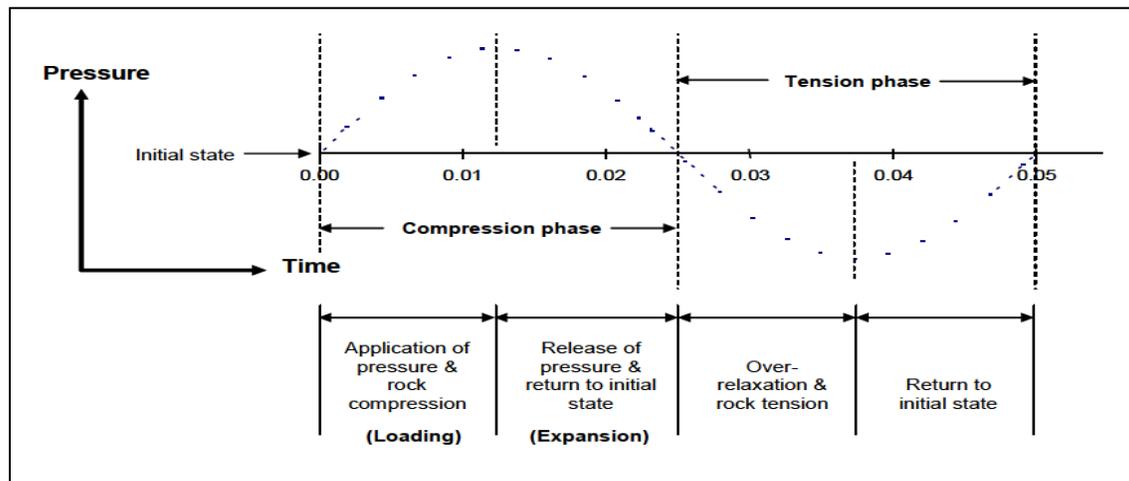


Figura 3. Ciclo de esfuerzo sobre la roca, compresión seguida por tensión.

Fuente: (Cruzado Mendoza & Diaz Choroco, 2017)

**Voladura.** “Ignición<sup>4</sup> de una carga masiva de explosivos. El proceso de voladura comprende el cargue de los huecos hechos en la perforación, con una sustancia explosiva, que al entrar en acción origina una onda de choque y, mediante una reacción, libera gases a una alta presión y temperatura de una forma substancialmente instantánea, para arrancar, fracturar o remover una cantidad de material según los parámetros de diseño de la voladura misma.” (Ministerio de minas y energia de Colombia., 2015)

**Voladura controlada.** Patrones y secuencias de voladuras diseñados para mejorar un objetivo particular. Voladura en la cual cada hoyo es detonado en una secuencia progresiva para reducir las vibraciones y la dirección de proyección. (Ministerio de minas y energia de Colombia., 2015)

<sup>3</sup> Agujero creado para instalar el explosivo detonante en minería.

<sup>4</sup> Inicio de una combustión.

**Ondas sísmicas.** Las ondas sísmicas se clasifican en ondas internas y ondas superficiales. Las ondas internas son aquellas que se propagan desde su origen hasta la superficie de la Tierra, estas a su vez, se dividen en ondas P y ondas S. por otra parte, las ondas superficiales son las q se propagan sobre la superficie de la Tierra, que se subdividen en ondas Rayleigh y ondas Love, después de la llegada de las ondas P y S a la superficie.

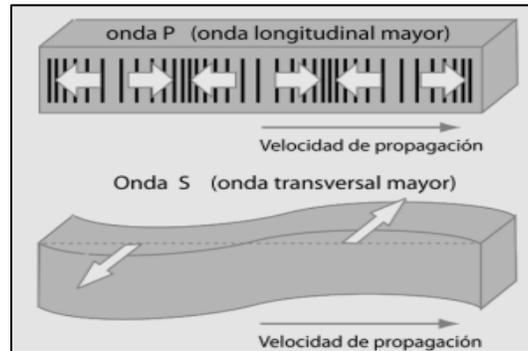


Figura 4. Propagación ondas P y ondas S.  
Fuente: (Otero, 2017)

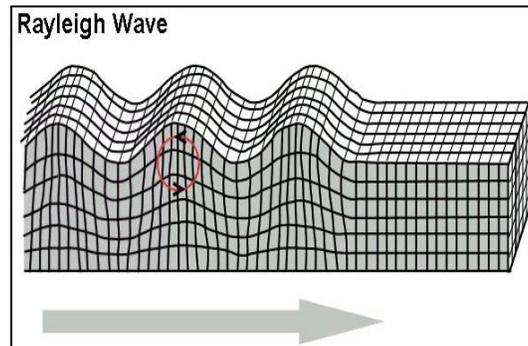


Figura 5. Propagación onda Rayleigh.  
Fuente: (Otero, 2017)

**Características de una onda.** Las características principales son las siguientes:

**Frecuencia.** Es el número de veces por segundo que la onda de propagación pasa por un ciclo completo de compresión y tensión. “La frecuencia de las vibraciones indica el número de veces por segundo que la onda de propagación pasa por un ciclo completo de compresión y tensión. (Cruzado Mendoza & Diaz Choroco, 2017)

**Amplitud.** Es el mayor valor absoluto medido desde el eje temporal hacia el movimiento de una partícula. “Máximo desplazamiento desde la posición de reposo de un punto del material del terreno.” (Cruzado Mendoza & Diaz Choroco, 2017)

**Duración.** “El tiempo total que el medio está expuesto a la vibración. La duración de la vibración será un poco mayor que la duración de la voladura (es decir el tiempo entre la detonación del primer y último pozo).” (Cruzado Mendoza & Diaz Choroco, 2017)

**Modelos de vibraciones:** Actualmente en el campo de la minería se manejan dos modelos, presentados a continuación:

**Modelo de campo cercano.** Este modelo comprende las acciones tomadas y sus resultados dentro del intervalo estricto de la voladura, es decir, desde el diseño hasta el desarrollo de la explosión. Son las vibraciones que afectan directamente a las estructuras alrededor del taladro, este modelo se usa principalmente para medir el nivel de vibraciones que afecta la estabilidad del tajo<sup>5</sup>. (Cruzado Mendoza & Diaz Choroco, 2017)

**Modelo de campo lejano.** “El modelo de campo lejano (MCL), se considera a las vibraciones que afectan directamente a las estructuras fuera del tajo, como viviendas cercanas al proyecto, principalmente para medir el nivel de vibraciones para que no afecten la estabilidad de las estructuras. Este modelo de vibraciones permite predecir el nivel de vibraciones a partir de mediciones de campo. En forma práctica se aplica para distancias mayores a cinco veces la longitud de la carga. De estas mediciones se debe obtener principalmente tres ítems: la velocidad pico de la partícula (PPV), la cantidad de explosivo usado y la distancia entre la carga y el sitio de medida (sensor)”. (Cruzado Mendoza & Diaz Choroco, 2017)

**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.” (01dB ACOEM Group, 2017)

---

<sup>5</sup> Escalón o unidad de explotación sobre la que se desarrolla el trabajo de extracción en las minas a cielo abierto.

**PPV<sub>ik</sub>.** 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  $k$  (PPVX, PPVY, PPVZ), durante un intervalo de tiempo  $t$ . (01dB ACOEM Group, 2017)

**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  $t$ . (01dB ACOEM Group, 2017)

**DFj.** Dominant Frequency, frecuencia dominante (FD): frecuencia correspondiente al máximo de un espectro FFT<sup>6</sup> (Trasformada rápida de Fourier) propio de la velocidad máxima de la partícula (PPV) en el tiempo  $t$ . (01dB ACOEM Group, 2017)

**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). (01dB ACOEM Group, 2017).

**Transformada rápida de Fourier.** La FFT es un algoritmo<sup>7</sup> 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. (Martin, 2006)

### **Marco teórico**

“Las vibraciones causadas por el ser humano pueden causar daños desde estructurales a cosméticos en las edificaciones; en la mayoría de los casos tales vibraciones son generadas por voladuras, maquinaria de construcción y tráfico vehicular o férreo.” (Benjumea Cadavid, 2003)

---

<sup>6</sup> Fast Fourier Transform.

<sup>7</sup> Conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer un cálculo y hallar la solución a un tipo de problema.

En Colombia no existe una norma en este campo de acción que aplique a la actividad minera y en efecto al proyecto, sin embargo, Pinto y Fuentes publicaron una propuesta de guía de regulación para Colombia en el campo de las vibraciones producidas por detonaciones, que como su nombre lo dice, es una guía preliminar para la regulación de vibraciones generadas por voladuras en áreas urbanas. (Fuentes Fuentes & Pinto Morales, 2008)

Para mitigar y garantizar que los daños sean mínimos o nulos, conservando las estructuras cercanas a una zona de explotación minera: K-2 ingeniería S.A.S. se ajusta a la norma alemana DIN4150-3.

El Instituto de Normalización Alemana (Deutsches Institut für Normung<sup>8</sup>) ha publicado varios criterios de niveles máximos de vibración, el primero en 1975, el cual fue desglosado (3 partes) y actualizado en 1999 y 2001. “Las actualizaciones de la norma DIN mencionadas son: 1. Predicción de los parámetros de medición (DIN, 2001b), 2. Efectos en las personas dentro de edificaciones (DIN, 2001c) y 3. Efectos en estructuras (DIN, 2001a)”. (Benjumea Cadavid, 2003)

**Norma DIN4150-3: efectos de la vibración sobre estructuras.** “Esta norma, especifica un método para medir y evaluar los efectos de las vibraciones en estructuras diseñadas principalmente para carga estática. Se aplica a las estructuras que no necesitan ser diseñadas para estándares o códigos de práctica específicos en lo que respecta a la carga dinámica. Esta norma proporciona valores de guía que, cuando se cumplen, no darán lugar a daños que tengan un efecto adverso sobre la capacidad de servicio de la estructura. En algunos casos, también se dan valores de guía para una evaluación simplificada”. (Norma DIN4150-3, 1999)

A continuación, se presentan los valores guía que esta parte de la norma muestra con base en la experiencia alemana después de varias mediciones de la velocidad pico de la partícula (PPV) en los tres ejes (x, y, z).

---

<sup>8</sup> DIN

Tabla 5. 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.

Fuente: (Norma DIN4150-3, 1999)

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.

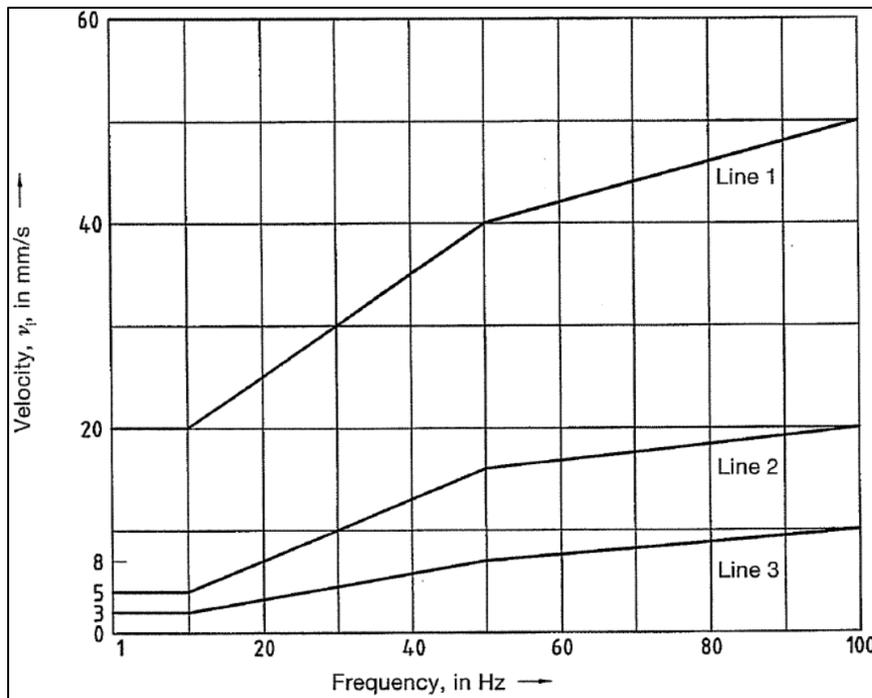


Figura 6. Curvas para los valores de guía para las velocidades medidas en la cimentación.

Fuente: (Norma DIN4150-3, 1999)

**Medición.** “Los aparatos utilizados para realizar las mediciones según esta norma deberán cumplir los requisitos especificados en la norma DIN 45669-1 y el procedimiento de medición a seguir será el especificado en la norma DIN 45669-2. Para medir la vibración en las cimentaciones, los captadores para las tres direcciones de medición se colocarán juntos en la planta baja de la estructura a investigar, ya sea en la cimentación de la pared exterior, en la propia pared exterior o en un hueco de la pared. En los edificios sin sótano, el punto de medición no deberá estar a más de 0,5 m sobre el suelo”. (Norma DIN4150-3, 1999)

“Los puntos de medición estarán preferiblemente en el lado de la estructura que se expone a la fuente de excitación. Se registrará la historia temporal de la vibración vertical (eje z) y de la vibración horizontal (ejes x & y, en ángulo recto entre sí), con una de las direcciones de medida paralela a una pared lateral de la estructura. Para las estructuras con una amplia superficie de planta baja, se realizarán mediciones simultáneas en varios lugares”. (Norma DIN4150-3, 1999)

**Norma DIN45669-1: equipo de medición.** “Esta norma, especifica los requisitos y métodos de verificación del equipo de medición (instrumentos únicos, así como sistemas de componentes múltiples) utilizados para medir la vibración y el impacto en los edificios y evaluar la exposición humana a esta vibración. Los equipos de medición cubiertos por esta norma sirven principalmente para medir la vibración de acuerdo con las regulaciones que rigen la contaminación acústica y el control de las vibraciones”. (Norma DIN45669-1, 1995)

**Norma DIN45669-2: procedimiento de medición.** “Esta norma, especifica un método de medición de vibraciones utilizando el equipo especificado en la norma DIN 45669-1. Proporciona criterios generales para seleccionar los puntos y las direcciones de medición, y los principios de medición de acuerdo con las regulaciones que rigen la contaminación acústica y el control de las vibraciones”. (Norma DIN45669-2, 1995)

## Capítulo 9

### Metodología

#### Datos

**Compilación.** Personal técnico de campo de la empresa realiza semanalmente la configuración y descarga de datos (archivos “.CMG”) de los sensores de cada estación, proporcionando al equipo de monitoreos la materia prima de trabajo.

