

ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ



ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ (PLMB)

MONITOREO AMBIENTAL: RUIDO
DOCUMENTO N° ETPLMB-ET19-L02-PRT-I-0004_RB

JUNIO DE 2017



LISTA DE DISTRIBUCIÓN

DEPENDENCIA

No. de copias

CLIENTE Financiera de Desarrollo Nacional (FDN)	1
Centro de Documentación del Proyecto	1

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Revisión del documento	Sección modificada	Fecha de modificación	Observaciones
A	-	06-06-2017	Versión original
B	Cap 1.6, 1.7,1.8,1.10,1.11	06-07-2017	Corrección a comentarios de interventoría

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

Contrato:		ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA DEL TRAMO 1 DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ (PLMB)			
Título Documento:		MONITOREO AMBIENTAL: RUIDO			
Documento No. :		ETPLMB-ET19-L02-PRT-I-0004_RA			
A P R O B A C I O N	Número de revisión		A	B	C
	Ingeniero ejecutor	Nombre	M. Tirado	M. Tirado	
		Firma			
		Fecha	06-06-2017	06-07-2017	
	Vo. Bo Director de Departamento	Nombre	I. Silva	I. Silva	
		Firma			
		Fecha	06-06-2017	06-07-2017	
	Vo. Bo Director de División	Nombre	A. Amaya	A. Amaya	
		Firma			
		Fecha	06-06-2017	06-07-2017	
	Vo. Bo Coordinador del Proyecto	Nombre	F. Sánchez	F. Sánchez	
		Firma			
		Fecha	06-06-2017	06-07-2017	
	Vo. Bo. Director del proyecto	Nombre	H. Abjean	H. Abjean	
		Firma			
Fecha		06-06-2017	06-07-2017		

TABLA DE CONTENIDO

1	PROTOCOLO PARA EL MONITOREO DE RUIDO	1
1.1	PARÁMETROS A ANALIZAR.....	1
1.2	Objetivo.....	1
1.3	ALCANCE	1
1.3.1	Definiciones	2
1.3.2	Referencia.....	3
1.4	METODOLOGÍA DETALLADA PARA TOMA DE MUESTRAS.....	4
1.4.1	Ruido ambiental.....	4
1.4.2	Emisión de ruido	5
1.5	METODOLOGÍA PARA PROCESAMIENTO DE DATOS	5
1.5.1	Ruido Ambiental:.....	5
1.5.2	Emisión de Ruido:.....	6
1.5.3	Elaboración de curvas de ruido	6
1.6	EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	7
1.7	FORMA DE PRESENTACIÓN DE DATOS.....	7
1.8	ANÁLISIS Y RESULTADOS	9
1.8.1	Interpretación de resultados	9
1.8.2	Incertidumbre de la medición.....	10
1.9	SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	11
1.10	MODELACIÓN DE RUIDO	14
1.11	VIBRACIONES	15
1.11.1	EQUIPO A UTILIZAR.....	15
1.11.2	METODOLOGÍA	16
1.12	PROGRAMA DE TRABAJO	18

TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1 Criterios de selección puntos de monitoreo ruido	12
Fotografía 1.2 Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de ruido	13

TABLA DE FIGURAS

Figura 1.1 Software de simulación CadnaA.....	14
Figura 1.2 Configuración.....	15
Figura 1.3 Acelerómetro Sem fio WLS Tri-Axial.....	16
Figura 1.4 Sistema de adquisición para las señales de vibración.....	16
Figura 1.5 Ubicación de los acelerómetros.....	17
Figura 1.6 Resumen del proceso de tratamiento de los datos de vibración.....	17

TABLA DE ANEXOS

Anexo 1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO.....	19
Anexo 2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	20

1. PROTOCOLO PARA EL MONITOREO DE RUIDO

Este documento establece la metodología y los procedimientos necesarios para determinar los niveles de presión sonora en el área de afección del proyecto de la primera línea de metro de Bogotá PLMB y que servirá para establecer la línea base del componente atmosférico-ruido y vibración en el estudio mencionado, de acuerdo a lo establecido en las especificaciones técnicas ET-19 (apartado 1.5.6.1.3.4 Ruido y vibración).

Los métodos de muestreo y de cálculo utilizados serán los establecidos por la Resolución 627 de abril de 2006 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) los cuales son comparados (si aplica) con los estándares máximos permisibles aplicables, cumpliendo a cabalidad con la metodología normativa.

Se contará con los respectivos certificados de calibración, necesarios para la verificación en campo.

1.1 PARÁMETROS A ANALIZAR

Los parámetros mínimos a analizar serán los indicados por las especificaciones técnicas; o para el caso, considerando que se pretende realizar el diagnóstico del ambiente por ruido y que se busca identificar zonas críticas y posibles contaminadoras por emisión de ruido, la medición de ruido ambiental permitirá visualizar la realidad.

El parámetro a analizar comprende los siguientes descriptores de ruido: Leq , $L90$, $Lmax$ y $Lmin$.

Teniendo en cuenta que los parámetros antes mencionados, deberán ser analizados por un laboratorio acreditado por el IDEAM, los protocolos de toma y análisis de muestras se realizarán con base en los establecidos por dicho laboratorio ya que estos son para los que se otorgó la acreditación y no pueden ser modificados por externos.

1.2 OBJETIVO

- Cuantificar los niveles de emisión de ruido y ruido ambiental, en decibeles (dBA que se presentan)
- Realizar la comparación de los resultados obtenidos con la normatividad asociada, i.e. la resolución 627 de 2006 del MAVDT.
- Realizar las curvas de ruido (isofonas) de las zonas evaluadas a partir de las mediciones tomadas en campo.



1.3 ALCANCE

El alcance del presente estudio es evaluar los siguientes parámetros para horario diurno y nocturno y compararlos con los estándares máximos permitidos por normatividad ambiental colombiana asociada, a saber:

Nivel sonoro continuo equivalente ponderado A diurno:

LAeqD
Nivel sonoro continuo equivalente ponderado A diurno:
LRAeqD
Nivel sonoro continuo equivalente ponderado A nocturno:
LAeqN
Nivel sonoro continuo equivalente ponderado A nocturno:
LRAeqN.