**Validación técnica.** La configuración de los sensores es clave para el posterior uso de la información, la norma DIN4150-3 es la base para interpretar de manera óptima los datos, además, la nomenclatura utilizada es puntual y específica para los requerimientos del software.

**Procesamiento y organización.** El software licenciado dBTrait 6.1.0 es la herramienta utilizada para la apertura de los archivos y así captar la información semanal recopilada por los sensores, la información recolectada, se clasifica por estaciones, por fecha y en dos grupos (máximos y eventos) según las necesidades y opciones que ofrece el software: “niveles e índices estadísticos por periodo” y “reporting according DIN4150-3”, los datos se registraran por hora (01 hora).

#### Filtrado de máximos

A raíz de que el intervalo de tiempo de las voladuras (04:30-05:30 y 16:30-17:30) no coincide con los valores registrados por hora (01 hora), se tomará un valor máximo de los datos entre las 04:00 y 05:00, y otro valor máximo de los datos entre las 16:00 y 17:00, para un total de dos (02) máximos por día (existen días sin registros completos de las 24 horas).

#### Filtrado de eventos

El primer filtro es eliminar los eventos que no tengan un valor en al menos una de sus frecuencias (FDX, FDY, FDZ) representados con un guion (“-”<sup>9</sup>), esta información

---

<sup>9</sup> El software dBTrait 6.1.0 representa con un guion (“-”) el ítem cuyo valor se encuentra por debajo del límite de detección del sensor.

vendrá de la mano del procesamiento y organización. Posteriormente se filtrarán los datos por fuera del rango de horas de voladuras: 04:30-05:30 y 16:30-17:30.

### **Representación**

Usando Microsoft Excel, es posible crear gráficos vistosos y prácticos, para el presente trabajo, esta herramienta se operó para esquematizar la frecuencia y la PPV en los tres (03) ejes, por otro lado, programando en el software R<sup>10</sup> es posible obtener desde cálculos de información hasta graficas complejas de representación de datos, para el presente trabajo, dicho software fue utilizado para organizar los datos de los máximos en diagramas de cajas, de este modo, estos procesos ayudaran a comprender el comportamiento de los datos y se harán notar los valores atípicos y erróneos.

### **Depuración**

La depuración se llevará a cabo en etapas, tantas como sean necesarias para un valor optimo en los datos.

**Etapas 1: Depuración gráfica.** Se depurarán los eventos y los máximos acorde a la gráfica (depuración grafica), analizando el comportamiento e indagando las posibles causas de los datos erróneos, si las hubiese. La representación de los máximos se realiza en Diagramas de cajas mientras los eventos serán graficados con Microsoft Excel.

**Etapas 2: Depuración por caracterización.** Se depurarán los eventos que no estén acordes a la gráfica característica del espectro vibratorio, así, según el comportamiento se descartarán eventos fuera de las voladuras reales.

### **Emparejamiento**

Este proceso equiparará información de las voladuras con los datos de los sensores (procesados), para esto es necesario desarrollar la plantilla final (Plantilla de voladuras) y aparear la información correspondiente.

**Plantilla de voladuras.** Un archivo Excel se creará con este nombre, en donde se tomará como base de la plantilla parte de un archivo creado por la empresa K-2 ingeniería

---

<sup>10</sup> “R es un conjunto integrado de instalaciones de software para la manipulación de datos, cálculo y la visualización gráfica.” (W. N. Venables; D. M. Smith; R Core Team, 2019)

S.A.S. que se encuentra en uso para la fecha de esta práctica empresarial, esto con el fin de organizar e individualizar el emparejamiento.

**Bitácora de voladuras.** Un archivo mensual es suministrado por la empresa con la información de las voladuras realizadas durante ese intervalo de tiempo, dicha información es apareada con los datos arrojados por los sensores (procesados) en cada estación en las mismas fechas de las voladuras.

## Capítulo 10

### Desarrollo y resultados

#### Datos

**Compilación.** En cada estación (debidamente ubicada) se instaló un sensor “ORION Smart Vibration Monitoring Terminal”.



Figura 7. ORION Smart Vibration Terminal  
Fuente: (01dB ACOEM Group, 2016)

Algunas de sus características son: almacenamiento de datos y seguridad, interfaz web, pantalla de acústica, vibración y datos meteorológicos, modos en tiempo real, información mostrada en un mapa interactivo, varios gráficos configurables, gestión de actividad de alarmas, monitoreo SoH<sup>11</sup> de los terminales y mediciones simultáneas en varios puntos sincronizados, georreferenciados con componente GPS incorporado y antena. (01dB ACOEM Group, 2016)

**Validación técnica.** Se revisa la configuración de los sensores según la norma DIN4150-3 verificando en el software dBTrait 6.1.0 (mediante la pestaña “reporting according DIN4150-3”), que los archivos .CMG se encuentren configurados de acuerdo a la norma (Línea 3) o mirando el archivo de configuración ubicado en “settings/Configuration”

---

<sup>11</sup> Estado de salud

situada dentro de cada carpeta diaria (proceso más demorado), de este modo se resume que los datos validos recolectados desde su origen hasta la fecha 28 de febrero de 2019 fueron:

1. Estación A: contiene 8,334 archivos en 2,055 carpetas para un total de 1.69 GB cuya fecha de inicio es el 12 de octubre de 2017.
2. Estación B: contiene 9,916 archivos en 2,427 carpetas para un total de 1.93 GB de información cuya fecha de inicio es el 04 de octubre de 2017.
3. Estación C: contiene 7,623 archivos en 1,926 carpetas para un total de 2.53 GB de información cuya fecha de inicio es el 04 de octubre de 2017.
4. Estación D: contiene 10,089 archivos en 2,452 carpetas para un total de 1.57 GB de información cuya fecha de inicio es el 02 de octubre de 2017.
5. Estación E: contiene 4,231 archivos en 901 carpetas para un total de 346 MB de información cuya fecha de inicio es el 14 de septiembre de 2018.

**Procesamiento y organización.** Una vez tratada la información se clasifica en tablas, arrojando la siguiente cuantía:

Tabla 6.  
Cuantía de datos estación A.

Clasificación	Ítem	Valor	Descripción
Máximos: “niveles e índices estadísticos por periodo”	# Días	516	Número de días registrados, cada día tiene 24 fechas.
	# Datos	49,536	Numero de datos posibles, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPVx, PPVy, PPVz y PVS.
	Vacíos	12,528	Numero de datos vacíos, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPVx, PPVy, PPVz y PVS.
	# Datos real	37,008	Numero de datos reales, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPVx, PPVy, PPVz y PVS.
Eventos: “reporting according DIN4150-3”	# Eventos	256	Numero de eventos registrados.
	# Datos	1,536	Numero de datos registrados, cada evento tiene seis (06) ítems: PPVx, PPVy, PPVz, FDx, FDy, FDz.
	# Datos eliminados	1,416	Numero de datos eliminados, cada evento tiene seis (06) ítems: PPVx, PPVy, PPVz, FDx, FDy, FDz.
	# Datos real	120	Numero de datos reales, cada evento tiene seis (06) ítems: PPVx, PPVy, PPVz, FDx, FDy, FDz.
	# Puntos	60	Número de puntos, cada evento tiene tres (03) grupos de coordenadas (FDx, PPVx), (FDy, PPVy), (FDz, PPVz).

Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

28

Tabla 7.  
Cuantía de datos estación B.

Clasificación	Ítem	Valor	Descripción
Máximos: “niveles e índices estadísticos por periodo”	# Días	516	Número de días registrados, cada día tiene 24 fechas.
	# Datos	49,536	Numero de datos posibles, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
	Vacíos	6,820	Numero de datos vacíos, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
	# Datos real	42,716	Numero de datos reales, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
Eventos: “reporting acording DIN4150-3”	# Eventos	311	Numero de eventos registrados.
	# Datos	1,866	Numero de datos registrados, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Datos eliminados	582	Numero de datos eliminados, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Datos real	1,284	Numero de datos reales, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Puntos	642	Número de puntos, cada evento tiene tres (03) grupos de coordenadas (FD <sub>x</sub> , PPV <sub>x</sub> ), (FD <sub>y</sub> , PPV <sub>y</sub> ), (FD <sub>z</sub> , PPV <sub>z</sub> ).

Fuente: Autoría propia.

Tabla 8.  
Cuantía de datos estación C.

Clasificación	Ítem	Valor	Descripción
Máximos: “niveles e índices estadísticos por periodo”	# Días	516	Número de días registrados, cada día tiene 24 fechas.
	# Datos	49,536	Numero de datos posibles, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
	Vacíos	15,160	Numero de datos vacíos, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
	# Datos real	43,376	Numero de datos reales, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
Eventos: “reporting acording DIN4150-3”	# Eventos	1,789	Numero de eventos registrados.
	# Datos	10,734	Numero de datos registrados, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Datos eliminados	8,856	Numero de datos eliminados, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Datos real	1,878	Numero de datos reales, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Puntos	939	Número de puntos, cada evento tiene tres (03) grupos de coordenadas (FD <sub>x</sub> , PPV <sub>x</sub> ), (FD <sub>y</sub> , PPV <sub>y</sub> ), (FD <sub>z</sub> , PPV <sub>z</sub> ).

Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

Tabla 9.  
Cuantía de datos estación D.

Clasificación	Ítem	Valor	Descripción
Máximos: “niveles e índices estadísticos por periodo”	# Días	516	Número de días registrados, cada día tiene 24 fechas.
	# Datos	49,536	Numero de datos posibles, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
	Vacíos	8,756	Numero de datos vacíos, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
	# Datos real	40,780	Numero de datos reales, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
Eventos: “reporting acording DIN4150-3”	# Eventos	577	Numero de eventos registrados.
	# Datos	3,462	Numero de datos registrados, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Datos eliminados	0	Numero de datos eliminados, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Datos real	3,462	Numero de datos reales, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Puntos	1,731	Número de puntos, cada evento tiene tres (03) grupos de coordenadas (FD <sub>x</sub> , PPV <sub>x</sub> ), (FD <sub>y</sub> , PPV <sub>y</sub> ), (FD <sub>z</sub> , PPV <sub>z</sub> ).

Fuente: Autoría propia.

Tabla 10.  
Cuantía de datos estación E.

Clasificación	Ítem	Valor	Descripción
Máximos: “niveles e índices estadísticos por periodo”	# Días	181	Número de días registrados, cada día tiene 24 fechas.
	# Datos	17,376	Numero de datos posibles, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
	Vacíos	1,396	Numero de datos vacíos, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
	# Datos real	15,980	Numero de datos reales, cada fecha tiene cuatro (04) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> y PVS.
Eventos: “reporting acording DIN4150-3”	# Eventos	171	Numero de eventos registrados.
	# Datos	1,026	Numero de datos registrados, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Datos eliminados	420	Numero de datos eliminados, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Datos real	606	Numero de datos reales, cada evento tiene seis (06) ítems: PPV <sub>x</sub> , PPV <sub>y</sub> , PPV <sub>z</sub> , FD <sub>x</sub> , FD <sub>y</sub> , FD <sub>z</sub> .
	# Puntos	303	Número de puntos, cada evento tiene tres (03) grupos de coordenadas (FD <sub>x</sub> , PPV <sub>x</sub> ), (FD <sub>y</sub> , PPV <sub>y</sub> ), (FD <sub>z</sub> , PPV <sub>z</sub> ).

Fuente: Autoría propia.

### Filtrado de máximos

Del total de máximos por hora (01 hora) se filtraron los valores diferentes a las horas 04:00, 05:00, 16:00 y 17:00, a estas últimas, se les calculo el máximo por jornada (AM y PM) obteniendo la siguiente cuantía (un (01) máximo tiene cuatro (04) datos):

Tabla 11.  
Filtrado de máximos, todas las estaciones.

Estación	A	B	C	D	E
Filtrados	1,538	1,780	1,432	1,701	666
Total	771	891	717	850	333

Fuente: Autoría propia.

### Filtrado de eventos

Una vez realizado el filtro de información incompleta, se obtienen los siguientes resultados (un (01) evento tiene seis (06) datos):

Tabla 12.  
Filtrado de eventos, datos incompletos, todas las estaciones.

Estación	A	B	C	D	E
Eventos	256	311	1,789	577	171
Eventos eliminados	236	97	1,476	0	70
Total eventos	20	214	313	577	101

Fuente: Autoría propia.

Del total de eventos se filtraron los valores diferentes al rango de horas de voladuras: 04:30-05:30 y 16:30-17:30, arrojando una cuantía total de eventos por estación presentada a continuación:

Tabla 13.  
Filtrado de eventos, horas de voladuras, todas las estaciones.

Estación	A	B	C	D	E
Eventos	20	214	313	577	101
Eventos eliminados	18	197	259	554	72
Total eventos	2	17	54	23	29

Fuente: Autoría propia.

## **Representación**

Más adelante se muestran las gráficas de los eventos y los máximos resultantes de cada estación después del filtrado anterior y las gráficas resultantes del siguiente proceso (depuración) para ver el cambio a lo largo del mismo.

## **Depuración**

**Etapas 1: Depuración gráfica.** A continuación, se expone el proceso que se realizó y se muestran los resultados de la depuración gráfica:

*Estación A.* Al analizar el comportamiento de los máximos, se realiza la eliminación de los máximos cuyos valores en cualquiera de sus ejes o la suma vectorial (PPV X, Y, Z, PVS) se encuentren por encima de los 20mm/s, suprimiendo un (01) solo máximo, así mismo el corte de depuración para los eventos fue el mismo, suprimiendo un (01) solo evento.

*Estación B.* Al analizar el comportamiento de los máximos, se realiza la eliminación de los máximos cuyos valores en cualquiera de sus ejes o la suma vectorial (PPV X, Y, Z, PVS) se encuentren por encima de los 35mm/s, suprimiendo dos (02) máximos, así mismo el corte de depuración para los eventos fue el mismo, suprimiendo dos (02) eventos.

*Estación C.* Al analizar el comportamiento de los máximos, se realiza la eliminación de todos los datos (máximos y eventos) del mes de septiembre de 2018 al notar comportamiento irregular, posteriormente, se realiza la eliminación de los máximos cuyos valores en cualquiera de sus ejes o la suma vectorial (PPV X, Y, Z, PVS) se encuentren por encima de los 20mm/s, suprimiendo ocho (08) máximos, así mismo el corte de depuración para los eventos fue el mismo, suprimiendo cincuenta y un (51) eventos.

*Estación D.* Al analizar el comportamiento de los máximos, se realiza la eliminación de los máximos cuyos valores en cualquiera de sus ejes o la suma vectorial (PPV X, Y, Z, PVS) se encuentren por encima de los 200mm/s, suprimiendo tres (03) máximos, posteriormente, se eliminaron valores por encima de 50 mm/s, eliminando seis (06) valores, adicionalmente, se eliminaron valores por encima de 10 mm/s, eliminando

dieciocho (18) valores, para un total de veintisiete (27) máximos, así mismo el corte de depuración para los eventos fue el mismo, suprimiendo quince (15) eventos.

**Estación E.** La depuración no elimino máximos ni eventos, gráficamente se nota un comportamiento relativamente estable a lo largo del tiempo.

Tabla 14.  
Depurado de máximos y eventos, todas las estaciones.

Ítem	Concepto	Estaciones				
		A	B	C	D	E
Máximos	Depurados	1	2	44	27	0
	Final	770	889	673	823	333
Eventos	Depurados	1	2	51	15	0
	Final	1	15	3	8	29

Fuente: Autoría propia.

Seguido de esta cuantía, se muestran los gráficos exhibiendo el proceso de depuración grafica para máximos y eventos.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

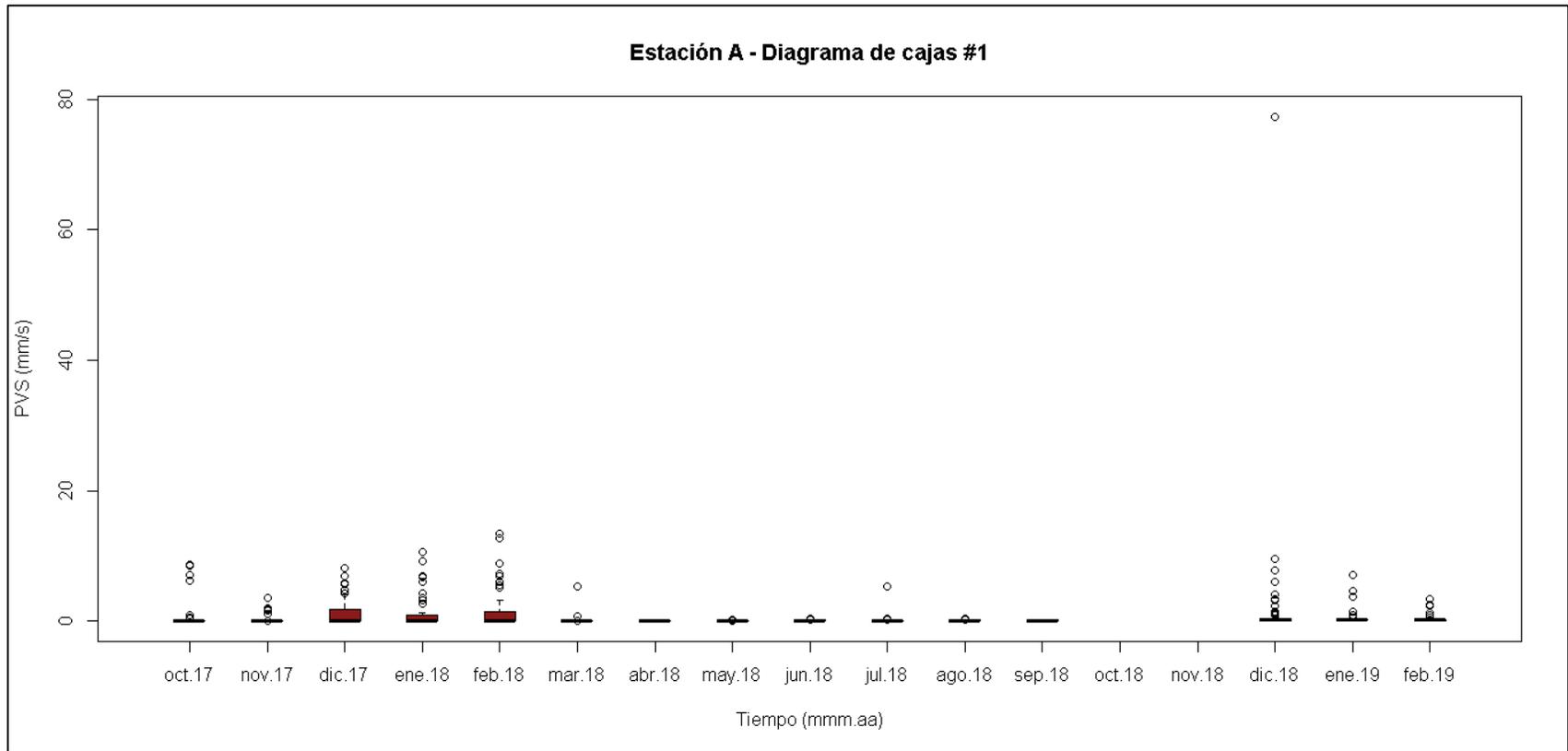


Figura 8. Estación A – Diagrama de cajas #1, máximos después del filtrado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

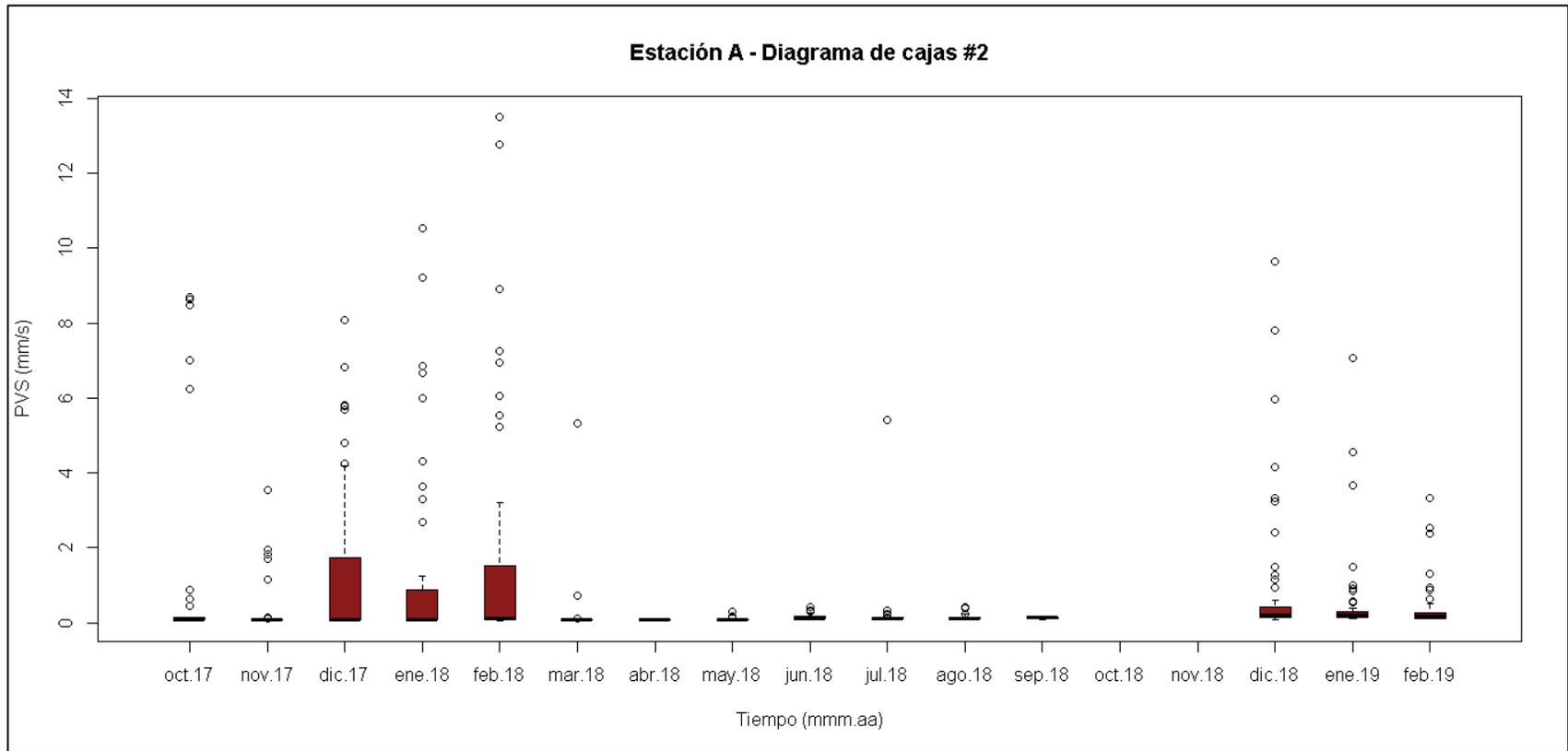


Figura 9. Estación A – Diagrama de cajas #2, máximos después del depurado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

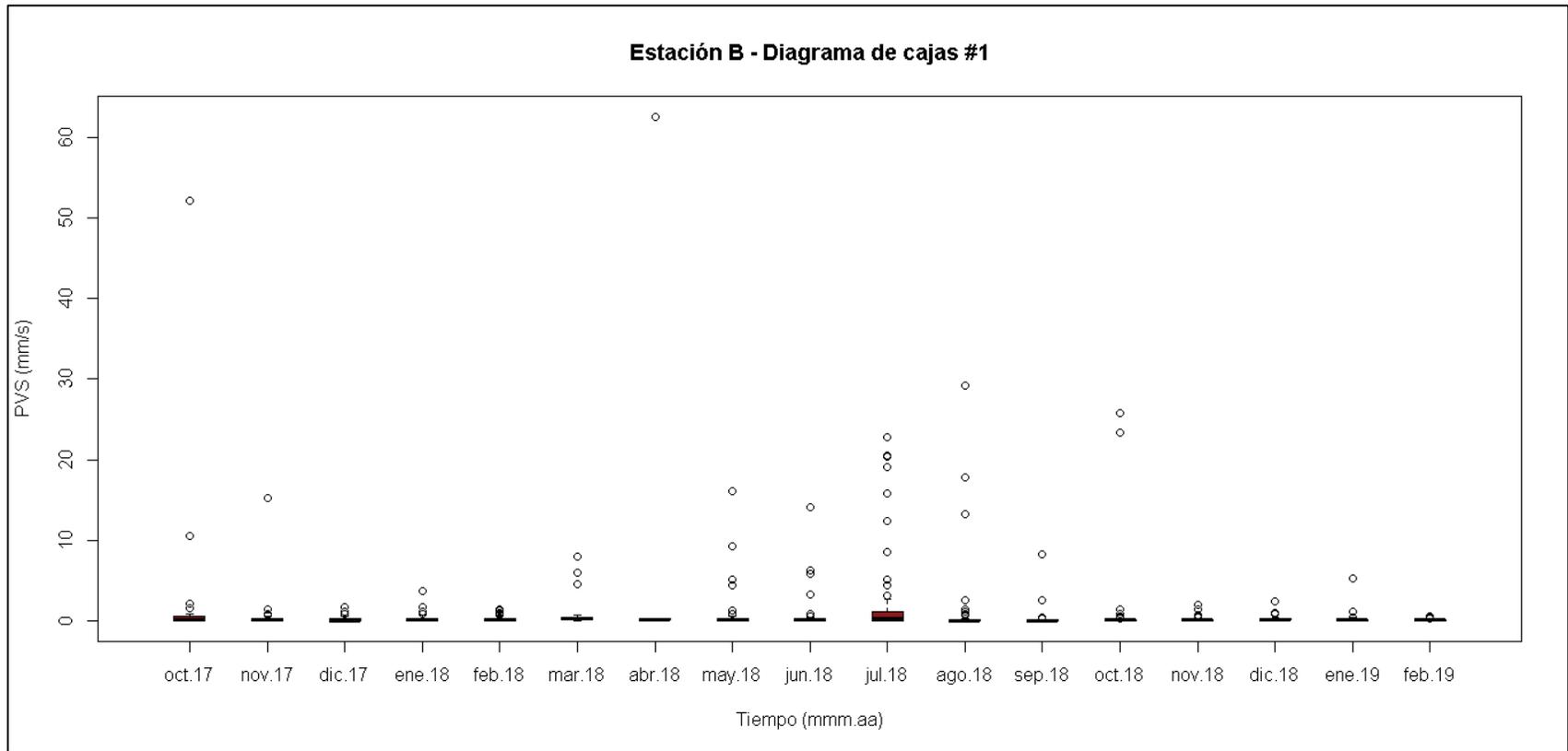


Figura 10. Estación B – Diagrama de cajas #1, máximos después del filtrado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

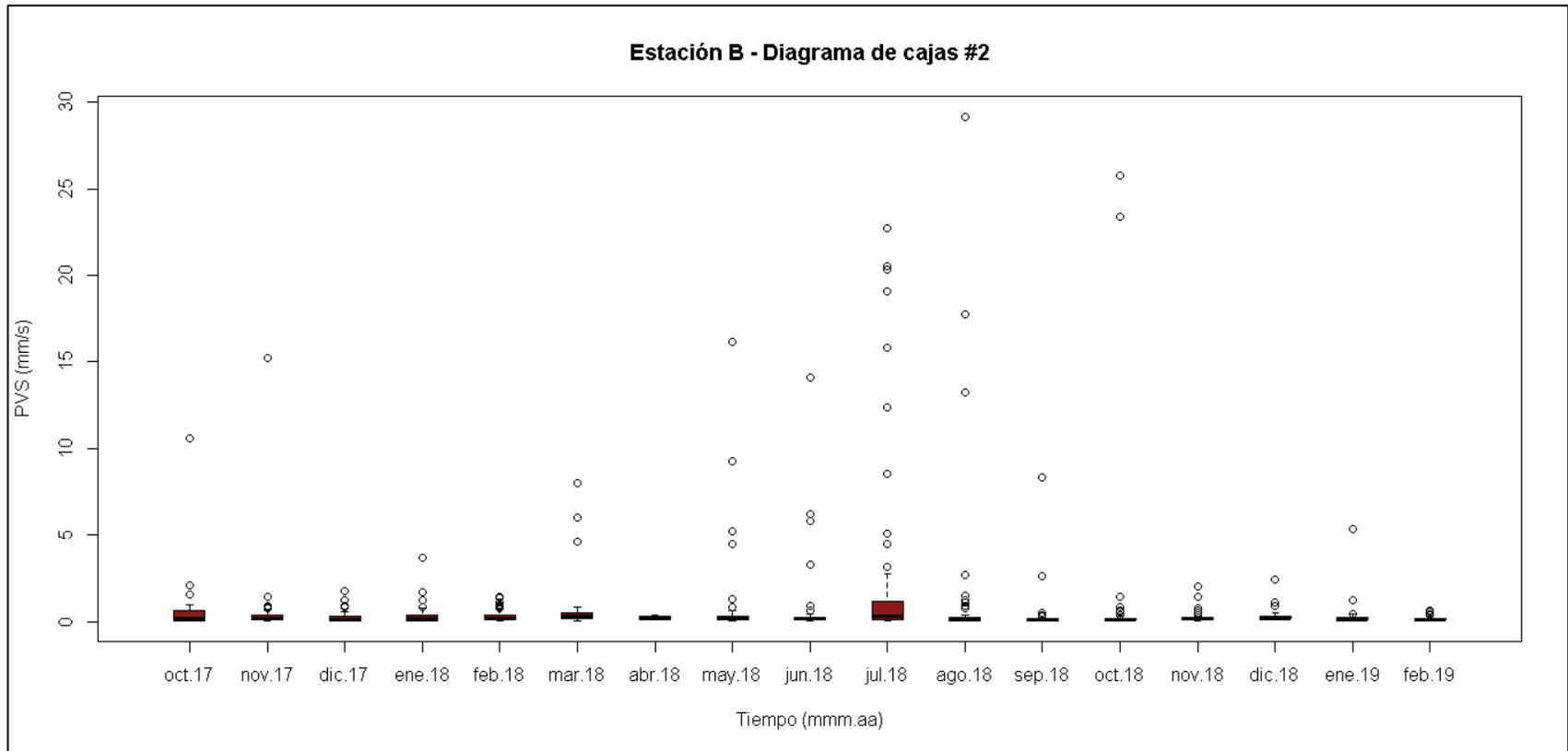


Figura 11. Estación B – Diagrama de cajas #2, máximos después del depurado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