Los resultados obtenidos en las mediciones de ruido ambiental, permiten obtener el diagnóstico ambiental por ruido de la zona. Los resultados se representan gráficamente por curvas de ruido los cuales permiten visualizar el ruido ambiental e identificar zonas críticas.



1.3.1 Definiciones

A continuación se presentan las definiciones necesarias para la correcta aplicación de la resolución 627 de 2006 de MAVDT.

Horarios. Para efectos de aplicación de la resolución se establecen los siguientes horarios:

- Diurno: de las 7:01 a las 21:00 horas.
- Nocturno: de las 21:01 a las 7:00 horas.

Ruido acústico. Es todo sonido no deseado por el receptor. En este concepto están incluidas las características físicas del ruido y las psicofisiológicas del receptor, un subproducto indeseable de las actividades normales diarias de la sociedad.

Mapas de ruido: Se entiende por mapa de ruido, la representación de los datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indica la superación de un valor límite, el número de personas afectadas en una zona dada y el número de viviendas, centros educativos y hospitales expuestos a determinados valores de ese indicador en dicha zona.

Onda acústica: Es la propagación (onda) de una vibración en un determinado medio material.

El sonido: Es una onda acústica capaz de producir una sensación auditiva. Hay ondas acústicas que no son sonidos (Infrasonidos y Ultrasonidos). Una misma onda acústica puede ser un sonido para un ser vivo y no para otro

Tono puro: Es un sonido en el cual la presión sonora varía en posición y tiempo senoidalmente.

Frecuencia (f): Número de oscilaciones por segundo (Unidad SI: 1/s = Hz, Hertzio).

La frecuencia de un sonido y de una onda acústica en general, es una magnitud física muy importante pues:

- El oído humano de un adulto normal solo es capaz de detectar ondas acústicas entre 20 y 20000 Hz.
- El comportamiento acústico de los materiales y soluciones constructivas depende mucho de la frecuencia.

Bandas de Frecuencia: Zona del espectro que se caracteriza por dos frecuencias límite (inferior y superior) y una frecuencia central.

Ancho de banda: Diferencia entre las dos frecuencias límite.

Bandas de Tercios de Octava (1/3): Es la tercera parte de una banda de octava (Una octava es una banda de frecuencias cuya frecuencia superior es el doble de la inferior), es decir, cada octava se divide en tres bandas de frecuencias.

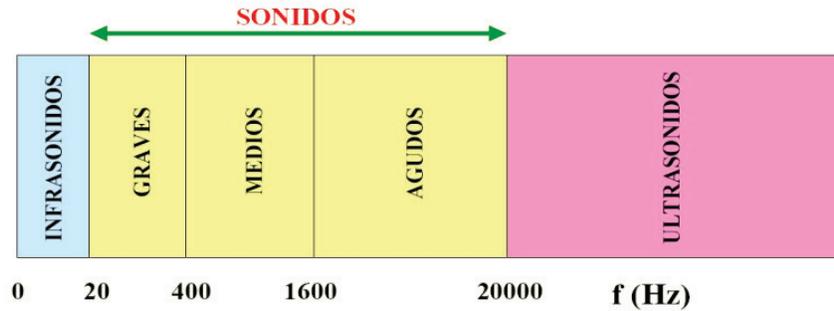


Ilustración 1. Tipos de sonido según la frecuencia

Percepción del sonido: Sonoridad
Banda de frecuencias audibles 20-20000 Hz
Umbral de dolor 130 dBA
Umbral de audición 0 dBA

El oído no tiene la misma sensibilidad para todas las frecuencias. Los umbrales de audición varían con la frecuencia, ver figura a continuación.

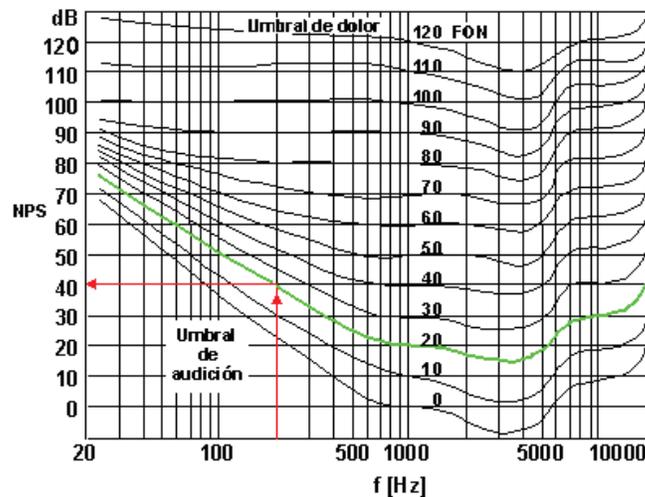


Ilustración 2. Umbral de audición y dolor

1.3.2 Referencia

Resolución 0627 del 7 de abril de 2006 MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL



1.4 METODOLOGÍA DETALLADA PARA TOMA DE MUESTRAS

La metodología a utilizar está basada en los lineamientos establecidos por la resolución 627 de 2006. El procedimiento técnico específico llevado en K2 INGENIERÍA S.A.S. para las mediciones de ruido ambiental, se encuentra acreditado por el IDEAM mediante la resolución 0031 del 21 de enero de 2013 y con extensión del alcance mediante la resolución 3330 del 18 de noviembre de 2014, Con renovación de la acreditación mediante la resolución 1695 del 4 de agosto de 2016.