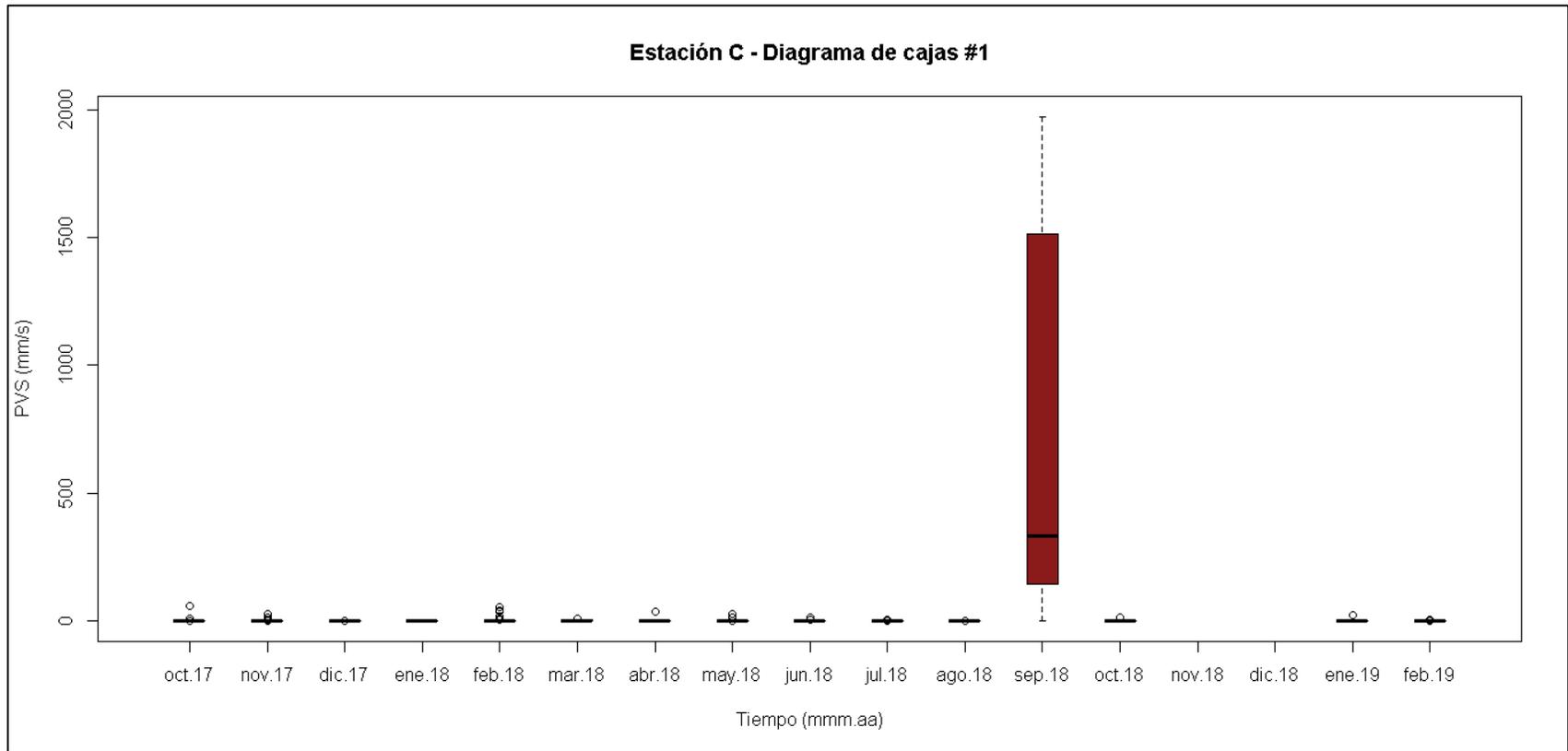


Figura 12. Estación C – Diagrama de cajas #1, máximos después del filtrado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

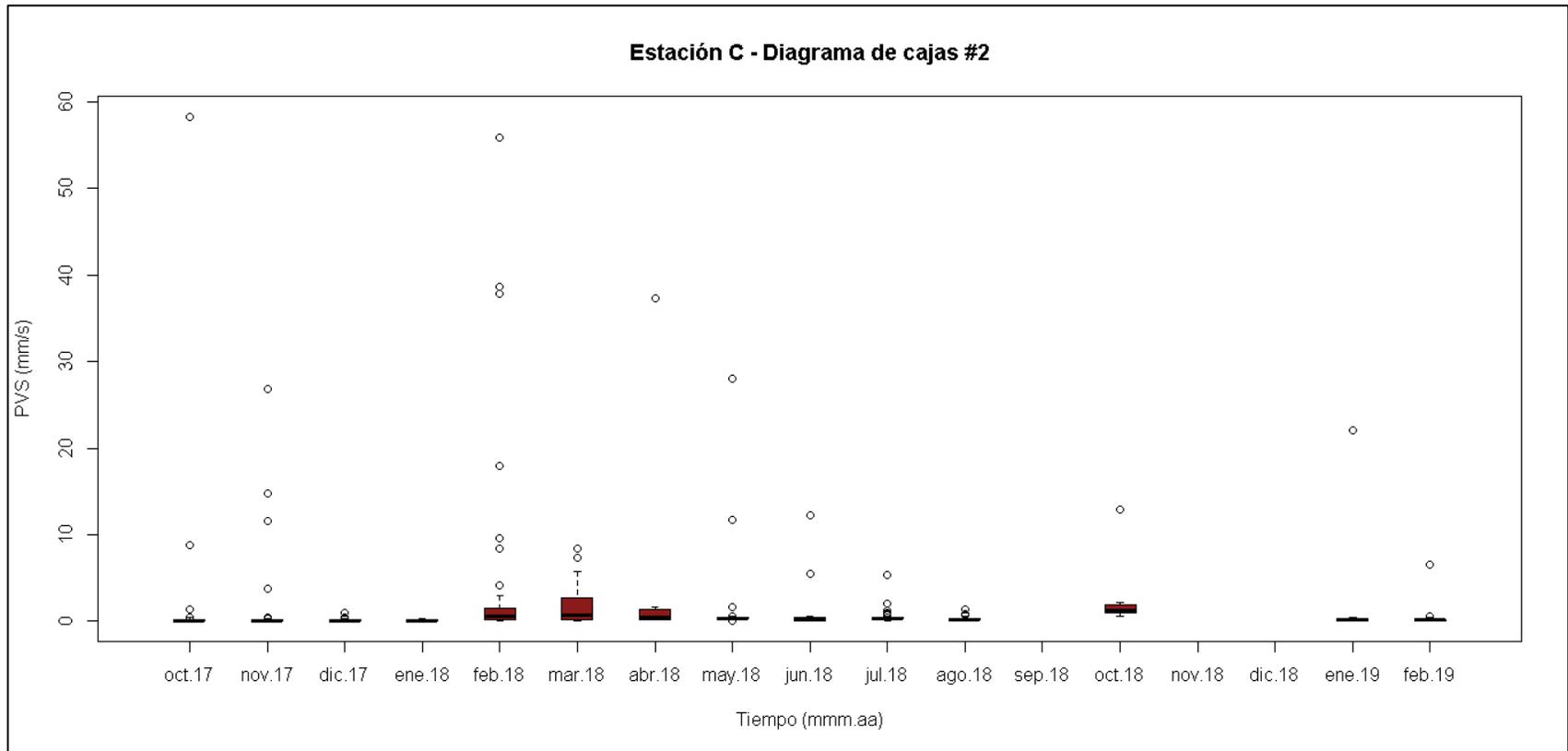


Figura 13. Estación C – Diagrama de cajas #2, máximos después del depurado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

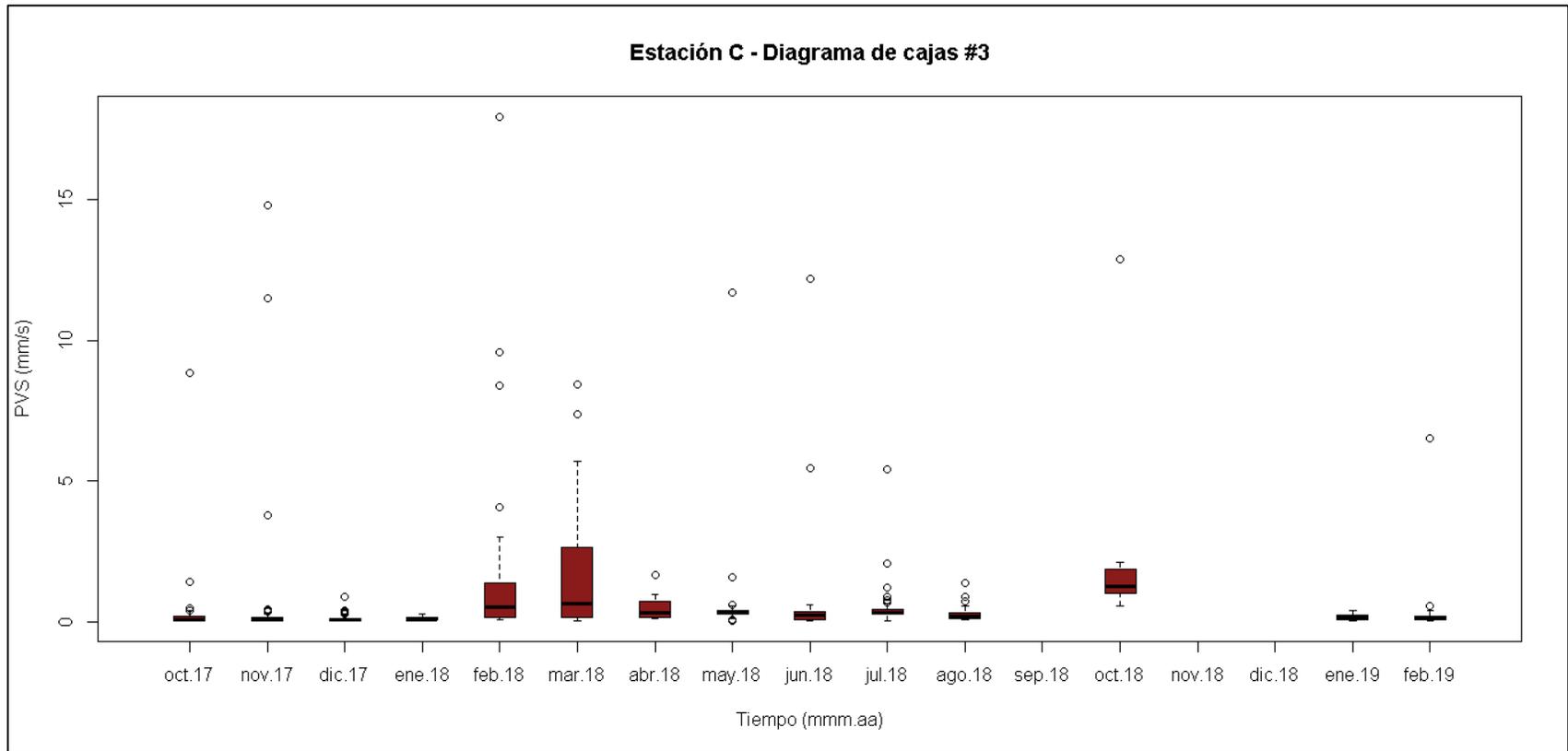


Figura 14. Estación C – Diagrama de cajas #3, máximos después del depurado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

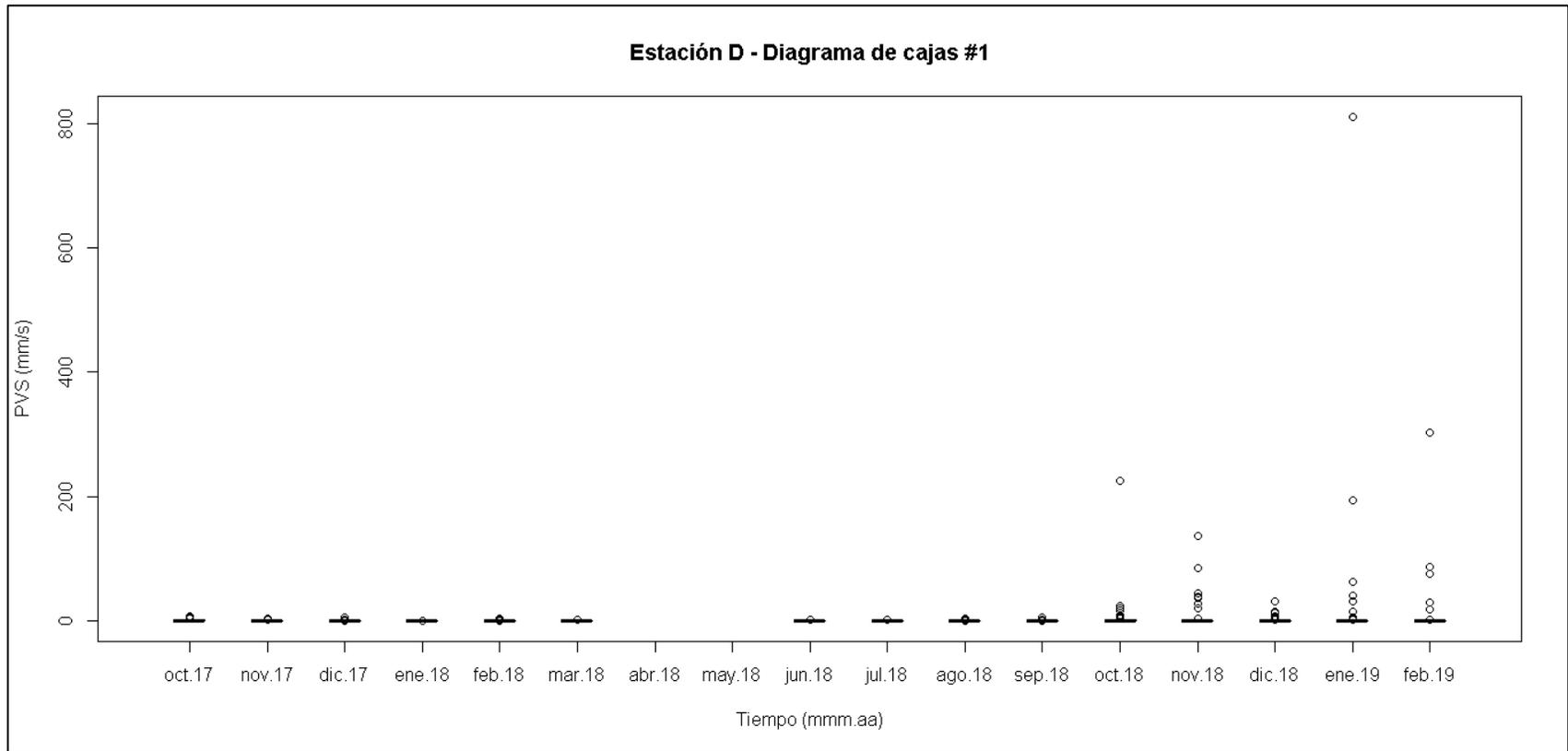


Figura 15. Estación D – Diagrama de cajas #1, máximos después del filtrado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

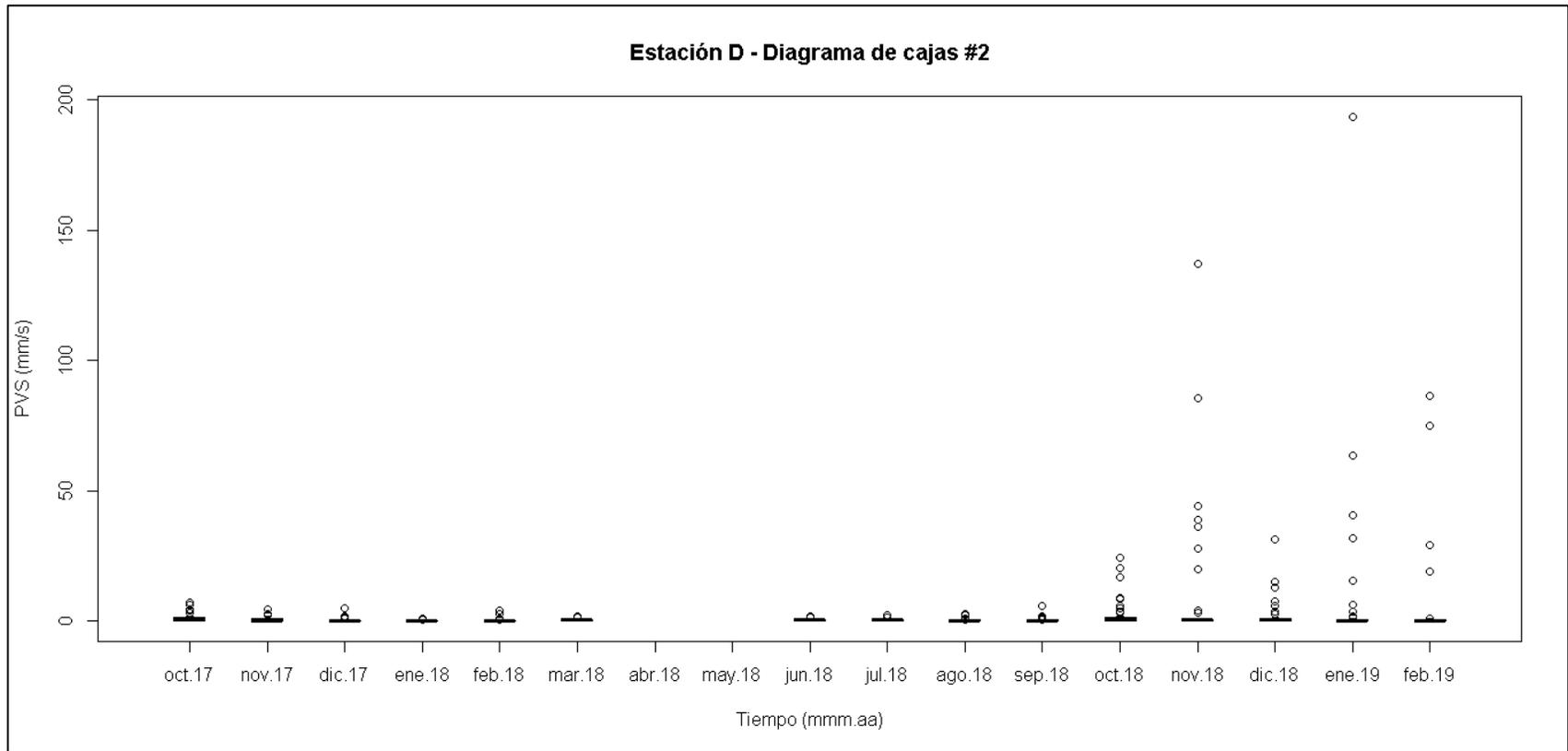


Figura 16. Estación D – Diagrama de cajas #2, máximos después del depurado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

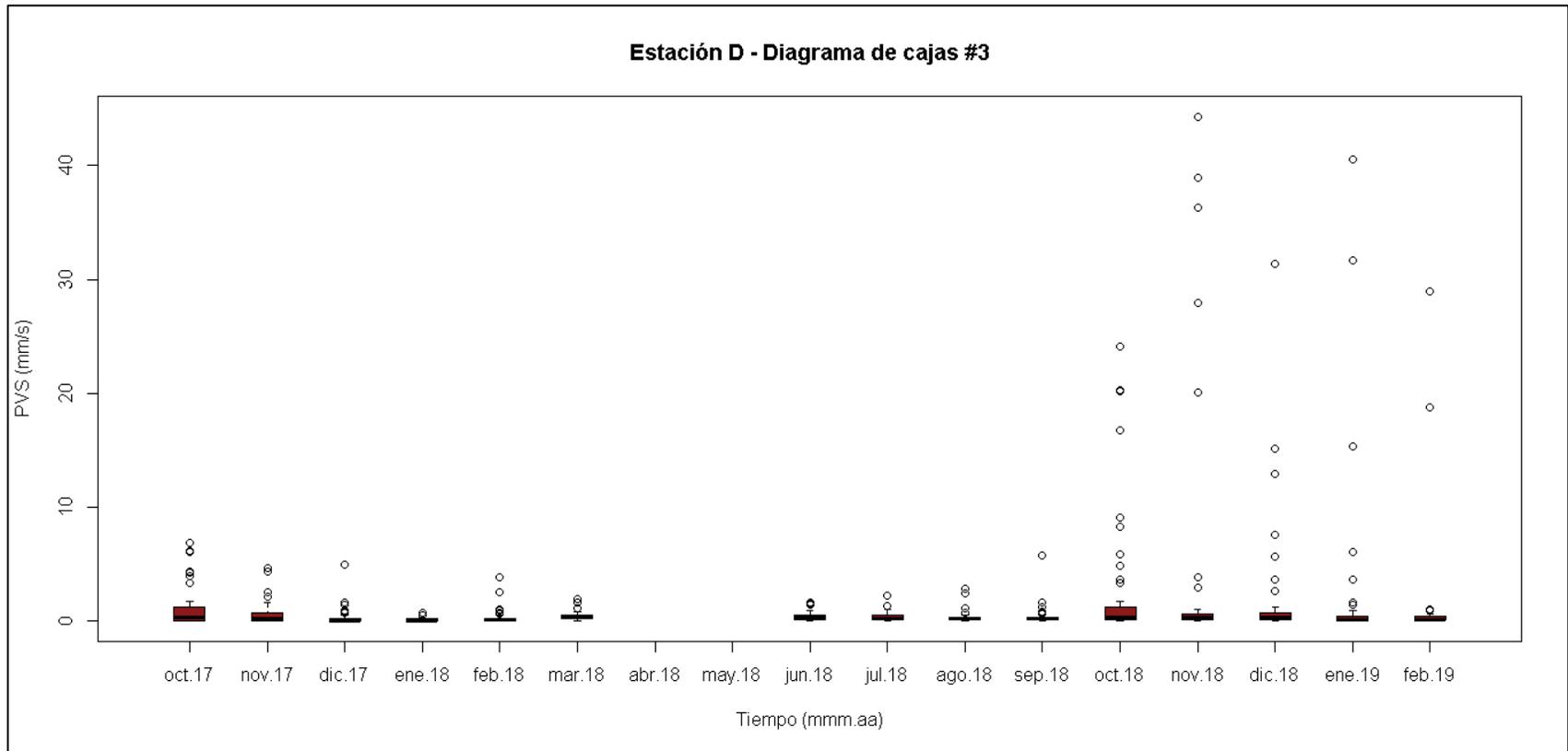


Figura 17. Estación D – Diagrama de cajas #3, máximos después del depurado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

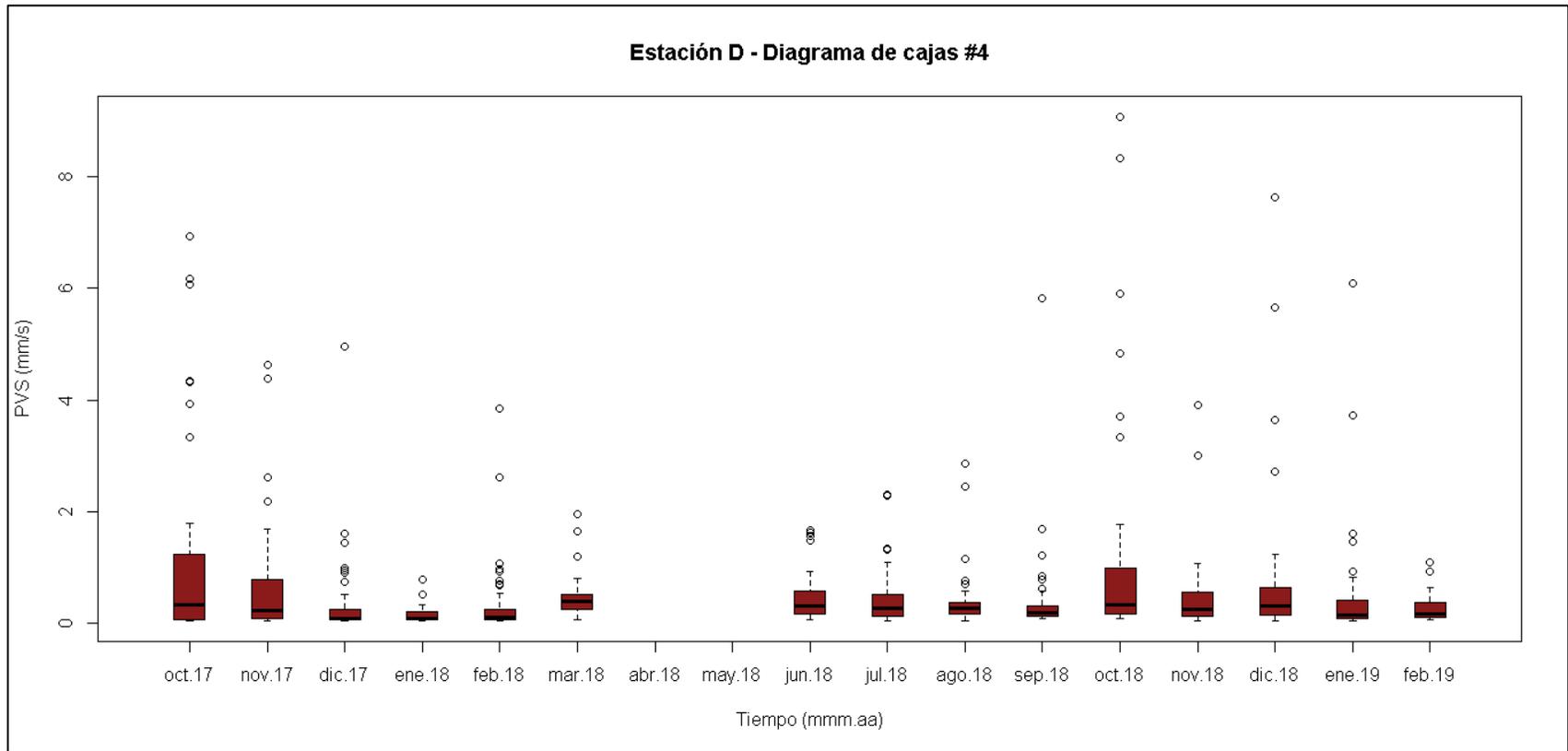


Figura 18. Estación D – Diagrama de cajas #4, máximos después del depurado.  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