Antes y después de cada medición, el sonómetro se verificó con su respectivo pistófono, se midió la velocidad del viento con un sensor in-situ de manera que reportara preferiblemente una magnitud inferior a los 3 m/s, o en su defecto se definió una microlocalización que favoreciera las bajas velocidades. La pantalla antiviento se instaló sobre el micrófono siempre que el equipo se encontrara midiendo. No se realizaron mediciones durante lluvias y cerca de pavimentos mojados por los cuales transitan vehículos. De igual manera, se procuró un mínimo número de personas alrededor del sonómetro, siendo como mínima la presencia del operador del equipo. Las lecturas fueron tomadas con el filtro de ponderación de frecuencia A y respuesta lenta (Slow), a fin de cuantificar los niveles equivalentes de presión sonora, y filtro frecuencial 1/3 de octavas con respuesta Impulse para realizar los ajustes normativos.

Las mediciones unitarias de ruido ambiental tienen una duración de una (1) hora según lo establecido por la Res. 627 de 2006. Los parámetros de interés fueron: los niveles equivalentes sonoros (Leq), Leq máximos, Leq mínimos para cada horario de medición.

1.4.1 Ruido ambiental

En este caso, el sensor del equipo se ubicó a una altura de 4 m, con ayuda de un trípode como se muestra en la Ilustración 3, rotándose en las direcciones Norte, Sur, Este, Oeste y Vertical hacia arriba; con duración distribuida uniformemente durante la hora de medición (10 minutos por dirección). Esta metodología está conforme a los lineamientos definidos en el Anexo 3, Capítulo II de la Resolución 627 de 2006; denominado "Procedimiento de Medición para Ruido Ambiental". Cabe anotar que las mediciones de ruido ambiental se realizaron en horario diurno y nocturno para un día ordinario y un día dominical.

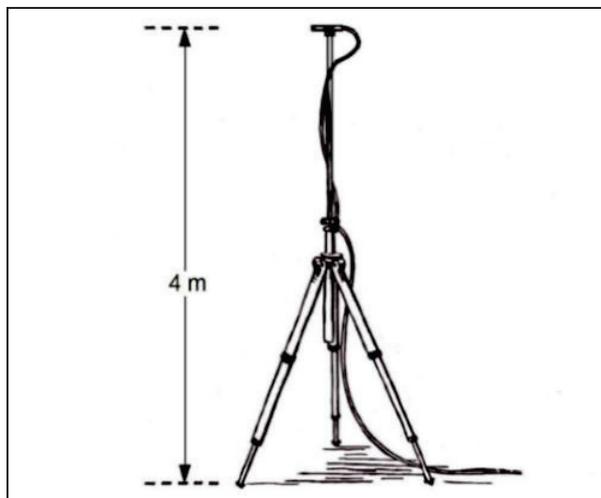


Ilustración 3. Altura del micrófono para medir ruido ambiental.

Fuente: Proyecto de Protocolo para la medición de emisión de ruido, ruido ambiental y realización de mapas de ruido, actual MADS, Versión 8, 2009

Las mediciones unitarias de emisión de ruido tuvieron una duración de una hora según lo recomendado por la Res. 627 de 2006. Los parámetros de interés fueron: los niveles equivalentes sonoros (LAeq), Leq máximos, Leq mínimos para cada horario de medición y LAeq residual.

1.4.2 Emisión de ruido

Para la medición de emisión de ruido, el sonómetro se ubicó a 1.2 metros de altura y a 1.5 metros de distancia del límite medianero de la fuente como se muestra en la Ilustración 4; para ello se situó el sonómetro en el costado de mayor emisión de la fuente. Se realizaron dos (2) procesos de medición, como se especifica en el Artículo 5 de resolución 627 de 2006; uno con la fuente ruidosa funcionando durante el período de tiempo de mayor emisión o incidencia, y con el otro, se obtuvo el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, LAeq,1h, el cual se corrigió para obtener tanto el nivel de emisión total LRAeq,1h, como el otro, sin la fuente funcionando, a fin de determinar el ruido residual, el mismo también se corrigió, obteniéndose el LRAeq,1h, Residual.

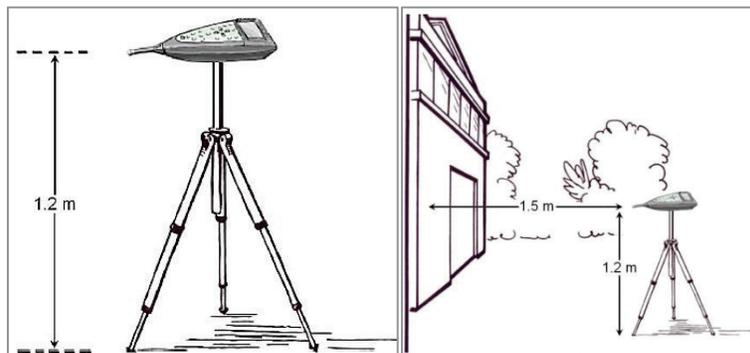


Ilustración 4. Altura del micrófono y distancia a fuente en mediciones de emisión de ruido

Fuente: Proyecto de Protocolo para la medición de emisión de ruido, ruido ambiental y realización de mapas de ruido, actual MADS, Versión 8, 2009

1.5 METODOLOGÍA PARA PROCESAMIENTO DE DATOS

1.5.1 Ruido Ambiental:

El resultado de la medición de ruido ambiental es obtenido mediante la siguiente expresión (Res. 627 de 2006):

$$L_{Aeq} = 10 \times \text{Log} \left(\left(\frac{1}{5} \right) \times \left(10^{\frac{L_N}{10}} + 10^{\frac{L_O}{10}} + 10^{\frac{L_S}{10}} + 10^{\frac{L_E}{10}} + 10^{\frac{L_V}{10}} \right) \right)$$

Ecuación 1

Dónde:

LAeq = Nivel equivalente resultante de la medición.

LN = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido norte.

LO = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido oeste.

L_S = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido sur.
 L_E = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido este.
 L_V = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical.