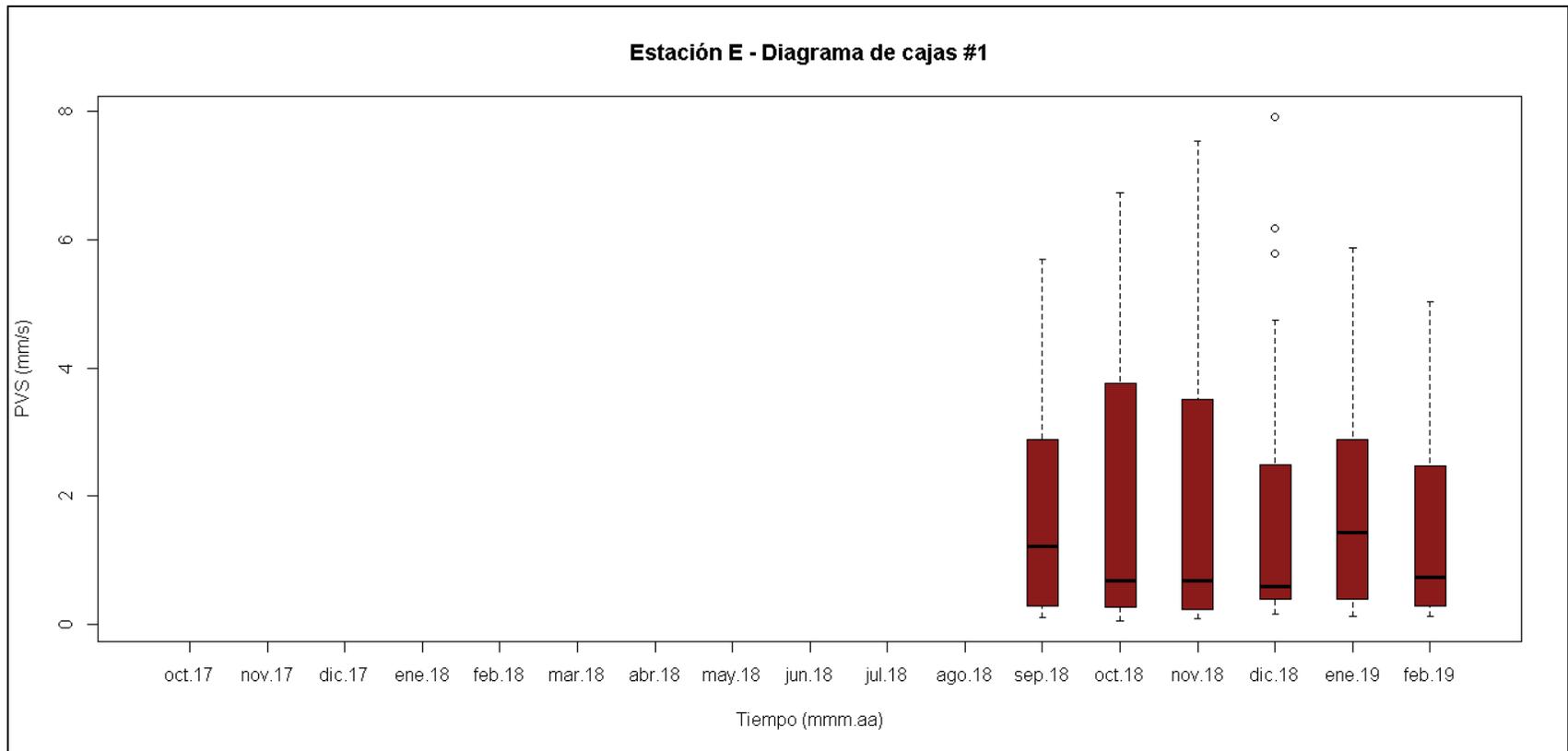


Figura 19. Estación E – Diagrama de cajas #1, máximos después del filtrado.

Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

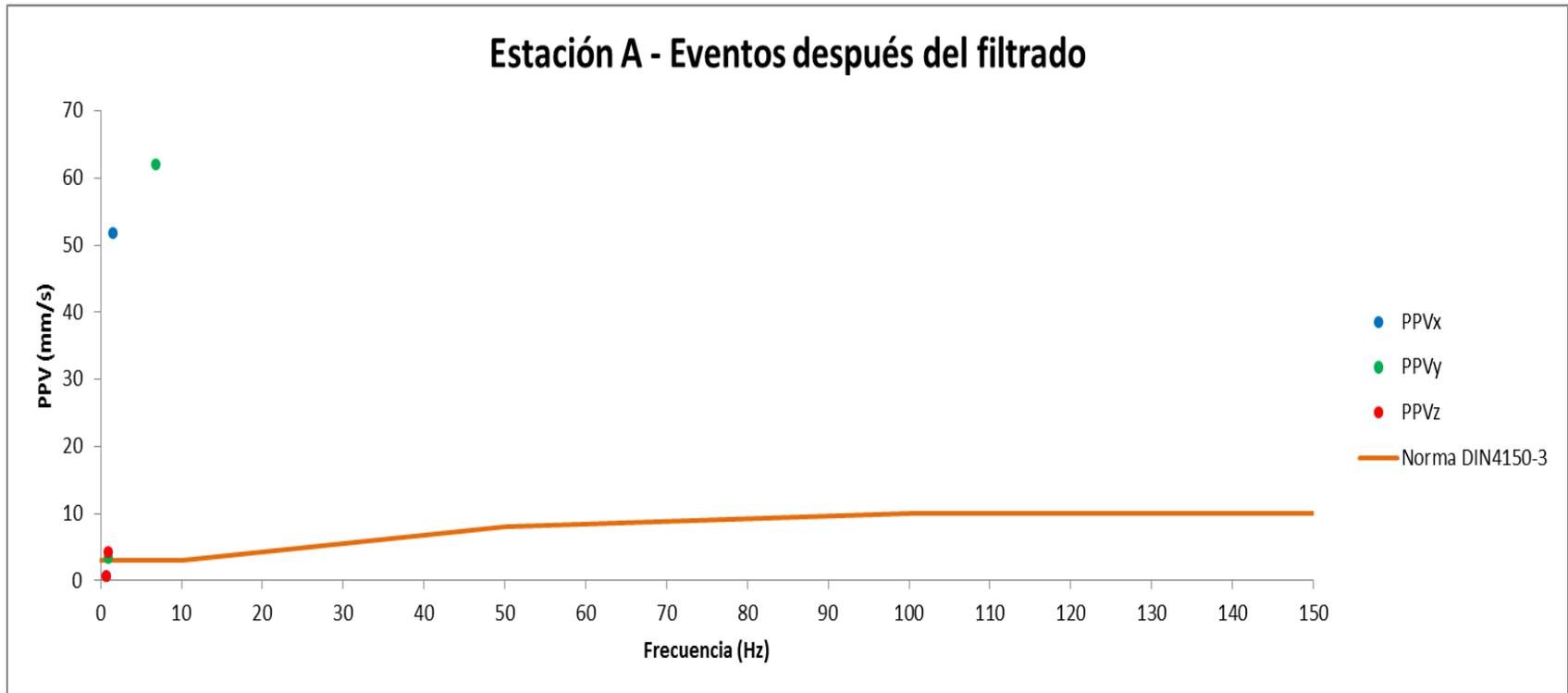


Figura 20. Estación A – Eventos después del filtrado.

Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

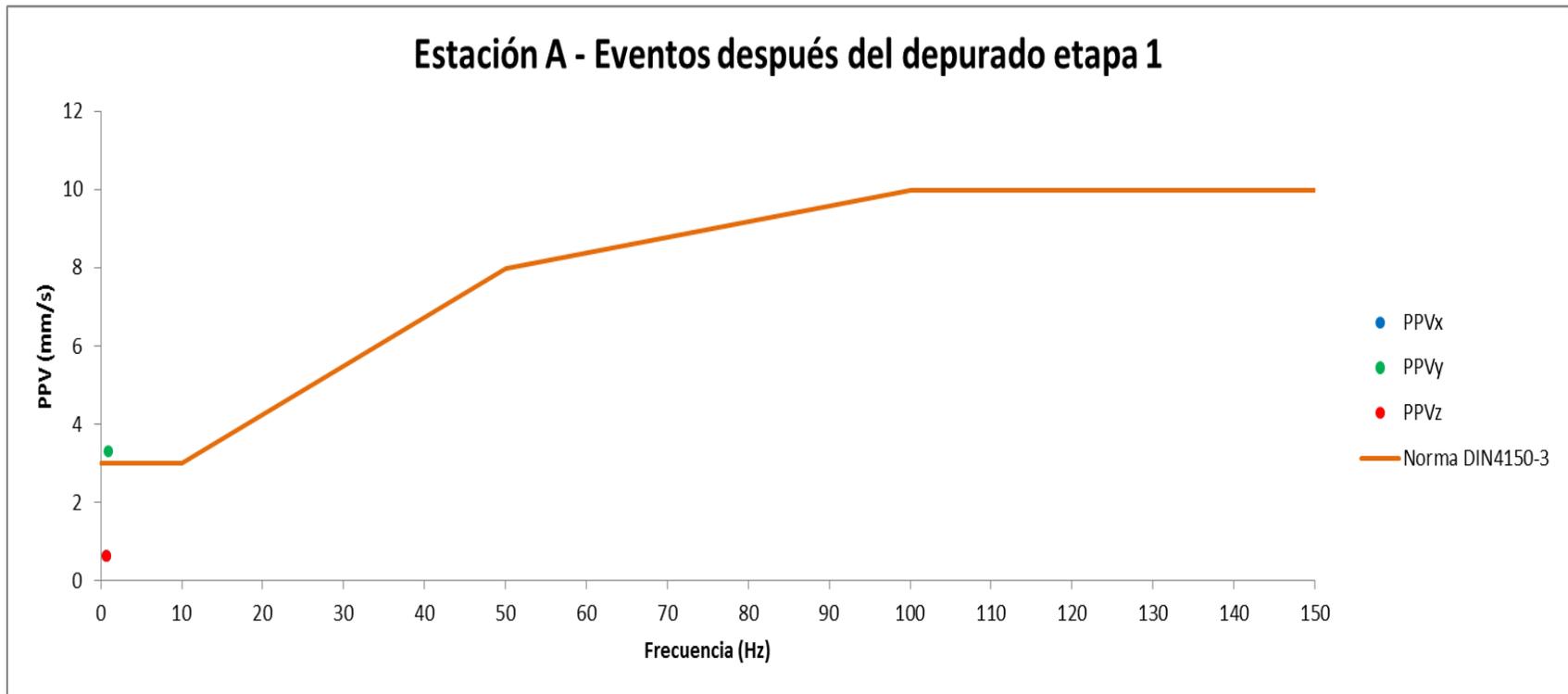


Figura 21. Estación A – Eventos después del depurado etapa 1.

Fuente: Autoría propia.

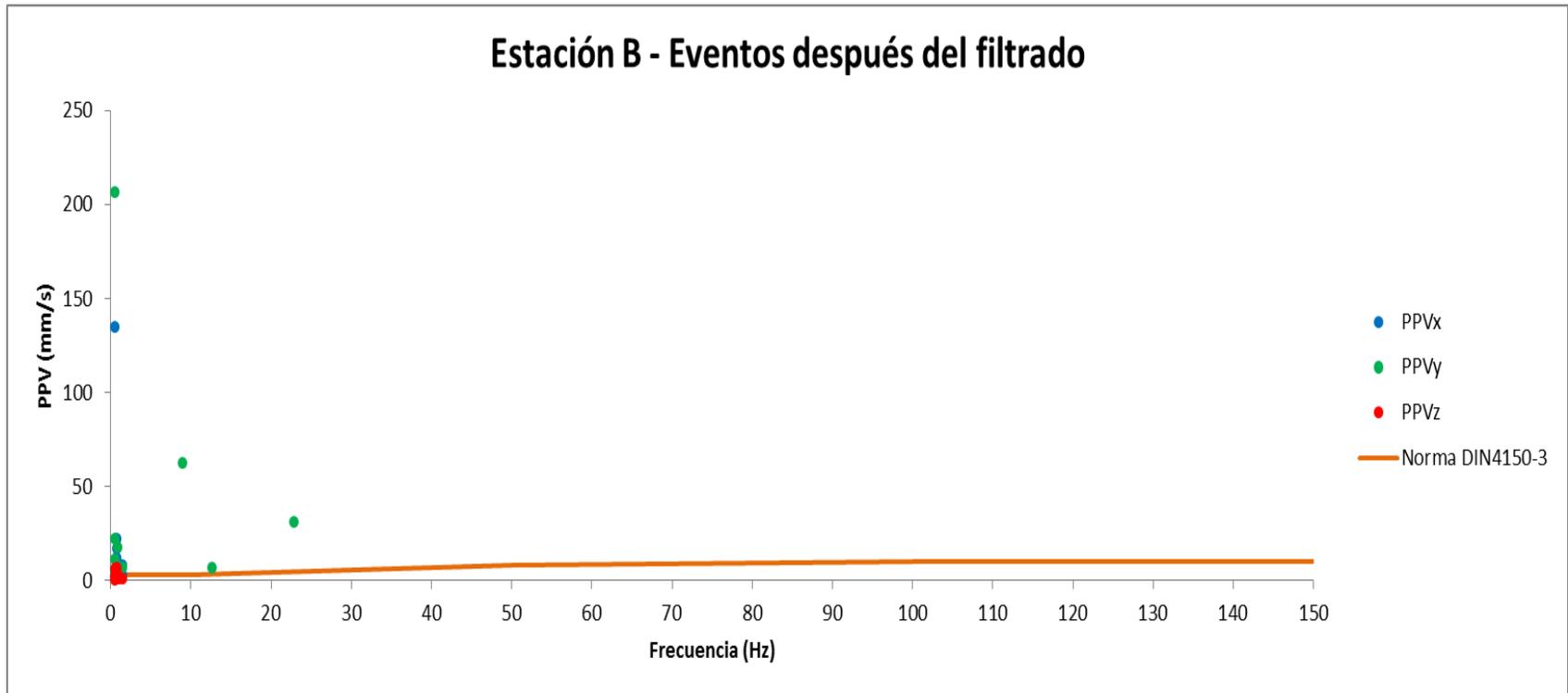


Figura 22. Estación B – Eventos después del filtrado.

Fuente: Autoría propia.

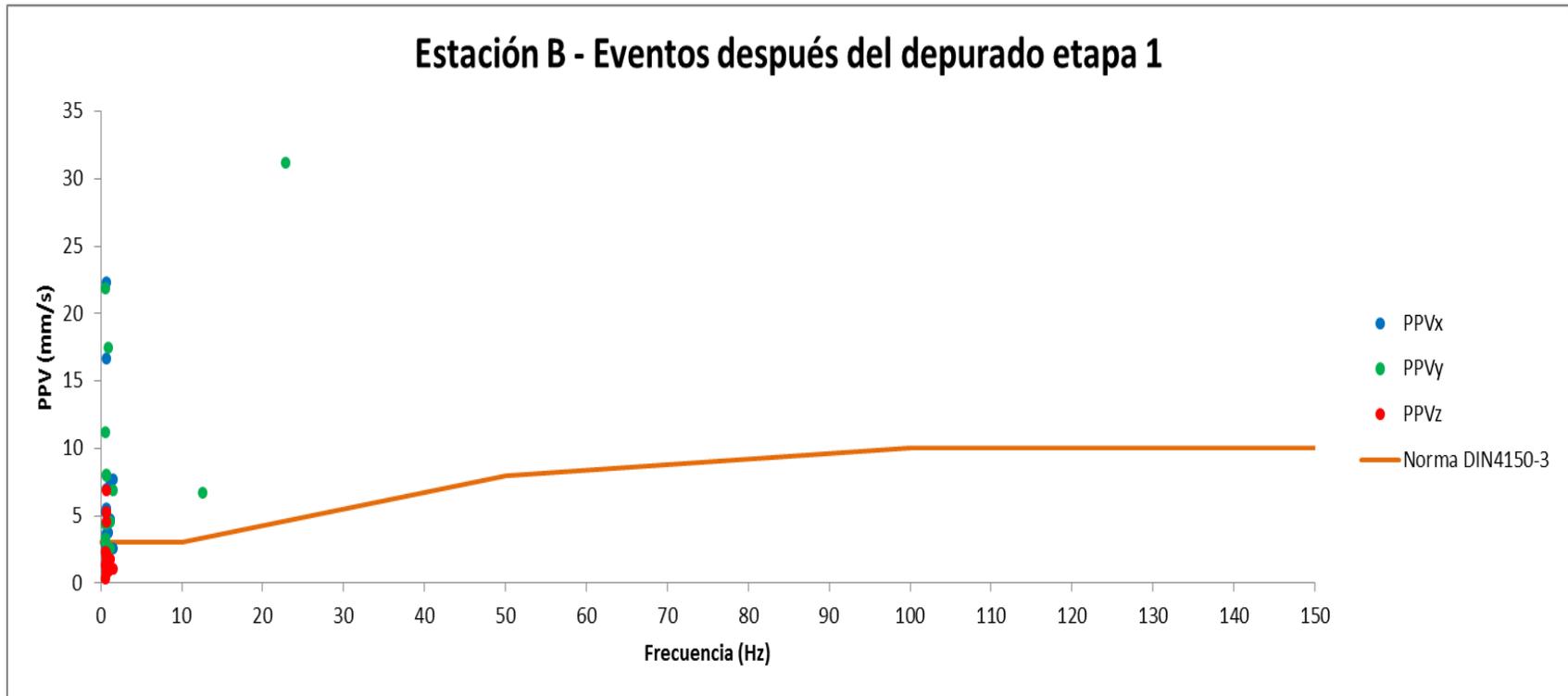


Figura 23. Estación B – Eventos después del depurado etapa 1  
Fuente: Autoría propia.

DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALIDACIÓN PARA LOS DATOS DE ENTRADA AL MODELO DE CAMPO LEJANO DE K-2 INGENIERÍA S.A.S.

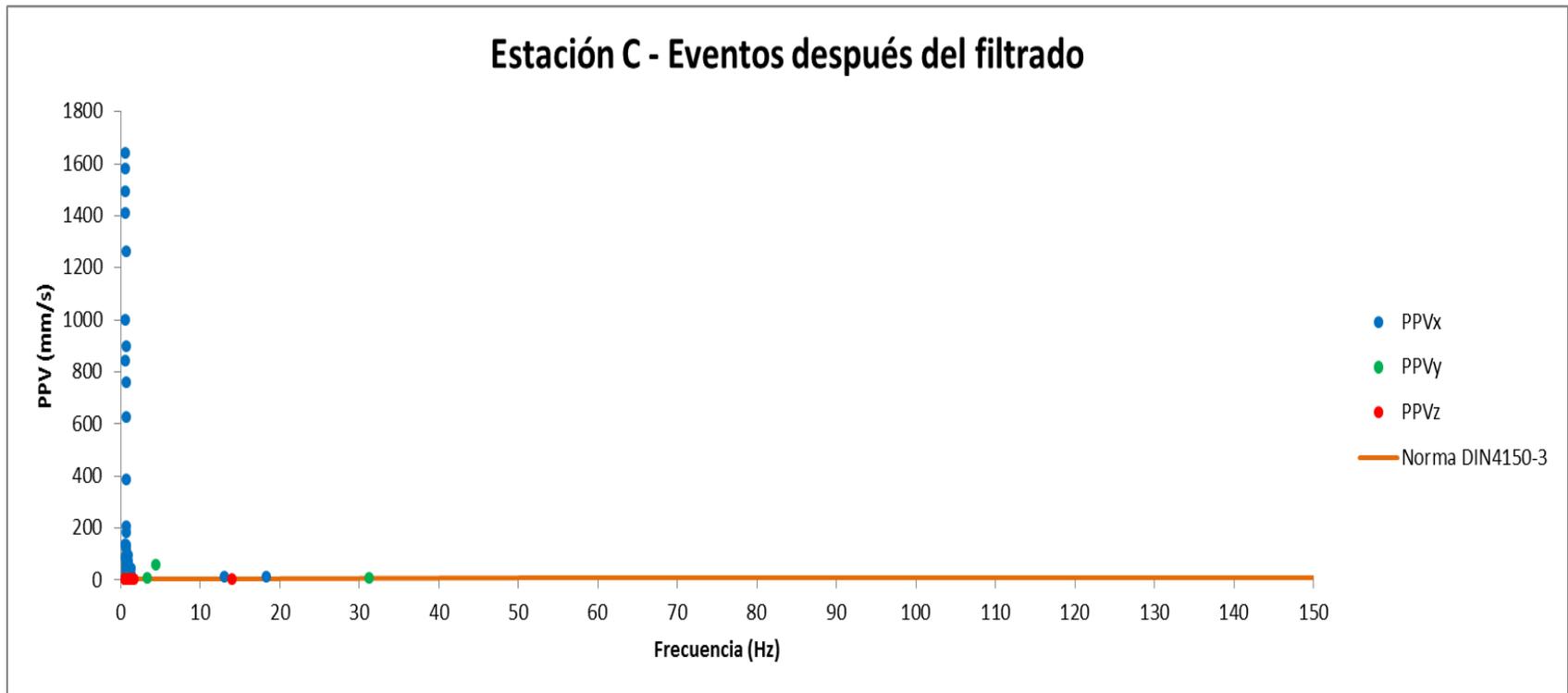


Figura 24. Estación C – Eventos después del filtrado.

Fuente: Autoría propia.

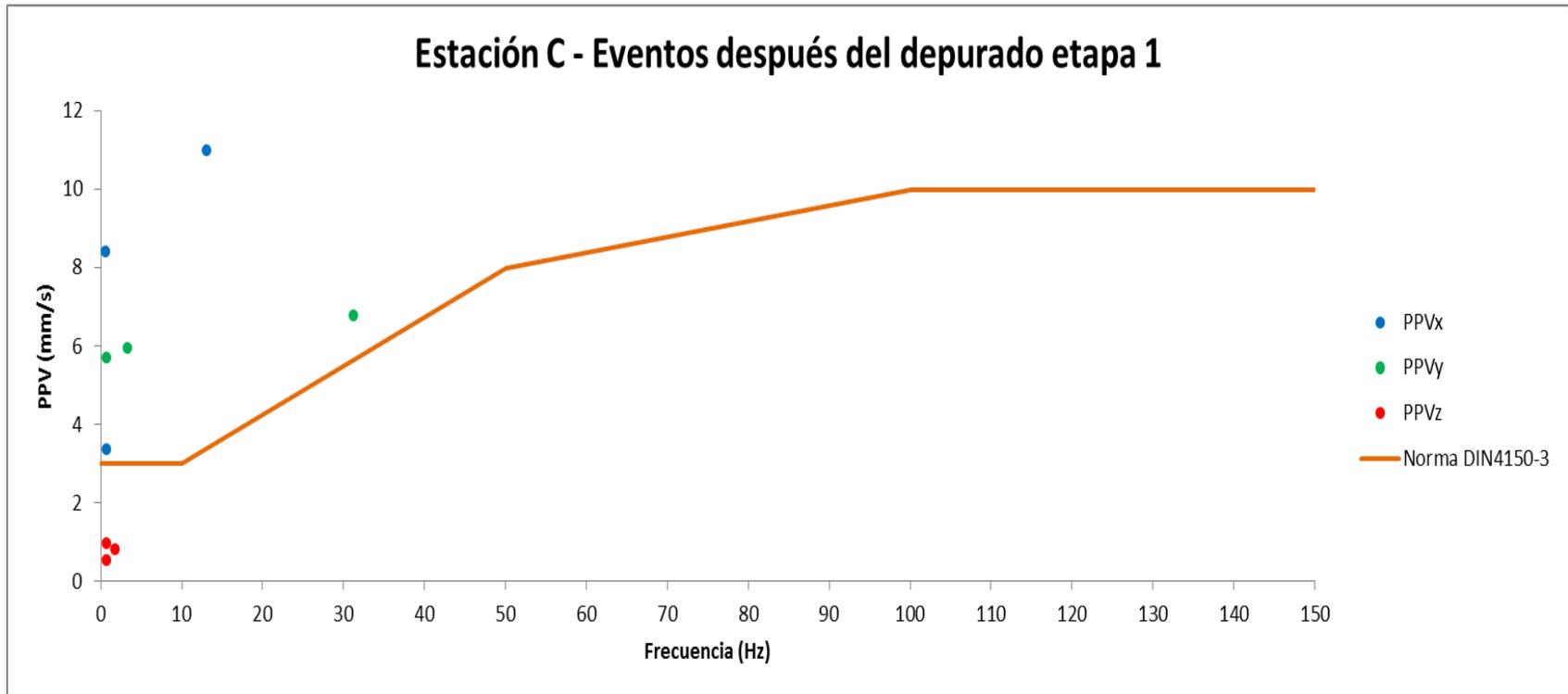


Figura 25. Estación C – Eventos después del depurado etapa 1.

Fuente: Autoría propia.

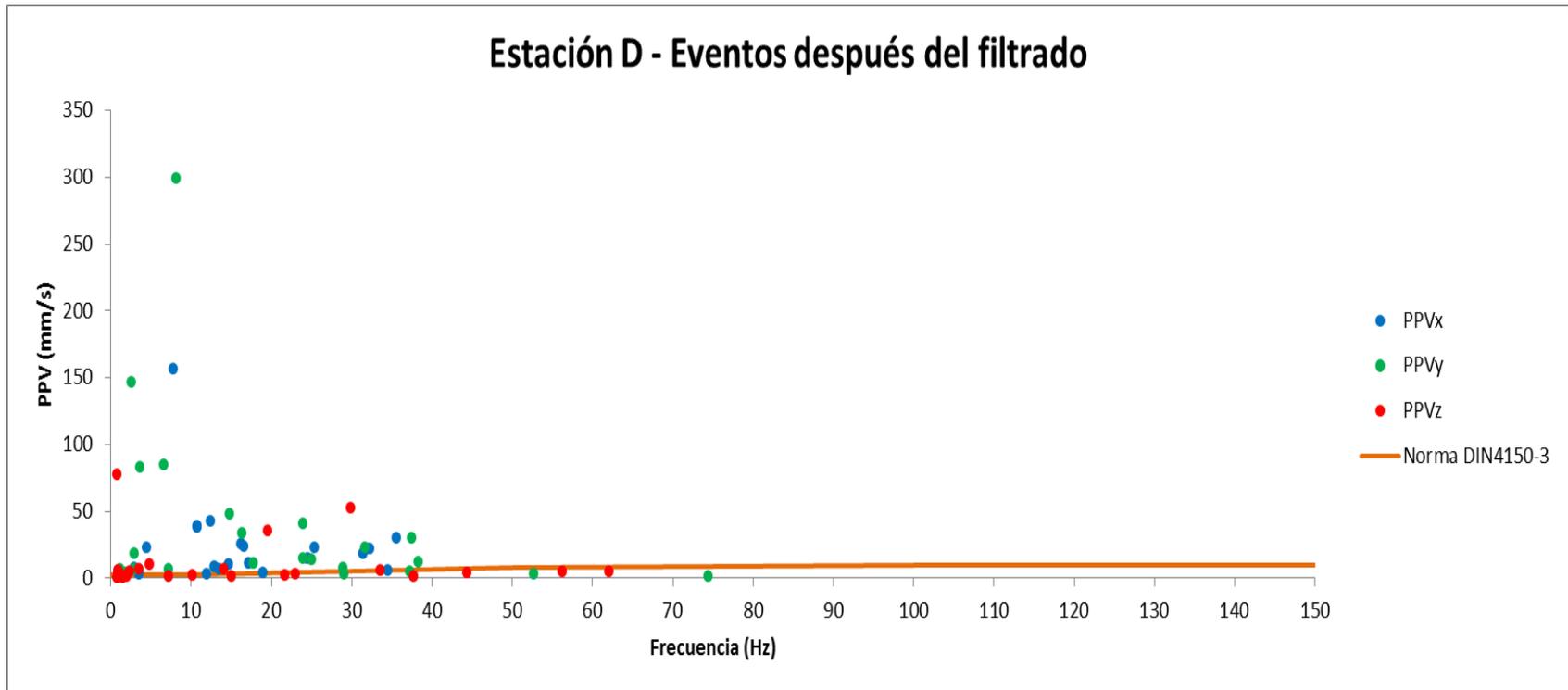


Figura 26. Estación D – Eventos después del filtrado.

Fuente: Autoría propia.