1.5.2 Emisión de Ruido:

El Artículo 9 de la Resolución 627 de 2006 del MAVDT, establece los estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido, expresados en decibeles ponderados A. Con base a estos, se realiza una comparación entre los resultados encontrados y los de norma nacional según el uso de suelo predominante y se calcula con la siguiente expresión:

$$Leq_{emisión} = 10 \log (10^{(L_{RAeq, 1h})/10} - 10^{(L_{RAeq, 1h, Residual})/10})$$

Dónde:

$Leq_{emisión}$: Nivel de emisión de presión sonora, o aporte de la fuente sonora, ponderado A.
 $L_{RAeq, 1h}$: Nivel corregido de presión sonora continuo equivalente ponderado A.
 $L_{RAeq, 1h, Residual}$: Nivel corregido de presión sonora continuo equivalente ponderado A residual.

El nivel L_{90} es equivalente al ruido residual si la operación en la planta es continua y no puede determinarse un valor exacto de presión sonora sin operación, según lo establecido en el artículo 8 por la Resolución 627 de 2006.

En lo que respecta a los ajustes, las mediciones se corrigieron por tono (K_T) y por impulso (K_I). Se debe resaltar que los niveles corregidos de presión sonora, son los que se compararon con los estándares máximos permisibles de ruido ambiental y emisión de ruido como se establece en el Artículo 6 “ajustes” parágrafo segundo de la Resolución 627 de 2006.

Se selecciona el mayor valor de K entre K_I , K_T , K_S , y K_R :

$$L_{RA(X),T} = L_{A(X),T} + (K_I, K_T, K_S, K_R)$$

Ecuación 2

Dónde:

K_I es un ajuste por impulsos (dBA(A))
 K_T es un ajuste por tono y contenido de información (dBA(A))
 K_R es un ajuste por la hora del día (dBA(A))
 K_S es un ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo bajas frecuencias (dBA(A))
(X) corresponde a L_{Aeq} resultante de la medición para este estudio

El nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, solo se corrige por un solo factor K, el de mayor valor en dBA(A), debido a lo que se quiere es abordar el mayor grado de molestia que se produce por las diversas fuentes en el área evaluada.



1.5.3 Elaboración de curvas de ruido

De acuerdo a los resultados de las mediciones, se procede a elaborar las representaciones gráficas de los indicadores de ruido ambiental, las denominadas curvas de ruido (isoruido), a una altura de cuatro (4) metros respecto al nivel del piso por cada horario de medición siguiendo la metodología y colores recomendados en la Resolución 627 de 2006 del MAVDT, como se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Colores recomendados para los mapas de ruido.

Zona de ruido dBA(A)	Color	Sombreado
Menor de 35	Verde claro	Puntos pequeños, baja densidad
35 a 40	Verde	Puntos medianos, media densidad
40 a 45	Verde oscuro	Puntos grandes, alta densidad
45 a 50	Amarillo	Líneas verticales, baja densidad
50 a 55	Ocre	Líneas verticales, media densidad
55 a 60	Naranja	Líneas verticales, alta densidad
60 a 65	Cinabrio	Sombreado cruzado, baja densidad
65 a 70	Carmín	Sombreado cruzado, media densidad
70 a 75	Rojo lila	Sombreado cruzado, alta densidad
75 a 80	Azul	Franjas verticales anchas
80 a 85	Azul oscuro	Completamente negro

Fuente: Tabla 1, ANEXO 5, Hoja 28, Resolución 627 del 7 de abril de 2006 del MAVDT

Para la elaboración de los mapas existen diferentes metodologías que permiten la construcción de las curvas de ruido. Se realizan las mediciones in situ obteniendo como resultado el valor LAeq en cada punto de ruido ambiental. Posteriormente se aplica la técnica de interpolación para estimar los valores desconocidos a partir de los registros tomados en campo. Actualmente los métodos más usados son Kriging e IDW (Inverse Distance Weighting) que se basan en la auto-correlación espacial de los puntos para la predicción y generación de superficies continuas.

1.6 EQUIPOS DE MEDICIÓN

Los sonómetros están equipados con análisis de frecuencia en tiempo real, de 1/1 ó 1/3 de banda octavas normalizadas que permite la obtención de resultados de Leq en bandas de frecuencia. De esta forma, se trata de sonómetros totalmente configurables de forma rápida y sencilla. Las unidades cuentan con puerto USB o memoria para la transmisión de datos a un PC.

Para verificar el correcto funcionamiento del equipo, cada sonómetro dispone de un calibrador acústico, el cual utiliza una sola frecuencia y un solo nivel sonoro. Para garantizar la calidad de los datos y en cumplimiento a la resolución 627 de 2006, K2ingeniería dentro del procedimiento (PRM403-1 Procedimiento para monitoreo de presión sonora) de medición estipula que se debe calibrar el sonómetro antes y después de cada medición, se debe dejar registro de lo mencionado anteriormente en los formatos FOM403-49 y FOM403-50 según corresponda a emisión de ruido o a mediciones de ruido ambiental.

1.7 FORMA DE PRESENTACIÓN DE DATOS

El informe técnico final tendrá la siguiente estructura:

1. Introducción
2. Objetivos y alcance
3. Generalidades.
 - 3.1. Monitoreo de ruido ambiental.

- 3.2. Monitoreo de emisión de ruido.
- 3.3. Acreditaciones.
- 3.4. Macro-localización.
4. Normatividad aplicable.
5. Metodología.
 - 5.1. Procedimiento para trabajo en campo.
 - 5.2. Procedimiento de cálculo.
 - 5.3. Elaboración de curvas de ruido.
 - 5.4. Método kriging.
 - 5.5. Incertidumbre de la medición.
6. Análisis meteorológico.
7. Análisis de resultados monitoreo de ruido ambiental .
8. Análisis de resultados monitoreo de emisión de ruido.
9. Conclusiones y recomendaciones

Haciendo énfasis en el análisis de resultados se presentarán tablas (Ver Tabla 2 a Tabla 4) donde se muestren los ajustes por tonos realizados, los resultados corregidos y gráficos comparando los niveles de presión sonora obtenidos con los niveles máximos permitidos por la resolución 627 de 2006 de acuerdo al uso de suelo clasificado para cada punto de medición.

Tabla 2. Consolidado de las mediciones en campo

HORARIO DE MEDICIÓN						
Punto de medición	LA _{NORTE} (dB)	LA _{SUR} (dB)	LA _{ESTE} (dB)	LA _{OESTE} (dB)	LA _{VERTICAL} (dB)	LAeq Total*
Punto 1						
Punto 2						
Punto 3						

Tabla 3. Consolidado ajuste (K)

Punto de medición	Horario Diurno					Horario Nocturno				
	K _{Tonos}			K _i *	Ajuste**	K _{Tonos}			K _i *	Ajuste**
	20-125 Hz	160-400 Hz	>500 Hz			20-125 Hz	160-400 Hz	>500 Hz		
Punto 1										
Punto 2										
Punto 3										

Tabla 4. Resultados de Ruido Ambiental– Ordinario

Punto de Registro	Fecha	LAeq Ruido Ambiental Corregido (dB)	Valores Permitidos Resolución 627-2006 LAeq Noche (dB)	Porcentaje respecto a límite permisible	Cumplimiento
Punto 1					
Punto 2					
Punto 3					

Adicional a lo mencionado anteriormente como anexos se presentara lo siguiente:

Anexo 1. Bibliografía

- Anexo 2. Glosario
- Anexo 3. Firma consultora
- Anexo 4. Equipos de medición
- Anexo 5. Formatos de cálculo
- Anexo 6. Formatos de campo
- Anexo 7. Registro fotográfico
- Anexo 8. Certificados de calibración
- Anexo 9. Acreditación IDEAM para monitoreo, consultoría y análisis de laboratorio
- Anexo 10. Curvas de ruido

1.8 ANÁLISIS Y RESULTADOS

1.8.1 Interpretación de resultados

De acuerdo con lo establecido en la Resolución 627 del 7 de abril de 2006 del MAVDT hoy MADS, el resultado final de las mediciones se obtiene mediante la siguiente expresión:

RUIDO AMBIENTAL

$$L_{Aeq} = 10 * \log \left[\frac{1}{5} \left(10^{L_N/10} + 10^{L_O/10} + 10^{L_S/10} + 10^{L_E/10} + 10^{L_V/10} \right) \right]$$

Dónde:

L_{Aeq} = Nivel equivalente resultado medición.

L_N = Nivel equivalente medio en la posición del micrófono orientada en sentido Norte.

L_O = Nivel equivalente medio en la posición del micrófono orientada en sentido Oeste.

L_S = Nivel equivalente medio en la posición del micrófono orientada en sentido Sur.

L_E = Nivel equivalente medio en la posición del micrófono orientada en sentido Este.

L_V = Nivel equivalente medio en la posición del micrófono orientada en sentido vertical.

Dicho resultado permite establecer los niveles de presión sonora para el área en estudio y se comparan con los estándares máximos permisibles establecidos para los sectores de restricción que apliquen al estudio; asociados a las fuentes identificadas en cada punto de monitoreo.

EMISIÓN DE RUIDO

$$L_{eq} \text{ emisión} = 10 \log \times \left(10^{\frac{LRA_{eq} 1h}{10}} - 10^{\frac{LRA_{eq} Residual 1h}{10}} \right)$$

Dónde:

L_{eq} Emisión: Nivel de emisión de presión sonora, o aporte de la(s) fuente(s) sonora(s), ponderado A.

LRA_{eq}, 1h: Nivel corregido de presión sonora continuo equivalente ponderado A, medido en una hora.

LRA_{eq}, 1h Residual: Nivel corregido de presión sonora continuo equivalente ponderado A, Residual, medido en una hora.

1.8.2 Incertidumbre de la medición

La incertidumbre se define como el parámetro que tiene la función de caracterizar la dispersión de los valores encontrados tras la realización de una medición. Va asociada a los factores que influyen en el proceso de medición y puede ser evaluada mediante dos métodos:

- Tipo A: Evaluación de dispersión mediante un análisis estadístico
- Tipo B: Evaluación de dispersión mediante la observación y el cálculo de una incertidumbre conocida como:
 - Certificados de calibración
 - Especificaciones y manuales

Para estimar la incertidumbre correspondiente a las mediciones a realizar durante los monitoreos de ruido se siguieron los lineamientos establecidos en ISO/EIC Guide 98 – 3:2008 Uncertainty of measurement – Part 3: Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Para el cálculo de la incertidumbre tipo A se emplean las siguientes ecuaciones

Ecuación 1.3. Cálculo de incertidumbre tipo A

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$$
$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$
$$S = \sqrt{S^2}$$
$$S^2(\bar{x}) = \frac{S^2(x_k)}{n}$$
$$S(\bar{x}) = \frac{S(x_k)}{\sqrt{n}}$$

Dónde:

\bar{x} : Promedio aritmético.

x_k : k-ésimo valor leído.

n : Número de datos, leídos por el instrumento.

k, i : Contador de datos.

S^2 : Varianza.

S : Desviación estándar.

$S^2(\bar{x})$: Desviación estándar de la media, incertidumbre estándar tipo A.

Por otro lado la incertidumbre estándar tipo B, se basan en distribuciones supuestas a priori o es obtenida de una especificación del fabricante (certificado de calibración)

Para el cálculo de la incertidumbre estándar combinada se emplea la siguiente ecuación, que consiste en la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las incertidumbres tipo A y B:

$$u_c(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)}$$

Dónde:

$u_c(x)$: Incertidumbre estándar combinada

u_A^2 : Incertidumbre estándar tipo A

Para el presente estudio, la incertidumbre tipo A, se evaluará la credibilidad de las mediciones primeramente por jornada; mientras que para la incertidumbre tipo B se evaluará teniendo en cuenta los datos encontrados en los certificados de calibración. Al finalizar dicho análisis se entrega un valor de incertidumbre asociado a todo el estudio

1.9 SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

El criterio técnico tomado para la ubicación de los puntos de muestreo obedece a la identificación de las áreas sensibles (áreas habitadas) y la clasificación de los usos del suelo para la PLMB. Cabe anotar, que la determinación de los mismos tiene en cuenta los límites permisibles por la Resolución 627 del 2006 donde se establece los niveles máximos y mínimos de emisiones de ruido ambiental en horario día y noche para el territorio nacional.

Por otra parte, con el fin de lograr la mayor cobertura espacial y temporal, los monitoreos se realizarán en las estaciones, patios y talleres. Adicionalmente, se han escogido 3 puntos adicionales aumentando la representatividad dentro del trazado. Estos puntos son identificados y geo referenciados para posteriores mediciones y actualizaciones de los monitoreos.

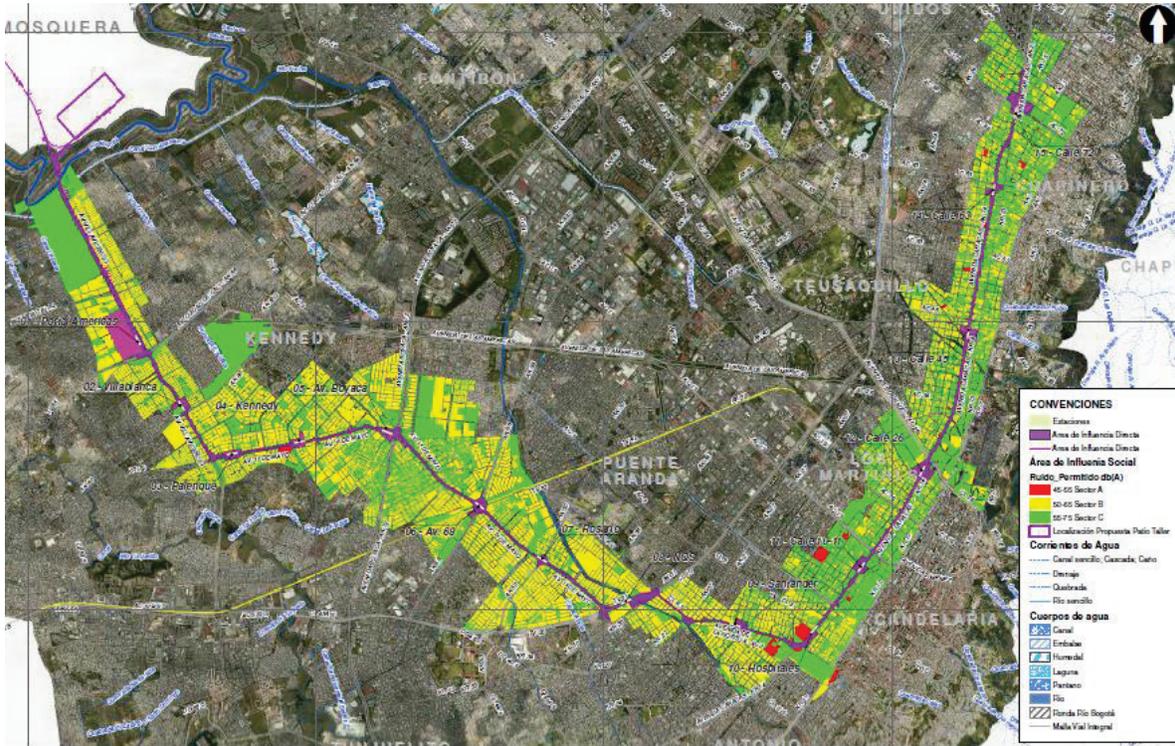
Adicionalmente, la selección de los puntos técnicamente tiene en cuenta la rosa de vientos, condiciones meteorológicas, seguridad del equipo y del personal.

Los puntos de monitoreo son los siguientes:

- Patio Taller
- Estación Portal de las Américas
- Estación Vila Blanca
- Estación Palenque
- Estación Kennedy
- Estación Boyacá
- Estación Avenida 68
- Estación Rosario
- Estación NQS
- Estación Nariño
- Estación Hospitales
- Estación Centro Histórico
- Estación Calle 26
- Estación Calle 45

- Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)
- Estación Calle 63
- Estación Calle 72
- Estación Calle 76

La ¡ERROR! NO SE ENCUENTRA EL ORIGEN DE LA REFERENCIA., ubica las áreas más sensibles en materia de ruido dentro del trazado de la PLMB.



Fotografía 1.1 Criterios de selección puntos de monitoreo ruido

La siguiente ilustración muestra la ubicación geográfica de las estaciones con el apoyo de Google Earth:



Fotografía 1.2 Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de ruido

Fuente: Google Earth



A continuación se presenta la Georeferenciación de los puntos de medición en el trazado de la PLMB.

Tabla 1.5. Georeferenciación de puntos de medición

Nombre	Este	Norte
Estación Hospitales	998854,2841	999692,2142
Estación Nariño	998302,4586	999698,306
Estación NQS	996366,8138	1000067,05
Estación Av Rosario	996366,8138	1000067,05
Estación Av 68	995195,5113	1000589,277
Estación Boyacá	993617,499	1001891,818
Estación Kennedy	992930,2525	1002426,317
Estación Palenque	991533,9081	1002272,856
Estación Vila Blanca	990310,3793	1002567,918
Estación Portal Américas	989894,3489	1003123,864
Patio Taller	Por definir	Por definir
Centro Histórico	999526,2896	1000628,39
Calle 26	1000347,854	1001933,25

Nombre	Este	Norte
Calle 45	1001091,711	1003844,768
SDA	1001307,173	1005032,196
Calle 63	1001424,883	1005895,73
Av. Chile	1001684,941	1006917,398
Calle 76	1001834,383	1007475,175



1.10 MODELACIÓN DE RUIDO

El software con el que se realizara el estudio será CadnaA (Computer Aided Noise Abatement) versión 4.6.155, como se muestra en la Figura 1.1, el cual tiene más de 30 estándares y directrices implementadas, potentes algoritmos de cálculo y herramientas para el manejo de objetos.

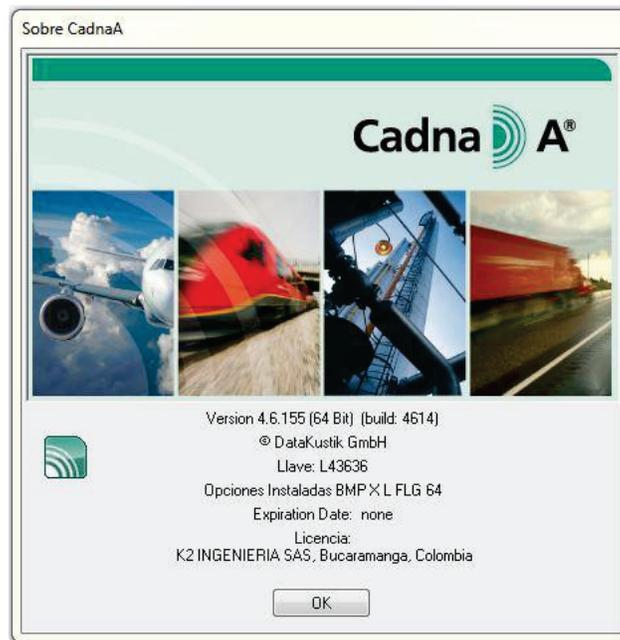


Figura 1.1 Software de simulación CadnaA

Los estándares o métodos de cálculo que pueden ser utilizados puede ser ICAN/AzB 08, ISO 9613 entre otros (ver Figura 1.2).

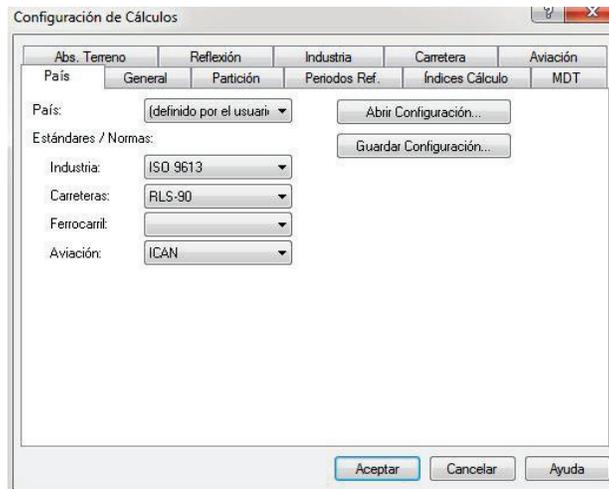


Figura 1.2 Configuración

Los parámetros de entrada al software de simulación se presentan a continuación:

- Niveles teóricos de emisión del metro teniendo en cuenta las etapas de arranque y frenado den las diferentes estaciones.
- Aforo vehicular, para determinar el aporte de niveles de presión sonora de los sistemas de transporte de la zona por tráfico rodado.
- Inventario de fuentes que pueden generar aportes de ruido en las diferentes actividades y uso de maquinaria en la etapa de construcción.

1.11 VIBRACIONES

La metodología de medición en campo desarrollada por la k2ingeniería, se encuentra enmarcada dentro de las normas DIN4150-3, DIN45669-2 y la ISO 4866.

Las normas DIN 4150 define un método para medir y evaluar los efectos de las vibraciones en estructuras, esta norma proporciona valores permitidos, que al cumplirlos no darán lugar a daños que tengan un efecto adverso sobre la capacidad de servicio de la estructura.

Esta norma, especifica un método de medición de vibraciones utilizando equipos especializados. 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. Los resultados de las mediciones realizadas de acuerdo con esta norma pueden utilizarse para evaluar los efectos de las vibraciones en los edificios y en los seres humanos.

1.11.1 EQUIPO A UTILIZAR

El monitoreo de vibraciones ambiental, se realizara, mediante la integración de un acelerómetro al sonómetro de medición de ruido ambiental. En ese sentido, ambos equipos operaban de manera simultánea permitiendo captar las vibraciones generadas por las fuentes para las dos componentes horizontales (X y Z) y vertical (Y), una vez el sonómetro registrara los niveles de presión sonora generados por la fuentes emisoras.



Figura 1.3 Acelerómetro Sem fio WLS Tri-Axial

1.11.2 METODOLOGÍA

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** refleja el esquema de medición con el sensor de vibraciones en el principal punto de interés, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la ubicación y distancias de los equipos de medición,

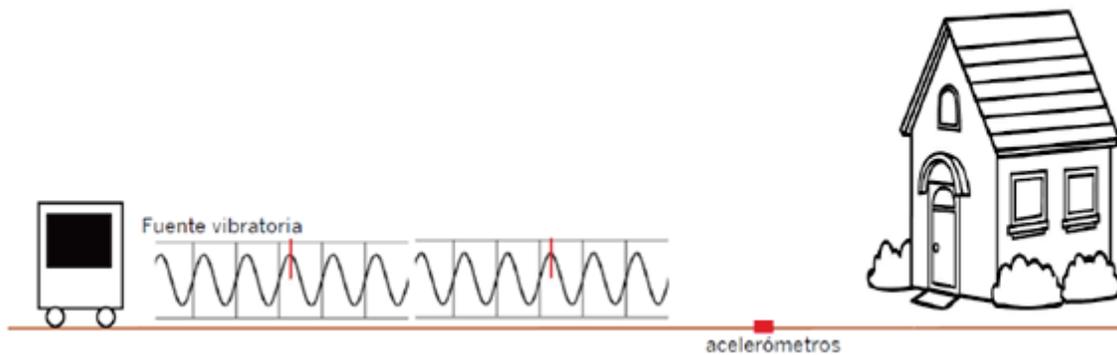


Figura 1.4 Sistema de adquisición para las señales de vibración

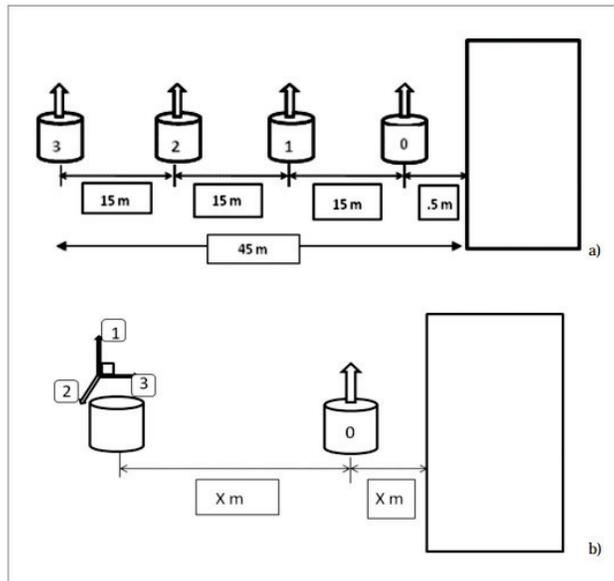


Figura 1.5 Ubicación de los acelerómetros

Una vez recolectada la información en campo, se aplica la siguiente metodología de post-procesamiento, para obtener los valores máximos en m/s^2 para cada uno de los ejes X, Y y Z.

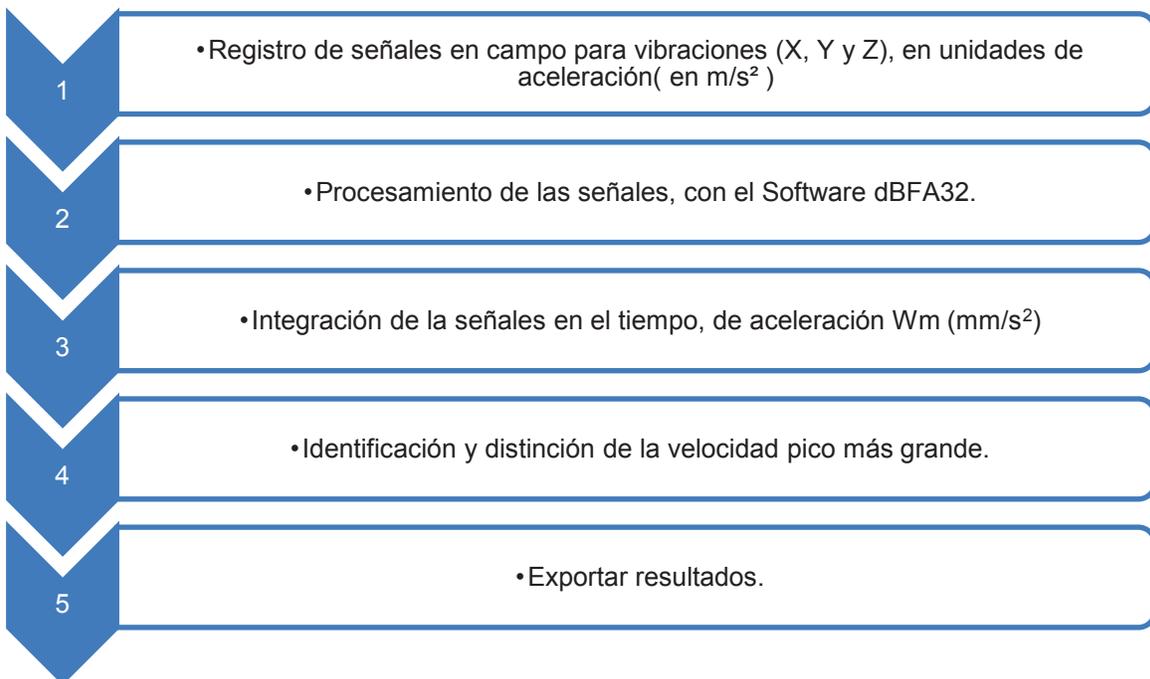


Figura 1.6 Resumen del proceso de tratamiento de los datos de vibración

2. LAS SEÑALES DE VIBRACIÓN SE RECOGEN EN EL PUNTO DE MONITOREO EN LAS UNIDADES DE ACELERACIÓN (MM /S^2) Y ES PROCESADA EN EL SOFTWARE DBFA32 Y CONVERTIDOS A UNIDADES DE DB EN LOS NIVELES DE RMS EN GENERAL. EN PRIMER LUGAR, SE INTEGRAN EL FILTRO WM POR CADA SEÑAL PARA OBTENER EL RESULTADO EN MM/S^2 , DE LOS CUALES SE IDENTIFICÓ EL PICO MÁS ALTO. OBTENIDO ESTE VALOR, ES COMPARADO CON LOS LÍMITES ESTABLECIDOS POR LA NORMATIVA SELECCIONADA.

1.12 PROGRAMA DE TRABAJO

El Anexo 2 Contiene el cronograma de actividades del monitoreo de calidad del aire

3. ANEXOS

Anexo 1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Tabla 3.1. Descripción técnica de las estaciones de monitoreo de ruido

ESTACIÓN 1	Nombre:	Nombre de la estación	
Fotografía	Coordenadas:		
		Y =	X =
	Altitud:	() msnm	
	Equipos:	Equipos usados durante las mediciones	
	Contaminantes:	Parámetros medidos	
	Descripción general:	Descripción de la estación	
	Periodo de medición:	Periodo en el que se llevó a cabo la medición	
	Fuentes de emisión:	Identificación de fuentes de emisión aledañas identificadas durante el muestreo	

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S.