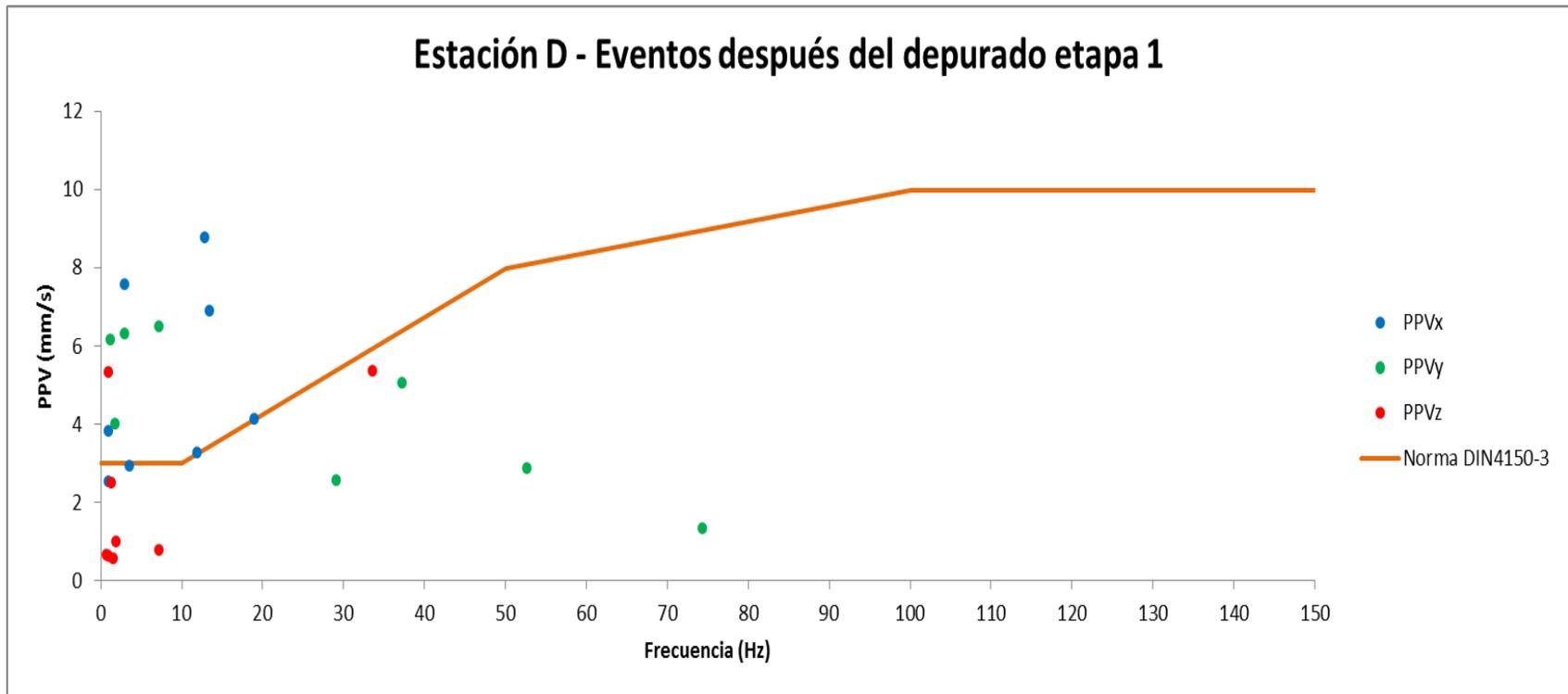


Figura 27. Estación D – Eventos después del depurado etapa 1.

Fuente: Autoría propia.

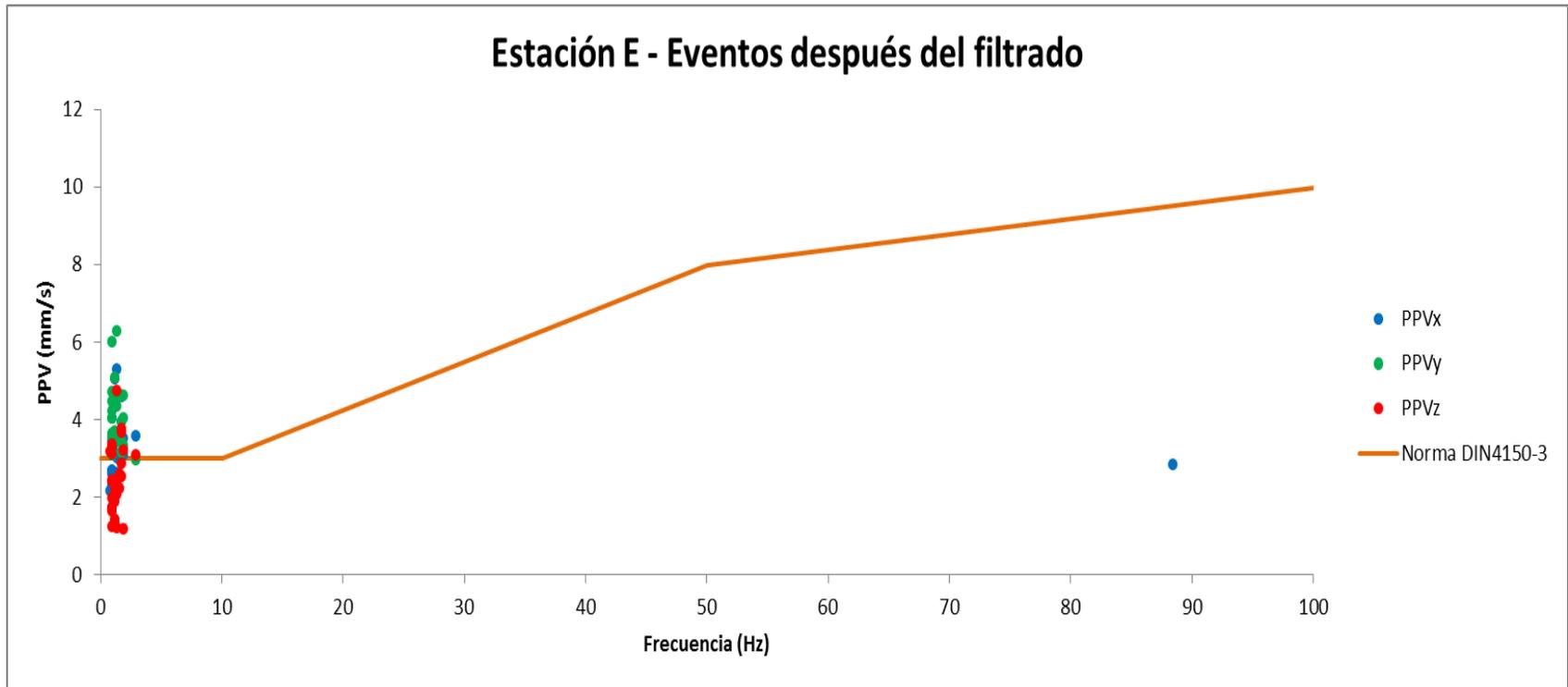


Figura 28. Estación E – Eventos después del filtrado.  
Fuente: Autoría propia.

**Etapa 2: Depuración por caracterización.** Para realizar esta depuración es necesario tener la caracterización de cada posible espectro adyacente al sector de la voladura, como lo son: movimiento de tráfico vehicular, uso de herramienta mediana y menor, movimiento de personal, sismos, etc. A la fecha de finalización de la práctica empresarial no existe dicha caracterización, por ende, es imposible realizar esta etapa de depurado.

### **Emparejamiento**

**Plantilla de voladuras.** En este archivo Excel se insertó la información concerniente a las voladuras, entre las cuales se enmarcan como más importantes para la finalidad de la práctica empresarial las siguientes: lugar de la voladura, fecha de detonación, distancia lineal entre el sitio explosión y la ubicación de la estación, la carga operante, la velocidad pico de la partícula (PPVX, PPVY, PPVZ) y la suma vectorial de estas últimas (PVS).

Se organizaron por tablas de manera individual por estaciones (05 tablas) una al lado de otra adyacentes a la tabla principal (total: seis tablas en una) con la información neta de la voladura, más adelante se ilustra la plantilla que se usó.

**Bitácora de Voladuras.** Archivo entregado por la empresa al practicante, cuyo contenido se usó en la plantilla del ítem anterior, a la fecha de la practica fueron recibidos siete (07) ejemplares que almacenaban la información entre los meses de agosto de 2018 y febrero de 2019 (uno por mes), estos datos complementan la plantilla de voladuras para finalmente emparejar las fechas procesadas con la información depurada.

Cada evento registrado después de la depuración será anotado en la Plantilla de voladuras con sus respectivos PPV's y PVS en la fecha establecida por la Bitácora de voladuras; se presentaron situaciones en las que los valores de un evento son anotados en más de una fecha de voladura (debido al “frente de trabajo”<sup>12</sup>), alterando la exactitud del MCL.

---

<sup>12</sup> Locaciones en donde se presentan las voladuras.



### **Confidencialidad**

Por razones de privacidad y ley de tratamiento de datos, la información emparejada no será mostrada en el presente informe, así como el modelo de campo lejano, el proceso de emparejamiento y análisis del modelo de campo lejano es propio de la empresa K-2 ingeniería S.A.S. y su único fin es dar una guía más precisa al momento de realizar voladuras para la extracción de minerales sin afectar asentamientos cercanos al evento, por otro lado, dicha información aunque es parte del proceso de la entidad, no hace parte del objetivo de esta práctica empresarial.

## Capítulo 11

### Conclusiones y recomendaciones

Después de realizar el análisis de resultados y conociendo tanto los objetivos específicos como el general, se concluye lo siguiente:

La acumulación de información histórica de este tipo de actividad es totalmente relevante puesto que permite un mejor análisis del comportamiento de las vibraciones generadas por voladuras.

La selección de los datos es de alta prioridad a la hora del desarrollo del modelo de campo lejano ejecutado por la empresa K-2 ingeniería S.A.S.

El emparejamiento de la información entre la plantilla de voladuras y la bitácora de voladuras debe ser lo mas exacto posible para evitar datos redundantes o repetidos que alteran la gráfica (PPV vs Distancia) del comportamiento de la velocidad pico de la partícula en función de la distancia que recorre dicha vibración.

Finalmente se determinan los siguientes criterios para el ingreso de datos al modelo de campo lejano usado por K-2 ingeniería S.A.S.:

1. Todos los datos deben estar configurados bajo la norma DIN4150 Línea 3.
2. Todos los datos deben estar dentro del rango de las horas de voladuras, para la fecha de la práctica empresarial dicho rango fue: 04:30-05:30 y 16:30-17:30.
3. El valor máximo de la suma vectorial (PVS) para cada estación es: A=20 mm/s, B=35 mm/s, C=20 mm/s, D=10 mm/s, E=10 mm/s.
4. Desarrollar (crear) la depuración por caracterización.

Para finalizar, se recomienda: crear la caracterización de espectros según los eventos que den lugar a las vibraciones, de este modo, este ítem descartará eventos ajenos a la actividad de voladura de rocas registrados por los sensores; precisar el momento real de cada voladura puesto que mas de un sensor puede registrar la misma voladura con PVS's diferentes y mantener el historio de datos de cada estación.

### Lista de referencias

- 01dB ACOEM Group. (2016). *ORION User Manual*. ACOEM group.
- 01dB ACOEM Group. (2017). *dBTrait software, User Manual*. 01dB - Metravib S.A.S.
- Benjumea Cadavid, J. M. (2003). *Vibraciones causadas por actividad humana: caracterización, efectos y manejo en la Ingeniería Civil*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Borges Viralta, J. E. (Noviembre de 2004). *Research Gate*. Obtenido de Monitoreo, estudio y análisis de vibraciones asociadas al uso de voladuras con explosivos en los trabajos de ejecución del túnel Carrizalito de la línea del metro los Teques: [https://www.researchgate.net/publication/49183267\\_Monitoreo\\_estudio\\_y\\_analisis\\_de\\_vibraciones\\_asociadas\\_al\\_uso\\_de\\_voladuras\\_con\\_explosivos\\_en\\_los\\_trabajos\\_de\\_ejecucion\\_del\\_tunel\\_Carrizalito\\_de\\_la\\_linea\\_del\\_Metro\\_de\\_Los\\_Teques](https://www.researchgate.net/publication/49183267_Monitoreo_estudio_y_analisis_de_vibraciones_asociadas_al_uso_de_voladuras_con_explosivos_en_los_trabajos_de_ejecucion_del_tunel_Carrizalito_de_la_linea_del_Metro_de_Los_Teques)
- Castro Dávila, J. J. (2016). *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*. Recuperado el octubre de 2018, de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/163188.pdf>
- Cruzado Mendoza, F. B., & Diaz Choroco, K. A. (Marzo de 2017). *Repositorio institucional, Universidad Privada del Norte*. Obtenido de Análisis de la máxima carga operante en las vibraciones a campo lejano generadas por voladura, en minera Cerro Negro S.A., Cajamarca – 2017: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10905>
- Fuentes Fuentes, M. d., & Pinto Morales, L. H. (2008). Propuesta de guía de regulación colombiana para el control de vibraciones por voladuras de rocas en áreas urbanas RCOLVV.09. *Ingeniería, investigacion y desarrollo I2+D*, 26-38.
- K-2 Ingeniería S.A.S. (2017). *UDN/ingeniería*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <http://www.k2ingenieria.com/unidades-de-negocio/ingenieria/>
- K-2 Ingeniería S.A.S. (2017). *Home*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <http://www.k2ingenieria.com/>
- K-2 Ingeniería S.A.S. (2017). *Misión*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <http://www.k2ingenieria.com/mision/>
- K-2 Ingeniería S.A.S. (2017). *UDN/monitoreos*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <http://www.k2ingenieria.com/unidades-de-negocio/monitoreos/>
- K-2 Ingeniería S.A.S. (2017). *UDN/tecnologias*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <http://www.k2ingenieria.com/unidades-de-negocio/tecnologias/>

Martin, J. (Junio de 2006). Analizadores de espectros tipo II. El analizador FFT. *Revista española de electronica*, 78-81. Obtenido de Analizadores de espectros. Tipos II. El analizador FFT: [http://www.redeweb.com/\\_txt/619/78.pdf](http://www.redeweb.com/_txt/619/78.pdf)

Ministerio de minas y energia de Colombia. (29 de Mayo de 2015). *Glosario tecnico minero*. Obtenido de GLOSARIO MINERO FINAL: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/698204/GLOSARIO+MINERO+FINAL+29-05-2015.pdf/cb7c030a-5ddd-4fa9-9ec3-6de512822e96>

Norma DIN4150-3 (1999).

Norma DIN45669-1 (1995).

Norma DIN45669-2 (1995).

Orihuela Castillo, S. M., & Dapello Vizcarra, J. R. (Junio de 2011). *Diseño de un modelo predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una mina modelo*. Obtenido de Repositorio PUCP: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/215>

Otero, D. Z. (Julio de 2017). *ResearchGate*. Obtenido de ONDAS SÍSMICAS, su importancia para la geofísica y la humanidad: [https://www.researchgate.net/publication/322747134\\_ONDAS\\_SISMICAS\\_su\\_importancia\\_para\\_la\\_geofisica\\_y\\_la\\_humanidad](https://www.researchgate.net/publication/322747134_ONDAS_SISMICAS_su_importancia_para_la_geofisica_y_la_humanidad)

Pinto Morales, L. H., Fuentes Fuentes, M. D., & Hernandez, J. A. (2013). Monitoreo y control de vibraciones por efecto de voladuras en el tunel Sumapaz, conecion Bogota-Girardot. *Ingeniería, investigación y desarrollo I2+D*, 15-21.

Universidad Pontificia Bolivariana. (2018). *Guia para la presentacion de anteproyecto, Plan de trabajo o Informes de avance de trabajos de grado*.

W. N. Venables; D. M. Smith; R Core Team. (11 de Marzo de 2019). *R-intro*. Obtenido de <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf>