

Santiago, 5 de abril de 2020
SGMA N° 010/2021

Señor
Rubén Verdugo Castillo
Jefe División de Fiscalización
Superintendencia del Medio Ambiente
Teatinos 280, piso 8
Santiago

Ref.: Informa respecto a lo requerido en el Resuelvo Primero de la Resolución Exenta N°483, de 8 de marzo de 2021, que requiere información que indica e instruye la forma y modo de presentación de los antecedentes solicitados a Empresa de Transporte de Pasajeros Metro S.A.

De mi consideración:

Me dirijo a usted en relación a la Resolución Exenta de la referencia (en adelante "Res. Ex. N°483"), la que se refiere al requerimiento de información efectuado por la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante "SMA"), con fecha 8 de marzo del presente año, en relación al proyecto "Línea 3 – Etapa 2: Túneles, Estaciones, Trenes y Cocheras" (en adelante el "Proyecto"), respecto del cual mi representada, Empresa de Transporte de Pasajeros Metro S.A. (en adelante "Metro S.A.") es titular.

En el Resuelvo Primero de la Res. Ex. N°483, esta autoridad requirió a mi representada entregar un cronograma para la realización de un estudio que incorpore un monitoreo de **ruido transmitido por el suelo (Groundborne-noise)** según metodología y niveles de referencia establecidos en el capítulo 5 de guía FTA 0123:2018, en el sector ubicado entre las estaciones Plaza Egaña y Fernando Castillo Velasco, que permita caracterizar de mejor forma el comportamiento de dicho componente.

Al respecto, acompañamos a esta presentación los siguientes documentos:

1. **"Plan de Acción Estudio de Ruido Inducido. Operación Línea 3. Tramo PZE-FCV"**, el cual da cuenta del Plan de Acción para el desarrollo de un Estudio de Ruido Inducido (Groundborne Noise o GBN) asociado a la Etapa de Operación de Línea 3, en la interestación Plaza Egaña (PZE) - Fernando Castillo Velasco (FCV) y que comprende el cronograma solicitado en la R.E. N°483 antes mencionada, así como otros aspectos del estudio a realizar.
2. **"Protocolo de Medición Ruido Inducido y Postproceso de Señales – Circulación de Trenes Línea 3"**, el cual da cuenta de la metodología a desarrollar en el estudio de ruido solicitado por esta autoridad.

Adicionalmente, como información complementaria, se adjuntan a esta presentación nuevas versiones de dos informes de medición de ruido inducido elaborados por la empresa Contador y Campos Ingeniería Limitada, que fueron entregado a la SMA en respuesta al requerimiento de información solicitado mediante Resolución Exenta N°235, de fecha 01 de febrero de 2021.

Estos informes dan cuenta de los cambios y complementos efectuados, para mejorar la metodología y aspectos técnicos considerados para la realización de dichas mediciones y su evaluación normativa, acogiendo los aspectos indicados por la SMA en el Resuelvo I del requerimiento de información mediante Res. Ex. N°483, permitiendo un mejor entendimiento del documento, y asegurando a esta autoridad que las mediciones se hicieron considerando el escenario de peor condición, y por lo tanto permiten constatar el cumplimiento de Metro S.A. en su operación de los parámetros establecidos para la emisión de ruido inducido.

Sin otro particular, se despide atentamente,

Gonzalo
Patricio
Rodríguez Belmar
Gonzalo Rodríguez Belmar
Subgerente de Medio Ambiente
Metro S.A.

Firmado digitalmente por
Gonzalo Patricio
Rodríguez Belmar
Fecha: 2021.04.06 11:35:33 -04'00'

TGN / MPF

TATIANA
SOFIA
GATICA
NAVEA

Firmado digitalmente por
TATIANA SOFIA GATICA NAVEA
Nombre de reconocimiento (DN): c=CL, st=METROPOLITANA DE SANTIAGO, l=Santiago, ou=INTEREXT S.A, o=METROSANTIAGO, cn=TATIANA SOFIA GATICA NAVEA, email=gatica@metro.cl
Fecha: 2021.04.06 11:35:33 -04'00'

Maria Paz
Fuchslocher E.

Firmado digitalmente por Maria Paz
Fuchslocher E.
Nombre de reconocimiento (DN): cn=Maria Paz Fuchslocher E., o=Metro, ou=Metro, email=maria.fuchslocher@metro.cl, c=CL
Fecha: 2021.04.06 13:03:01 -04'00'

PLAN DE ACCIÓN
ESTUDIO DE RUIDO INDUCIDO
OPERACIÓN LÍNEA 3
TRAMO PZE - FCV

Revisión	Fecha	Descripción	Elaboró	Revisó	Aprobó	Unidad
0	01-04-2021	Documento inicial	FRV	TGN	GRB	Medio Ambiente

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Antecedentes Operacionales.....	3
2.2. Resolución Exenta N°483 del 08 de Marzo de 2021.....	4
3. PLAN DE ACCIÓN ESTUDIO DE RUIDO INDUCIDO	7
3.1. Puntos Receptores.....	7
3.2. Cronograma	8
3.3. Metodología.....	8
3.4. Consideraciones.....	9
3.5. Descripción de Resultados y Elaboración de Propuesta.....	10
4. PERSONAL IDONEO PARA DESARROLLAR LAS MEDICIONES.....	10

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento da cuenta del Plan de Acción para el desarrollo de un Estudio de Ruido Inducido (Groundborne Noise o GBN) asociado a la Etapa de Operación de Línea 3, en la interestación Plaza Egaña (PZE) - Fernando Castillo Velasco (FCV).

Este Plan obedece a lo solicitado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) según Resolución Exenta N°483 del 08 de marzo de 2021, en su Resuelvo I.

2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes Operacionales

Línea 3 del Metro de Santiago corresponde a la segunda línea automática de la red, presenta 18 estaciones y se extiende por 22 km aproximadamente, abarcando las comunas de Quilicura, Conchalí, Independencia, Santiago, Ñuñoa y La Reina.

La interestación Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco en la comuna de La Reina, presenta una extensión de 1.192 metros y una velocidad máxima de circulación de los trenes de 45 km/h actualmente en todo horario.

Producto de la pandemia y las restricciones establecidas por la Autoridad Sanitaria, los horarios de operación actualmente se encuentran modificados en su hora de término respecto de una condición sin toque de queda, presentándose los siguientes horarios de explotación comercial vigentes desde el lunes 05 de abril de 2021 a la fecha del presente informe:

- Lunes a viernes: 6:00 a 20:00 horas
- Sábados: 7:00 a 20:00 horas
- Domingos y festivos: 08:00 a 20:00 horas

Esta hora de término se ha modificado en el tiempo, acorde cambian los horarios establecidos para el toque de queda por la autoridad respectiva. En este mismo sentido, podrían variar también en semanas futuras. Otra causa de posible variación de los horarios de explotación comercial, corresponde a contingencias que puedan ocurrir internamente en Metro.

Posterior al horario de cierre se realizan actividades de mantenimiento preventivo a nivel de vías y catenarias al interior de los túneles, programadas en horario fuera de explotación, dada la necesidad de desenergizar las vías.

2.2. Resolución Exenta N°483 del 08 de Marzo de 2021

PRIMERO. REQUERIR a EMPRESA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS METRO S.A., RUT 61.219.000-3, domiciliado en Av. Libertador Bernardo O'Higgins N°1414, comuna de Santiago, la siguiente información

- I. En un plazo de 15 días hábiles, contados desde la recepción de la presente resolución, el titular deberá entregar un cronograma para la realización de un estudio que incorpore un monitoreo de ruido transmitido por el suelo (Groundborne-noise) según metodología y niveles de referencia establecidos en el capítulo 5 de guía FTA 0123:2018, en el sector ubicado entre las estaciones Plaza Egaña y Fernando Castillo Velasco, que permita caracterizar de mejor forma el comportamiento de dicho componente.
- II. El estudio tiene por objetivo obtener una mayor cantidad de datos que den cuenta del comportamiento de esta variable, en diferentes puntos del trazado, para diferentes condiciones de operación de la línea, tanto en horario punta, valle y bajo, y para diferentes niveles de carga.
- III. Desde el punto de vista técnico, las mediciones deberán considerar los siguientes elementos:
 - a) Por día de medición, se deberán registrar ruidos emitidos por al menos 5 pasadas de tres, en cada uno de los horarios punta, valle y bajo.
 - b) Se deberá presentar un archivo .XLS, donde quede registrada cada medición, con el valor Nivel de Presión Sonora máximo (NPSmáx) ponderado en A; Nivel de Presión Sonora equivalente (NPSeq) ponderado en A; nivel por banda de 1/3 de octava entre los 20 y los 250 Hz, sin ponderar; además de la fecha, hora, tiempo de integración y punto receptor respectivo.
 - c) Nivel de ruido de fondo en el sector, medido en el mismo punto del receptor evaluado, utilizando criterio de estabilización de NPSeq. A su vez, se debe definir el criterio para corrección por ruido de fondo.

- d) En caso de efectuarse predicciones del ruido con base ecuación 6-8 de FTA 0123:2018 (“Eq 6-8”), se deberá presentar en un anexo, el cálculo realizado para cada eje de vibración (este-oeste, norte-sur y arriba-abajo), señalando espectro de vibración en dBV en 1/3 de octava, entre los 20 y 250 Hz, espectro de vibración ponderado en A con sustracción de 5 dB, y espectro de ruido estimado en el mismo rango de frecuencias (20 a 250 Hz).
- e) Los resultados para la medición de ruido transmitido por el suelo, se presentarán utilizando el formato de la siguiente tabla:

Receptor	Fecha	Hora	Tiempo de integración	NPSmáx (A)	NPSeq (A)	Ruido de fondo (A)	NPS a los 50 Hz	Resultado (Supera/no Supera/Nulo)

- f) Los resultados para la proyección de ruidos, utilizando ecuación 6-8 de FTA 0123:2018, se deberán presentar según la siguiente tabla:

Descripción	Frecuencia (Hz)											
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV).												
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA), - 5 dB. Eje vertical.												
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA) eje vertical.												
Espectro de vibración eje este-oeste (dBV).												
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA), - 5 dB. Eje este-oeste.												
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA) eje este-oeste.												
Espectro de vibración eje norte-sur (dBV).												

Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA), - 5 dB. Eje norte-sur.												
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA) eje norte-sur.												

- IV.** Luego de finalizado este estudio, el titular deberá entregar una propuesta de medidas a implementar, que se haga cargo de los efectos verificados con las mediciones.

3. PLAN DE ACCIÓN ESTUDIO DE RUIDO INDUCIDO

Se ha establecido el siguiente Plan de Acción para el Estudio de Ruido Inducido solicitado, donde se destacan los siguientes aspectos.

3.1. Puntos Receptores

Se ha definido la realización de este estudio en 5 puntos receptores en la interestación Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco de Línea 3. Con 1 receptor en el tramo Plaza Egaña – calle Lynch, y 4 receptores en el tramo calle Lynch – Fernando Castillo Velasco.



Ilustración N°1: Esquema distribución puntos receptores.

Dentro de los posibles receptores a medir se encuentran los ya evaluados recientemente , cuyos informes fueron entregados a la SMA en respuesta a requerimiento de información solicitado en Resolución Exenta N°235 del 01 de febrero de 2021.

3.2. Cronograma

Considerando que todas las comunas de la Región Metropolitana se encuentran en Cuarentena desde el 27 de marzo de 2021, y se han restringido aún más las medidas de desplazamiento y funcionamiento de empresas esenciales a contar del 05 de abril de 2021, el cronograma de desarrollo del estudio de Ruido Inducido queda condicionado, a que la comuna de La Reina se encuentre en Fase 2 “Transición” del Plan Paso a Paso estipulado por el gobierno por la pandemia de COVID-19. En base a lo anterior, el cronograma presenta los siguientes plazos e hitos, el cual tiene una duración de 11 semanas en total.

Tabla N°1: Cronograma del estudio de ruido inducido.

Hitos	Duración (días hábiles)	Semanas											
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	
Solicitud de acceso a viviendas o recintos	5	X											
Desarrollo mediciones en terreno	10		X	X									
Análisis de datos y postproceso de señales	25			X	X	X	X	X					
Generación de informe por consultor	15						X	X	X				
Revisión informe por Metro	10									X	X		
Entrega de resultados a SMA	1												X

3.3. Metodología

La metodología para el desarrollo del estudio de ruido inducido, se basa en lo indicado en el capítulo 5 de la guía FTA Report N°0123 “*Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual*” de la Federal Transit Administration (FTA) del año 2018.

En aquellos aspectos en donde la FTA no es clara, como por ejemplo en el descriptor acústico, respuesta del instrumento de medición, rango de frecuencias, entre otros, se utilizará normativa internacional complementaria asociada al tránsito ferroviario en materia de vibraciones mecánicas y ruido inducido, donde se destacan:

- Criterio Normativo EPA. “*Guidelines for the Assessment of Noise from Rail Infrastructure*”, de la Environment Protection Authority (EPA) – South Australia (2013).
- Norma ISO 14837-1:2005 “*Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems — Part 1: General Guidance*”.

- Norma ISO/TS 14837-31:2017 “Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 31: Guideline on field measurements for the evaluation of human exposure in buildings”.

Lo anteriormente mencionado se plasma en el siguiente documento que se adjunta como parte de la metodología a desarrollar en el estudio de ruido inducido solicitado por la SMA.

- Protocolo de Medición Ruido Inducido y Postproceso de Señales – Circulación de Trenes Línea 3

La evaluación de ruido inducido, considera el límite normativo de 35 dBA para recintos del tipo residencial, con eventos frecuentes, de acuerdo a tabla 6-3 de la guía FTA 0123:2018.

3.4. Consideraciones

Se realizará la evaluación de al menos 5 circulaciones de trenes en tramos horarios de funcionamiento de Metro correspondientes a Valle, Punta y Bajo, lo anterior para los horarios diurno (07:00 a 22:00 hrs) y nocturno (22:00 a 07:00 hrs) según FTA 0123:2018, en caso de no ser factible alcanzar esta cantidad, se informará el motivo en el informe respectivo, además se registraran al menos 5 circulaciones en horarios fuera de explotación comercial de Metro (antes del inicio del servicio), ya que representan la peor condición de evaluación. El detalle de estos horarios se resume en tabla a continuación.

Tabla N°2: Horarios considerados para evaluación de trenes.

Horario FTA	Horario Circulación Metro
Diurno (07:00 a 22:00 hrs)	Bajo (06:00 a 07:00 hrs y 20:45 hrs a cierre operación)
	Punta (07:00 a 09:00 hrs y 18:00 a 20:00 hrs)
	Valle (09:00 a 18:00 hrs y 20:00 a 20:45 hrs)
Nocturno (22:00 a 07:00 hrs)	Bajo (06:00 a 07:00 hrs y 20:45 hrs a cierre operación)
	Fuera Horario Explotación Comercial (previo al inicio de la operación)

Los horarios de circulación anteriores, se ven afectados en algunos tramos horarios (Bajo y Valle) producto del cierre anticipado de la operación, que desde el 05 de abril de 2021 se realizará a las 20:00 horas.

Como mínimo se evaluarán en total 25 circulaciones de trenes, con un desglose de al menos 15 mediciones diurnas y al menos 10 mediciones nocturnas.

3.5. Descripción de Resultados y Elaboración de Propuesta

Tal como lo indica la Resolución Exenta N° 483 de la SMA, una vez finalizado el estudio, y de acuerdo a los resultados alcanzados, se entregará una propuesta con el detalle de las medidas de control implementadas a la fecha en el tramo PZE – FCV de Línea 3 y la propuesta de medidas que serán mantenidas para asegurar el cumplimiento del estándar de vibraciones establecido en la RCA N° 243/2014.

4. PERSONAL IDONEO PARA DESARROLLAR LAS MEDICIONES

Dado el análisis de datos y procesamiento de señales que debe realizarse para cada circulación de tren cuantificada en terreno, con mediciones en paralelo de vibración mecánica y ruido inducido, esto para los 3 ejes de medición, en el caso que se deba realizar una predicción del ruido inducido por la influencia del ruido ambiente según FTA, se debe considerar que la empresa y personal que realiza las mediciones en terreno y el posterior trabajo de gabinete posea las siguientes competencias:

- **Empresas**

La empresa deberá poseer experiencia anterior en el desarrollo de mediciones de vibraciones mecánicas y ruido inducido para sistemas ferroviarios, con servicios desarrollados por personal que presente antigüedad de al menos 2 años en la empresa, que asegure el correcto conocimiento de los estándares de calidad internos, protocolos de seguridad en el trabajo en terreno y normativa asociada a sistemas ferroviarios.

Las empresas deberán contar como mínimo con el instrumental que permita caracterizar estos parámetros al mismo tiempo en al menos 2 receptores simultáneos, mediante equipos calibrados, con el uso de sonómetros clase 1, que permitan la grabación de audio y el espectro respectivo en bandas de tercio de octava.

- **Personal**

El personal de la empresa para el desarrollo de las mediciones, debe presentar las siguientes características:

- Ingeniero de Análisis de Datos y Procesamiento de Señales: ingeniero o ingeniero civil en las especialidades acústica, mecánica, estructural o afín, con estudios de postgrado realizados en territorio nacional o extranjero en la materia, con experiencia en monitoreo de vibraciones y ruido de fuentes lineales mediante sistemas multicanal, levantamiento línea de base vibraciones y ruido, mediciones de transmisibilidad, receptancia y caracterización de suelos, cálculos de funciones de transferencia y desarrollo de modelos de propagación de vibraciones en proyectos de infraestructura ferroviaria, a lo menos con 8 años de experiencia en la temática de vibraciones y ruido.
- Ingeniero de Terreno: ingeniero o ingeniero civil en las especialidades acústica, mecánica, estructural o afín, con experiencia en instrumentación de sensores y equipos para monitoreo de vibraciones y ruido de fuentes lineales mediante sistemas multicanal, levantamiento línea de base vibraciones y ruido para proyectos de infraestructura ferroviaria, a lo menos con 2 años de experiencia en instrumentación y mediciones en terreno de vibraciones y ruido.

PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES

Circulación de trenes Línea 3

Preparado para:



Preparado por:



 <p>CONTADOR Y CAMPOS INGENIEROS ACÚSTICA, CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES</p>	PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3	Cliente: Metro S.A.
		Fecha: 05-04-2021 Revisión: 0

1. Título del Documento	Protocolo de Medición Ruido Inducido y Postproceso de Señales	
2. Cliente	Metro S.A.	
3. Empresa	Contador y Campos Ingenieros Ltda. Acústica, Control de Ruidos y Vibraciones Italia 01133, La Cisterna, Santiago, CHILE. Fonos: +56 22 792 6371 / +56 22 985 1088 contacto@contadorycampos.cl www.contadorycampos.cl	
4. Fecha Actual Documento	05 de abril de 2021	
5. Revisión Actual Documento	0	
6. Responsable Elaboración	Adolfo Salgado Z.	
7. Responsable Verificación	Oscar Contador V.	
8. Responsable Validación	Aldo Campos P.	
Control de Revisiones		
Revisión	Fecha	Comentarios
A	25-03-2021	Revisión de cliente para comentarios
B	01-04-2021	Revisión de cliente para comentarios
C	05-04-2021	Revisión de cliente para comentarios
0	05-04-2021	Versión final

	PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3	Cliete: Metro S.A.
		Fecha: 05-04-2021 Revisión: 0

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al protocolo de medición y postproceso de señales detallado para la evaluación de ruido inducido según FTA 0123:2018, por la circulación de trenes de Línea 3 de Metro de Santiago.

La metodología de medición y procesos descritos son desarrollados en base al siguiente documento:

- a) Criterio Normativo FTA Report 0123:2018. *"Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual"* de la Federal Transit Administration (FTA) – EEUU (2018).

Como complemento a la metodología en aquellos aspectos que no son claros en la FTA 0123:2018, se utilizan los siguientes documentos:

- b) Criterio Normativo EPA. *"Guidelines for the Assessment of Noise from Rail Infrastructure"*, de la Environment Protection Authority (EPA) – South Australia (2013).
- c) Norma ISO 14837-1:2005 *"Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 1: General Guidance"*.
- d) Norma ISO/TS 14837-31:2017 *"Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 31: Guideline on field measurements for the evaluation of human exposure in buildings"*.

2. OBJETIVO

Detallar la metodología y procedimientos para la cuantificación del parámetro Ruido Inducido (Groundborne Noise o GBN) y vibración mecánica cuando corresponda, según FTA Report N°0123:2018 al interior de edificaciones, producto de la circulación de trenes de Línea 3, así como indicar los procedimientos y consideraciones asociadas al postproceso de señales para trabajo en gabinete.

 <p>CONTADOR Y CAMPOS INGENIEROS ACÚSTICA, CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES</p>	<p>PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3</p>	<p>Cliente: Metro S.A.</p>
		<p>Fecha: 05-04-2021 Revisión: 0</p>

3. PROTOCOLO DE MEDICIÓN

La medición de ruido inducido siempre debe realizarse en conjunto con la medición de vibración mecánica, dada la alta probabilidad de influencia del ruido ambiente en la ciudad de Santiago, en sectores colindantes al trazado de Línea 3, respecto de los niveles típicos de ruido inducido que presentan niveles de presión sonora bajos.

3.1. Consideraciones Generales

Para el desarrollo de las mediciones en terreno de ruido inducido y vibraciones mecánicas se deben tener en consideración los siguientes aspectos:

- 1) Acceso a edificaciones o viviendas deben estar previamente coordinados por el mandante.
- 2) Se debe identificar el sector o habitación más susceptible al ruido inducido al interior de la edificación, con base principalmente en lo indicado por los usuarios o residentes del recinto.
- 3) Una vez determinado el sector interior para la medición, se instala un sonómetro clase 1 configurado con registro continuo de datos cada 1 segundo incluyendo espectro de frecuencias en tercio de octava, para la obtención de descriptores: Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (LAeq), Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (LMax) con respuesta rápida (fast) y lenta (slow), y Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "C" (LCmax) con respuesta lenta (slow), además de activar el registro de audio.
- 4) En la misma ubicación del sonómetro y a nivel de piso, se instalan acelerómetros (uniaxiales o triaxial) para caracterizar los tres ejes de medición en dirección Este-Oeste, Norte-Sur y Vertical. Los acelerómetros se conectan a una tarjeta de adquisición de datos configurada de la siguiente forma:
 - Frecuencia muestreo tarjeta capturadora: Desde 1024 Hz.
 - Resolución tarjeta capturadora: 24 Bits.
 - Sensibilidad acelerómetros: Desde 1000 mv/g.
 - Respuesta de frecuencia lineal sistema adquisición: Desde 0.5 Hz a 1500 Hz
 - Frecuencia de muestreo: Desde 3200 Hz
 - Rango de frecuencia de interés ruido inducido: 16 Hz a 250 Hz.

 <p>CONTADOR Y CAMPOS INGENIEROS ACUSTICA, CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES</p>	<p>PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3</p>	<p>Cliente: Metro S.A.</p>
		<p>Fecha: 05-04-2021 Revisión: 0</p>

La medición también es continua con registro del tipo tiempo historia de la señal sin ponderación (solo antialiasing), y considera posteriormente los descriptores: Nivel de Aceleración RMS (Root Medium Square ó Raíz Cuadrática Media) (cm/s^2), Nivel de Aceleración (dBa) con referencia $1 \mu\text{m/s}^2$, y Nivel de Velocidad Vibratoria que se expresará en dB de velocidad (VdB) con referencia $1 \mu\text{in/s}$. Todos los descriptores en bandas de tercio de octava entre 4 a 250 Hz. Tiempo de integración RMS de 1 segundo.

- 5) La medición considera el registro continuo de ruido inducido y vibraciones mecánicas al mismo tiempo, para al menos 15 circulaciones diurnas (07:00 a 22:00 hrs) y 10 circulaciones nocturnas (22:00 a 07:00 hrs) de trenes (medición pass-by), alcanzando en total al menos 25 circulaciones, en caso de no ser factible alcanzar estas cantidades se indicará el motivo en el informe respectivo. Luego estas mediciones se asignan a los rangos horarios de circulación de Metro de acuerdo con tabla siguiente, presentándose al menos 5 circulaciones en cada uno de ellos, incluyendo horarios fuera de explotación comercial.

Tabla 1. Horarios considerados para evaluación de trenes.

Horario FTA	Horario Circulación Metro
Diurno (07:00 a 22:00 hrs)	Bajo (06:00 a 07:00 hrs y 20:45 hrs a cierre operación)
	Punta (07:00 a 09:00 hrs y 18:00 a 20:00 hrs)
	Valle (09:00 a 18:00 hrs y 20:00 a 20:45 hrs)
Nocturno (22:00 a 07:00 hrs)	Bajo (06:00 a 07:00 hrs y 20:45 hrs a cierre operación)
	Fuera Horario Explotación Comercial (previo al inicio de la operación)

Se considera en primera instancia un monitoreo de 24 horas, con objeto de caracterizar aquellos horarios en donde se presenta menor ruido ambiente en la ciudad y en el recinto mismo en evaluación, a modo de cuantificar de manera directa el ruido inducido. En aquellos casos donde el ruido ambiente interfiera o enmascare el ruido inducido, se considerará la predicción de este mediante formula establecida en FTA 0123:2018.

	PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3	Cliete: Metro S.A.
		Fecha: 05-04-2021 Revisión: 0

Metro de Santiago facilitará los registros del tramo evaluado en el horario de medición respectivo identificando la circulación de trenes (medición pass-by) a velocidad comercial.

- 6) Los registros del sonómetro incluyendo el audio, serán almacenados en memoria interna del mismo equipo. Los registros de aceleración de la tarjeta capturadora de datos serán almacenados en memoria USB, en formato de extensión binaria y/o texto plano, estando disponibles para el postproceso respectivo.

Ilustración 1. Medición simultánea de ruido y vibraciones, registro triaxial.



3.2. Consideraciones de Montaje

El sonómetro será montado en un atril, a una altura de 1,5 metros aproximadamente, en una ubicación del recinto definida en conjunto con los usuarios o residentes del recinto, para no entorpecer sus actividades o quehaceres diarios. Asimismo, el micrófono contará con un dispositivo anti-viento.

Los acelerómetros interiores se montarán considerando una ubicación del recinto libre de fuentes de vibraciones mecánicas y según el tipo de pavimento existente.

 <p>CONTADOR Y CAMPOS INGENIEROS ACUSTICA, CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES</p>	<p>PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3</p>	<p>Cliete: Metro S.A.</p>
		<p>Fecha: 05-04-2021 Revisión: 0</p>

En el caso de pavimento de hormigón o cerámico (cerámica, porcelanatos, ladrillos, baldosas, baldosines, hormigón y piedra), los acelerómetros se instalarán utilizando imanes adheridos a un cubo de acero de 50x50x50 mm, donde este se adhiere al suelo con adhesivo inocuo al pavimento (cera de abeja o pasta de cera) evitando la interacción vibratoria del cable con el acelerómetro.

En el caso de pavimento liviano, ya sea madera en todos sus formatos, pisos flotantes o pisos laminados, plástico o Flexit, se deberá realizar la medición con una carga sobre el piso de 70 kg aproximadamente ubicada a la menor distancia posible sin que esta toque el acelerómetro o su cable (esto considerando mobiliario común de habitación, de haber objetos pesados adicionales, la carga adicional se puede obviar). Esta carga debe ser utilizada solo cuando la habitación se encuentre sin ocupantes, con el fin de simular la condición normal de superficie de contacto humano-suelo.

Con esto se minimiza el riesgo de medir en suelo con una respuesta amplificada, y que no responde a la condición de uso.

No se deben efectuar mediciones en suelos alfombrados, ni con pavimentos no explícitos en los párrafos anteriores.

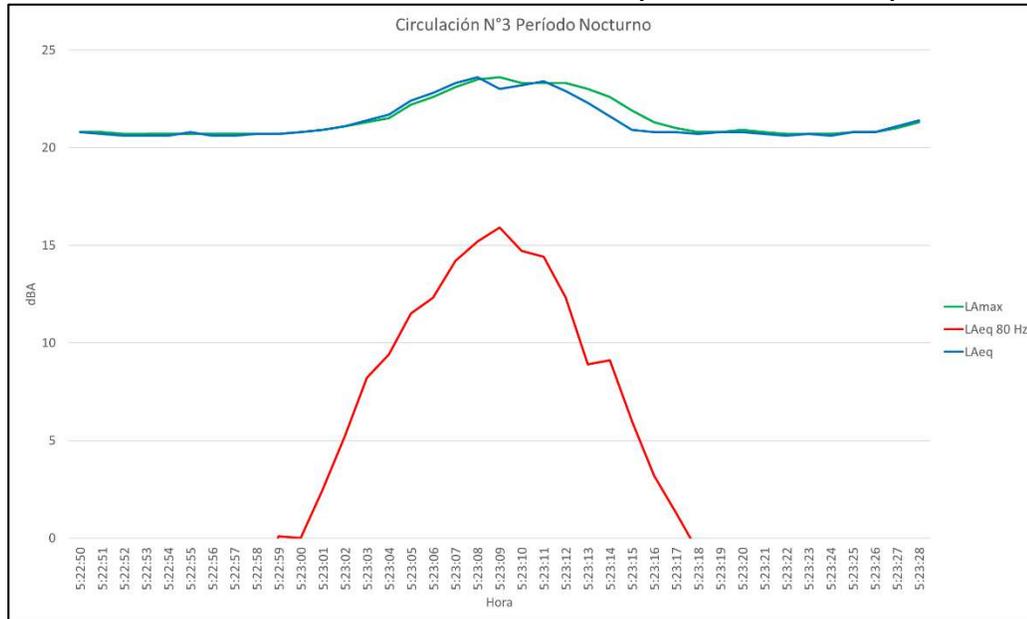
4. POSTPROCESO DE DATOS

4.1. Medición Directa Ruido Inducido sin Influencia de Ruido Ambiente

En este caso, de ser factible una medición directa de ruido inducido, sin mayor influencia del ruido ambiente, el postproceso consiste en:

- 1) Con el registro de trenes entregado por Metro, se analiza el registro completo de medición, con objeto de aislar las circulaciones de trenes por ambas vías en los horarios respectivos, y escuchar los audios asociados para verificar que no existe influencia del ruido ambiente. Posteriormente estas mediciones se asignan a los diferentes rangos horarios de circulación de Metro.
- 2) Posteriormente, se grafica la variación en el tiempo del descriptor LA_{max} (slow), junto al nivel de presión sonora de las bandas de frecuencia entre 50 Hz y 80 Hz (la banda que genere una mejor visualización), que permite evidenciar una campana de gauss o aumento del nivel sonoro en el mismo periodo de tiempo que aumenta el descriptor LA_{max} (slow).

Ilustración 2. Gráfico variación de niveles en el tiempo de una circulación limpia.



- 3) Para las circulaciones seleccionadas, se evalúa la relación $LC_{max} - LA_{max} \geq 15$ dB con ponderación slow, con objeto de determinar si el ruido es predominante en baja frecuencia y asociarlo a ruido inducido según lo recomendado Norma ISO/TS 14837-31 "Mechanical Vibration – Ground-borne Noise and Vibration arising from rail systems – Part 31: Guideline on field measurements for the evaluation of human Exposure in buildings." en tabla 9 "Requirements on analysis, evaluation and reporting procedures" páginas 17 y 18 que indica:

Ilustración 3. Recomendación según Norma 14837-31.

The difference $L_{pCSmax} - L_{pASmax}$ should be calculated and reported (see Note 7)

NOTE 7 a difference of 15 dB between the average values $L_{pCSmax} - L_{pASmax}$ indicates low-frequency noise, characteristic of groundborne noise; conversely, a small difference may indicate the presence of airborne noise (see reference 23).

- 4) Cuantificar e indicar el valor del descriptor LA_{max} (slow) en el momento de mayor valor asociado a la circulación del tren.
- 5) Cuantificar los otros descriptores presentes en tablas de resultados.
- 6) Evaluar el descriptor LA_{max} (slow) respecto del criterio normativo de 35 dBA según FTA 0123:2018, para uso de suelo categoría 2 y eventos frecuentes.

Tabla 2. Límite por categorías según uso de suelo efectivo.

Land Use Category	GBV Impact Levels (VdB re 1 micro-inch /sec)			GBN Impact Levels (dBA re 20 micro Pascals)		
	Frequent Events	Occasional Events	Infrequent Events	Frequent Events	Occasional Events	Infrequent Events
Category 1: Buildings where vibration would interfere with interior operations.	65 VdB*	65 VdB*	65 VdB*	N/A**	N/A**	N/A**
Category 2: Residences and buildings where people normally sleep.	72 VdB	75 VdB	80 VdB	35 dBA	38 dBA	43 dBA
Category 3: Institutional land uses with primarily daytime use.	75 VdB	78 VdB	83 VdB	40 dBA	43 dBA	48 dBA

* This criterion limit is based on levels that are acceptable for most moderately sensitive equipment such as optical microscopes. For equipment that is more sensitive, a Detailed Vibration Analysis must be performed.
** Vibration-sensitive equipment is generally not sensitive to ground-borne noise; however, the manufacturer's specifications should be reviewed for acoustic and vibration sensitivity.

4.2. Predicción Ruido Inducido por Influencia de Ruido Ambiente

En caso de que las mediciones de ruido inducido se vean influenciadas por el ruido ambiente, ya sea por el tráfico vehicular o por el propio ruido del quehacer del recinto en evaluación, de acuerdo con la verificación realizada con los pasos 1 y 2 mencionados en sección anterior, se debe realizar una predicción del ruido inducido en base a la vibración mecánica del eje que presenta el mayor valor medido.

La predicción se realiza considerando la siguiente expresión de acuerdo con lo establecido en la guía FTA 0123:2018 sección 6.5.

Ilustración 4. Fórmula para estimar el nivel de ruido inducido o Ground-borne Noise.

- Floor vibration and ground-borne noise** – The projected floor vibration is used to estimate the levels of ground-borne noise. The primary factors affecting noise level are the average vibration level of the room surfaces and the amount of acoustical absorption within the room. The radiation adjustment is -5 dB for typical rooms, ⁽³⁷⁾ ⁽⁵⁰⁾ which gives:

$$L_A \approx L_V + K_{A-wt} - 5 \quad \text{Eq. 6-8}$$

where:

 - L_A = A-weighted sound level in a 1/3-octave band
 - L_V = rms vibration velocity level in that band
 - K_{A-wt} = A-weighting adjustment at the 1/3-octave band center frequency

The A-weighted levels in the 1/3-octave bands are combined to produce the overall A-weighted sound level.

 CONTADOR Y CAMPOS INGENIEROS <small>ACÚSTICA, CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES</small>	PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3	Cliete: Metro S.A.
		Fecha: 05-04-2021 Revisión: 0

Posterior a este cálculo en bandas de frecuencia de tercio de octava en el rango de frecuencias de interés, se realiza la suma energética de estas para obtener la valoración global de ruido inducido.

$$L_{Amax} = 10 \log_{10} \left(\sum_i 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \right)$$

Donde:

L_{Ai} = Nivel de presión sonora con ponderación A (dBA) para la banda de tercio de octava i . La integración (sumatoria) se realiza hasta la banda de 250Hz.

L_{Amax} = Nivel de presión sonora máximo, con ponderación A y respuesta lenta (overall A-weighted sound level).

Un ejemplo de este cálculo se presenta en tabla a continuación para un eje en particular.

Tabla 3. Ejemplo de cálculo nivel de ruido inducido estimado para el eje este.

Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este medido (VdB)	36	33	32.7	42.4	42.8	43.4	42.9	40.1	32.5	31.6	30.1	28.5	15.5
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración eje Este ponderado "A" (dBA)	-20.7	-17.5	-12.0	3.0	8.2	13.2	16.7	17.6	13.4	15.5	16.7	17.6	6.9
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" (dBA)	-25.7	-22.5	-17.0	-2.0	3.2	8.2	11.7	12.6	8.4	10.5	11.7	12.6	1.9
Nivel global estimado según método FTA (dBA)	19.8												

 <p>CONTADOR Y CAMPOS INGENIEROS ACÚSTICA, CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES</p>	<p>PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3</p>	<p>Cliente: Metro S.A.</p>
		<p>Fecha: 05-04-2021 Revisión: 0</p>

Las mediciones seleccionadas para los diferentes tramos horarios, independiente que se vean influenciadas por el ruido ambiente, también deberán satisfacer la relación $LC_{max} - LA_{max} \geq 15$ dB con ponderación slow, con objeto de determinar si el ruido presenta características de baja frecuencia y asociarlo a ruido inducido (paso 3 de sección anterior).

4.2.1. Criterios para Determinar Influencia del Ruido Ambiente

Los criterios para determinar la influencia del ruido ambiente en las mediciones corresponden a:

- 1) Identificar gráficamente la circulación de tren mediante los descriptores registrados con el sonómetro, tomando como referencia la campana de gauss que se forma en las frecuencias predominantes entre 50 Hz a 80 Hz (la que genere mejor visualización).
- 2) Analizar los descriptores presentados en el paso 2 de la sección 4.1 del presente informe, identificando los niveles máximos medidos durante la circulación.
- 3) Revisión del registro de audios correspondiente a las circulaciones seleccionadas, distinguiendo la presencia de fuentes externas de ruido durante la circulación de tren (tránsito vehicular, voces, ladridos, quehacer diario del recinto).

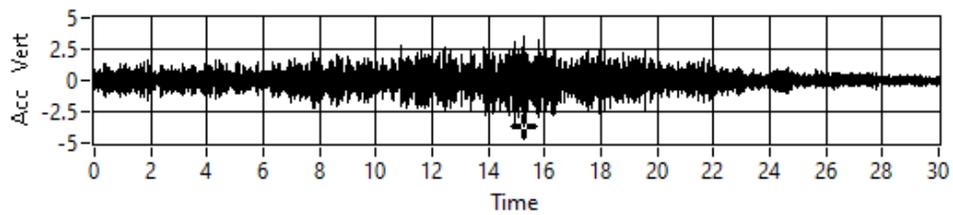
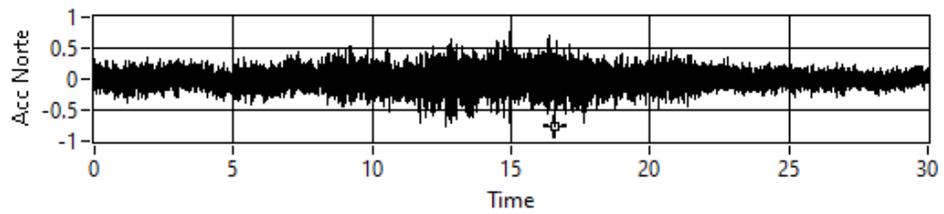
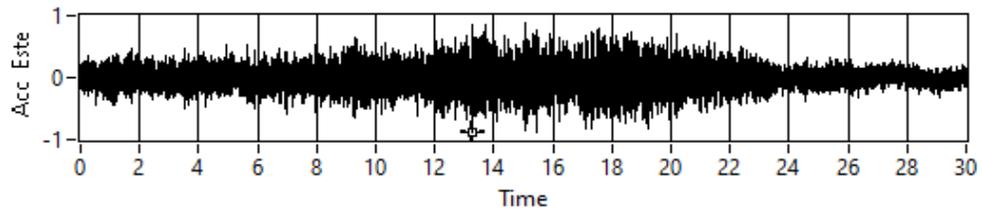
Es importante destacar que el nivel máximo alcanzado en una frecuencia predominante (50 a 80 Hz), debe verse reflejado como valor máximo también en el descriptor Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (LA_{max}). En mediciones sin mayor influencia del ruido ambiente es posible evidenciar este criterio de manera clara (ejemplo ilustración 2 del presente documento).

4.2.2. Análisis de la Señal de Vibración Mecánica

En este apartado se detallan los pasos asociados al postproceso de la señal de vibración mecánica, utilizada para la predicción del ruido inducido.

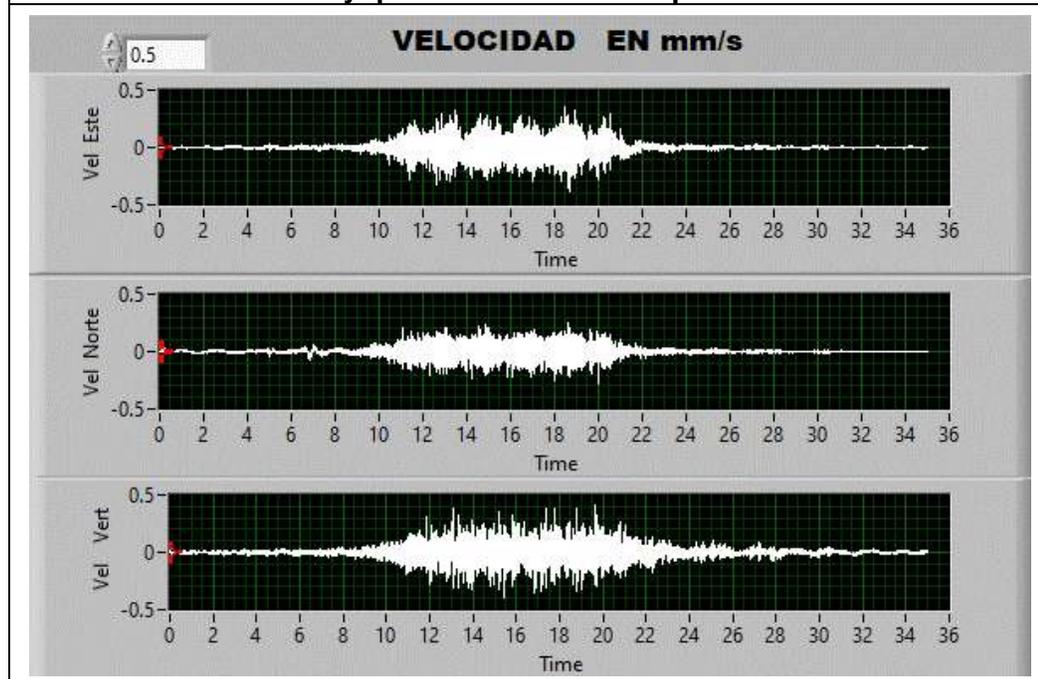
- 1) Si es detectada la influencia de ruido ambiente en la circulación, se identifica la misma circulación de tren en el registro triaxial de vibraciones medido en el dominio del tiempo con los acelerómetros. Se comprueba que los niveles registrados corresponden a energía proveniente de la circulación del tren con ayuda de los registros en bitácoras proporcionados por Metro S.A. asociados al periodo de medición. Este análisis se realiza en el rango de frecuencias de 16 Hz a 250 Hz.

**Ejemplo registro de la señal de aceleración en el tiempo en cm/s^2 de cada eje
para una circulación en particular**



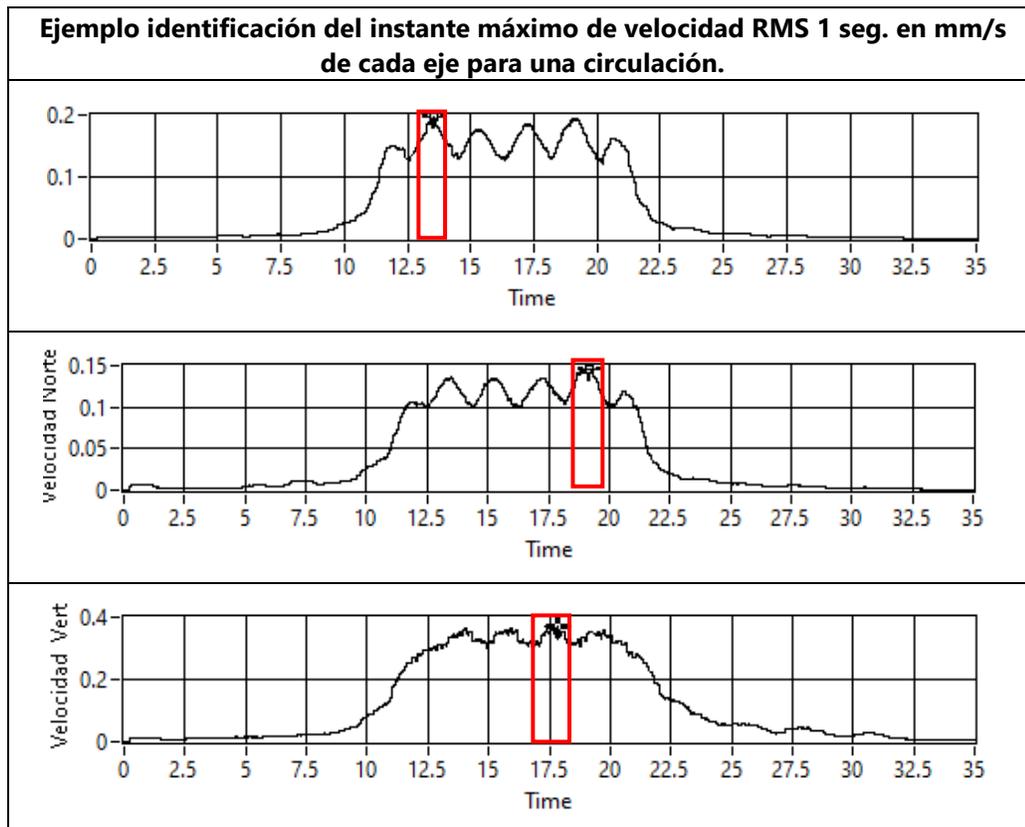
- 2) Se calcula la integral en el dominio del tiempo y se aplica un filtro pasa altos de 0.5 Hz Butterworth clase 3, obteniendo así la velocidad vibratoria.
- 3) Se calcula la ventana de velocidad RMS 1 segundo con referencia 1 $\mu\text{in/s}$ (envolvente RMS), lo que permite visualizar de manera clara la circulación de tren además de la zona de mayor energía.

Ejemplo registro integrado de velocidad RMS 1 seg. en el tiempo en mm/s de cada eje para una circulación en particular



 <p>CONTADOR Y CAMPOS INGENIEROS ACUSTICA, CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES</p>	<p>PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3</p>	<p>Cliete: Metro S.A.</p>
		<p>Fecha: 05-04-2021</p>
		<p>Revisión: 0</p>

- 4) Se identifica el instante máximo de velocidad RMS 1 segundo para cada eje medido durante la circulación del tren.



- 5) En el instante de máxima velocidad RMS 1 segundo seleccionado, se calcula el espectro de velocidad vibración en tercios de octava sin ponderación alguna, indicando los niveles alcanzados en el espectro de interés de 16 Hz hasta 250 Hz según lo establecido en la Norma ISO 14837-1 "Mechanical Vibration – Ground-borne Noise and Vibration arising from rail systems – Part 1: General Guidance" en el capítulo 5.3 página 9, para efectos de evaluación de ruido inducido (GBN o Ground-Borne Noise).

	PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3	Cliente: Metro S.A.
		Fecha: 05-04-2021 Revisión: 0

Ilustración 5. Extracto Norma ISO 14837-1 espectro de interés para cuantificar niveles de ruido inducido transmitido por el suelo o GBN.

5.3 Perception of ground-borne noise (16 Hz to 250 Hz)

Ground-borne noise occurs when often imperceptible levels of ground-borne vibration give rise to vibration of building surfaces, and some contents that in turn cause an audible “rumbling” sound, usually by radiation to the air inside rooms. Ground-borne noise is more often associated with rail systems in tunnels, as distinct from railways at grade, because the receiving building is completely screened from any airborne noise in the tunnel. Ground-borne noise could, however, also be an issue for an at-grade situation in a room that is on the remote façade to the source.

La siguiente tabla muestra los niveles de velocidad de vibración alcanzados (VdB) sin ponderar para las bandas de tercio de octava en cada eje medido para una circulación de tren, a modo de ejemplo:

Tabla 4. Nivel (VdB) registrado en bandas de tercio de octava para cada eje, a modo de ejemplo

Eje	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
E-O	36	33	32.7	42.4	42.8	43.4	42.9	40.1	32.5	31.6	30.1	28.5	15.5
N-S	32.8	32	34.3	44.3	47.2	46.4	43.2	35.9	29.1	24.9	26.6	27	15.7
U-D	46.8	50.9	51.5	50.3	55.6	58.5	57.3	58	50.5	42.8	30.7	29.6	19.5

- 6) Para estimar el nivel de ruido inducido se procede a calcular el espectro de velocidad de vibración de cada eje ponderado en curva “A”, y aplicar una constante de corrección por banda de -5 dB, para posteriormente realizar la suma energética de las bandas y generar un valor de número único o global, de acuerdo con el procedimiento establecido en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018 sección 6.5.

Ilustración 6. Metodología para estimar el nivel de ruido inducido a partir del nivel del espectro de velocidad.

^{xi} The A-weighted level of ground-borne noise can be estimated by applying A-weighting to the vibration velocity spectrum and by subtracting an additional 5 dB for a room with average acoustical absorption. Since the A-weighting at 31.5 Hz is -39.4 dB, if the vibration spectrum peaks at 30 Hz, the A-weighted sound level will be approximately 40 dB lower than the velocity level. If the vibration spectrum peaks at 60 Hz, the A-weighted sound level will be approximately 25 dB lower than the velocity level.

	PROTOCOLO DE MEDICIÓN RUIDO INDUCIDO Y POSTPROCESO DE SEÑALES – CIRCULACIÓN DE TRENES LÍNEA 3	Cliente: Metro S.A.
		Fecha: 05-04-2021 Revisión: 0

- 7) Una vez estimado el nivel global de ruido inducido a partir del instante máximo de la circulación (RMS 1 segundo) en cada eje, se compara el nivel global del eje de mayor valor con el límite residencial para uso de suelo categoría 2 y eventos frecuentes establecido en la guía FTA 0123:2018 de 35 dBA, el límite más estricto para este tipo de edificaciones.

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El informe contiene los niveles registrados mediante mediciones de ruido inducido de forma directa para cada circulación de tren evaluada, así como el cálculo de los niveles de ruido inducido estimados mediante el registro de vibraciones mecánicas para cada circulación que se vea evidentemente influenciada por el ruido ambiente.

Se presenta la evaluación de los niveles de ruido inducido medidos al interior del recinto según el criterio normativo FTA 0123:2018 cuyo nivel máximo permitido para tipo residencial con uso de suelo en categoría 2 para eventos frecuentes se establece en 35 dBA.

Las tablas con resultados principales del informe presentan el siguiente formato.

Tabla 5. Formato tabla presentación de niveles.

Nº Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	RMS 1 seg. (dBv) Eje N-S	RMS 1 seg. (dBv) Eje E-O	RMS 1 seg. (dBv) Eje U-D	Nivel Proyectado (dBA) Eje N-S	Nivel Proyectado (dBA) Eje E-O	Nivel Proyectado (dBA) Eje U-D

Tabla 6. Formato tabla evaluación normativa.

Receptor	Fecha	Hora	Tiempo de integración	L _{Amax} (slow) (dBA)	L _{Aeq} (dBA)	Ruido de fondo (dBA)	NPS a los 50 Hz – 80 Hz	Influencia RF	Predicción de GBN (RMS 1 seg) (dBA)	Eje para predicción	Resultado (Supera / no Supera / Nulo)

Por último, la información es complementada mediante un anexo con audios de cada circulación evaluada y un documento en formato .xls con la medición de ruido inducido del periodo total de evaluación con registro continuo cada 1 segundo de los descriptores Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (L_{Aeq} 1 seg.) y Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (L_{Amax}) con respuesta rápida (fast) y lenta (slow).

MEDICIÓN DE RUIDO INDUCIDO SEGÚN FTA 0123-2018

Receptor ubicado en Av. Larraín N°6523, La Reina

Preparado para:



Preparado por:



MEDICIÓN DE RUIDO INDUCIDO SEGÚN FTA 0123-2018

**Receptor ubicado en Av. Larrain N°6523, La Reina
Santiago | Chile**

Número de Proyecto: 210203-1

Contador y Campos Ingenieros Ltda.

Acústica, Control de Ruidos y Ruido

Santiago, Chile

Fonos: +56 2 2985 1088 / +56 2 2792 6371

contacto@contadorycampos.cl

www.contadorycampos.cl

Revisión 1

24 de marzo de 2021

Elaborado por

Contador y Campos Ingeniería Limitada

Aprobado por

Contador y Campos Ingeniería Limitada

ÍNDICE

1	RESUMEN EJECUTIVO	4
2	INTRODUCCION	5
3	OBJETIVO	6
4	ANTECEDENTES NORMATIVOS	6
4.1	FTA REPORT N°0123:2018	6
4.2	NORMATVA COMPLEMENTARIA	8
5	ANTECEDENTES DE MEDICIÓN	10
5.1	PUNTO DE MEDICIÓN.....	10
5.2	MONTAJE DE EQUIPAMIENTO.....	12
6	METODOLOGÍA	16
6.1	ESTIMACIÓN NIVEL DE RUIDO INDUCIDO SEGÚN METODOLOGIA FTA 0123:2018 18	
7	MEDICIONES ACÚSTICAS.....	23
7.1	RESULTADOS DE LA MEDICIÓN CONTINUA 24 HRS	23
7.2	RESUMEN DE LOS NIVELES DE RUIDO Y VIBRACIÓN OBTENIDOS PARA CADA CIRCULACIÓN DE TREN IDENTIFICADA.....	27
7.3	DETALLE DE CIRCULACIÓN DE TRENES HORARIO DIURNO	32
7.4	DETALLE DE CIRCULACIÓN DE TRENES HORARIO NOCTURNO	59
8	EVALUACIÓN DE NORMATIVA.....	73
8.1	EVALUACIÓN CIRCULACIONES DIURNAS.....	73
8.2	EVALUACIÓN CIRCULACIONES NOCTURNAS	75
9	CONCLUSION	76
10	REFERENCIAS	77
	ANEXOS.....	78
10.1	Anexo – Certificado de Calibración Sonómetro NTI XL2-TA.....	78
10.2	Anexo – Certificado de Calibración Calibrador Larson Davis.....	85
10.3	Anexo - Registro Circulación Trenes Línea 3 Tramo Plaza Egaña (PZE) – Fernando Castillo Velasco (FCV).....	88
10.4	Anexo – Espectros de Vibración Circulaciones Influenciadas por Ruido Ambiente 97	
11	EQUIPO DE TRABAJO	105

1 RESUMEN EJECUTIVO

El documento a continuación entrega los resultados obtenidos para la evaluación de los niveles de ruido inducido (Groundborne Noise o GBN), al interior de una edificación de acuerdo con la metodología y niveles de referencia establecidos en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018.

Los resultados analizados y presentados en este informe corresponden a los medidos en el receptor ubicado en Av. Larráin N°6523, Departamento N°203 (piso 2), comuna de La Reina, cuyos registros al interior del recinto evaluado para el 2^{do} piso son comparados con el límite para residencias de FTA 0123:2018.

El receptor se encuentra ubicado en el tramo perteneciente a Línea 3 de Metro S.A. comprendido entre las estaciones Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco.

De acuerdo con los registros y los análisis obtenidos de las mediciones realizadas al interior del recinto mencionado, se puede observar que en 23 circulaciones diurnas analizadas solo 10 se ven influenciadas por ruido ambiente, en las cuales se procede a estimar el ruido inducido. De la misma manera en las 20 circulaciones nocturnas analizadas solo 2 se ven influenciadas por ruido ambiente.

Debido a que la vibración generada por la circulación de trenes no depende de la carga producto de la dependencia de la masa no suspendida del material rodante, es esperable que los niveles exclusivos de ruido inducido (Groundborne Noise o GBN) se mantengan en un rango de valores correctamente medidos durante el periodo diurno como el periodo nocturno.

De esta manera las circulaciones cumplen a cabalidad con el límite máximo para el tipo residencial definida por la metodología estipulada en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018. Lo anterior se cumple para los niveles de ruido inducido medidos de manera directa, como para los niveles de ruido inducido estimados según metodología FTA cuando son influenciados por el ruido ambiente, para las circulaciones de trenes diurnas y nocturnas evaluadas durante el periodo de medición.

2 INTRODUCCION

El presente informe entrega los resultados obtenidos de la medición y evaluación de Ruido Inducido (Groundborne Noise o GBN) al interior de una edificación, de acuerdo con la metodología estipulada en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018 "*Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual*", debido a la circulación de trenes asociados a la operación de Línea 3 de Metro S.A. de Santiago. Esta línea presenta 18 estaciones y se extiende por 22 km aproximadamente, abarcando las comunas de Quilicura, Conchalí, Independencia, Santiago, Ñuñoa y La Reina.

Los resultados presentados y analizados en este documento corresponden al recinto ubicado específicamente en Av. Larraín N°6523, Departamento N°203 (piso 2), Comuna de La Reina, en el tramo comprendido entre las estaciones Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco, específicamente el sector entre Calle Lynch y Fernando Castillo Velasco.

Se analizan los niveles de ruido inducido medido de manera continua en forma global y en bandas de frecuencia de tercio de octava, cuantificando los descriptores Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (LAeq 1 seg.), Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (LAmaz) con respuesta rápida (fast) y lenta (slow) y Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "C" con respuesta lenta (slow).

De manera complementaria, debido al conocimiento de ruido ambiente en la ciudad de Santiago producto del tránsito vehicular, se realizan mediciones de vibraciones mecánicas para el análisis de la señal de velocidad mediante registro de tiempo historia para cada eje de medición, considerando los niveles registrados en el eje de mayor valor para estimar el nivel de ruido inducido en aquellos casos donde el ruido ambiente interfiere el correcto análisis de los descriptores mencionados anteriormente, de acuerdo a lo indicado en la FTA.

3 OBJETIVO

Evaluar los niveles de ruido inducido (Groundborne Noise o GBN) asociado a la circulación de trenes en la interestación Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco de Línea 3, al interior del recinto ubicado en Av. Larraín N°6523, comuna de La Reina, contrastando los niveles registrados con los máximos permitidos según la metodología y niveles de referencia establecidos en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018 para edificaciones del tipo residencial, considerando eventos frecuentes.

4 ANTECEDENTES NORMATIVOS

4.1 FTA REPORT N°0123:2018

Este criterio normativo corresponde a la metodología recomendada por el Departamento de Transporte de Estados Unidos, a través del reporte de la Agencia Federal de Tránsito (FTA) publicado en septiembre de 2018, que considera la evaluación para período diurno (entre 07:00 hrs a 22:00 hrs) y período nocturno (entre 22:00 hrs y 07:00 hrs) de los niveles de ruido inducido (GBN) originados por la contribución exclusiva del tránsito ferroviario en el interior del recinto evaluado ubicado en el tramo comprendido entre las estaciones Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco.

Este criterio normativo no es claro en el descriptor, ni tampoco en el tipo de respuesta del instrumental (slow o fast) para cuantificar los niveles de presión sonora. De hecho, la tabla 5-1, página 110 de la FTA detalla que, “Los niveles de sonido con ponderación A representan el ruido general en un receptor que se ajusta en frecuencia para aproximarse a la sensibilidad de la audición humana típica. Esta unidad se utiliza para caracterizar el ruido transmitido por el suelo”.

Tabla 1. Métricas para Groundborne Vibration y Groundborne Noise.

Metric	Abbreviation	Definition
Vibration Decibels	VdB	The vibration velocity level in decibel scale.
Peak Particle Velocity	PPV	The peak signal value of an oscillating vibration velocity waveform. Usually expressed in inches/second in the United States.
Root Mean Square	rms	The square root of the arithmetic average of the squared amplitude of the signal.
A-weighted Sound Level	dBA	A-weighted sound levels represent the overall noise at a receiver that is adjusted in frequency to approximate typical human hearing sensitivity. This unit is used to characterize ground-borne noise.

Fuente: Manual FTA, tabla 5-1, página 110.

El criterio de evaluación se basa en una comparación entre los niveles medidos y los niveles de referencia indicados como apenas perceptible y distintivamente perceptible establecidos en el capítulo 5 de la guía presentados en la tabla a continuación.

Tabla 2. Respuesta humana a los diferentes niveles de vibración y ruido inducido.

Vibration Velocity Level	Noise Level		Human Response
	Low Freq*	Mid Freq**	
65 VdB	25 dBA	40 dBA	Approximate threshold of perception for many humans. Low-frequency sound: usually inaudible. Mid-frequency sound: excessive for quiet sleeping areas.
75 VdB	35 dBA	50 dBA	Approximate dividing line between barely perceptible and distinctly perceptible. Many people find transit vibration at this level annoying. Low-frequency noise: tolerable for sleeping areas. Mid-frequency noise: excessive in most quiet occupied areas.
85 VdB	45 dBA	60 dBA	Vibration tolerable only if there are an infrequent number of events per day. Low-frequency noise: excessive for sleeping areas. Mid-frequency noise: excessive even for infrequent events for some activities.

*Approximate noise level when vibration spectrum peak is near 30 Hz.
**Approximate noise level when vibration spectrum peak is near 60 Hz.

Fuente: Manual FTA, tabla 5-5, página 120.

El procedimiento establecido en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018 indica que el nivel de ruido inducido se estima aplicando la curva de ponderación A al espectro RMS 1 segundo de velocidad vibratoria en tercios de octava y sustrayendo 5 dB adicionales.

Ilustración 1. Metodología para estimar el nivel de ruido inducido a partir del espectro de velocidad.

<p>^{xi} The A-weighted level of ground-borne noise can be estimated by applying A-weighting to the vibration velocity spectrum and by subtracting an additional 5 dB for a room with average acoustical absorption. Since the A-weighting at 31.5 Hz is -39.4 dB, if the vibration spectrum peaks at 30 Hz, the A-weighted sound level will be approximately 40 dB lower than the velocity level. If the vibration spectrum peaks at 60 Hz, the A-weighted sound level will be approximately 25 dB lower than the velocity level.</p>
--

Fuente: Manual FTA, pie de página, página 119.

Para la definición del límite normativo a considerar, se utiliza la categoría 2 en uso de suelo, aplicable a recintos residenciales y eventos frecuentes, cuyo límite es el más estricto para este tipo de edificaciones.

Tabla 3. Categorías según uso de suelo efectivo.

Land Use Category	GBV Impact Levels (VdB re 1 micro-inch /sec)			GBN Impact Levels (dBA re 20 micro Pascals)		
	Frequent Events	Occasional Events	Infrequent Events	Frequent Events	Occasional Events	Infrequent Events
Category 1: Buildings where vibration would interfere with interior operations.	65 VdB*	65 VdB*	65 VdB*	N/A**	N/A**	N/A**
Category 2: Residences and buildings where people normally sleep.	72 VdB	75 VdB	80 VdB	35 dBA	38 dBA	43 dBA
Category 3: Institutional land uses with primarily daytime use.	75 VdB	78 VdB	83 VdB	40 dBA	43 dBA	48 dBA

* This criterion limit is based on levels that are acceptable for most moderately sensitive equipment such as optical microscopes. For equipment that is more sensitive, a Detailed Vibration Analysis must be performed.

** Vibration-sensitive equipment is generally not sensitive to ground-borne noise; however, the manufacturer's specifications should be reviewed for acoustic and vibration sensitivity.

Fuente: Manual FTA, tabla 6-3, página 126.

4.2 NORMATVA COMPLEMENTARIA

Debido a que el criterio normativo FTA 2018 no es claro en el descriptor y tipo de respuesta a utilizar para cuantificar los niveles de ruido inducido producto de la circulación ferroviaria, se ha considerado para la evaluación el descriptor Nivel de Presión Sonora Máximo con Ponderación “A” (L_{Amax}) y respuesta lenta (slow), acorde a las directrices para sistemas ferroviarios existentes en la materia, las cuales se resumen a continuación.

Guidelines for the Assessment of Noise from Rail Infrastructure, de la Environment Protection Authority (EPA) – South Australia (2013).

En esta guía, se entregan las directrices que describen los enfoques para minimizar y gestionar los impactos del ruido inducido y las vibraciones mecánicas de la actividad ferroviaria, incluido el proceso para evaluar los impactos potenciales y permitir una gestión ambiental adecuada.

En el capítulo 4.2 de la presente guía, se establece el descriptor a utilizar para su evaluación respecto de los valores obtenidos de una circulación de tren. Este descriptor corresponde al L_{Amax} con respuesta en “slow” como se indica en la siguiente ilustración:

<p>4.2 Ground-borne rail noise measurement</p> <p>Ground-borne rail noise levels at a site should only be measured where the level of ground-borne rail noise is higher than that of air-borne noise from the rail pass-bys.</p> <p>To provide ground-borne noise measurements of appropriate accuracy:</p> <ul style="list-style-type: none">• sound level meters are to be of at least Class 1 certification as defined by AS IEC-61672.1-2004• meters or loggers must be calibrated on site immediately before and after any measurement period using a calibrator which is suitable for the class of the instrument and complies with AS IEC-60942-2004• L_{Amax} levels should be measured using the ‘Slow’ response setting on the meter or logger.

Fuente: EPA - South Australia (2013), capítulo 4.2, página 20.¹

Esta misma guía menciona que la Norma ISO 14837-1 proporciona más información sobre la medición del ruido transmitido por el suelo de las operaciones ferroviarias.

¹ https://www.epa.sa.gov.au/files/47789_guidelines_rail_noise.pdf

Guía general ISO 14837-1 Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 1: General Guidance.

Esta parte de la Norma ISO 14837 proporciona directrices sobre las consideraciones esenciales asociadas con la cuantificación de los niveles de ruido transmitido por el suelo o GBN que aplica para este caso.

Uno de los puntos importantes, corresponde al espectro de interés para efectos de evaluación del GBN el cual establece el rango entre los 16 Hz a 250 Hz mencionado en el capítulo 5.3, página 9.

5.3 Perception of ground-borne noise (16 Hz to 250 Hz)

Ground-borne noise occurs when often imperceptible levels of ground-borne vibration give rise to vibration of building surfaces, and some contents that in turn cause an audible “rumbling” sound, usually by radiation to the air inside rooms. Ground-borne noise is more often associated with rail systems in tunnels, as distinct from railways at grade, because the receiving building is completely screened from any airborne noise in the tunnel. Ground-borne noise could, however, also be an issue for an at-grade situation in a room that is on the remote façade to the source.

En el capítulo 6.3, página 11, detalla que se debe cuantificar el ruido transmitido por el suelo utilizando el nivel máximo de presión acústica ponderado en A con una constante de tiempo “Slow”, abreviado como $L_{pASmáx}$ (abreviatura similar a L_{Amax}).

6.3 Perception of ground-borne noise

Ground-borne noise should be evaluated in the metric recommended by the relevant national standards and should be consistent with the form of the guide value to be adopted.

To assist in future standards development of rating values, ground-borne noise should also be quantified using the maximum A-weighted sound pressure level with a slow time constant, L_{pASmax} and the raw unweighted sound pressure time history should be preserved so that metrics such as event L_{pAeq} and the one-third-octave band linear spectrum of the event can be derived.

Guía general ISO/TS 14837-31 Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 31: Guideline on field measurements for the evaluation of human exposure in buildings.

Esta parte de la Norma ISO 14837 proporciona directrices respecto de las mediciones en terreno, entregando una recomendación objetiva respecto de la discriminación de cuando un ruido es de baja frecuencia y por ende se asocia a ruido inducido (Groundborne noise) y no a ruido aéreo (airborne noise).

En tabla 9 “*Requeriments on analysis, evaluation and reporting procedures*”, páginas 17 y 18 se indica:

The difference $L_{pCSmax} - L_{pASmax}$ should be calculated and reported (see Note 7)

NOTE 7 a difference of 15 dB between the average values L_{pCSmax} – L_{pASmax} indicates low-frequency noise, characteristic of groundborne noise; conversely, a small difference may indicate the presence of airborne noise (see reference 23).

Lo cual se traduce que si la diferencia en los descriptores L_{pCSmax} – $L_{pASmax} \geq 15$ dB existe presencia de ruido de baja frecuencia asociado a ruido inducido.

5 ANTECEDENTES DE MEDICIÓN

5.1 PUNTO DE MEDICIÓN

El recinto evaluado se ubica en Av. Larraín N°6523, Departamento N°203 (piso 2), Comuna de La Reina, recinto de 4 pisos que se ubica a 25 m perpendiculares al eje de la vía aproximadamente en el PK 21+160, en la interestación Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco de Línea 3.

La medición se realizó los días 4 y 5 de febrero de 2021, en el interior del departamento N°203, el cual contaba con Mobiliario de habitación, que corresponde al uso efectivo del recinto.

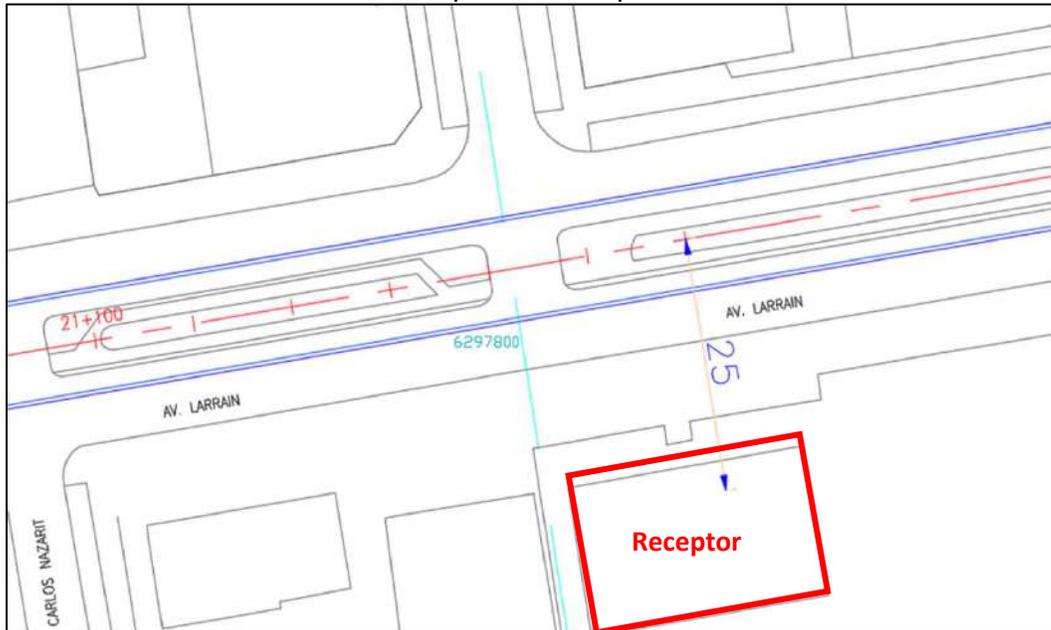
Cabe señalar que la zona del trazado de la vía frente a la cual se emplaza el recinto evaluado corresponde a una zona recta, y con sistema de soporte con sistema de mitigación de vibraciones del tipo -10 dB implementado.

Las siguientes ilustraciones muestran la ubicación del punto de medición.

Ilustración 2. Vista aérea Interestación Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco.



Ilustración 3. Croquis de ubicación punto de medición.



Vista en planta y Frontis del recinto





Tabla 4. Descripción del punto de medición.

Punto de evaluación	Coordenadas U.T.M. Datum WGS84		Descripción	Pk del trazado L3
	E	N		
Av. Larraín N°6523 – Dpto N°203, Comuna de La Reina	354 753	6 297 404	Medición interior	21+160

5.2 MONTAJE DE EQUIPAMIENTO

Se realizó el montaje de equipamiento para la medición de ruido inducido y vibración mecánica, de acuerdo con los espacios disponibles en el recinto facilitado por los residentes, donde el instrumental utilizado es el siguiente:

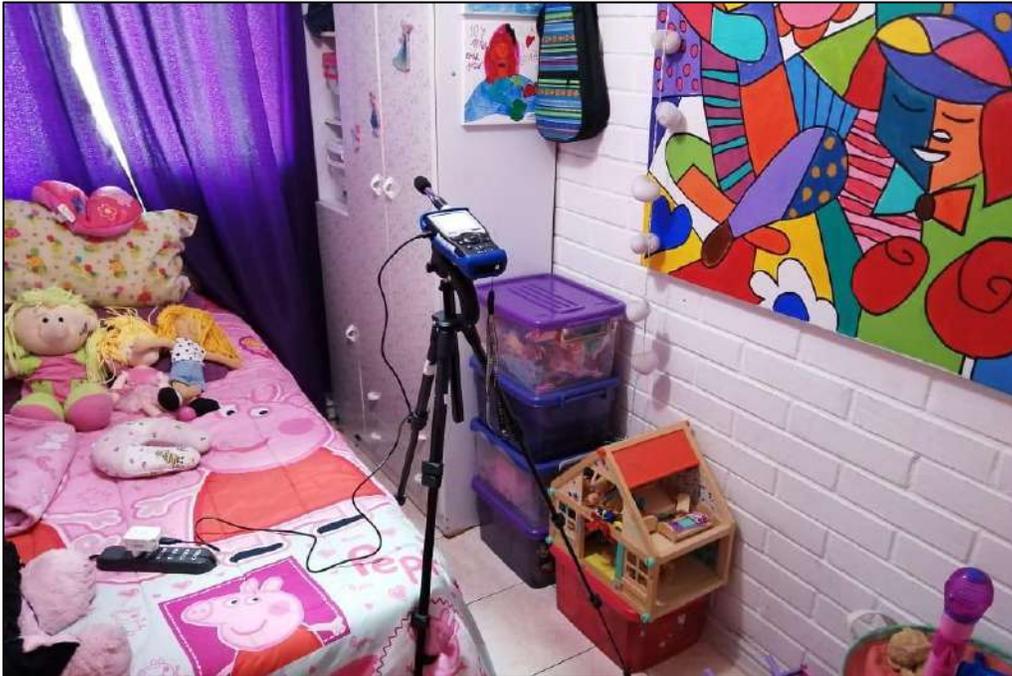
- Sonómetro
1 sonómetro marca NTI Audio modelo XL2-TA, Clase 1.
1 calibrador acústico Larson Davis modelo CAL 200.
- Sensores
3 acelerómetros marca PCB, modelo 333B50 de 1000mV/g de sensibilidad.
- 1 Sistema de adquisición Embebido Compact Rio 9063
3 canales de adquisición con 1 unidad C-Module 9230.

Tabla 5. Características sistema Embebido Compact Rio 9063.

Input Characteristics	
Number of channels	3 analog input channels
ADC resolution	24 bits
Type of ADC	Delta-Sigma (with analog prefiltering)
Sampling mode	Simultaneous
Type of TEDS supported	IEEE 1451.4 TEDS Class I
TEDS capacitive drive	3000 pF
Internal master timebase (f_M)	
Frequency	13.1072 MHz
Accuracy	±100 ppm
Data rate range (f_s) using internal master timebase	
Minimum	0.985 kS/s
Maximum	12.8 kS/s
Data rate range (f_s) using external master timebase	
Minimum	0.977 kS/s
Maximum	12.84 kS/s

Para el presente estudio se consideró una medición continua de ruido inducido y vibraciones mecánicas de 24 hrs al interior del recinto, con logging cada 1 segundo en forma global y en bandas de frecuencia de tercio de octava, cuantificando los descriptores Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (LAeq 1 seg.) y Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (LAmáx) con respuesta rápida (fast) y lenta (slow), y Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "C" con respuesta lenta (slow), mediante sonómetro clase 1.

Ilustración 4. Montaje sonómetro.



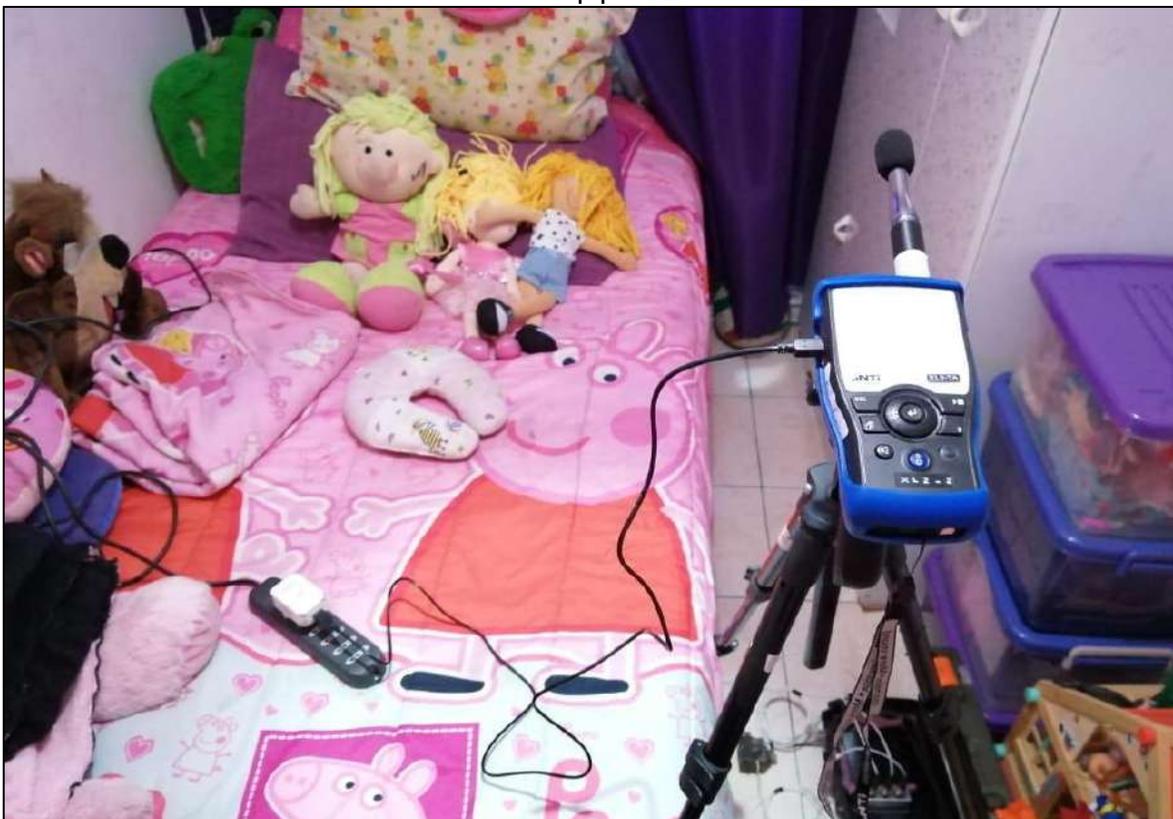
Acorde a lo indicado en FTA 0123:2018, se considera una medición de vibración mecánica en la misma ubicación de sonómetro, cuantificando la velocidad vibratoria con referencia $1 \mu\text{in/s}$ con un registro del tipo tiempo historia de la señal sin ponderación para cada eje de medición durante 24 hrs, en caso de requerir estimar el ruido inducido según la metodología establecida en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018, dado los niveles de ruido ambiente asociados al tráfico vehicular.

Los acelerómetros instalados al interior del recinto fueron adheridos mediante imanes a un cubo de acero el que a su vez es fijado a un piso cerámica mediante cera de abeja.

Ilustración 5. Montaje medición triaxial de velocidad de vibración.



Ilustración 6. Ubicación equipos al interior del recinto.



6 METODOLOGÍA

De acuerdo con el procedimiento establecido en el manual de la FTA 0123:2018, las mediciones consideran el registro solo al interior del recinto. De esta manera se registró un total de 23 circulaciones de trenes en horario diurno y 20 circulaciones en horario nocturno (medición pass-by), a la velocidad comercial existente actualmente en este tramo.

Se asocian estas circulaciones en los casos que es posible, a los bloques horarios que presenta Metro de Santiago en día hábil, los cuales se resumen en tabla a continuación.

Tabla 6. Horarios asociados a normativa y bloques horarios de operación Metro.

Horario FTA	Horario Circulación Metro	Observaciones
Diurno (07:00 a 22:00 hrs)	Bajo (06:00 a 07:00 hrs y 20:45 hrs a cierre)	Existen circulaciones en horario FTA
	Punta (07:00 a 09:00 hrs y 18:00 a 20:00 hrs)	Existen circulaciones en horario FTA
	Valle (09:00 a 18:00 hrs y 20:00 a 20:45 hrs)	Existen circulaciones en horario FTA
Nocturno (22:00 a 07:00 hrs)	Bajo (06:00 a 07:00 hrs y 20:45 hrs a cierre)	Existen circulaciones en horario FTA (horario cierre y apretura normal)
	Punta (07:00 a 09:00 hrs y 18:00 a 20:00 hrs)	No existen circulaciones en horario FTA
	Valle (09:00 a 18:00 hrs y 20:00 a 20:45 hrs)	No existen circulaciones en horario FTA

Metro de Santiago, facilitó los registros de circulación de trenes de los días 4 y 5 de febrero de 2021 en el tramo en cuestión, el cual se encuentra en Anexo 10.3 del presente informe.

Se analiza la presión sonora medida, considerando el descriptor Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" LAmax y respuesta lenta (slow), y el registro gráfico de la envolvente de cada circulación.

Se analiza la señal de velocidad de vibración del eje de mayor nivel para aquellas circulaciones influenciadas por el ruido ambiente presente durante la medición, de acuerdo a la revisión de la envolvente y registro de audio respectivo, en bandas de tercios de octava en el rango de frecuencia de interés entre 16 Hz y 250 Hz, estimando según metodología FTA el nivel de ruido inducido atribuido

exclusivamente a la circulación del tren, comparando el nivel máximo con los niveles de referencia establecidos en el capítulo 5 de guía FTA 0123:2018.

Para la predicción del nivel de ruido inducido de acuerdo con los niveles de velocidad vibratoria, se considera la detección del segundo de máximo valor RMS de velocidad vibratoria integrado de 1 segundo con referencia $1 \mu\text{in/s}$, para luego estimar el espectro en tercios de octava del nivel de ruido inducido en ponderación A. Este espectro corresponderá entonces a valores RMS de 1 segundo de acuerdo con la metodología establecida en la guía FTA 0123:2018.

En términos generales la metodología FTA utiliza el espectro RMS de velocidad vibratoria en tercios de octava, luego se pondera en dBA y se sustraen 5 dB, para luego realizar la suma energética de las bandas y obtener el valor de ruido inducido.

Los niveles de ruido inducido serán contrastados con el límite residencial para uso de suelo categoría 2 y eventos frecuentes según FTA 0123:2018, con el fin de verificar el cumplimiento normativo de la circulación de trenes en el punto de medición.

- Escenario de Peor Condición de Inmisión

Es importante destacar que la condición evaluada corresponde a la peor condición, dado que la vibración generada por la circulación de trenes no depende de la carga de este, es esperable que los niveles exclusivos de ruido inducido se mantengan en un rango de valores correctamente medidos durante el periodo diurno como el periodo nocturno, destacando que la evaluación en horarios de bajo tráfico vehicular o bajo ruido aéreo genera que el ruido inducido por la circulación de trenes sea más notoria, lo que se condice con los reclamos que se reciben en esta materia, producto de la menor influencia y enmascaramiento del ruido ambiente. Además, se estima el nivel de ruido inducido para cada uno de los ejes de vibración (Este, Norte y Vertical), de los cuales se evalúa el eje con el nivel de ruido inducido más alto cuando es necesario utilizar la predicción indicada por FTA 0123:2018.

6.1 ESTIMACIÓN NIVEL DE RUIDO INDUCIDO SEGÚN METODOLOGIA FTA 0123:2018

De acuerdo con lo establecido en la guía FTA 0123:2018 sección 6.5 se presenta una fórmula usada para estimar el nivel de ruido inducido (GBN o Ground-borne Noise) la cual combina niveles vibratorios, niveles ponderados en "A" y una constante de corrección, todos en bandas de tercios de octava para estimar un nivel de ruido global.

Ilustración 7. Fórmula para estimar el nivel de ruido inducido o Ground-borne Noise.

▪ **Floor vibration and ground-borne noise** – The projected floor vibration is used to estimate the levels of ground-borne noise. The primary factors affecting noise level are the average vibration level of the room surfaces and the amount of acoustical absorption within the room. The radiation adjustment is -5 dB for typical rooms, ⁽³⁷⁾ ⁽⁵⁰⁾ which gives:

$$L_A \approx L_V + K_{A-wt} - 5 \quad \text{Eq. 6-8}$$

where:

- L_A = A-weighted sound level in a 1/3-octave band
- L_V = rms vibration velocity level in that band
- K_{A-wt} = A-weighting adjustment at the 1/3-octave band center frequency

The A-weighted levels in the 1/3-octave bands are combined to produce the overall A-weighted sound level.

Fuente: Manual FTA, sección 6.5, página 164.

Posterior a este cálculo en bandas de frecuencia de tercio de octava en el rango de frecuencias de interés, se realiza la suma energética de estas para obtener la valoración global de ruido inducido.

$$L_{Amax} = 10 \log_{10} \left(\sum_i 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \right)$$

Donde

L_{Ai} = Nivel de presión sonora con ponderación A (dBA) para la banda de tercio de octava i . La integración (sumatoria) se realiza hasta la banda de 250Hz.

L_{Amax} = Nivel de presión sonora máximo, con ponderación A y respuesta lenta (*overall A-weighted sound level*).

Previo al proceso de estimación de niveles de ruido inducido, a través de los niveles de vibración mecánica medidos, se analiza para verificar la correcta correlación de lo medido con lo proyectado, una medición con una circulación de tren que no esté influenciada por el ruido de fondo presente en el lugar (circulación limpia).

Gráficamente este análisis se muestra en ilustración siguiente, donde el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (LAeq 1 seg.) corresponde a curva en color azul, el Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (LASmax) y respuesta lenta (slow) corresponde a curva en color verde, y el Nivel de Presión Sonora con ponderación "A" de la frecuencia de 50 Hz a 80 Hz (según corresponda) corresponde a curva en color rojo, estas últimas a modo de referencia gráfica, ya que predominan en la circulación ferroviaria y permiten discriminar visualmente de manera clara la circulación de los trenes y la envolvente máxima alcanzada.

En la circulación presentada se aprecia la clara correlación entre el máximo en la frecuencia predominante y el aumento en el nivel sonoro máximo LAmax.

Ilustración 8. Gráfico niveles de ruido de una circulación de tren limpia, sin influencia de ruido de fondo.

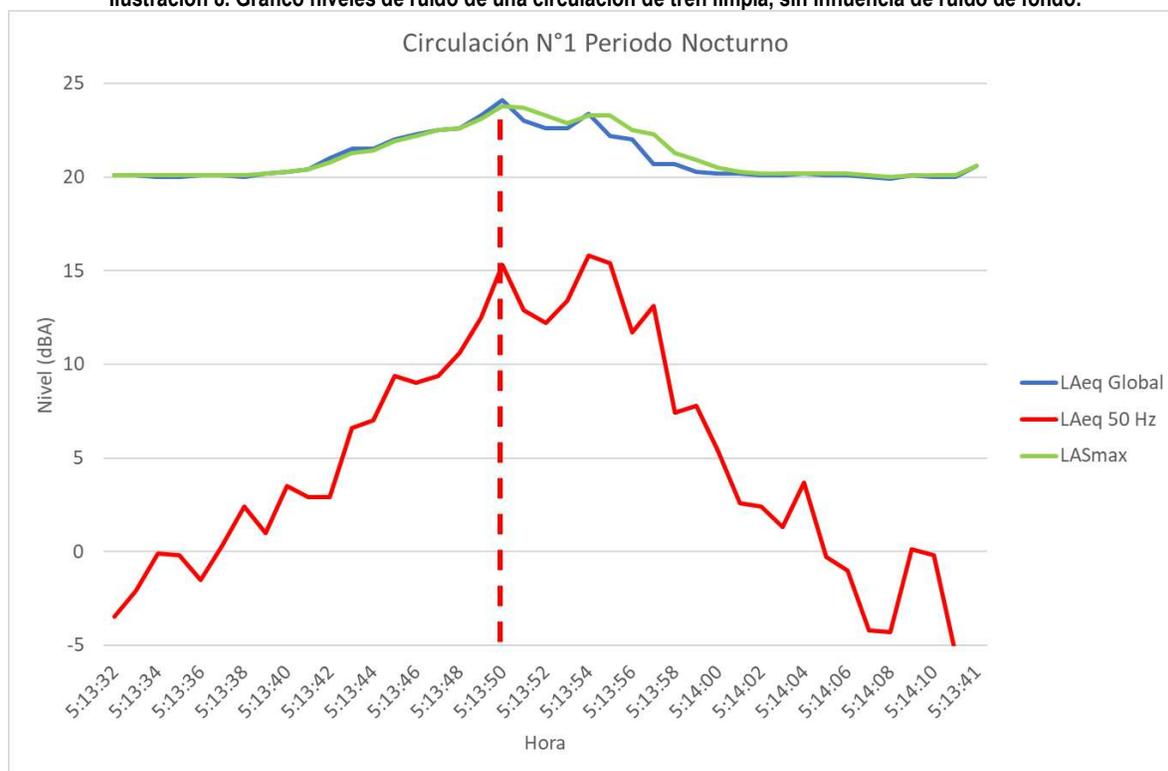
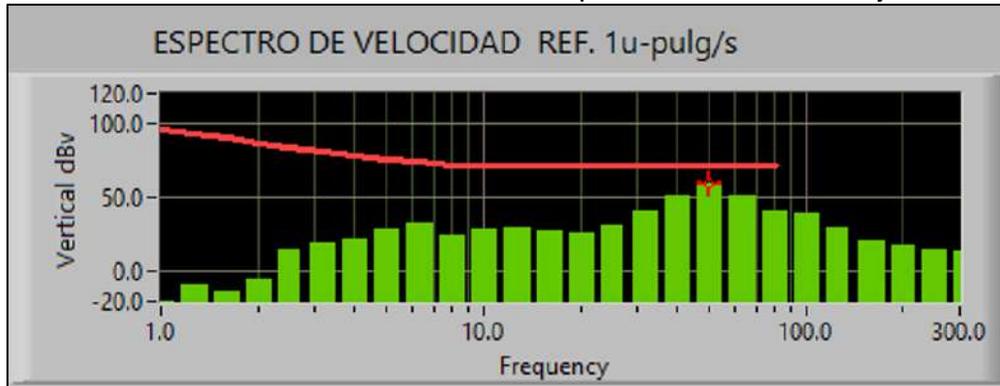


Tabla 7. Niveles peak medidos para circulación sin fuentes externas.

N° Circulación	Instante máximo	LAeq peak (1 seg.) dBA	LASmax peak (1 seg) dBA	LAeq 50 Hz peak (1 seg) dBA
1	5:13:50	24.1	23.8	15.3

Posteriormente, se procede a analizar el mismo instante en la medición realizada de vibración mecánica, considerando el eje de mayor valor alcanzado (correspondiente en este caso al eje vertical), identificando el nivel peak de velocidad vibratoria con RMS 1 segundo. En la siguiente ilustración, se detalla los niveles de vibración mecánica medidos para la misma circulación de tren.

Ilustración 9. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación de tren N°3 eje vertical.



A continuación, se analiza el nivel máximo de velocidad vibratoria con RMS 1 segundo para la circulación del tren, indicando los niveles medidos en banda de tercios de octava contemplando desde 16 Hz hasta 250 Hz.

En la siguiente tabla se presentan los cálculos realizados de acuerdo a la fórmula propuesta por la FTA, donde el valor de ruido inducido predicho es de 26.5 dBA.

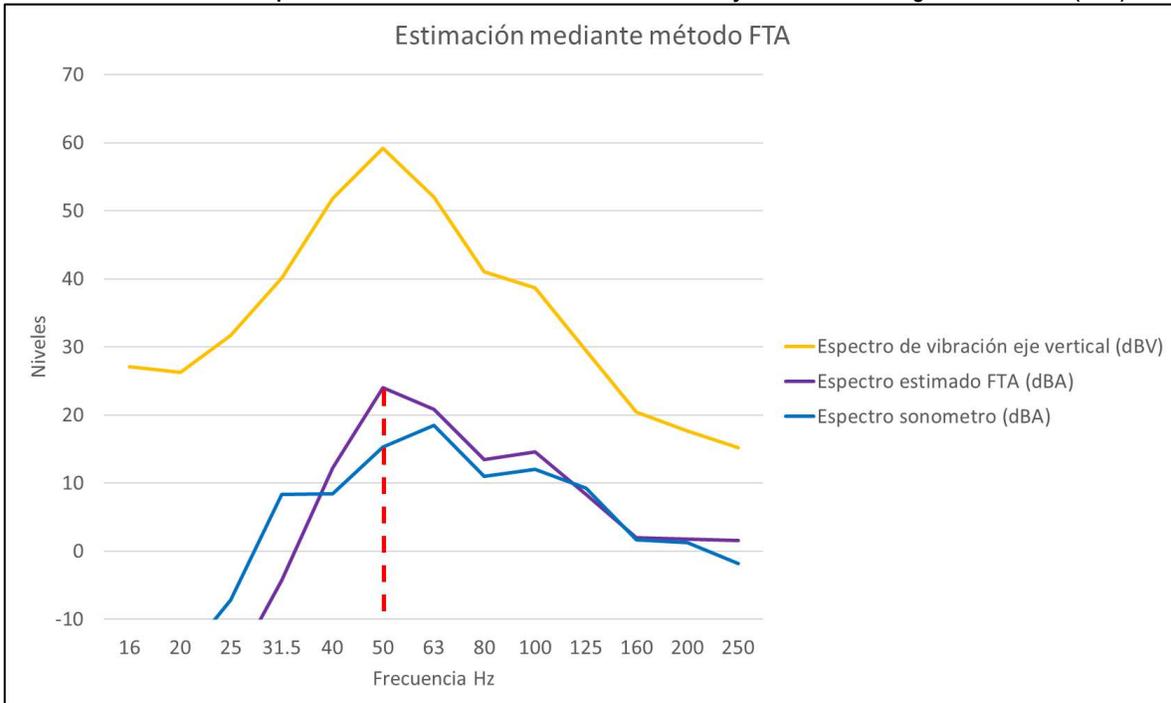
Tabla 8. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA.

Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	27.1	26.3	31.7	40.1	51.8	59.2	52.0	41.0	38.7	29.4	20.4	17.7	15.2
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-29.6	-24.2	-13.0	0.7	17.2	29.0	25.8	18.5	19.6	13.3	7.0	6.8	6.6
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-34.6	-29.2	-18.0	-4.3	12.2	24.0	20.8	13.5	14.6	8.3	2.0	1.8	1.6
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-34.6	-29.2	-18.0	-4.3	12.2	24.0	20.8	13.5	14.6	8.3	2.0	1.8	1.6
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-27.4	-16.3	-7.2	8.3	8.4	15.3	18.5	11.0	12.0	9.3	1.7	1.3	-1.8
Valor global estimado según método FTA (dBA)	26.5												

De esta manera se verifica que los niveles máximos analizados mediante el descriptor LAmax del sonómetro (23.8 dBA en ilustración 8) y el nivel global del espectro estimado mediante metodología FTA a partir de las vibraciones medidas (26.5 dBA ilustración 10) son concordantes respecto del ruido inducido presente al interior del recinto.

Gráficamente, los resultados se presentan en la siguiente ilustración, donde la curva amarilla representa el espectro de velocidad de vibración medido en el eje de mayor valor alcanzado (correspondiente en este caso al eje vertical (dBV)), la curva azul representa el espectro sonoro del ruido inducido medido con sonómetro (dBA) y la curva morada representa el espectro sonoro del ruido inducido estimado mediante metodología FTA (dBA).

Ilustración 10. Gráfico espectro en tercios de octava nivel medido en dBV y nivel estimado según método FTA (dBA).



Por lo tanto, al presentarse circulaciones de trenes influenciadas por el ruido de fondo (contaminadas), se procede a realizar este método de predicción para obtener los niveles de ruido inducido a partir de las vibraciones mecánicas generadas por la misma circulación de tren.

Cabe destacar que parte de este procedimiento, para descartar niveles de ruido externos a la circulación propia de un tren, considera el análisis de los audios obtenidos de la medición, en donde es posible discriminar entre un tren y el ruido de fondo (principalmente tránsito vehicular cercano).

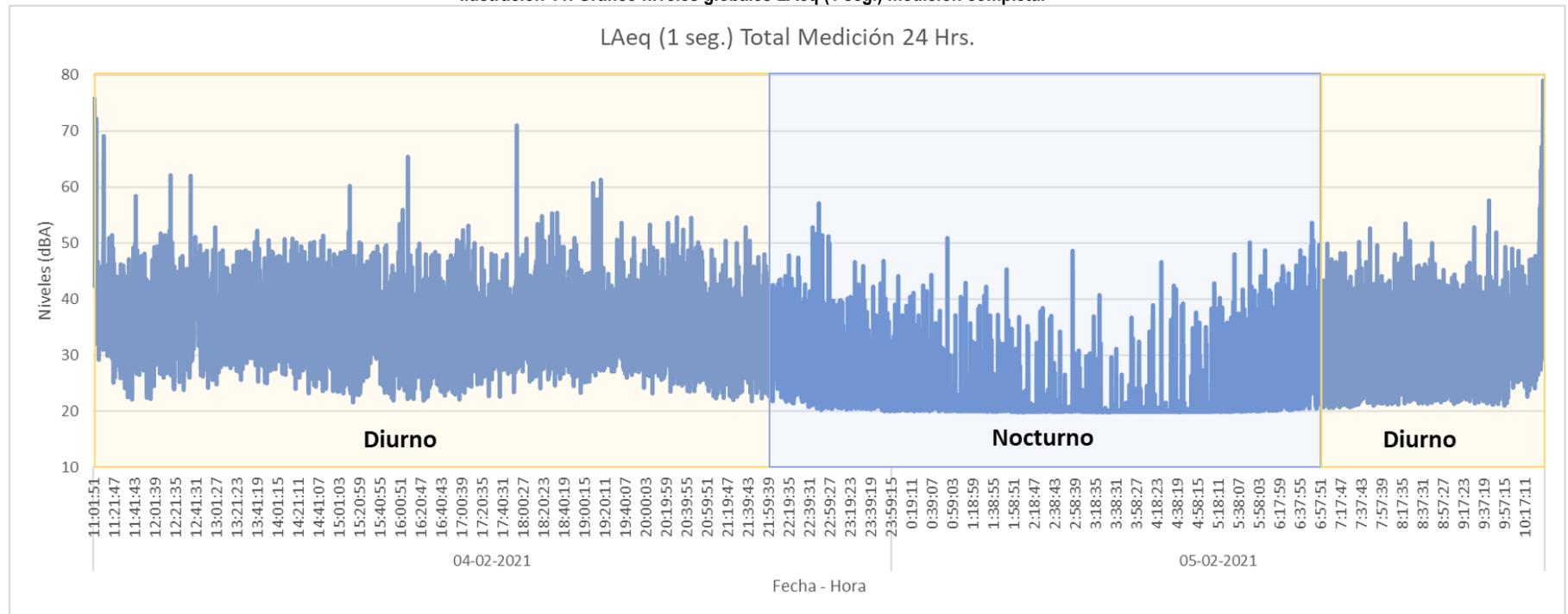
7 MEDICIONES ACÚSTICAS

7.1 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN CONTINUA 24 HRS

Se realizó una medición de 24 horas continuas al interior del recinto, en donde se identifican los periodos de menor ruido de fondo para analizar las circulaciones menos influenciadas por fuentes externas asociadas principalmente a ruido de tráfico y uso propio de los residentes de las edificaciones, dichos periodos fueron de desde las 18:00 hrs hasta las 22:00 hrs del 04 de febrero y desde las 07:00 hrs hasta las 10:00 hrs del 05 de febrero para el horario Diurno; y desde las 05:00 hrs hasta las 07:00 hrs del 05 de febrero para el periodo Nocturno.

En el siguiente gráfico se presenta el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (LAeq 1 seg.) de la medición.

Ilustración 11. Gráfico niveles globales LAeq (1 seg.) medición completa.



A continuación, se grafica el nivel LAeq 1 seg. de los 3 periodos medidos equivalente a 24 horas, destacando con recuadro rojo el horario seleccionado para el análisis de circulación de trenes. El horario destacado se prefirió debido a la disminución del ruido de fondo y a la presencia de trenes en dichos horarios, de acuerdo con las circulaciones diarias entregadas por Metro de Santiago.

Ilustración 12. Gráfico niveles globales LAeq periodo diurno 04 febrero 2021.

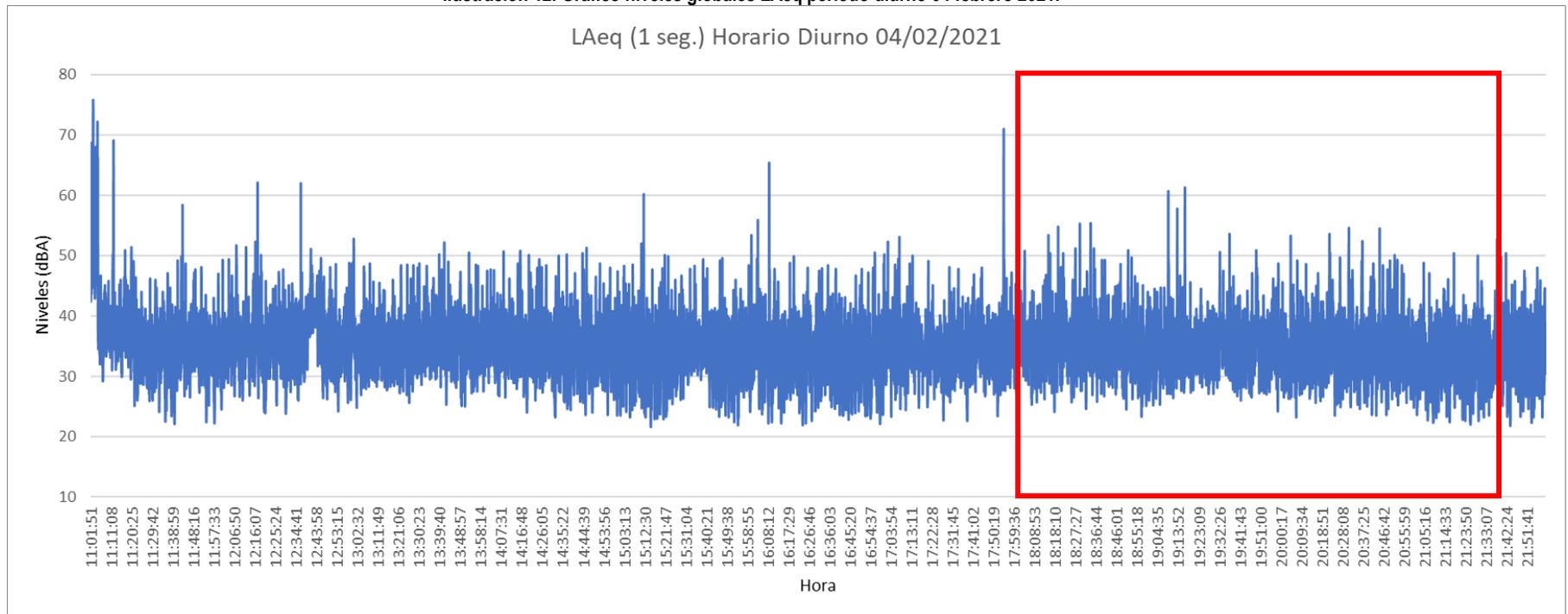


Ilustración 13. Gráfico niveles globales LAeq periodo nocturno 04 al 05 febrero 2021.

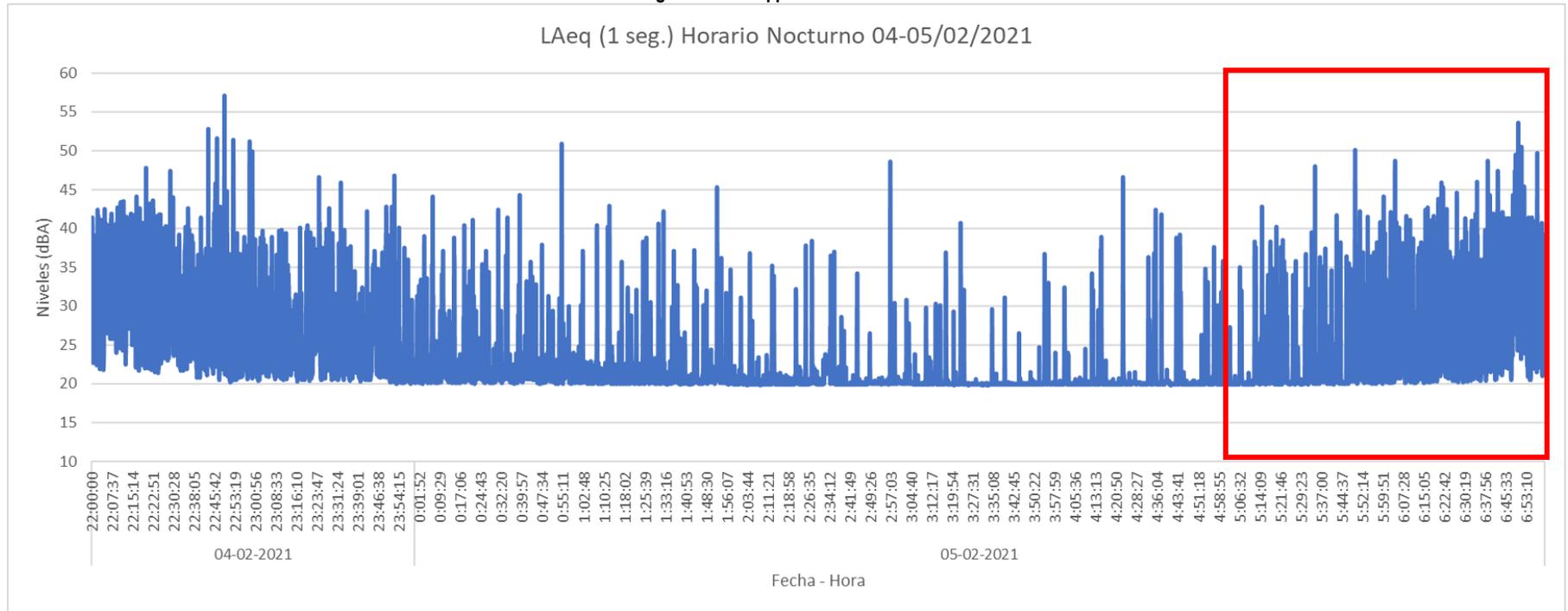
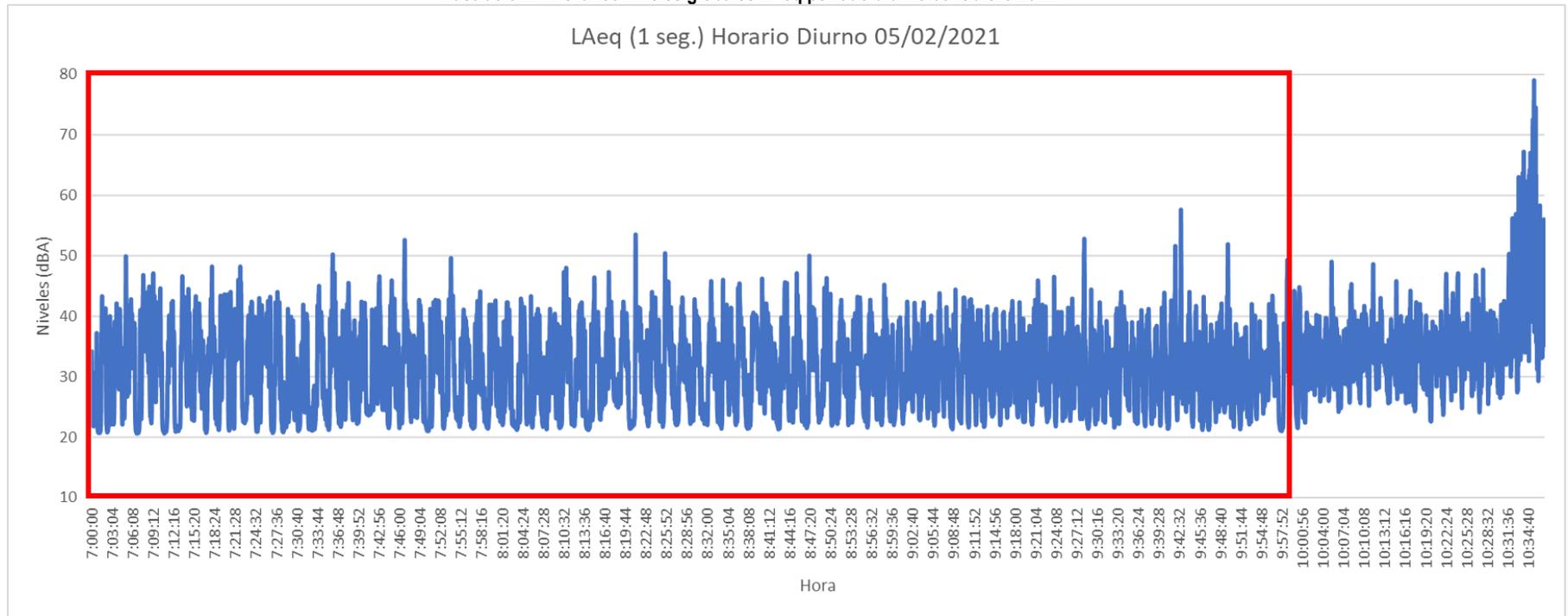


Ilustración 14. Gráfico niveles globales LAeq periodo diurno 05 febrero 2021.



7.2 RESUMEN DE LOS NIVELES DE RUIDO Y VIBRACIÓN OBTENIDOS PARA CADA CIRCULACIÓN DE TREN IDENTIFICADA

A continuación, se presenta una tabla resumen de los niveles de ruido inducido medidos de forma directa mediante el sonómetro para cada circulación de tren durante el período diurno, identificándose el número de circulación, la fecha y hora de dicha circulación, la vía por la cual circuló y el número de identificación del tren, los descriptores Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación “A” (LAeq 1 seg.), Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación “A” (LAmaz), Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación “C” (LCmax) ambos con respuesta lenta (slow), la diferencia entre estos descriptores, además si los niveles están influenciados por el ruido ambiente y el nivel aproximado de ruido ambiente antes y después de la circulación de tren identificada.

Cabe destacar que el nivel LAmaz (slow) corresponde al máximo registrado durante la circulación del tren. En caso de que la medición se vea influenciada por el nivel de ruido de fondo se procedió a estimar el nivel de ruido inducido a través de los niveles de vibración mecánica del eje de mayor valor mediante metodología FTA.

Tabla 9. Valores obtenidos para cada circulación de tren en horario Diurno.

N° Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	LAeq (1 seg.) (dBA)	LAmaz (slow) (dBA)	LCmax (slow) (dBA)	LCmax - LAmaz (dBA)	Influencia RF	RF Antes - Después de la circulación (dBA)
1	04-02-2021	18:05:47	1	40	36.4	37.2	55.1	17.9	SI	33.2 – 30.3
2	04-02-2021	18:15:12	2	24	35.9	35.4	56.3	20.9	SI	33.9 – 35.2
3	04-02-2021	18:30:46	1	37	35.0	34.5	53.9	19.4	SI	32.3 – 32.3
4	04-02-2021	19:10:51	1	27	34.2	34.1	54.8	20.7	SI	34.3 – 36.6
5	04-02-2021	19:40:21	2	31	32.7	32.4	52.5	20.1	NO	-
6	04-02-2021	20:10:54	1	34	33.1	33.4	53.9	20.5	NO	-
7	04-02-2021	20:33:34	2	27	34.6	34.7	57.3	22.6	SI	32.6 – 33.4
8	04-02-2021	20:44:09	1	40	33.7	34.0	55.9	21.9	SI	29.6 – 35.3
9	04-02-2021	20:57:29	1	31	30.9	31.8	51.4	19.6	NO	-
10	04-02-2021	21:06:52	2	39	31.5	31.7	54.6	22.9	NO	-
11	04-02-2021	21:13:30	2	37	32.3	32.5	51.8	19.3	NO	-
12	04-02-2021	21:20:10	2	41	35.3	35.1	51.4	16.3	SI	30.8 – 36.1
13	04-02-2021	21:36:34	1	32	36.4	37.3	54.1	16.8	SI	31.9 – 32.1
14	05-02-2021	7:00:26	1	39	26.8	26.4	56.0	29.6	NO	-
15	05-02-2021	7:04:46	2	39	24.4	26.0	52.5	26.5	NO	-
16	05-02-2021	7:18:50	2	40	24.1	24.3	49.3	25.0	NO	-
17	05-02-2021	7:28:53	2	26	22.8	24.3	49.5	25.2	NO	-
18	05-02-2021	7:33:35	2	21	27.6	27.6	54.6	27.0	NO	-
19	05-02-2021	8:11:56	1	31	24.0	24.2	48.5	24.3	NO	-
20	05-02-2021	8:31:26	1	40	24.4	24.6	49.7	25.1	NO	-

N° Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	LAeq (1 seg.) (dBA)	LAmx (slow) (dBA)	LCmax (slow) (dBA)	LCmax - LAmx (dBA)	Influencia RF	RF Antes - Después de la circulación (dBA)
21	05-02-2021	8:55:13	1	34	32.4	32.4	56.7	24.3	NO	-
22	05-02-2021	9:27:56	2	30	34.0	34.1	50.6	16.5	SI	30.1 - 34.2
23	05-02-2021	9:32:40	2	31	34.3	34.4	58.1	23.7	SI	27.0 - 25.3

De los datos presentados es posible apreciar que la diferencia entre los descriptores LCmax - LAmx ≥ 15 dB en todas las circulaciones consideradas para evaluación, lo cual es indicio que las mediciones están correctamente asociadas a ruido inducido.

A continuación, se entregan los niveles de velocidad de vibración mecánica RMS 1 segundo medidos en horario nocturno en paralelo en los 3 ejes de medición (N-S, E-O, U-D), con objeto de identificar el eje con mayor nivel, el cual es utilizado para la predicción. Se presenta también el nivel de ruido inducido (GBN) (dBA) proyectado en cada eje a partir de los niveles de vibración mecánica, para aquellas circulaciones de tren influenciadas por el ruido de fondo. En Anexo 10.4 se presentan los espectros de vibración medido para cada circulación.

Tabla 10. Niveles medidos y proyectados para cada circulación de tren influenciada en horario Diurno.

N° Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	RMS 1 seg. (dBv) Eje N-S	RMS 1 seg. (dBv) Eje E-O	RMS 1 seg. (dBv) Eje U-D	Nivel Proyectado (dBA) Eje N-S	Nivel Proyectado (dBA) Eje E-O	Nivel Proyectado (dBA) Eje U-D
1	04-02-2021	18:05:47	1	40	50.1	50.2	60.7	14.2	13.1	25.1
2	04-02-2021	18:15:12	2	24	50.1	47.4	62.6	14.3	11.9	26.9
3	04-02-2021	18:30:46	1	37	48.5	48.1	59.7	12.2	12.3	24.7
4	04-02-2021	19:10:51	1	27	51.3	52.1	64.0	14.3	13.3	28.2
7	04-02-2021	20:33:34	2	27	50.9	47.0	63.5	15.1	13.0	29.0
8	04-02-2021	20:44:09	1	40	50.2	47.5	61.3	14.9	13.5	26.4
12	04-02-2021	21:20:10	2	41	50.1	45.5	60.4	13.3	12.2	25.5
13	04-02-2021	21:36:34	1	32	49.2	46.3	60.9	12.0	13.0	25.8
22	05-02-2021	9:27:56	2	30	46.5	46.3	62.4	12.2	13.3	27.7
23	05-02-2021	9:32:40	2	31	51.2	45.1	62.1	13.1	11.3	27.8

De la tabla anterior es posible apreciar que los mayores niveles vibratorios para este recinto se generan en el eje vertical (U-D).

A continuación, se presenta una tabla resumen con los niveles de ruido inducido (GBN) medidos de forma directa mediante el sonómetro para cada circulación de tren durante el período nocturno.

Similar al caso anterior, el nivel LA_{max} (slow) corresponde al máximo registrado durante la circulación del tren. Asimismo, en caso de que la medición se vea influenciada por el nivel de ruido de fondo se procedió a estimar el nivel de ruido inducido a través de los niveles de vibración mecánica del eje de mayor valor mediante metodología FTA.

Tabla 11. Niveles obtenidos para cada circulación de tren en horario Nocturno.

N° Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	LAeq (1 seg.) (dBA)	LA _{max} (slow) (dBA)	LC _{max} (slow) (dBA)	LC _{max} – LA _{max} (dBA)	Influencia RF	RF Antes – Después de la circulación (dBA)
1	05-02-2021	5:13:50	1	28	24.1	23.8	49.0	25.2	NO	-
2	05-02-2021	5:14:35	2	23	25.0	25.8	52.5	26.7	NO	-
3	05-02-2021	5:19:02	1	37	23.5	23.5	48.5	25.0	NO	-
4	05-02-2021	5:28:17	1	27	24.7	24.7	52.5	27.8	NO	-
5	05-02-2021	5:32:57	1	30	22.3	23.4	48.7	25.3	NO	-
6	05-02-2021	5:42:13	1	39	24.8	25.1	54.7	29.6	NO	-
7	05-02-2021	5:46:40	2	39	26.5	26.7	54.0	27.3	NO	-
8	05-02-2021	5:47:27	1	33	23.0	23.4	49.2	25.8	NO	-
9	05-02-2021	5:51:43	2	33	29.4	31.7	49.8	18.1	NO	-
10	05-02-2021	5:52:07	1	24	23.5	23.4	49.2	25.8	NO	-
11	05-02-2021	5:58:29	1	40	26.4	28.6	47.6	19.0	NO	-
12	05-02-2021	6:03:38	1	35	27.1	34.2	51.2	17.0	SI	30.6 – 20.8
13	05-02-2021	6:07:52	2	35	29.4	30.0	50.3	20.3	NO	-
14	05-02-2021	6:08:53	1	26	31.8	31.6	56.7	25.1	NO	-
15	05-02-2021	6:22:53	1	34	31.5	32.6	55.3	22.7	NO	-
16	05-02-2021	6:41:46	1	32	22.3	22.8	47.4	24.6	NO	-
17	05-02-2021	6:46:26	1	27	26.5	26.8	55.8	29.0	NO	-
18	05-02-2021	6:51:06	1	30	25.1	25.1	48.9	23.8	NO	-
19	05-02-2021	6:55:26	2	30	34.7	34.0	57.7	23.7	SI	32.0 – 23.2
20	05-02-2021	6:55:46	1	31	24.1	24.3	48.6	24.3	NO	-

De los datos presentados es posible apreciar que la diferencia entre los descriptores LC_{max} – LA_{max} ≥ 15 dB en todas las circulaciones consideradas para evaluación, lo cual es indicio que las mediciones están correctamente asociadas a ruido inducido.

A continuación, se entregan los niveles de velocidad de vibración mecánica RMS 1 segundo medidos en horario nocturno en paralelo en los 3 ejes de medición (N-S, E-O, U-D), con objeto de identificar el eje con mayor nivel, el cual es utilizado para la predicción. Se presenta también el nivel de ruido inducido (GBN) (dBA) proyectado en cada eje a partir de los niveles de vibración mecánica, para aquellas circulaciones de tren influenciadas por el ruido de fondo. En Anexo 10.4 se presentan los espectros de vibración medido para cada circulación.

Tabla 12. Niveles obtenidos para cada circulación de tren en horario Nocturno.

N° Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	RMS 1 seg. (dBv) Eje N-S	RMS 1 seg. (dBv) Eje E-O	RMS 1 seg. (dBv) Eje U-D	Nivel Proyectado (dBA) Eje N-S	Nivel Proyectado (dBA) Eje E-O	Nivel Proyectado (dBA) Eje U-D
12	05-02-2021	6:03:38	1	35	49.4	45.1	62.1	12.7	10.6	27.9
19	05-02-2021	6:55:26	2	30	50.0	47.6	62.5	13.0	12.5	27.3

De la tabla anterior es posible apreciar que los mayores niveles vibratorios para este recinto se generan en el eje vertical (U-D).

Al momento de identificar una circulación de tren, se analiza gráficamente los descriptores medidos distinguiendo los niveles asociados a una circulación de tren de los niveles del ruido de fondo. De forma paralela se analiza auditivamente los audios de las circulaciones, diferenciando la contribución de una circulación de tren y la presencia de fuentes externas.

En la siguiente tabla se muestran las circulaciones de tren asociadas a los bloques horarios que presenta Metro de Santiago en día hábil, existiendo al menos 5 mediciones en cada bloque horario.

Tabla 13. Circulaciones asociadas a los bloques horarios de Metro de Santiago.

Periodo de medición FTA	Bloque horario Metro	N° circulación	Fecha	Hora	Vía	N° Tren
Diurno (07:00 a 22:00 hrs)	Bajo (20:45 hrs a cierre)	9	04-02-2021	20:57:29	1	31
		10	04-02-2021	21:06:52	2	39
		11	04-02-2021	21:13:30	2	37
		12	04-02-2021	21:20:10	2	41
		13	04-02-2021	21:36:34	1	32
	Punta (07:00 a 09:00 hrs y 18:00 a 20:00 hrs)	1	04-02-2021	18:05:47	1	40
		2	04-02-2021	18:15:12	2	24
		3	04-02-2021	18:30:46	1	37
		4	04-02-2021	19:10:51	1	27
		5	04-02-2021	19:40:21	2	31
		14	05-02-2021	7:00:26	1	39
		15	05-02-2021	7:04:46	2	39
		16	05-02-2021	7:18:50	2	40
		17	05-02-2021	7:28:53	2	26
		18	05-02-2021	7:33:35	2	21
		19	05-02-2021	8:11:56	1	31
	20	05-02-2021	8:31:26	1	40	
	21	05-02-2021	8:55:13	1	34	
	Valle (09:00 a 18:00 hrs y)	6	04-02-2021	20:10:54	1	34
		7	04-02-2021	20:33:34	2	27
		8	04-02-2021	20:44:09	1	40

Periodo de medición FTA	Bloque horario Metro	N° circulación	Fecha	Hora	Vía	N° Tren
Nocturno (22:00 a 07:00 hrs)	20:00 a 20:45 hrs	22	05-02-2021	9:27:56	2	30
		23	05-02-2021	9:32:40	2	31
	Fuera horario explotación comercial (05:00 - 06:00)	1	05-02-2021	5:13:50	1	28
		2	05-02-2021	5:14:35	2	23
		3	05-02-2021	5:19:02	1	37
		4	05-02-2021	5:28:17	1	27
		5	05-02-2021	5:32:57	1	30
		6	05-02-2021	5:42:13	1	39
		7	05-02-2021	5:46:40	2	39
		8	05-02-2021	5:47:27	1	33
		9	05-02-2021	5:51:43	2	33
		10	05-02-2021	5:52:07	1	24
	Bajo (06:00 a 07:00 hrs)	11	05-02-2021	5:58:29	1	40
		12	05-02-2021	6:03:38	1	35
		13	05-02-2021	6:07:52	2	35
		14	05-02-2021	6:08:53	1	26
		15	05-02-2021	6:22:53	1	34
		16	05-02-2021	6:41:46	1	32
		17	05-02-2021	6:46:26	1	27
		18	05-02-2021	6:51:06	1	30
19		05-02-2021	6:55:26	2	30	
20		05-02-2021	6:55:46	1	31	

7.3 DETALLE DE CIRCULACIÓN DE TRENES HORARIO DIURNO

Se presentan a continuación el detalle de los niveles de ruido inducido para cada circulación de tren, mediante el descriptor LA_{max} (slow) y el gráfico de envolvente respectivo, a modo de evidenciar el nivel máximo en dBA para período diurno.

Se presenta en los gráficos siguientes el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación “A” (LA_{eq} 1 seg.) en color azul, el Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación “A” (LA_{max}) y respuesta lenta (slow) en color verde, y el Nivel de Presión Sonora con ponderación “A” de la frecuencia de 50 Hz u 80 Hz en color rojo, estas últimas a modo de referencia gráfica, ya que predominan en la circulación ferroviaria y permiten discriminar visualmente de manera clara la circulación de los trenes y la envolvente máxima alcanzada.

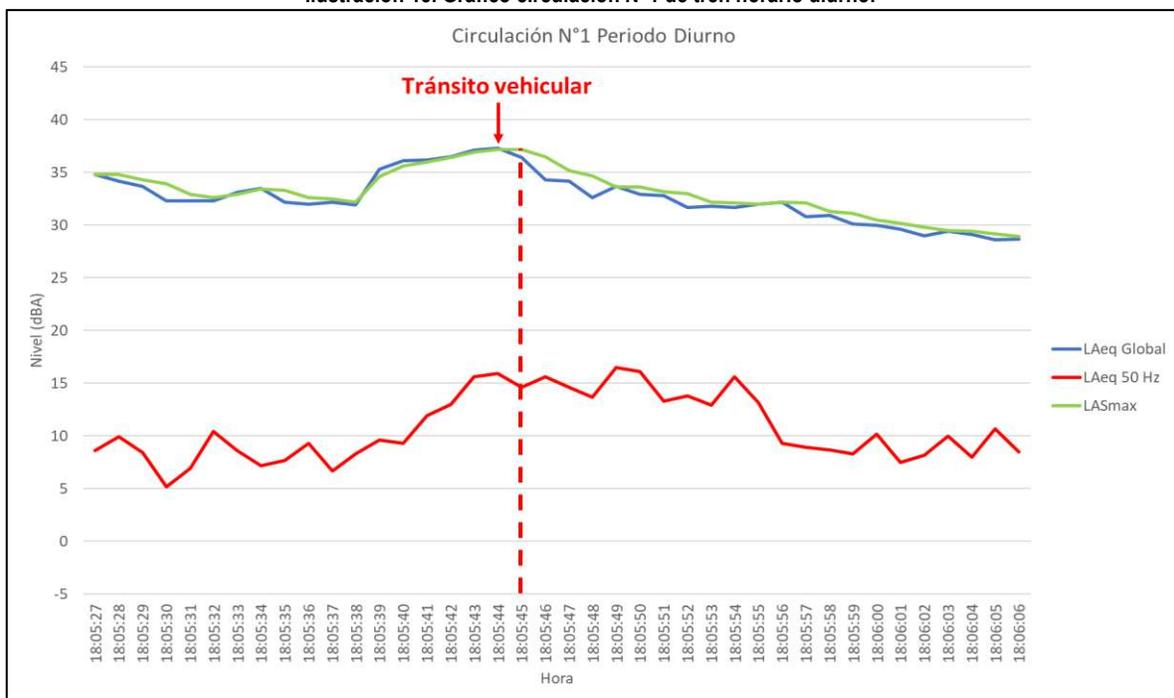
Para cada gráfico la línea punteada identifica el instante peak del nivel de ruido medido, asociado a la circulación del tren en su valor más alto del descriptor LA_{max}, lo anterior dentro de la campana de gauss que se forma e identifica en las frecuencias predominantes de 50 Hz u 80 Hz.

Cabe destacar que, para el período de medición diurno los niveles de ruido inducido registrados se ven afectados en gran medida por el tránsito vehicular.

A continuación, se grafican las 23 circulaciones en horario diurno utilizadas para el estudio:

Circulación 1

Ilustración 15. Gráfico circulación N°1 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 25.4 dBA.

Ilustración 16. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°1 diurno.

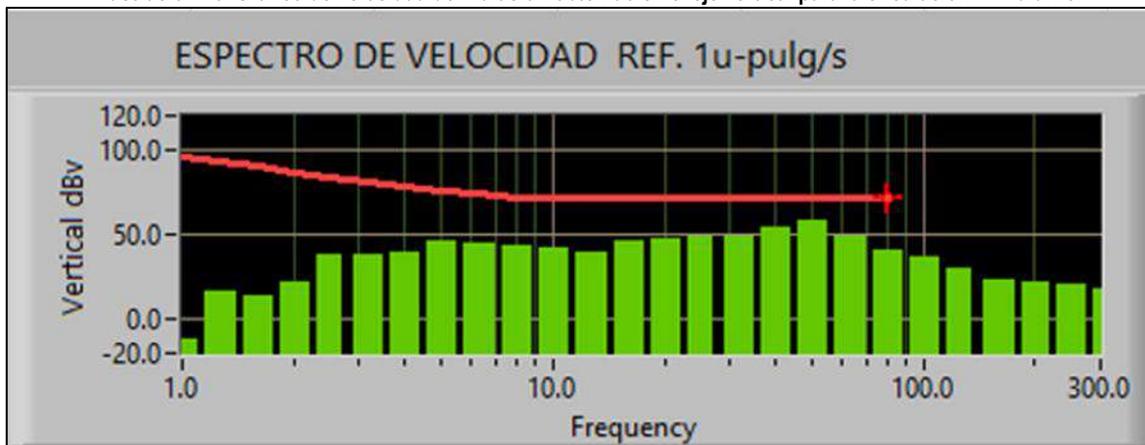
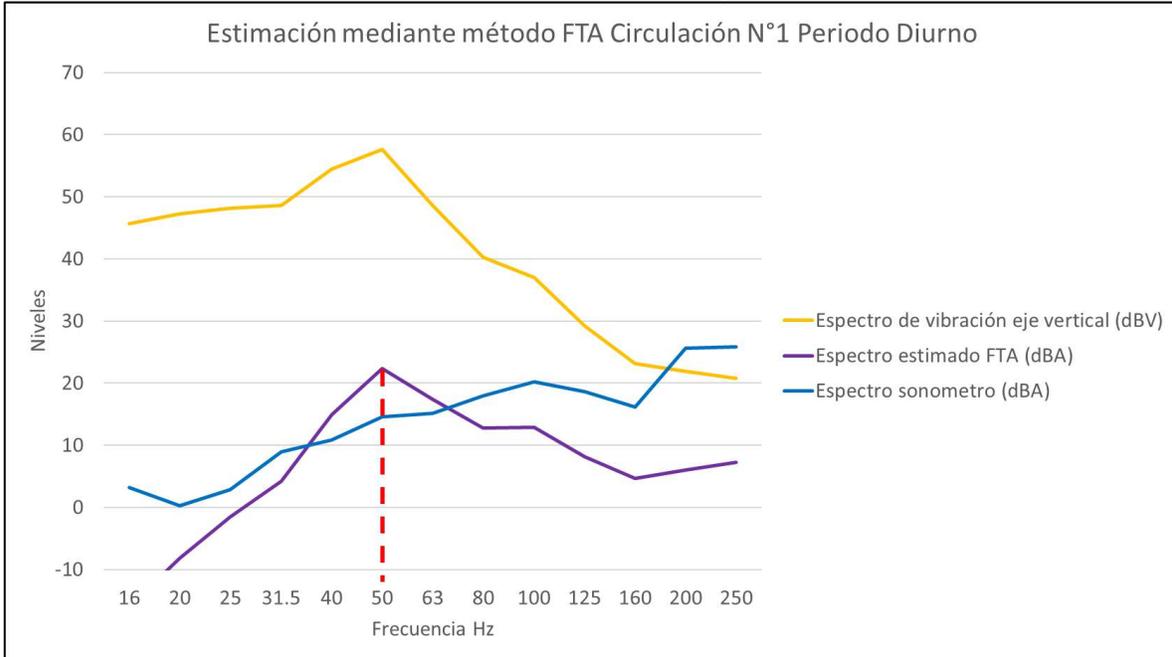


Tabla 14. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°1 diurno.

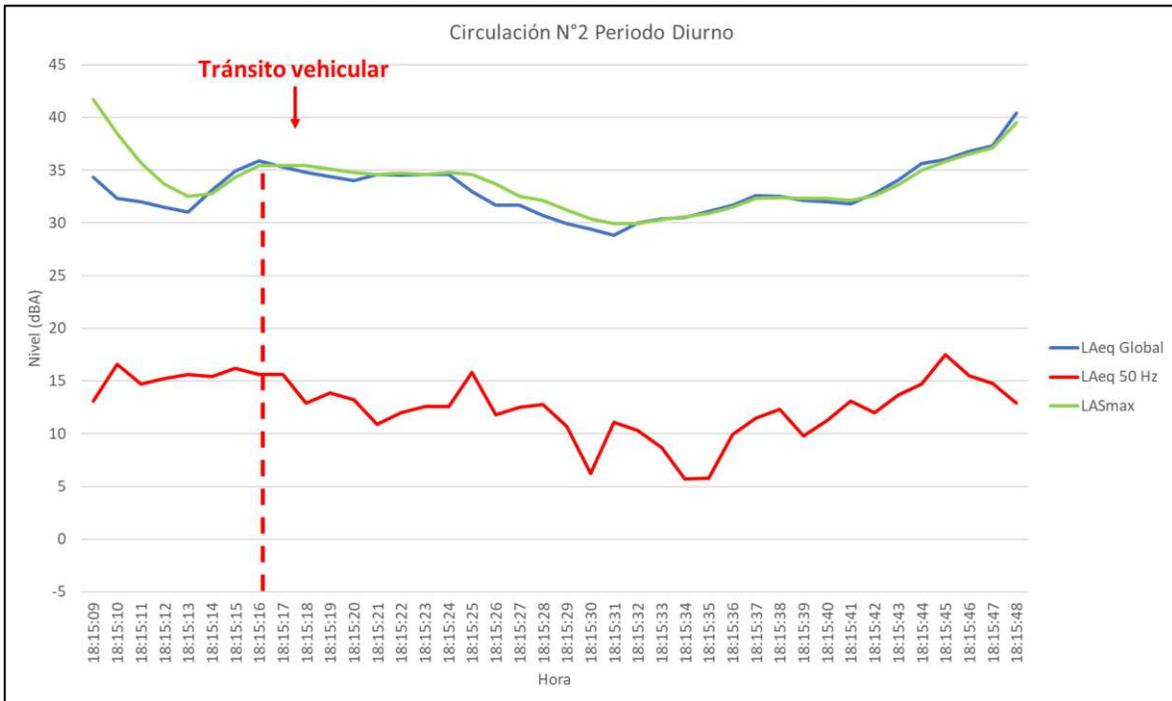
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	45.7	47.3	48.2	48.6	54.5	57.6	48.6	40.3	37	29.2	23.1	21.9	20.8
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-11.0	-3.2	3.5	9.2	19.9	27.4	22.4	17.8	17.9	13.1	9.7	11.0	12.2
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-16.0	-8.2	-1.5	4.2	14.9	22.4	17.4	12.8	12.9	8.1	4.7	6.0	7.2
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-16.0	-8.2	-1.5	4.2	14.9	22.4	17.4	12.8	12.9	8.1	4.7	6.0	7.2
Espectro medido con sonómetro (dBA)	3.2	0.3	2.9	8.9	10.9	14.6	15.1	17.9	20.2	18.6	16.2	25.6	25.8
Valor global estimado según método FTA (dBA)	25.4												

Ilustración 17. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°1 diurno.



Circulación 2

Ilustración 18. Gráfico circulación N°2 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 26.9 dBA.

Ilustración 19. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°2 diurno.

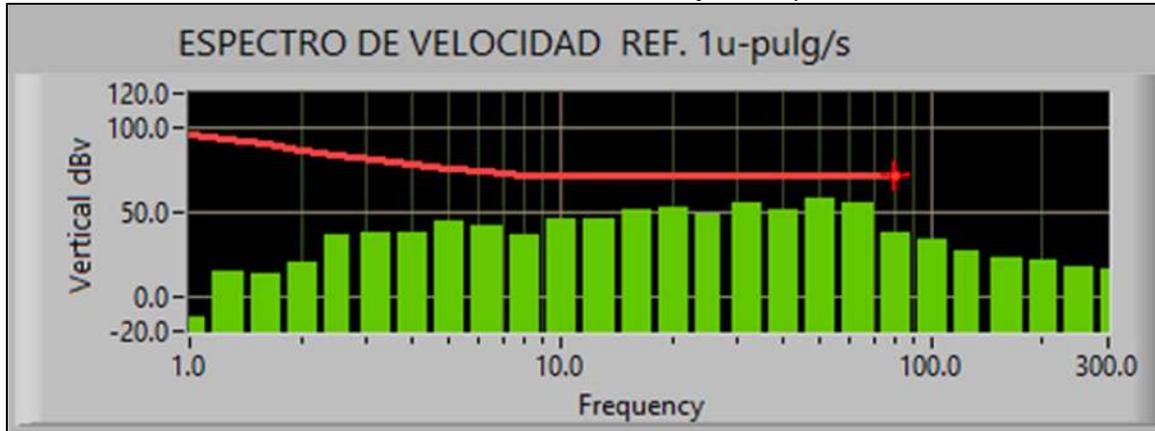
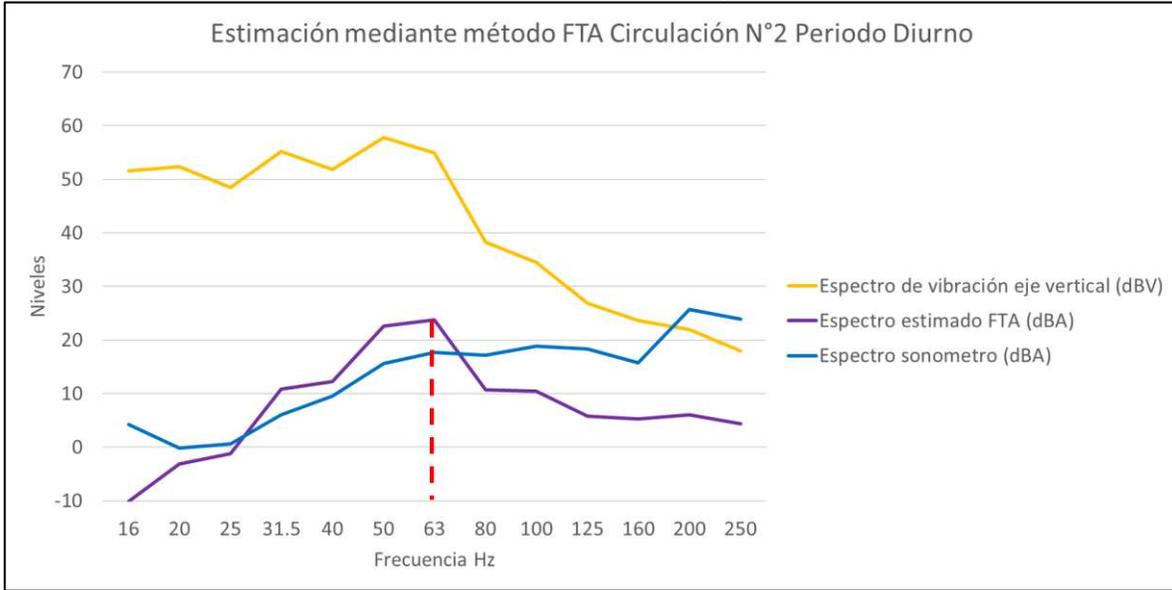


Tabla 15. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°2 diurno.

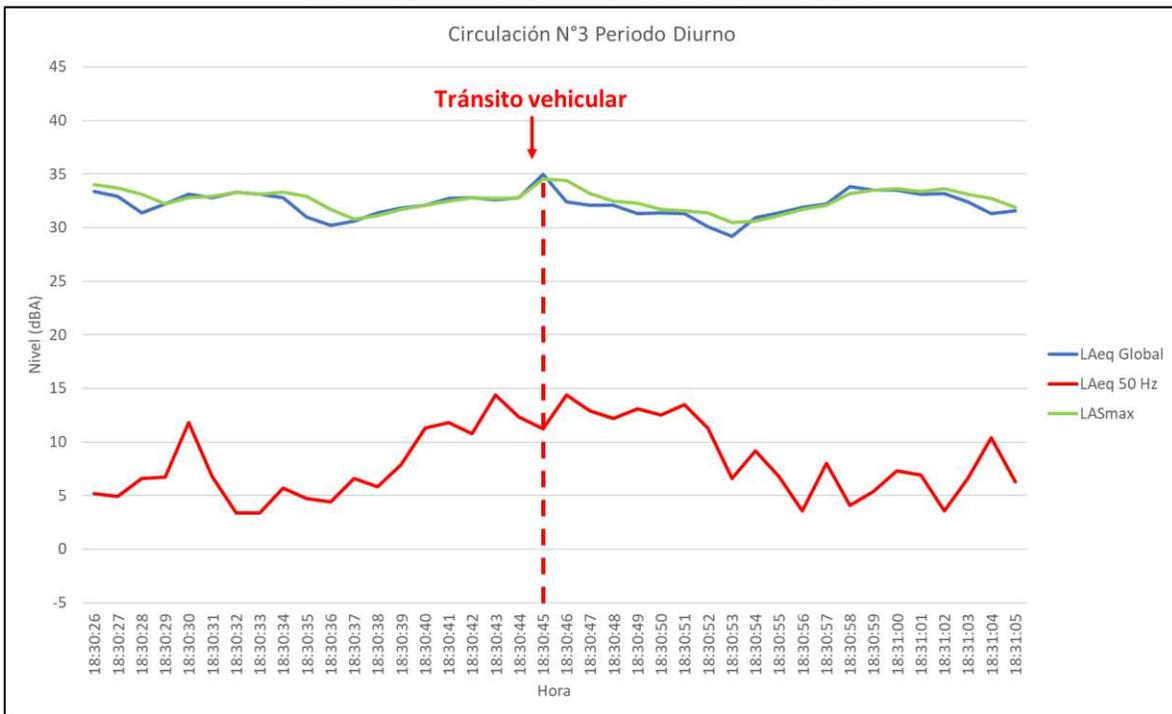
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	51.6	52.4	48.5	55.2	51.8	57.8	55	38.2	34.5	26.9	23.7	21.9	18
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-5.1	1.9	3.8	15.8	17.2	27.6	28.8	15.7	15.4	10.8	10.3	11.0	9.4
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-10.1	-3.1	-1.2	10.8	12.2	22.6	23.8	10.7	10.4	5.8	5.3	6.0	4.4
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-10.1	-3.1	-1.2	10.8	12.2	22.6	23.8	10.7	10.4	5.8	5.3	6.0	4.4
Espectro medido con sonómetro (dBA)	4.3	-0.1	0.6	6.1	9.5	15.6	17.7	17.2	18.9	18.4	15.8	25.7	23.9
Valor global estimado según método FTA (dBA)	26.9												

Ilustración 20. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°2 diurno.



Circulación 3

Ilustración 21. Gráfico circulación N°3 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 24.7 dBA.

Ilustración 22. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°3 diurno.

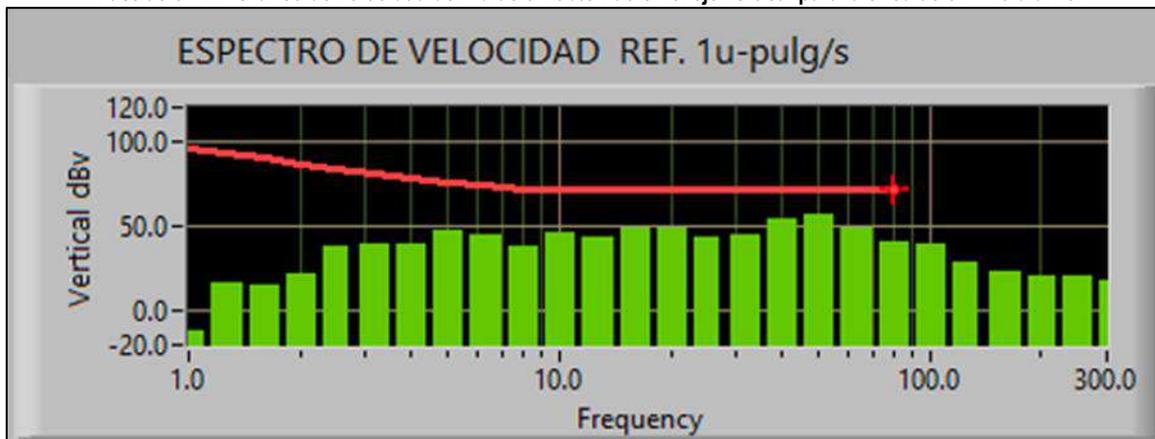
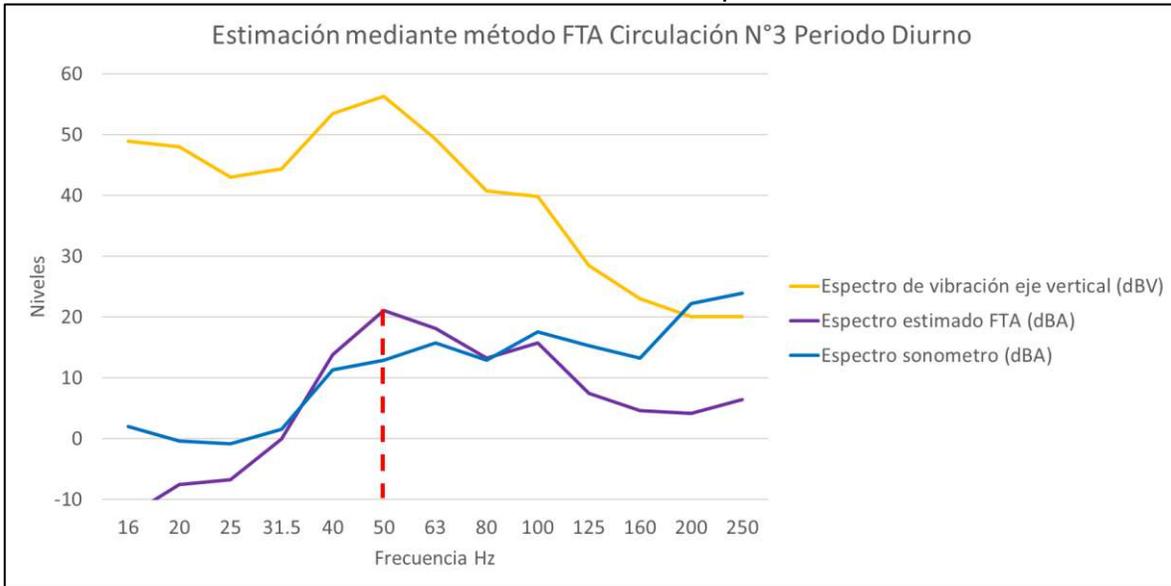


Tabla 16. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°3 diurno.

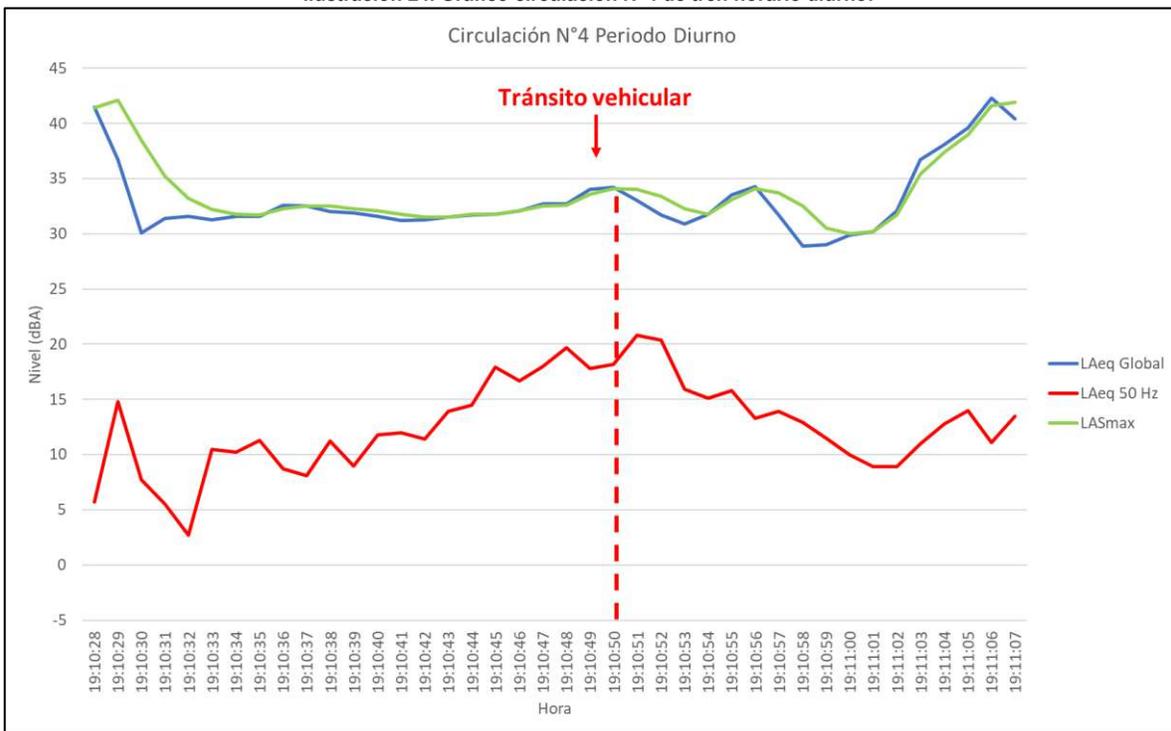
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	48.9	48	43	44.4	53.4	56.3	49.3	40.7	39.8	28.5	23	20.1	20
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-7.8	-2.5	-1.7	5.0	18.8	26.1	23.1	18.2	20.7	12.4	9.6	9.2	11.4
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-12.8	-7.5	-6.7	0.0	13.8	21.1	18.1	13.2	15.7	7.4	4.6	4.2	6.4
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-12.8	-7.5	-6.7	0.0	13.8	21.1	18.1	13.2	15.7	7.4	4.6	4.2	6.4
Espectro medido con sonómetro (dBA)	2	-0.4	-0.9	1.5	11.3	12.9	15.7	12.9	17.5	15.3	13.2	22.2	23.9
Valor global estimado según método FTA (dBA)	24.7												

Ilustración 23. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°3 diurno.



Circulación 4

Ilustración 24. Gráfico circulación N°4 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 28.2 dBA.

Ilustración 25. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°4 diurno.

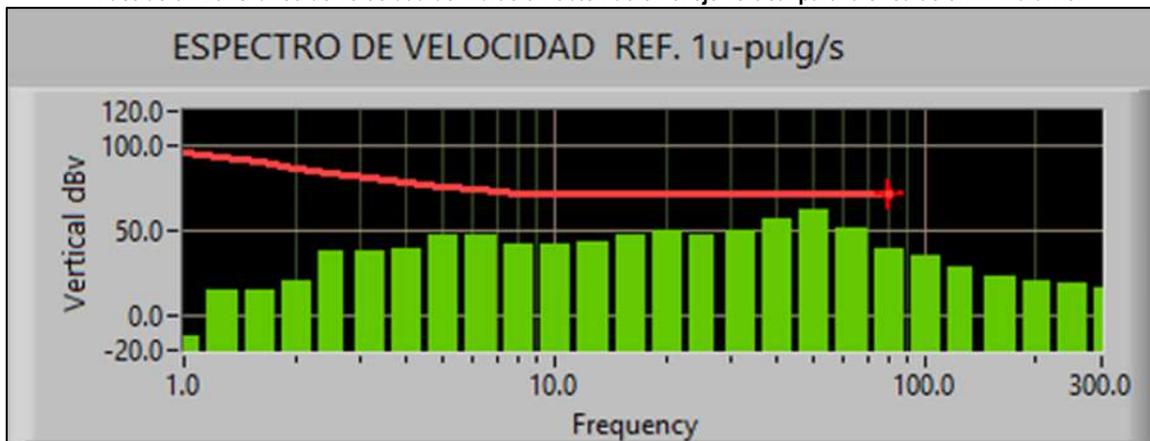
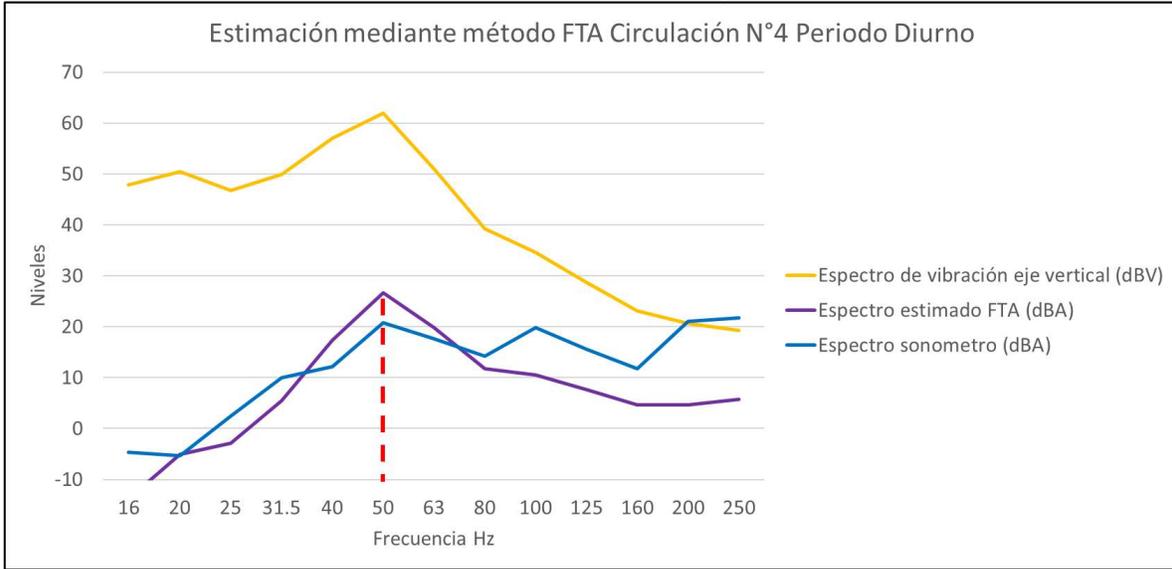


Tabla 17. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°4 diurno.

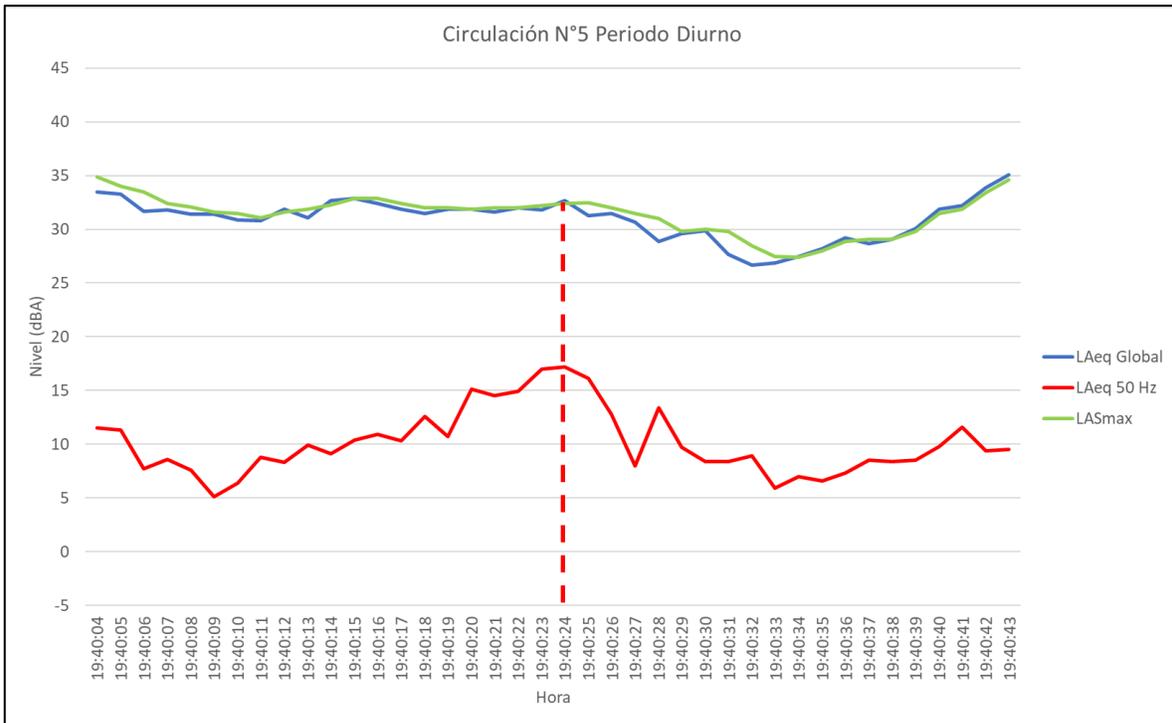
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	47.9	50.5	46.8	49.9	57	61.9	51	39.2	34.6	28.7	23.1	20.6	19.3
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-8.8	0.0	2.1	10.5	22.4	31.7	24.8	16.7	15.5	12.6	9.7	9.7	10.7
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-13.8	-5.0	-2.9	5.5	17.4	26.7	19.8	11.7	10.5	7.6	4.7	4.7	5.7
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-13.8	-5.0	-2.9	5.5	17.4	26.7	19.8	11.7	10.5	7.6	4.7	4.7	5.7
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-4.6	-5.3	2.5	10	12.1	20.8	17.7	14.2	19.8	15.6	11.7	21.1	21.8
Valor global estimado según método FTA (dBA)	28.2												

Ilustración 26. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°4 diurno.



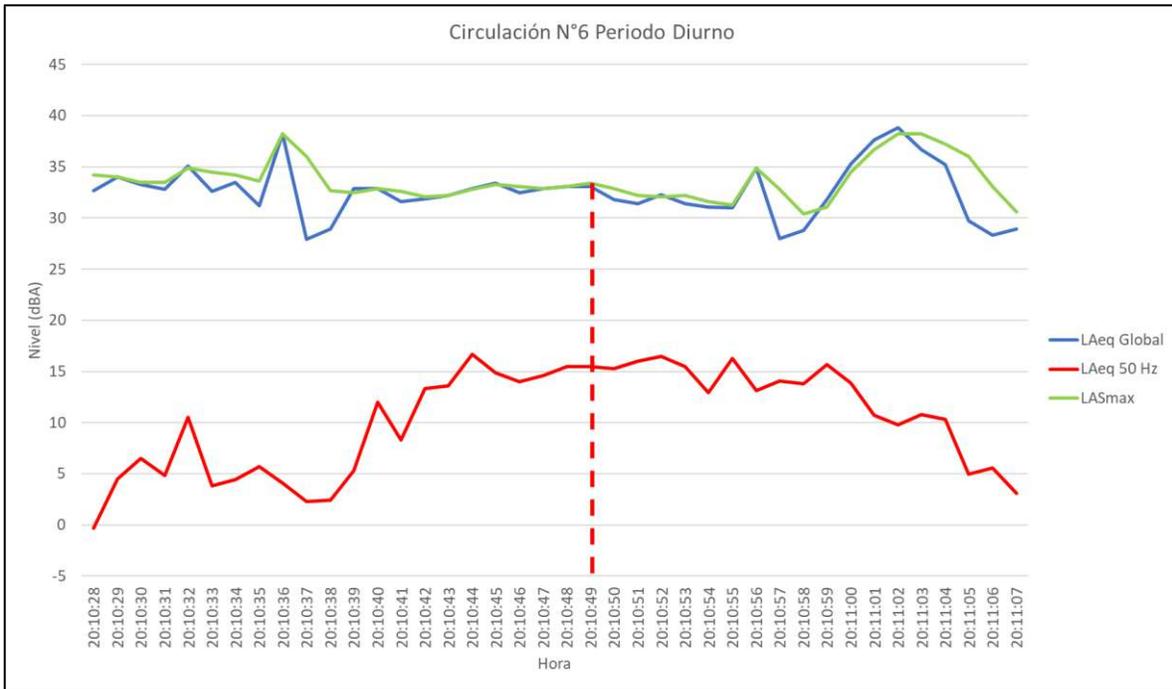
Circulación 5

Ilustración 27. Gráfico circulación N°5 de tren horario diurno.



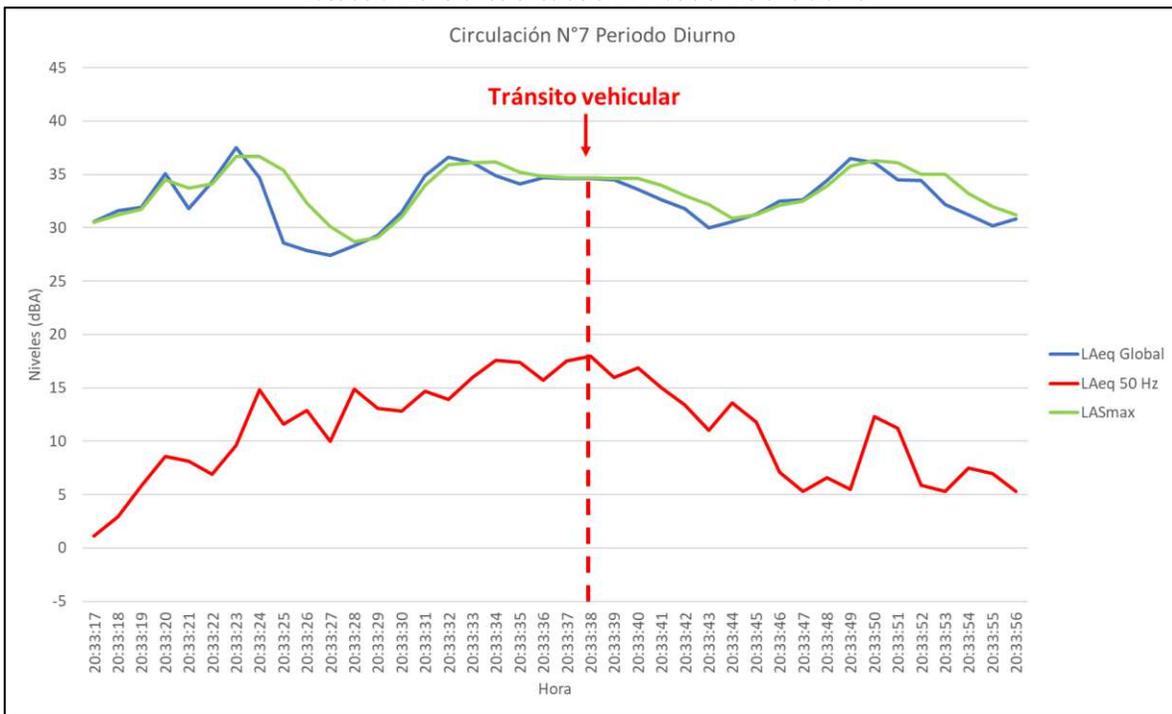
Circulación 6

Ilustración 28. Gráfico circulación N°6 de tren horario diurno.



Circulación 7

Ilustración 29. Gráfico circulación N°7 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 29.0 dBA.

Ilustración 30. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°7 diurno.

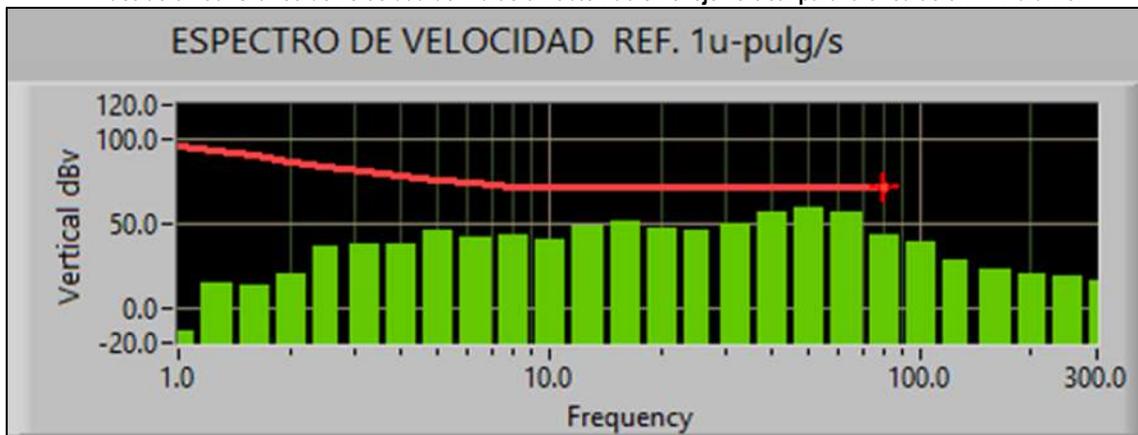
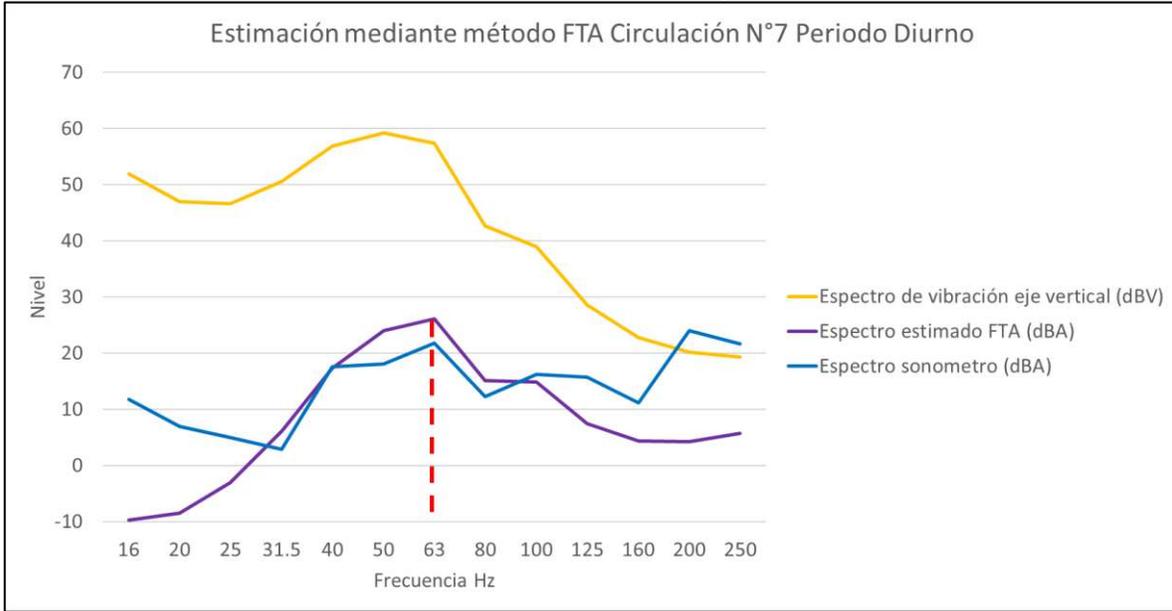


Tabla 18. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°7 diurno.

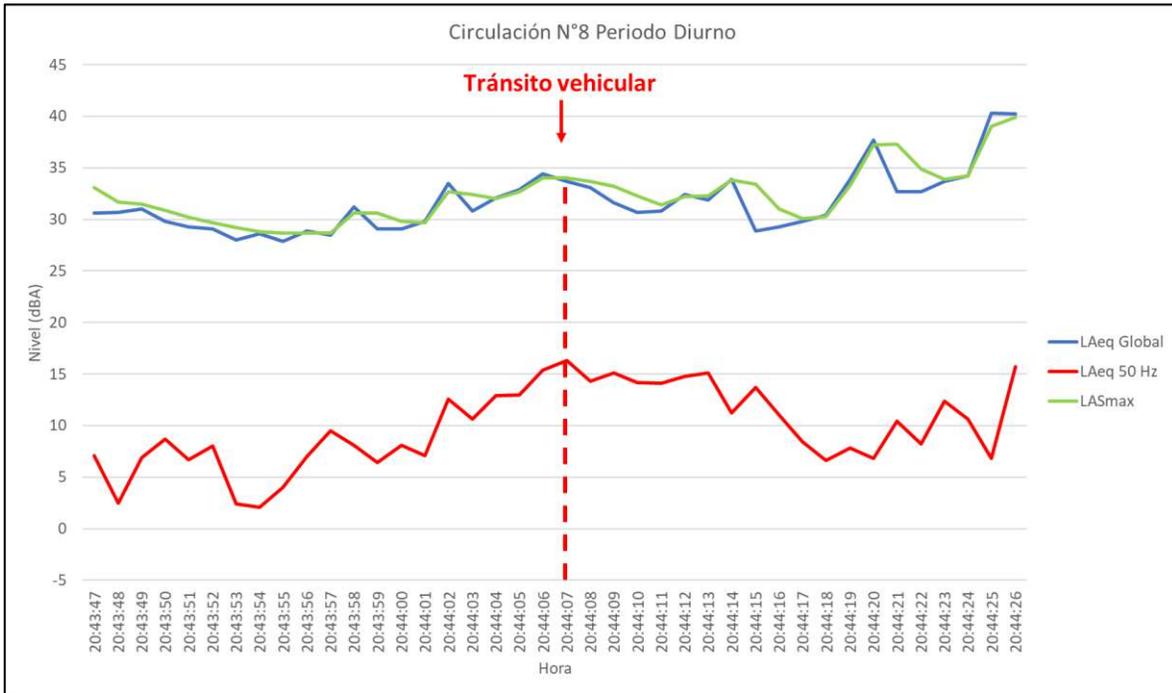
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	51.9	47	46.6	50.5	56.9	59.2	57.3	42.6	39	28.5	22.8	20.1	19.3
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-4.8	-3.5	1.9	11.1	22.3	29.0	31.1	20.1	19.9	12.4	9.4	9.2	10.7
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-9.8	-8.5	-3.1	6.1	17.3	24.0	26.1	15.1	14.9	7.4	4.4	4.2	5.7
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-9.8	-8.5	-3.1	6.1	17.3	24.0	26.1	15.1	14.9	7.4	4.4	4.2	5.7
Espectro medido con sonómetro (dBA)	11.7	6.9	5	2.9	17.6	18	21.8	12.3	16.2	15.7	11.2	24	21.7
Valor global estimado según método FTA (dBA)	29.0												

Ilustración 31. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°7 diurno.



Circulación 8

Ilustración 32. Gráfico circulación N°8 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 26.4 dBA.

Ilustración 33. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°8 diurno.

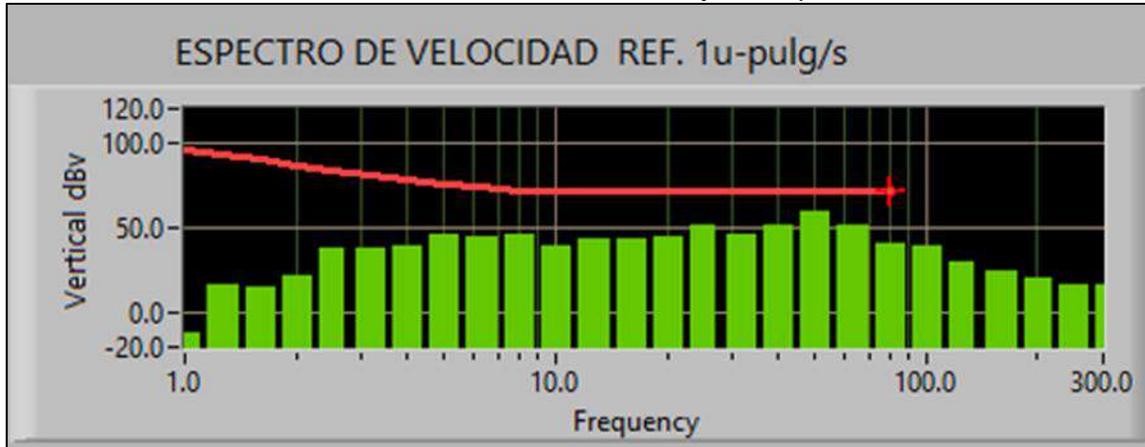
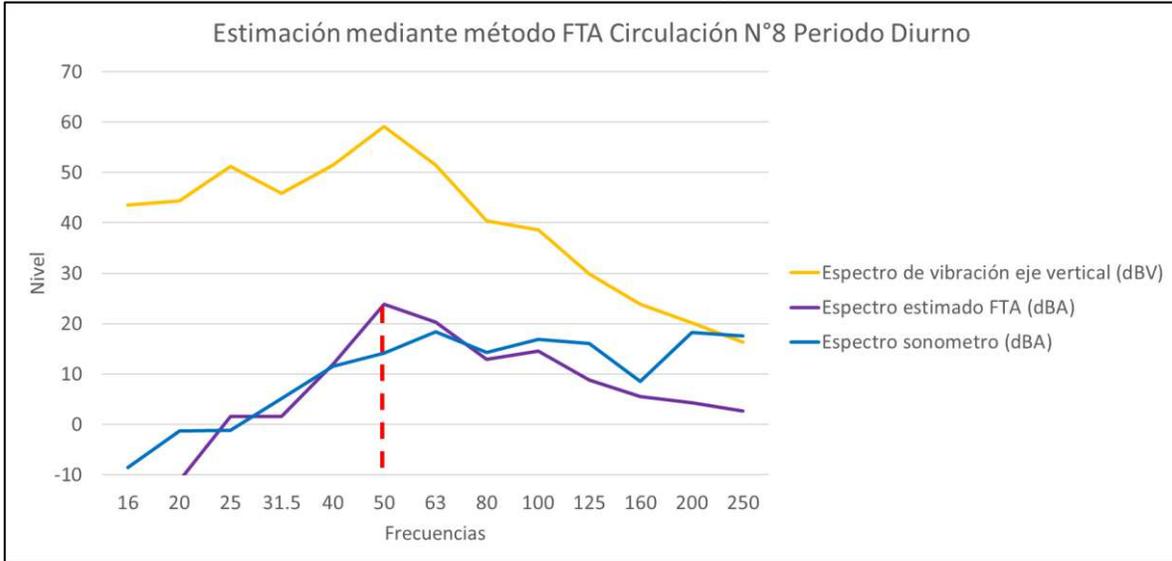


Tabla 19. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°8 diurno.

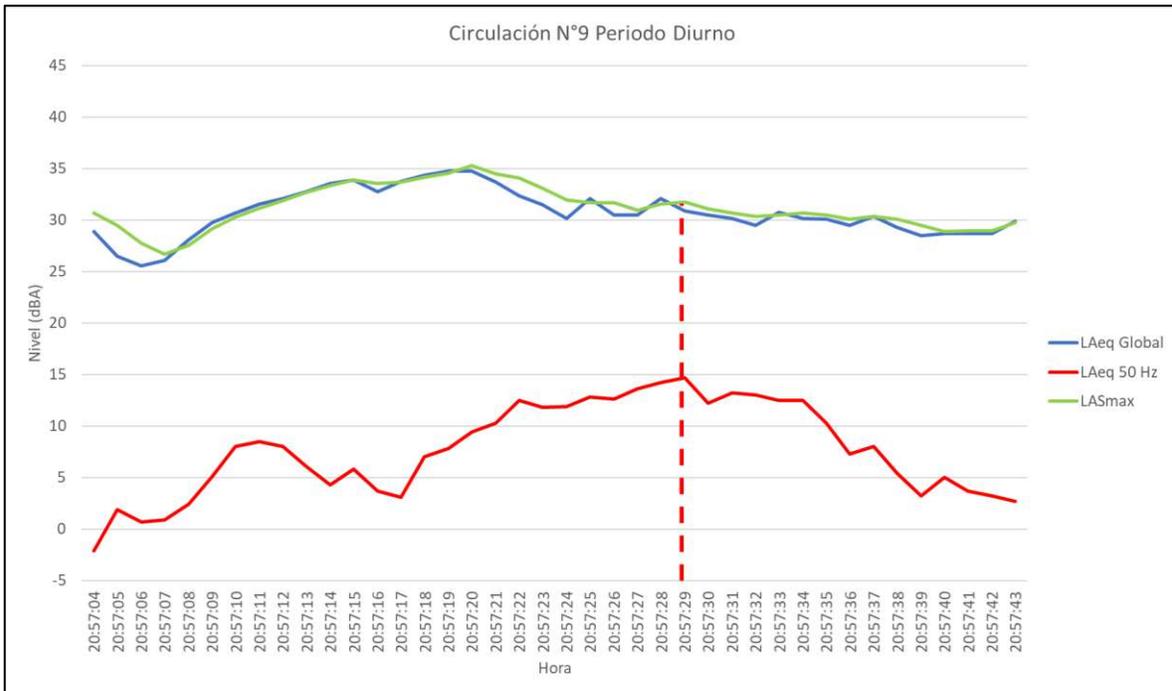
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	43.5	44.4	51.2	45.9	51.5	59.1	51.5	40.4	38.6	29.9	23.9	20.2	16.3
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-13.2	-6.1	6.5	6.5	16.9	28.9	25.3	17.9	19.5	13.8	10.5	9.3	7.7
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-18.2	-11.1	1.5	1.5	11.9	23.9	20.3	12.9	14.5	8.8	5.5	4.3	2.7
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-18.2	-11.1	1.5	1.5	11.9	23.9	20.3	12.9	14.5	8.8	5.5	4.3	2.7
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-8.5	-1.3	-1.2	5.1	11.6	14.2	18.4	14.3	16.9	16.1	8.5	18.3	17.6
Valor global estimado según método FTA (dBA)	26.4												

Ilustración 34. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°8 diurno.



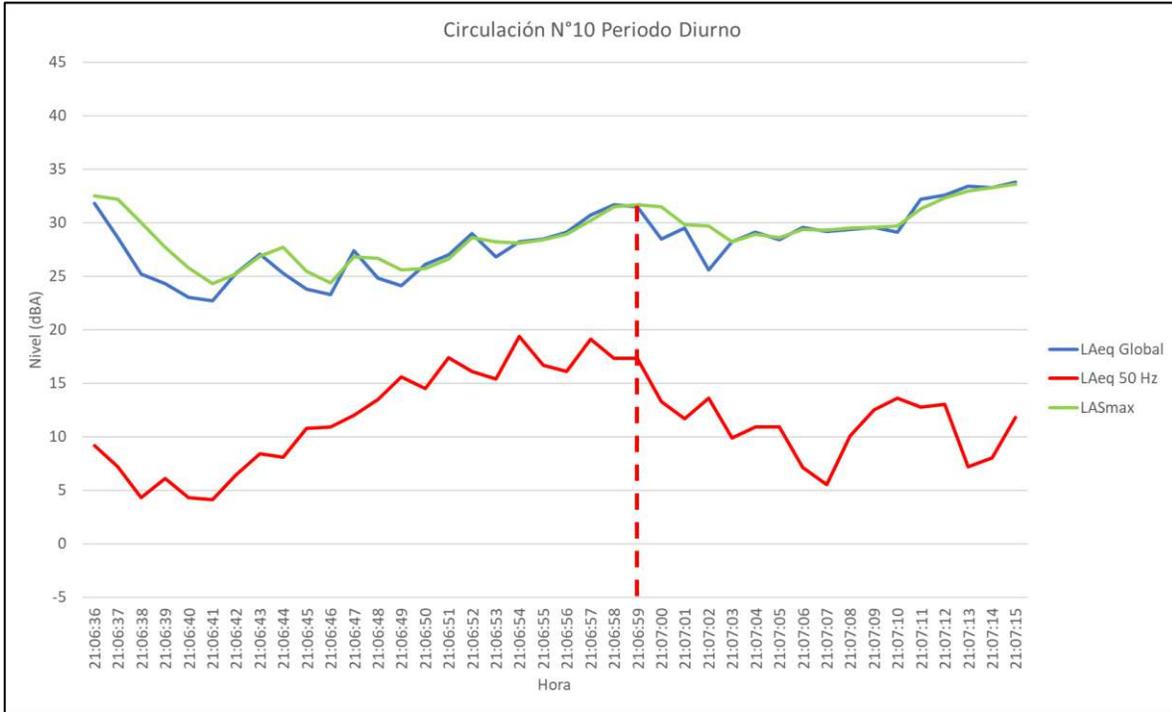
Circulación 9

Ilustración 35. Gráfico circulación N°9 de tren horario diurno.



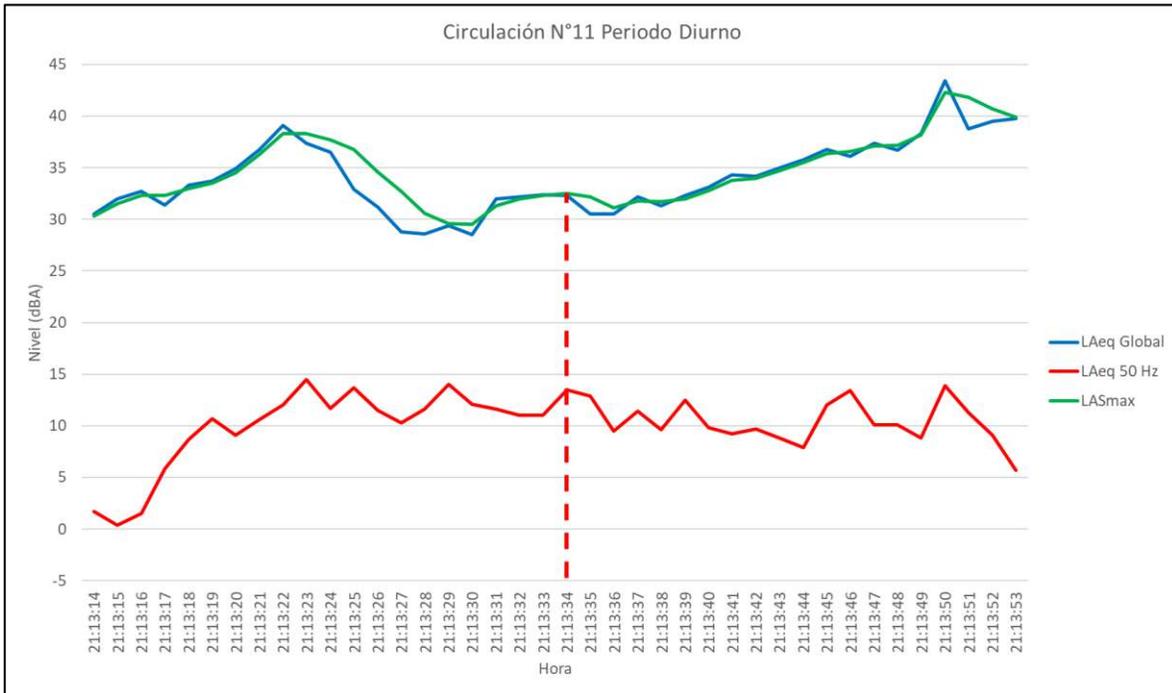
Circulación 10

Ilustración 36. Gráfico circulación N°10 de tren horario diurno.



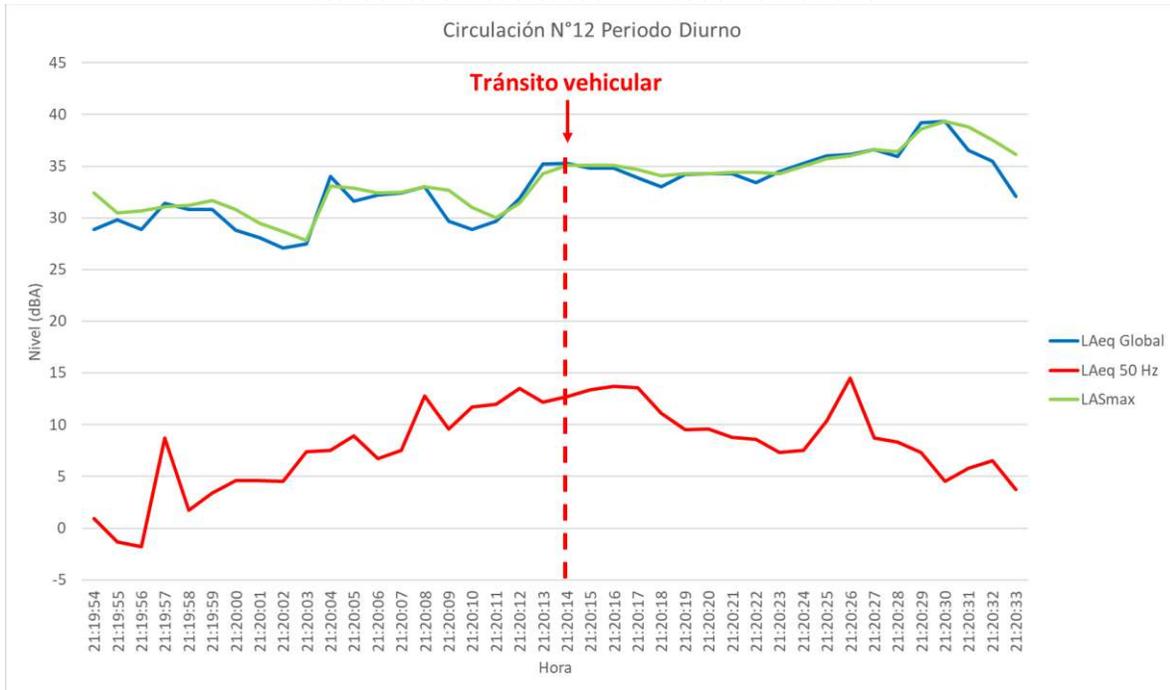
Circulación 11

Ilustración 37. Gráfico circulación N°11 de tren horario diurno.



Circulación 12

Ilustración 38. Gráfico circulación N°12 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 25.5 dBA.

Ilustración 39. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°12 diurno.

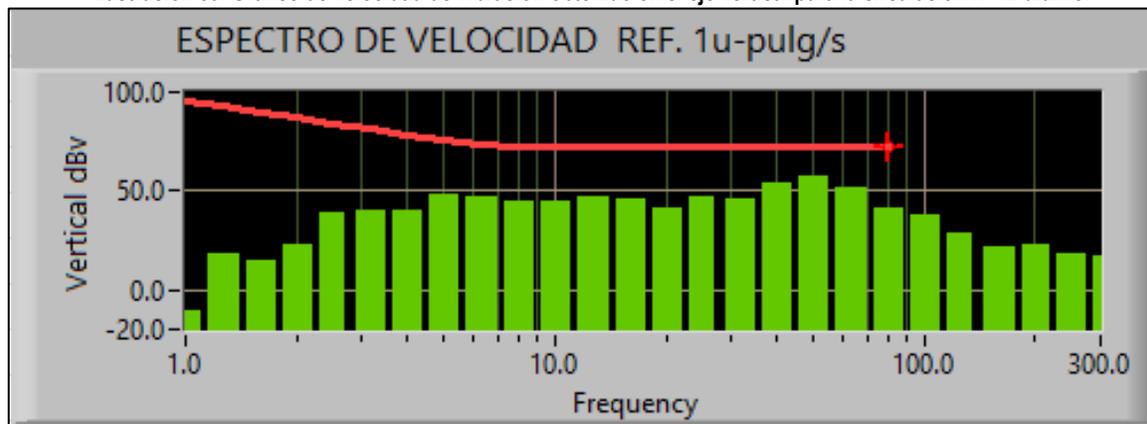
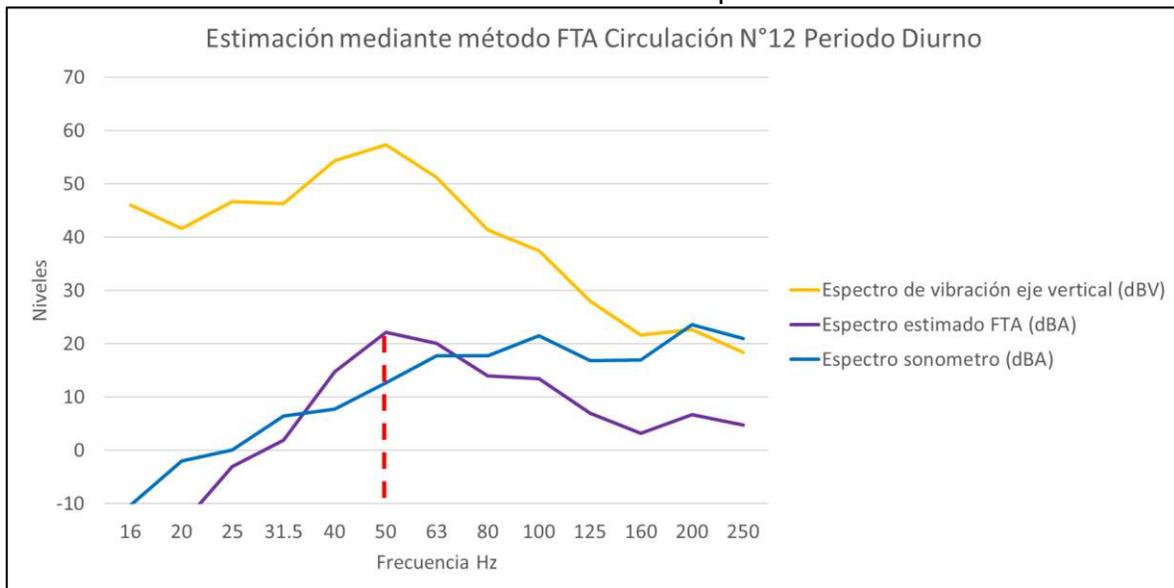


Tabla 20. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°12 diurno.

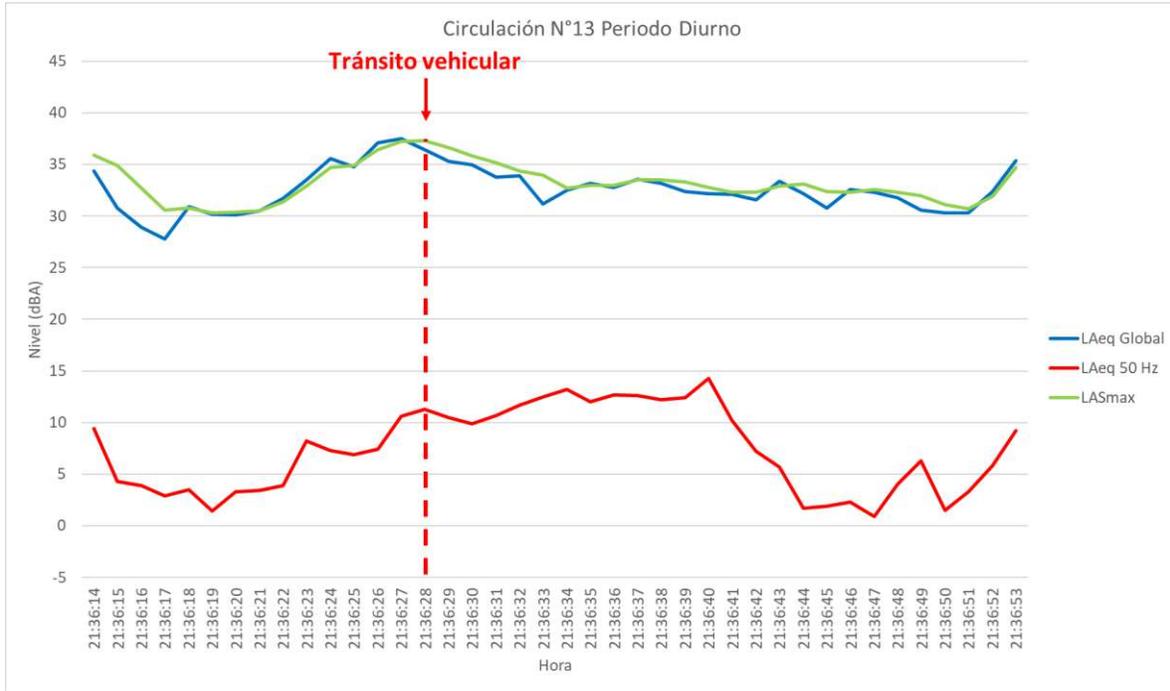
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	46	41.6	46.7	46.3	54.4	57.3	51.2	41.4	37.5	28	21.6	22.6	18.4
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-10.7	-8.9	2.0	6.9	19.8	27.1	25.0	18.9	18.4	11.9	8.2	11.7	9.8
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-15.7	-13.9	-3.0	1.9	14.8	22.1	20.0	13.9	13.4	6.9	3.2	6.7	4.8
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-15.7	-13.9	-3.0	1.9	14.8	22.1	20.0	13.9	13.4	6.9	3.2	6.7	4.8
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-10.3	-2	0.1	6.4	7.7	12.7	17.7	17.7	21.5	16.8	16.9	23.6	21
Valor global estimado según método FTA (dBA)	25.5												

Ilustración 40. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°12 diurno.



Circulación 13

Ilustración 41. Gráfico circulación N°13 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 25.8 dBA.

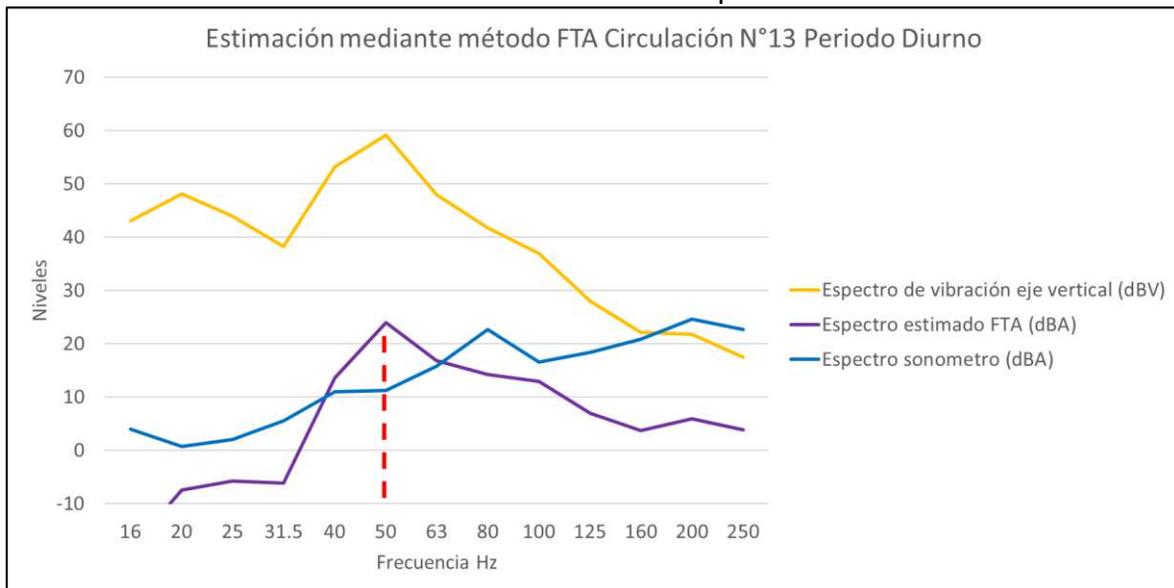
Ilustración 42. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°13 diurno.



Tabla 21. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°13 diurno.

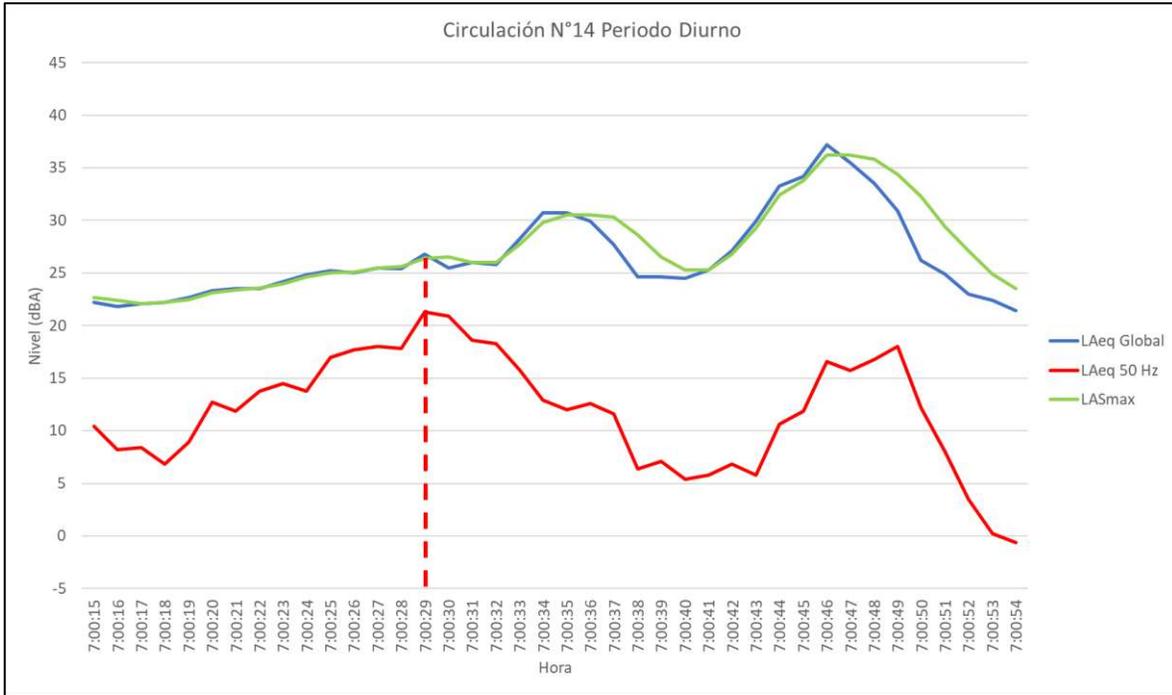
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	43.1	48.1	43.9	38.3	53.2	59.2	48	41.7	37	28	22.1	21.8	17.5
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-13.6	-2.4	-0.8	-1.1	18.6	29.0	21.8	19.2	17.9	11.9	8.7	10.9	8.9
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-18.6	-7.4	-5.8	-6.1	13.6	24.0	16.8	14.2	12.9	6.9	3.7	5.9	3.9
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-18.6	-7.4	-5.8	-6.1	13.6	24.0	16.8	14.2	12.9	6.9	3.7	5.9	3.9
Espectro medido con sonómetro (dBA)	4.0	0.7	2.0	5.5	11.0	11.3	15.8	22.7	16.6	18.4	20.8	24.6	22.6
Valor global estimado según método FTA (dBA)	25.8												

Ilustración 43. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°13 diurno.



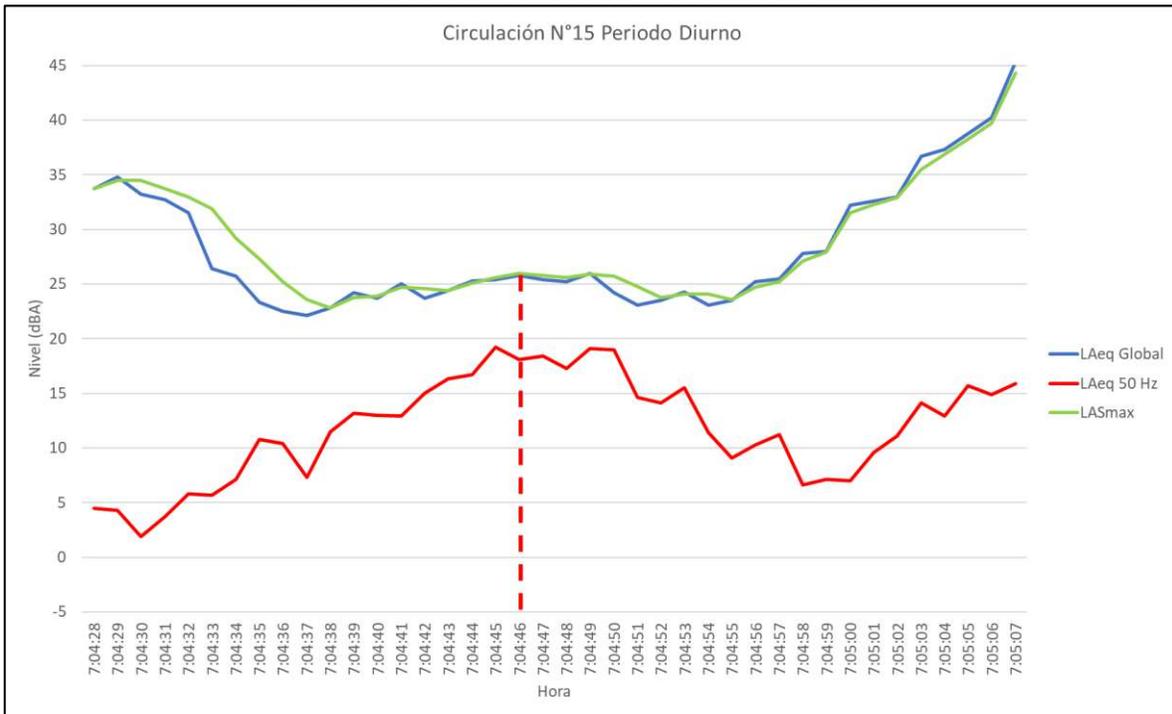
Circulación 14

Ilustración 44. Gráfico circulación N°14 de tren horario diurno.



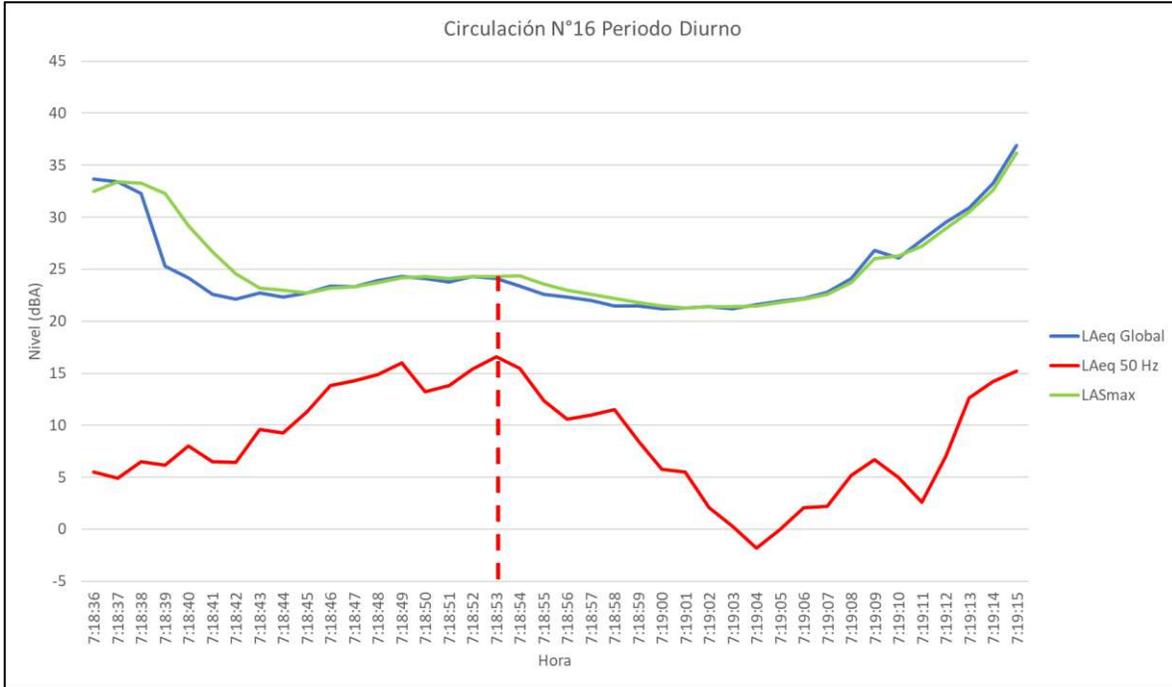
Circulación 15

Ilustración 45. Gráfico circulación N°15 de tren horario diurno.



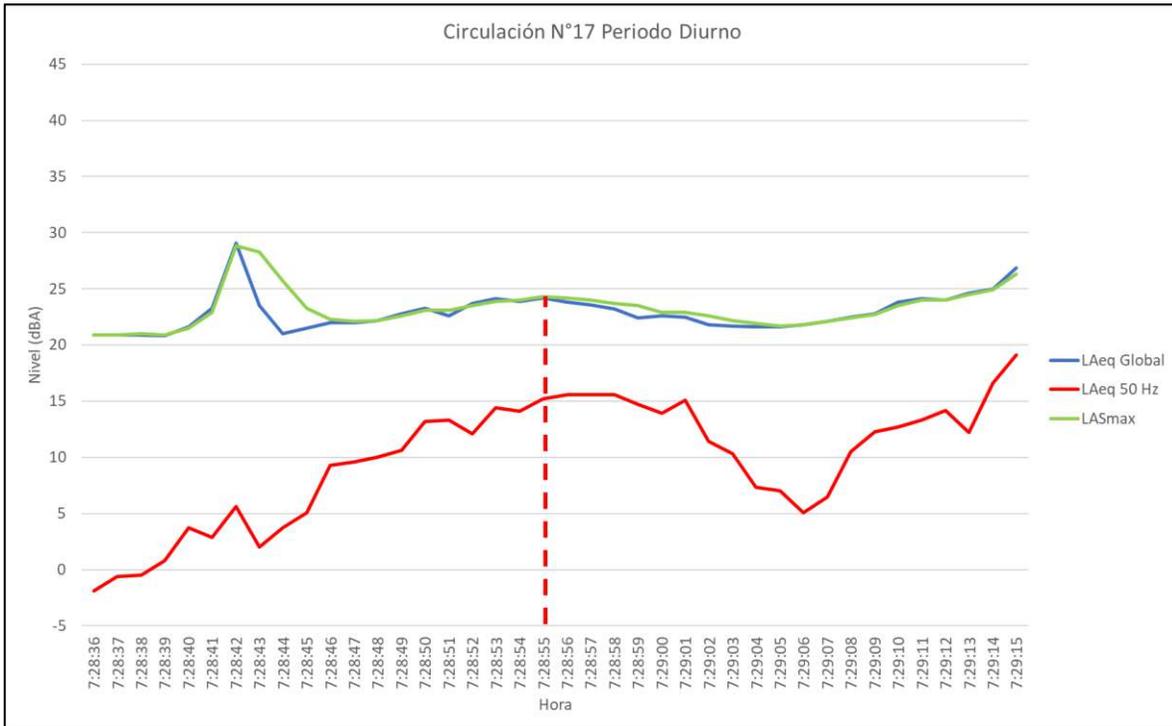
Circulación 16

Ilustración 46. Gráfico circulación N°16 de tren horario diurno.



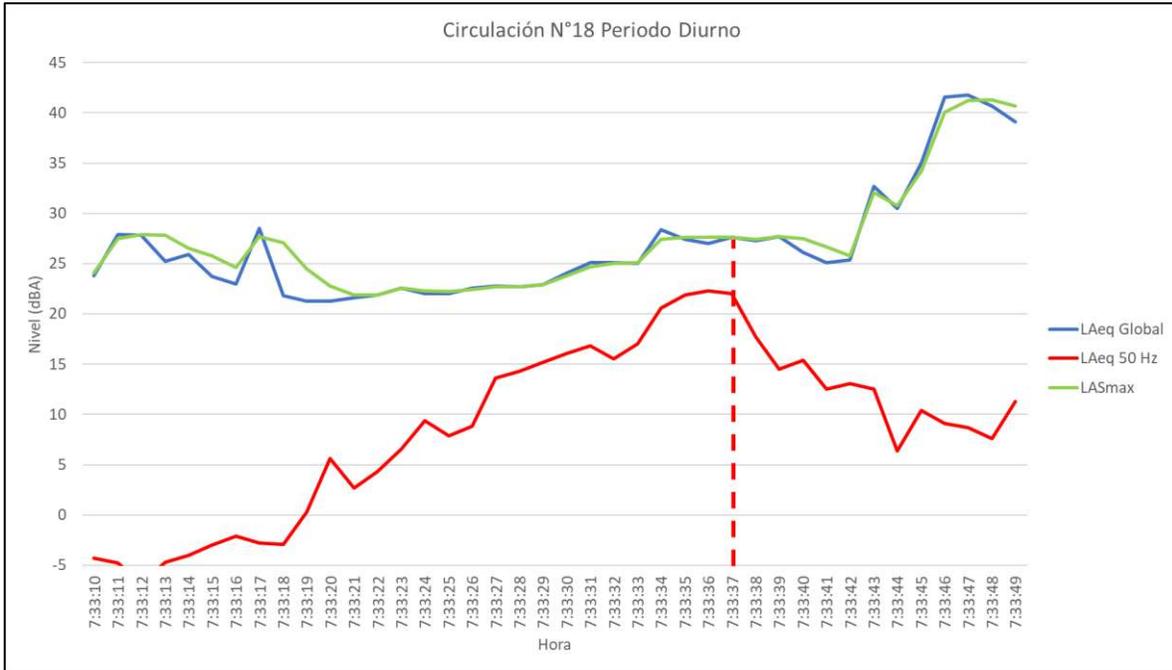
Circulación 17

Ilustración 47. Gráfico circulación N°17 de tren horario diurno.



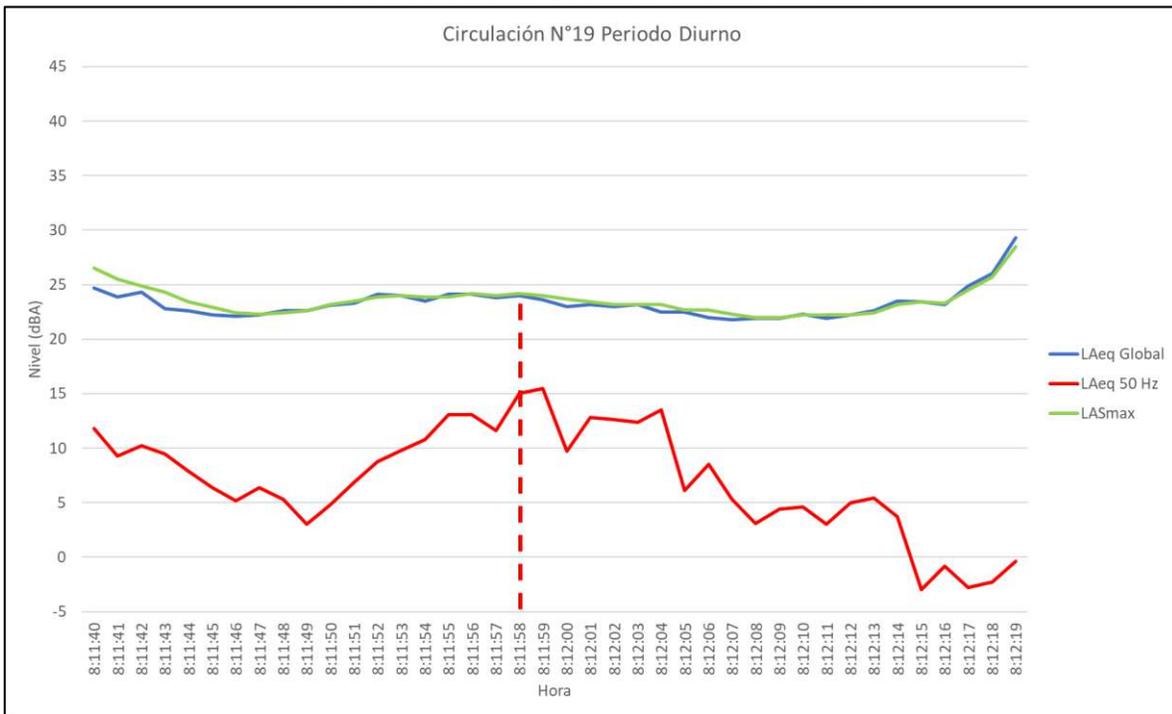
Circulación 18

Ilustración 48. Gráfico circulación N°18 de tren horario diurno.



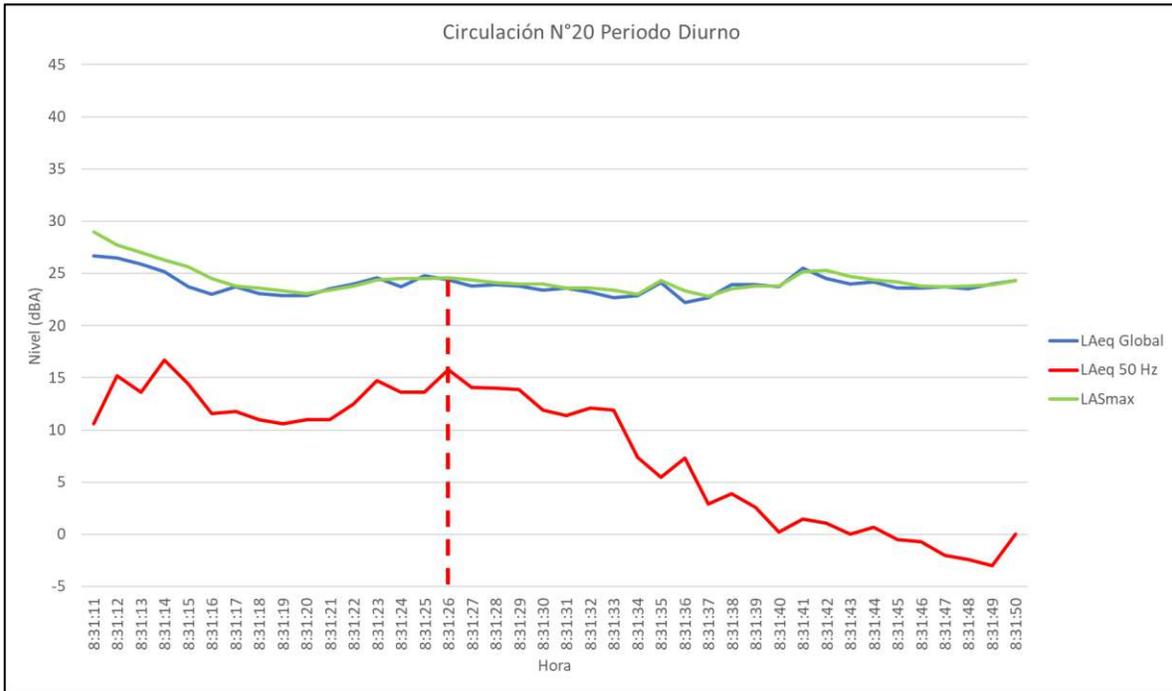
Circulación 19

Ilustración 49. Gráfico circulación N°19 de tren horario diurno.



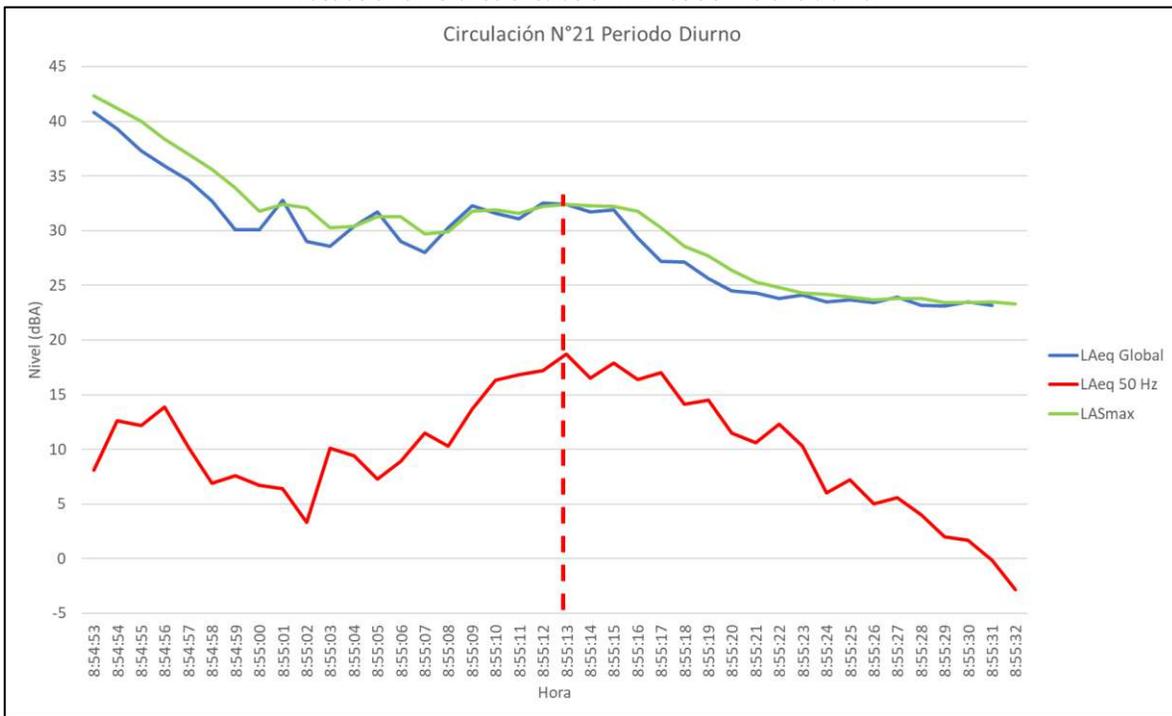
Circulación 20

Ilustración 50. Gráfico circulación N°20 de tren horario diurno.



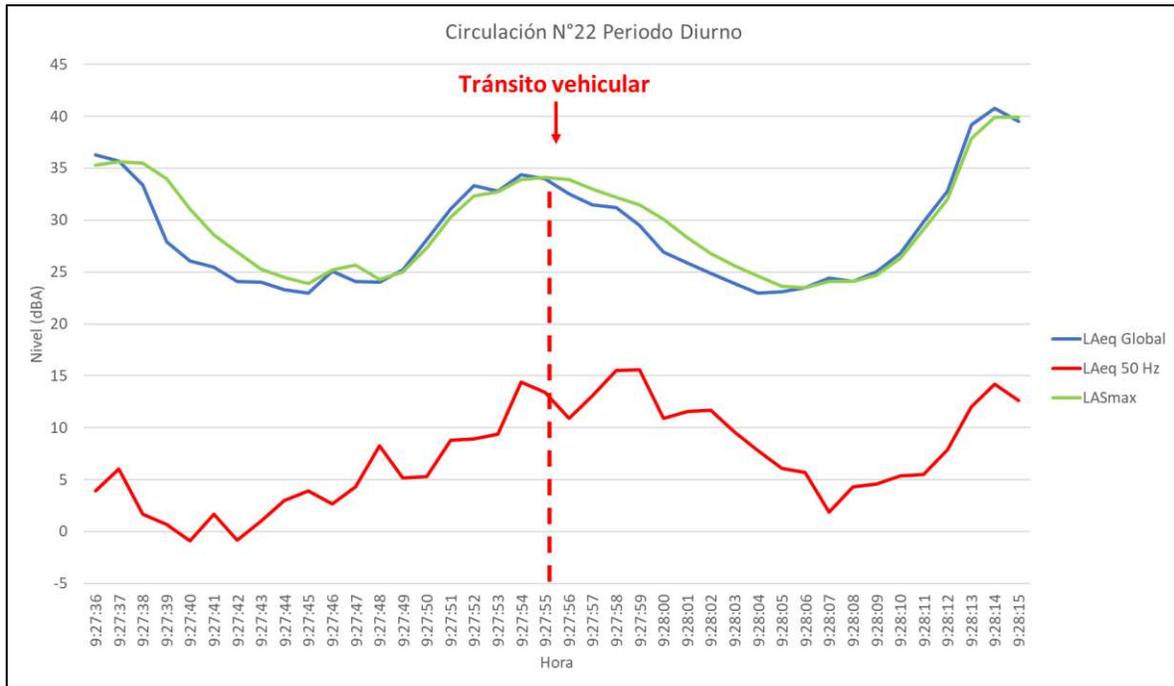
Circulación 21

Ilustración 51. Gráfico circulación N°21 de tren horario diurno.



Circulación 22

Ilustración 52. Gráfico circulación N°22 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 27.7 dBA.

Ilustración 53. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°22 diurno.

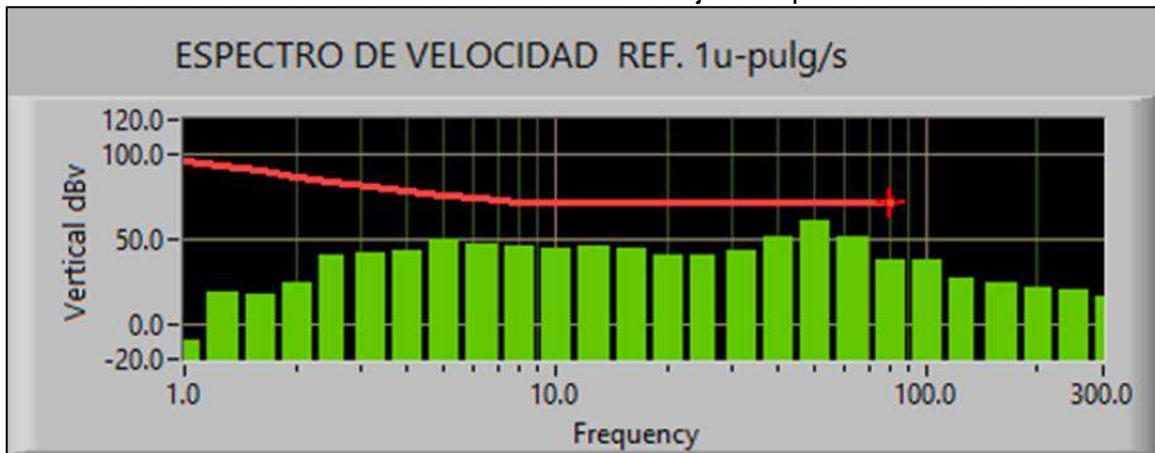
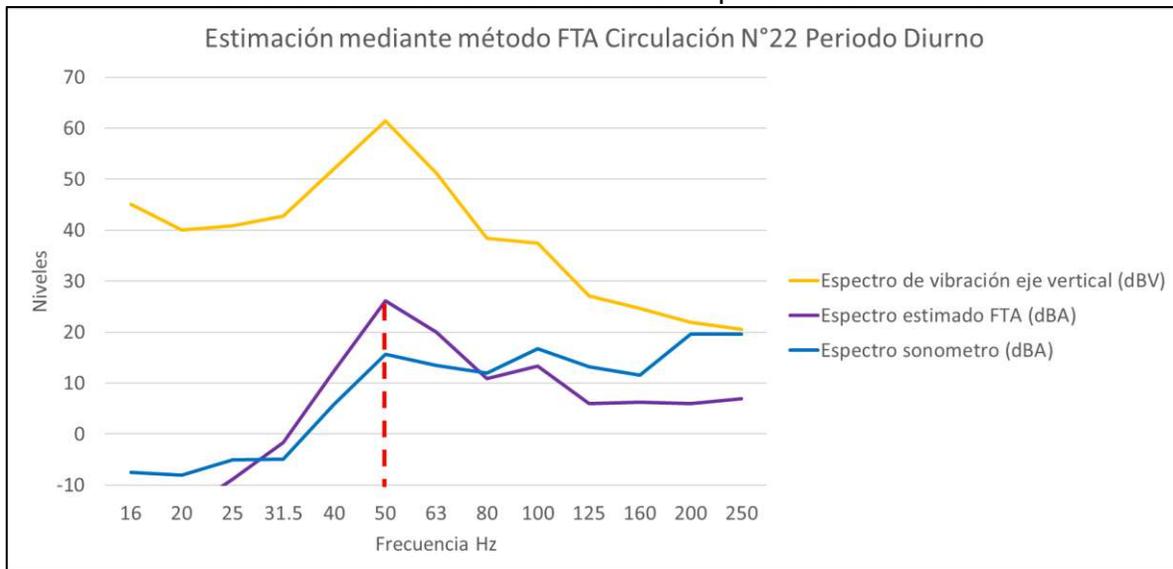


Tabla 22. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°22 diurno.

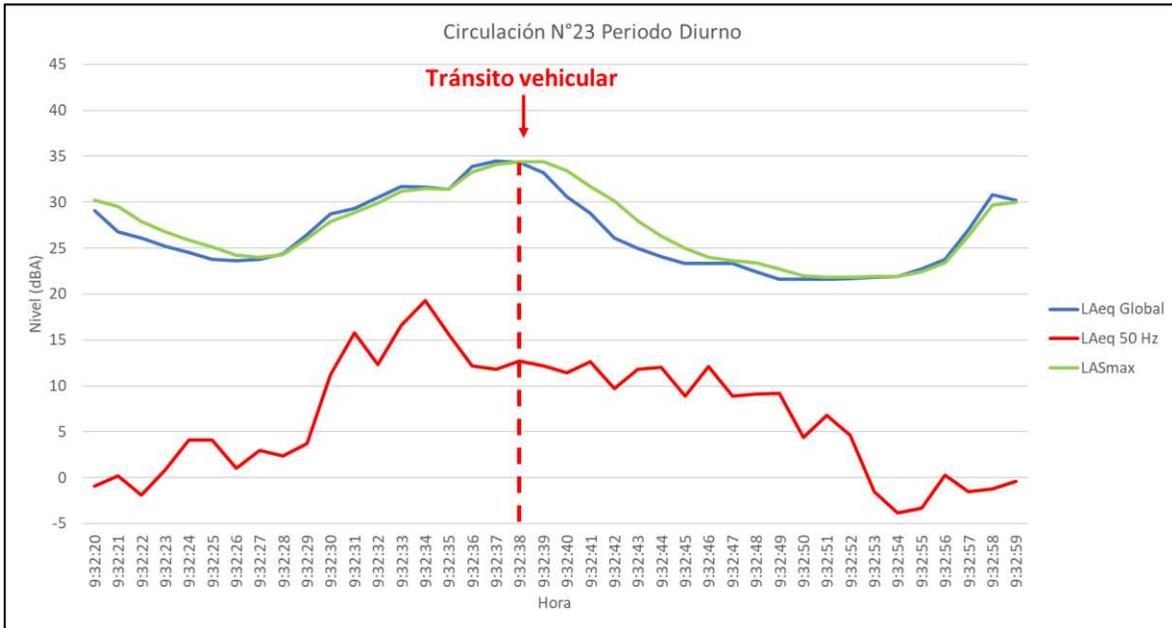
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	45.1	40	40.8	42.8	52	61.4	51.2	38.4	37.4	27.1	24.6	21.9	20.6
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-11.6	-10.5	-3.9	3.4	17.4	31.2	25.0	15.9	18.3	11.0	11.2	11.0	12.0
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-16.6	-15.5	-8.9	-1.6	12.4	26.2	20.0	10.9	13.3	6.0	6.2	6.0	7.0
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-16.6	-15.5	-8.9	-1.6	12.4	26.2	20.0	10.9	13.3	6.0	6.2	6.0	7.0
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-7.5	-8.1	-5	-4.9	5.9	15.6	13.5	12	16.8	13.2	11.6	19.6	19.6
Valor global estimado según método FTA (dBA)	27.7												

Ilustración 54. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°22 diurno.



Circulación 23

Ilustración 55. Gráfico circulación N°23 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 27.8 dBA.

Ilustración 56. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°23 diurno.

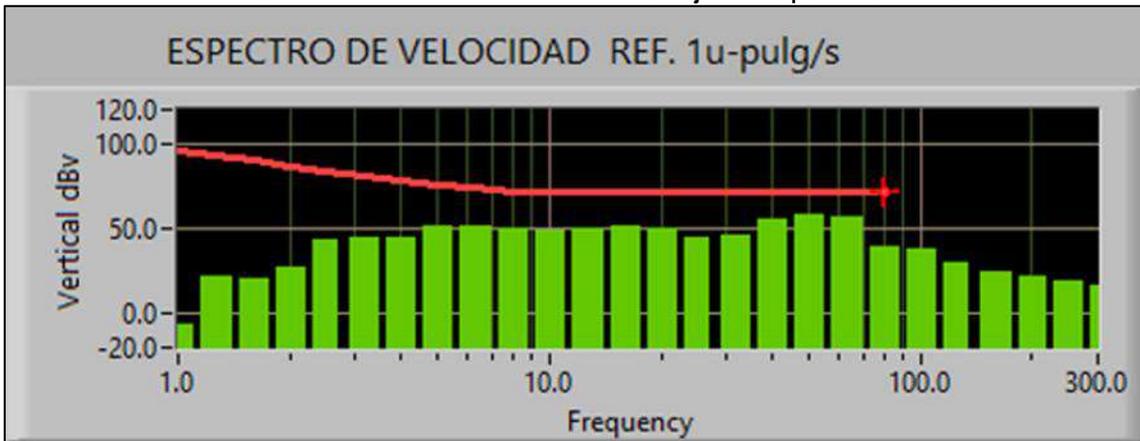
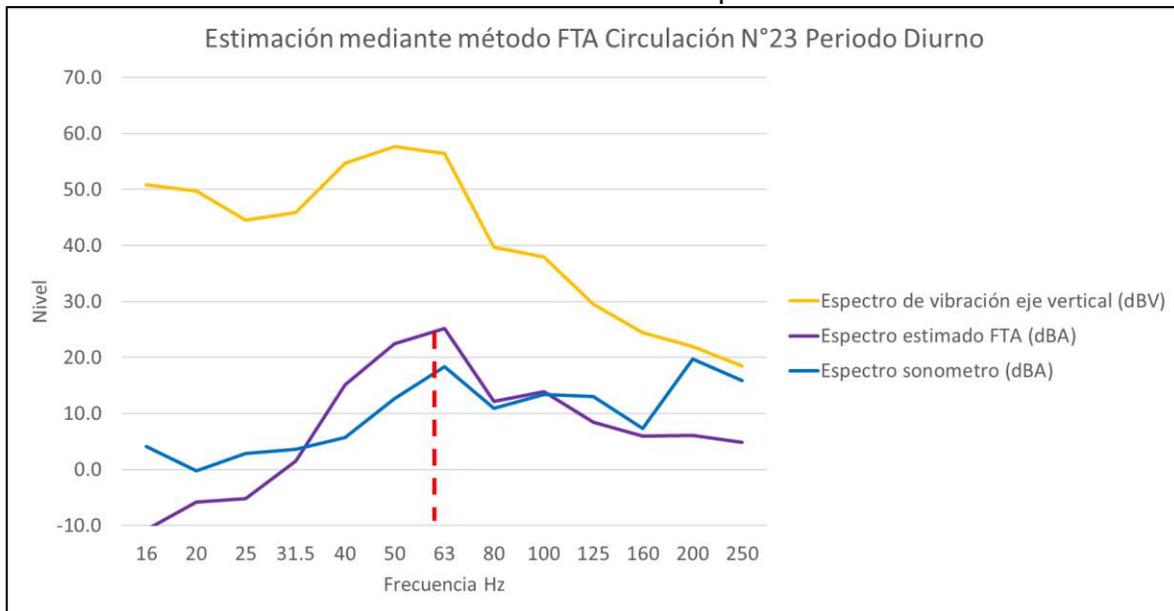


Tabla 23. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°23 diurno.

Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	50.9	49.7	44.5	45.9	54.7	57.7	56.4	39.7	38.0	29.5	24.4	22.0	18.5
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-5.8	-0.8	-0.2	6.5	20.1	27.5	30.2	17.2	18.9	13.4	11.0	11.1	9.9
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-10.8	-5.8	-5.2	1.5	15.1	22.5	25.2	12.2	13.9	8.4	6.0	6.1	4.9
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-10.8	-5.8	-5.2	1.5	15.1	22.5	25.2	12.2	13.9	8.4	6.0	6.1	4.9
Espectro medido con sonómetro (dBA)	4.1	-0.2	2.8	3.6	5.7	12.6	18.3	10.9	13.4	13.0	7.3	19.7	15.9
Valor global estimado según método FTA (dBA)	27.8												

Ilustración 57. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°23 diurno.



7.4 DETALLE DE CIRCULACIÓN DE TRENES HORARIO NOCTURNO

Se presentan a continuación el detalle de los niveles de ruido inducido para cada circulación de tren, mediante el descriptor LA_{max} (slow) y el gráfico de envolvente respectivo, a modo de evidenciar el nivel máximo en dBA para período nocturno.

Se presenta en los gráficos siguientes el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (LA_{eq} 1 seg.) en color azul, el Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (LA_{max}) y respuesta lenta (slow) en color verde, y el Nivel de Presión Sonora con ponderación "A" de la frecuencia de 50 Hz u 80 Hz en color rojo, estas últimas a modo de referencia gráfica, ya que predominan en la circulación ferroviaria y permiten discriminar visualmente de manera clara la circulación de los trenes y la envolvente máxima alcanzada.

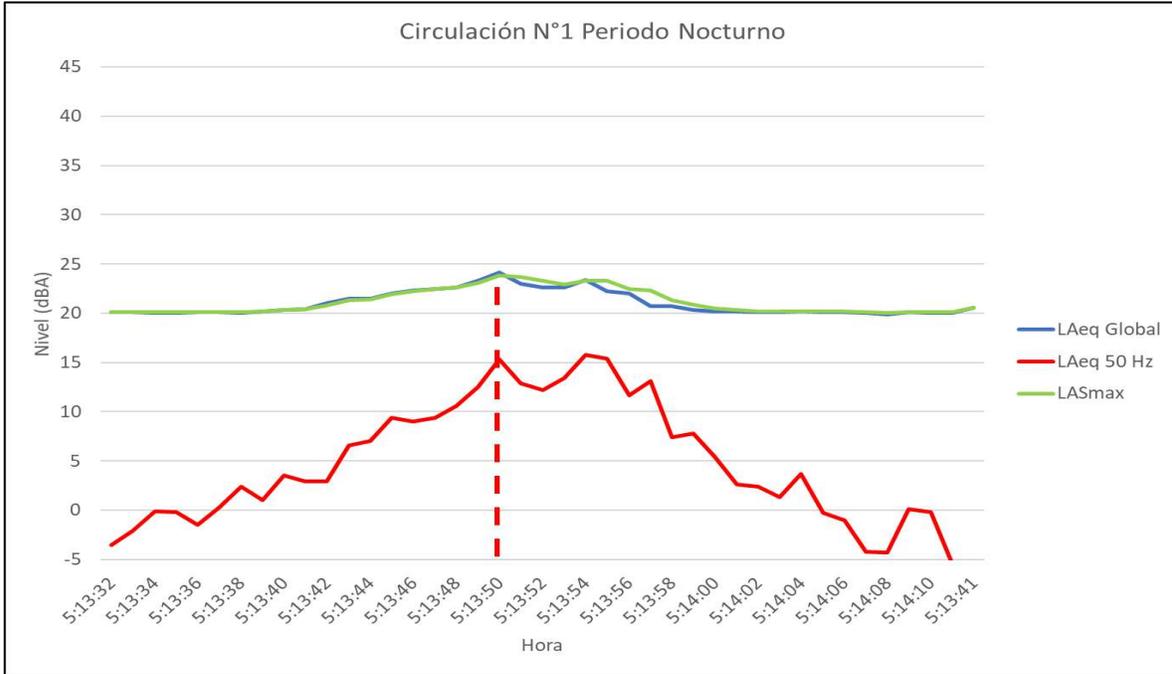
Para cada gráfico la línea punteada identifica el instante peak del nivel de ruido medido, asociado a la circulación del tren en su valor más alto del descriptor LA_{max}, lo anterior dentro de la campana de gauss que se forma e identifica en las frecuencias predominantes de 50 Hz u 80 Hz.

Cabe destacar que, para el período de medición nocturno los niveles de ruido inducido registrados se ven influenciados acústicamente por artefactos domésticos al interior del recinto. La influencia de tránsito vehicular es casi nula en las primeras circulaciones de trenes registradas, dado el bajo movimiento de la ciudad en esos horarios. Al avanzar la hora se aprecia mayor influencia del ruido de tránsito vehicular.

A continuación, se grafican las 20 circulaciones en horario nocturno utilizadas para el estudio:

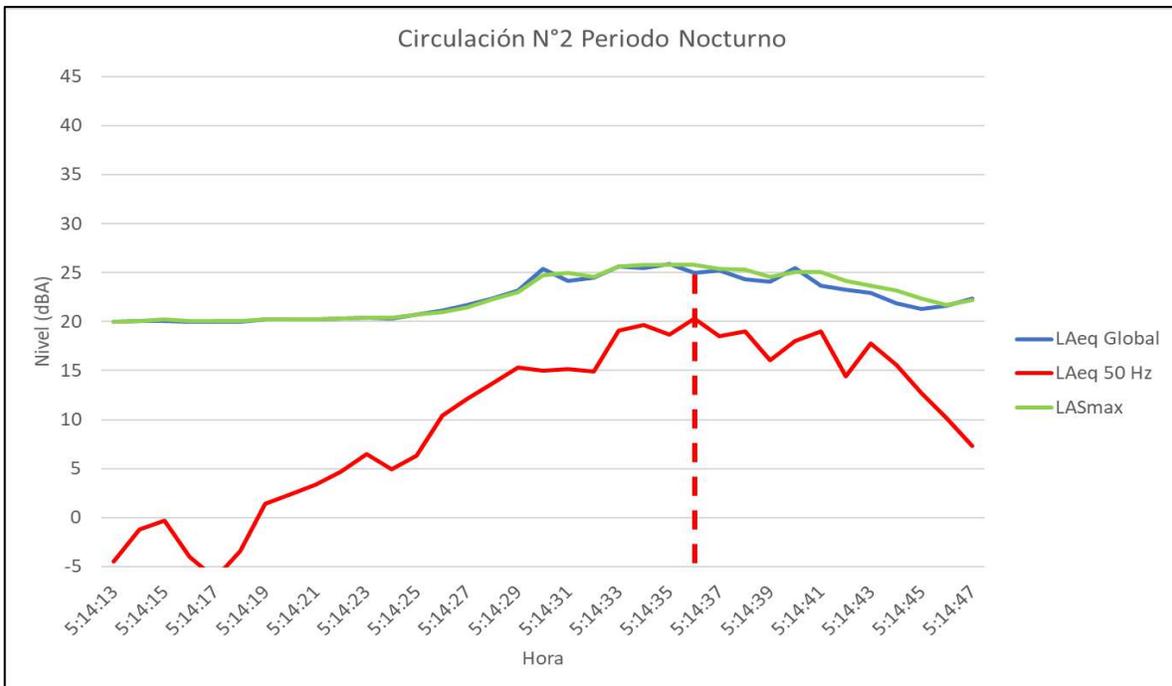
Circulación 1

Ilustración 58. Gráfico circulación N°1 de tren horario nocturno.



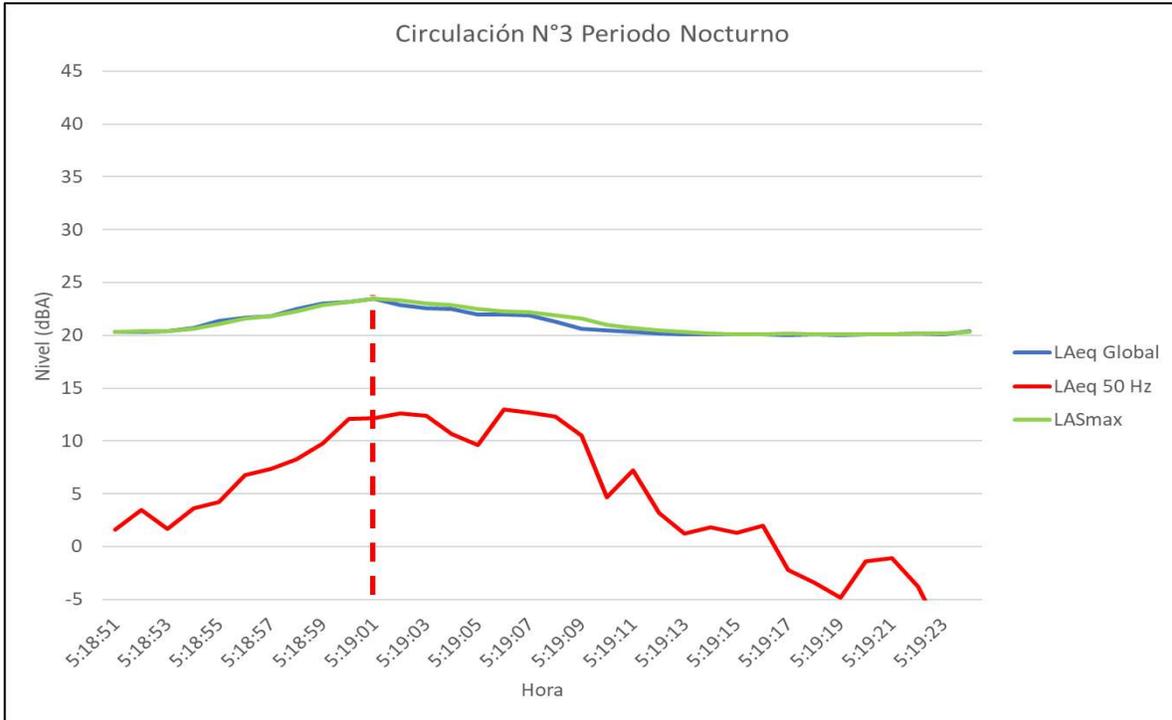
Circulación 2

Ilustración 59. Gráfico circulación N°2 de tren horario nocturno.



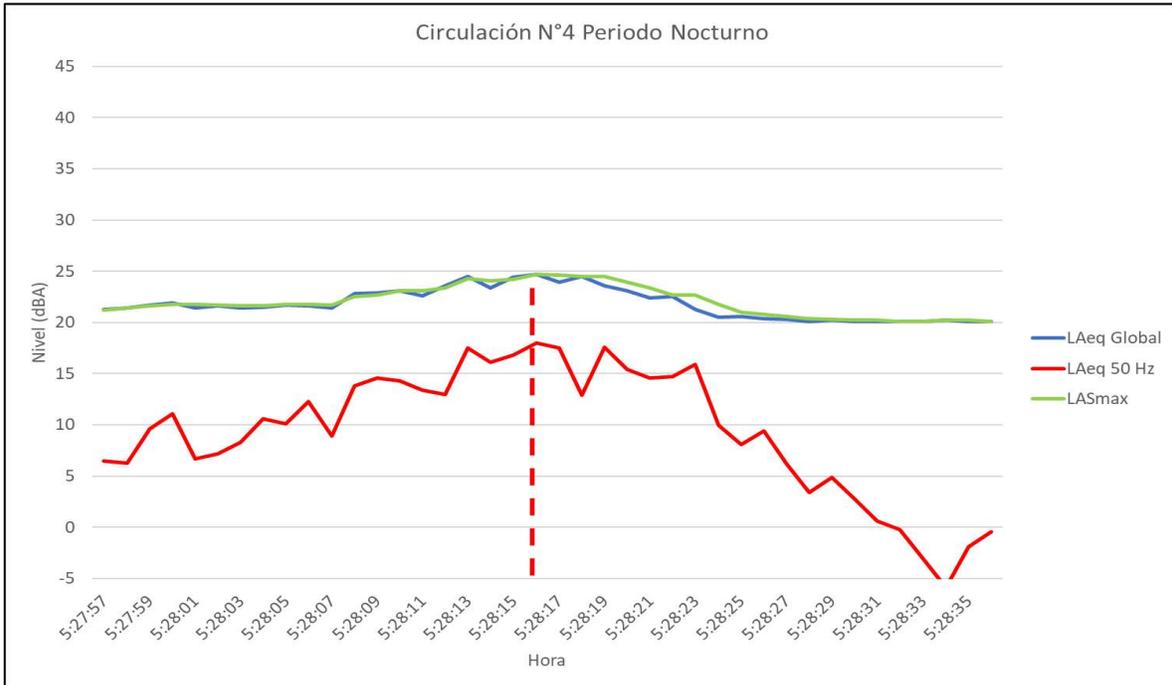
Circulación 3

Ilustración 60. Gráfico circulación N°3 de tren horario nocturno.



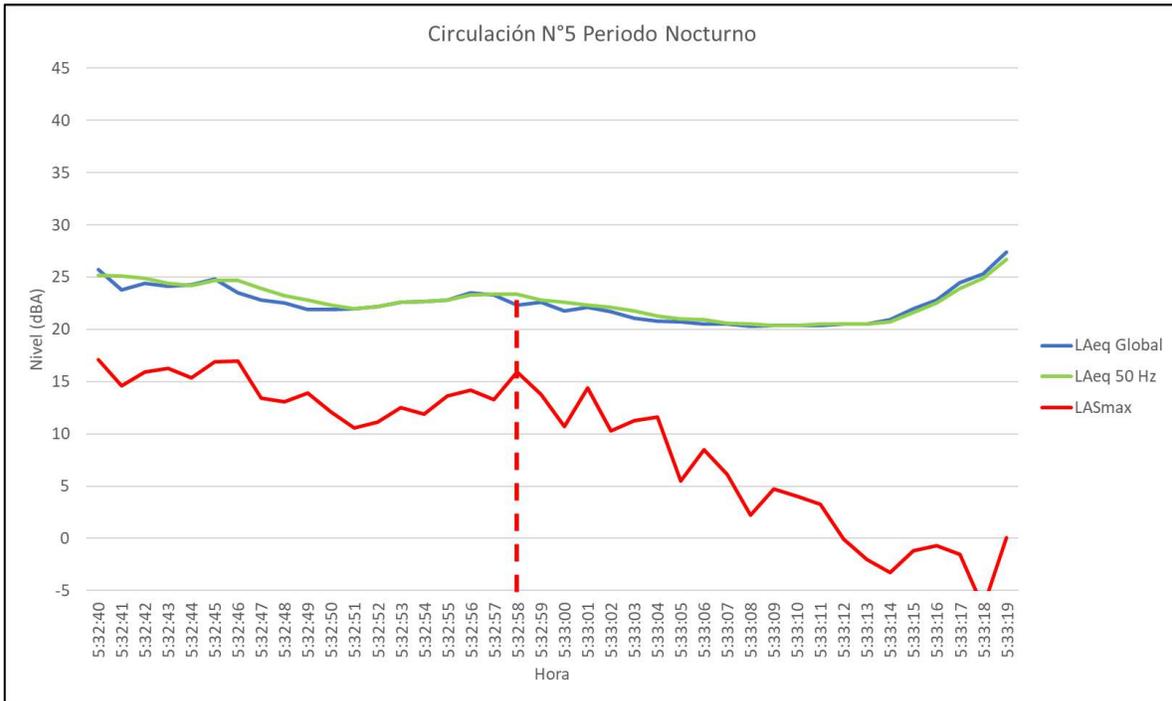
Circulación 4

Ilustración 61. Gráfico circulación N°4 de tren horario nocturno.



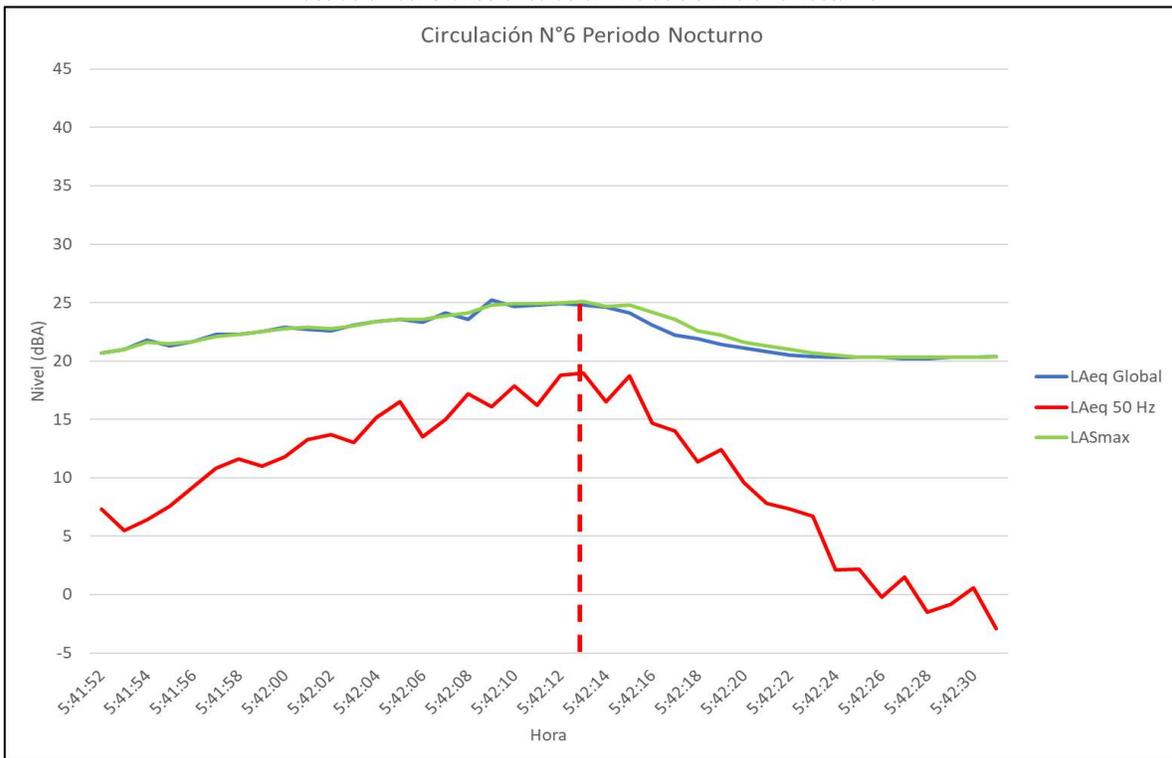
Circulación 5

Ilustración 62. Gráfico circulación N°5 de tren horario nocturno.



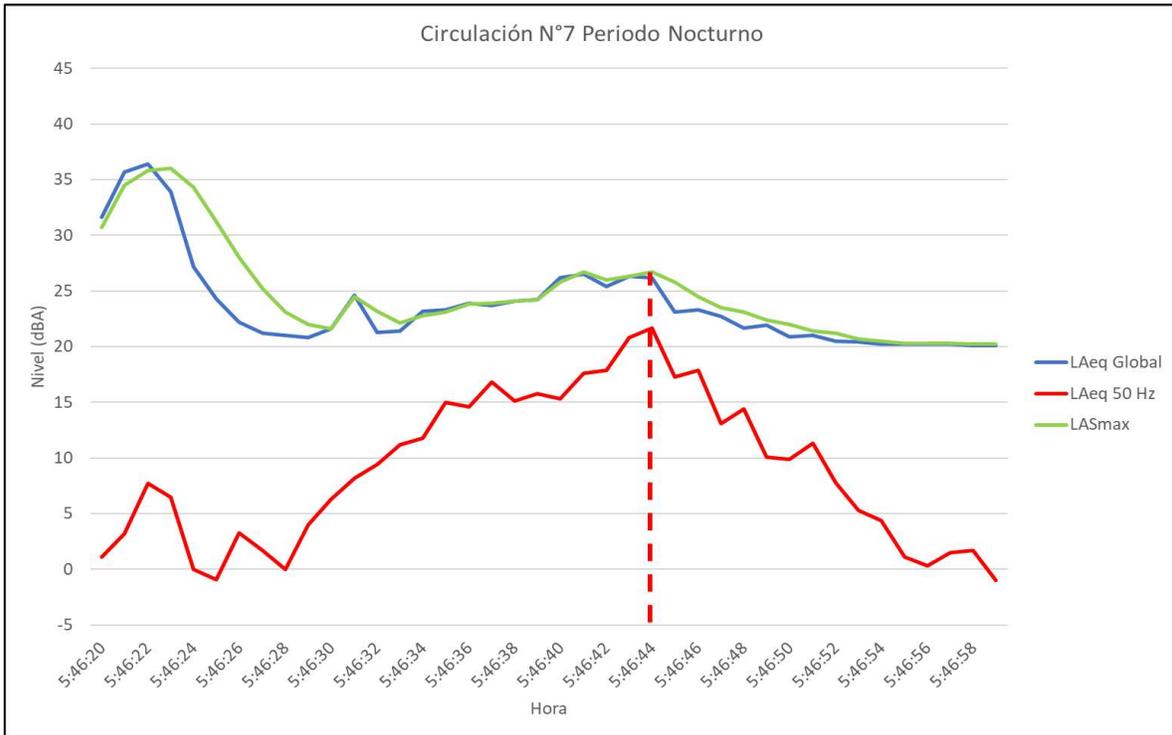
Circulación 6

Ilustración 63. Gráfico circulación N°6 de tren horario nocturno.



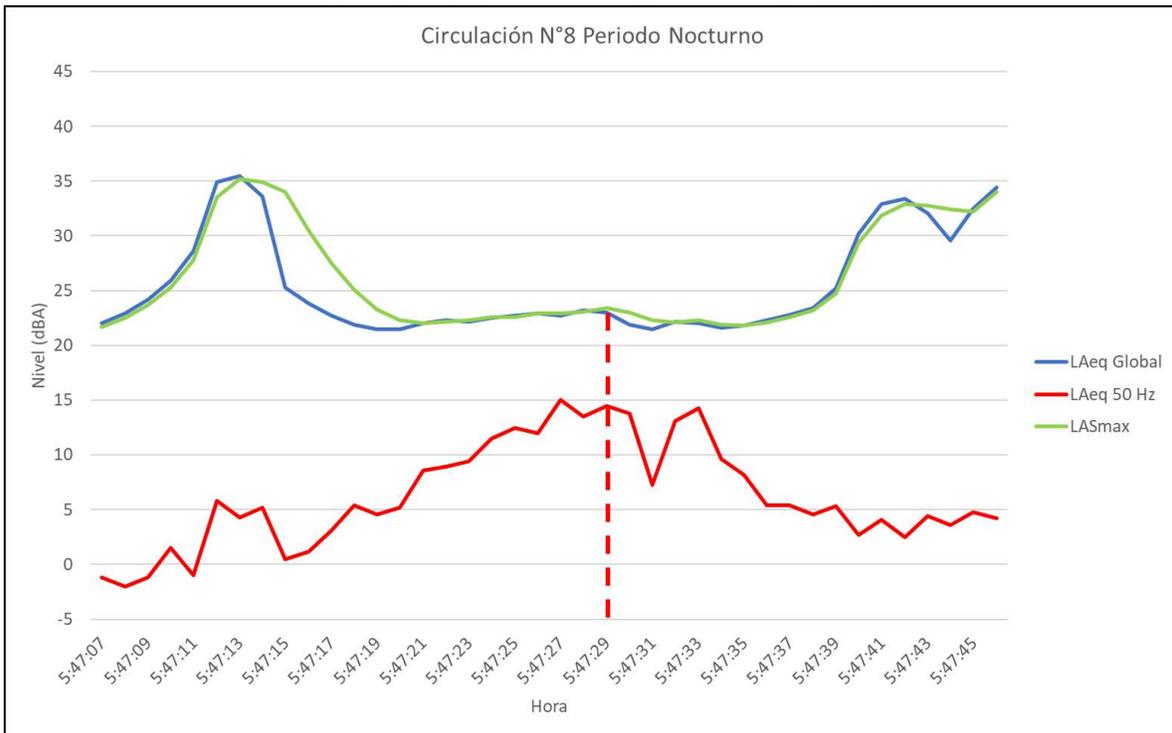
Circulación 7

Ilustración 64. Gráfico circulación N°7 de tren horario nocturno.



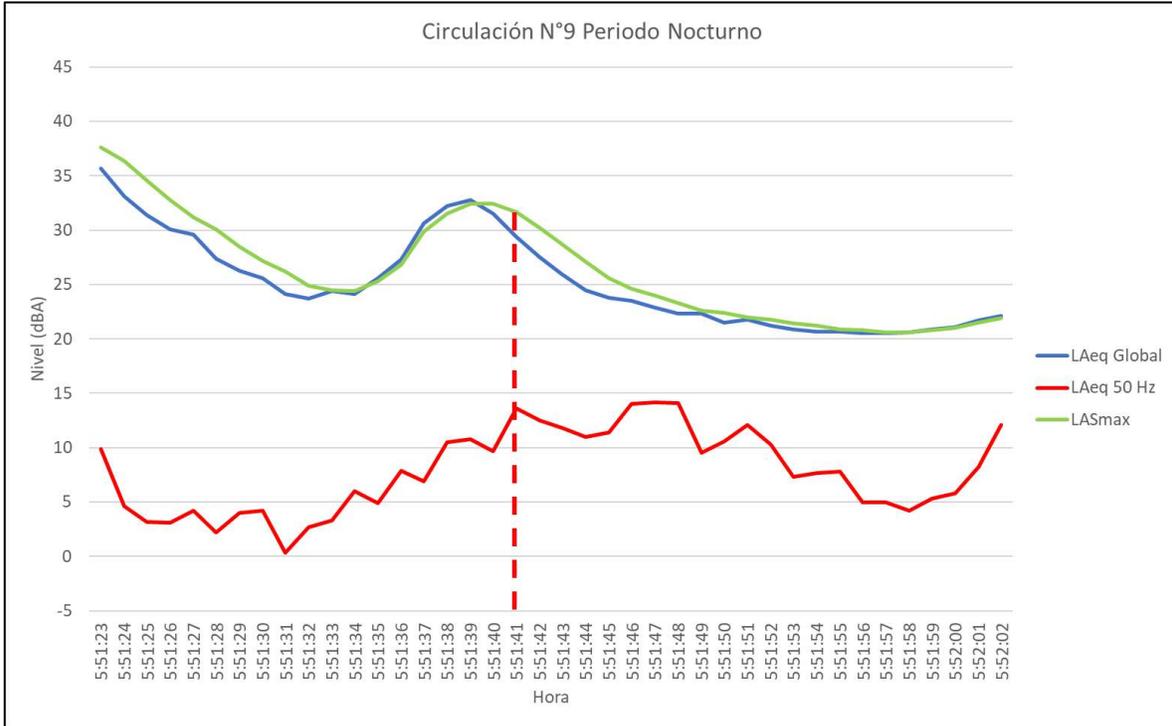
Circulación 8

Ilustración 65. Gráfico circulación N°8 de tren horario nocturno.



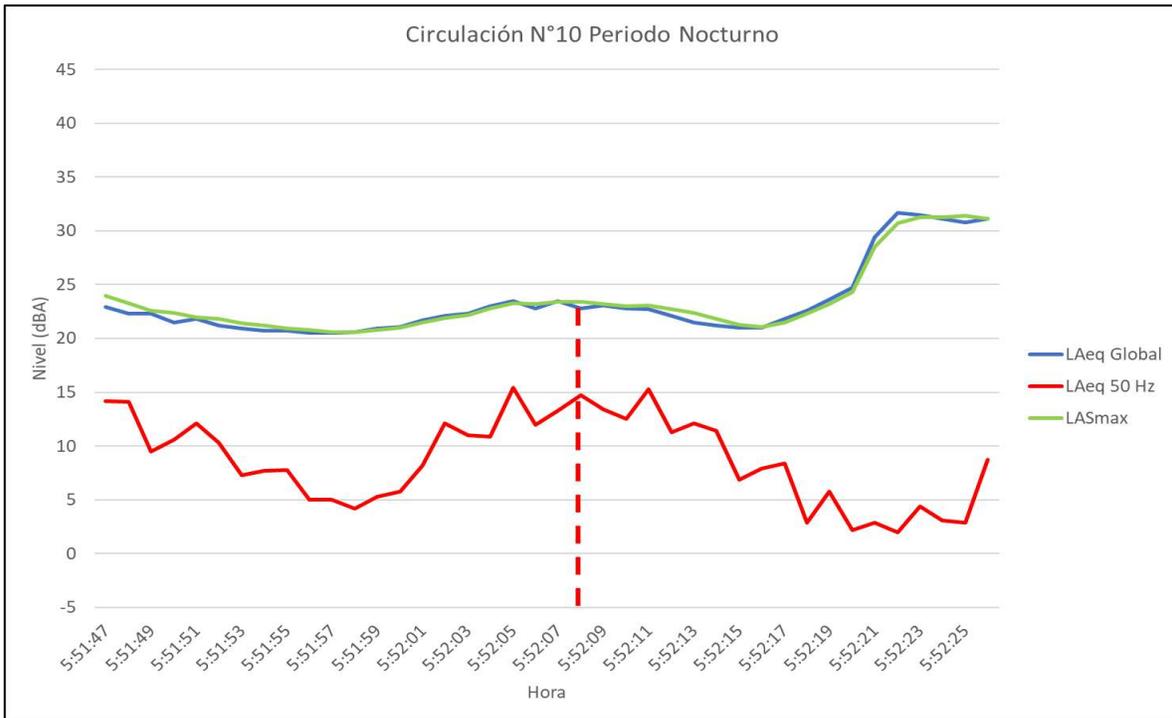
Circulación 9

Ilustración 66. Gráfico circulación N°9 de tren horario nocturno.



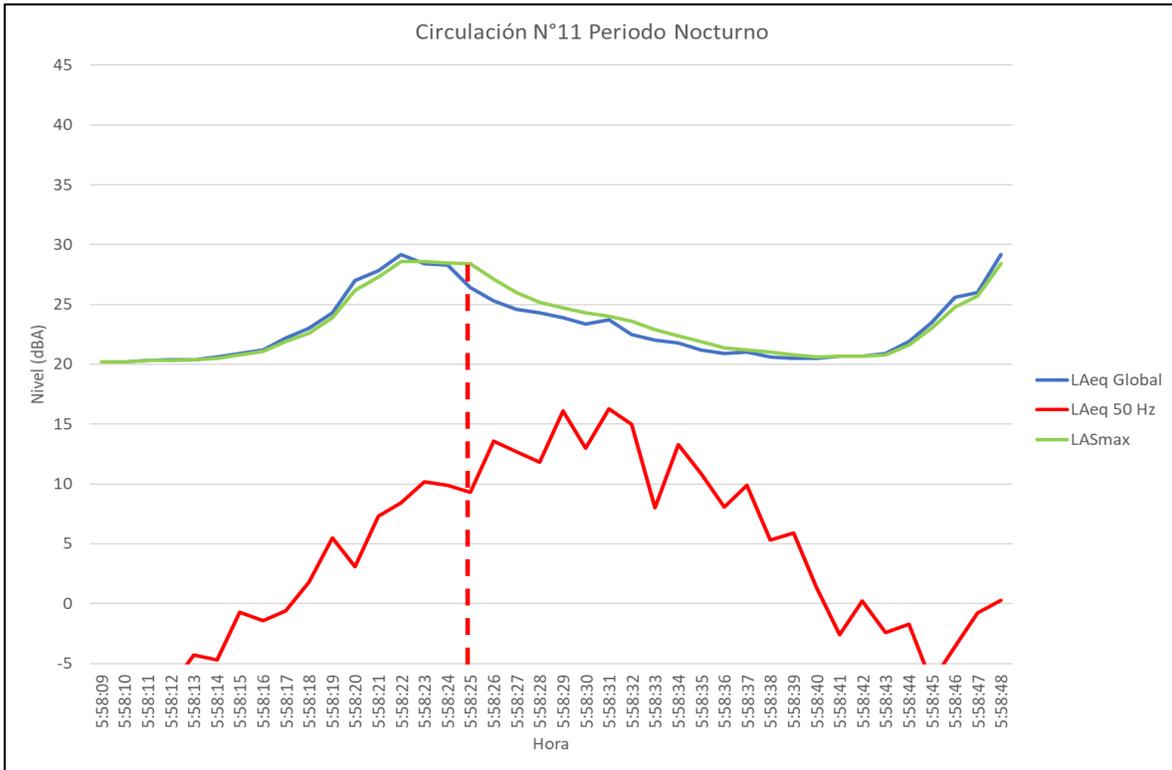
Circulación 10

Ilustración 67. Gráfico circulación N°10 de tren horario nocturno.



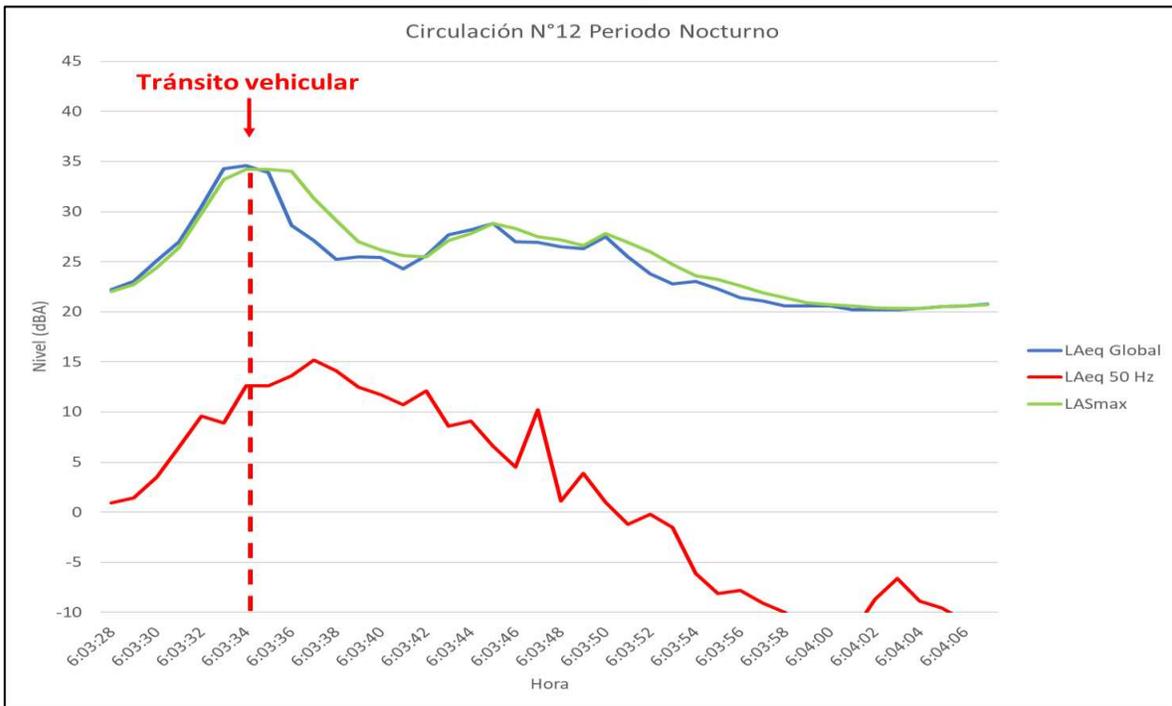
Circulación 11

Ilustración 68. Gráfico circulación N°11 de tren horario nocturno.



Circulación 12

Ilustración 69. Gráfico circulación N°12 de tren horario nocturno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 27.9 dBA.

Ilustración 70. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°12 nocturno.

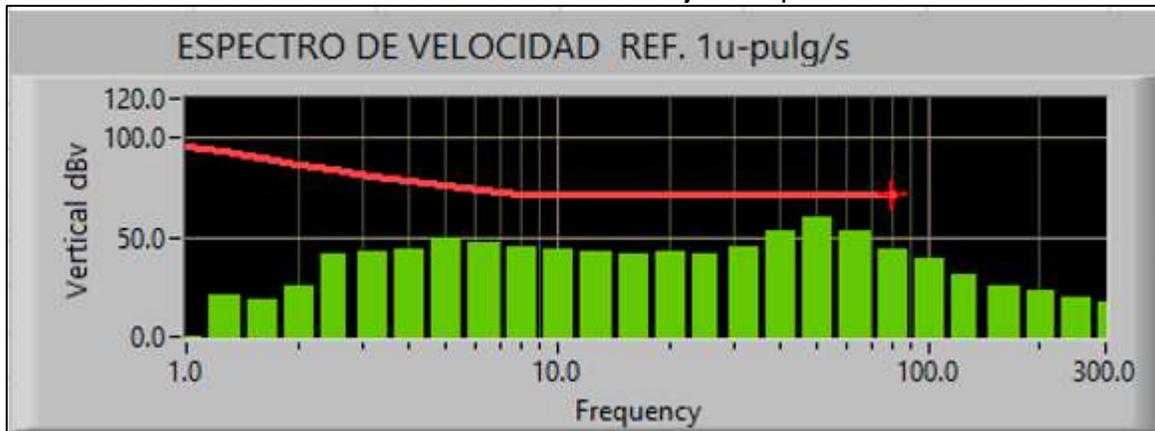
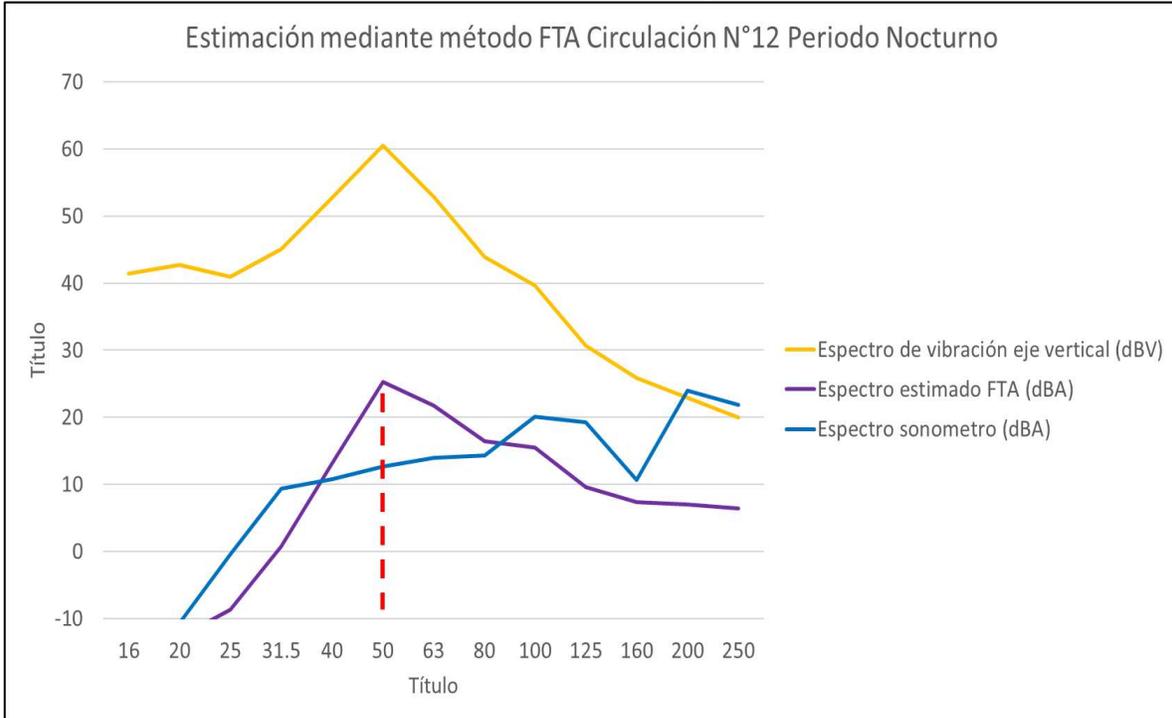


Tabla 24. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°12 nocturno.

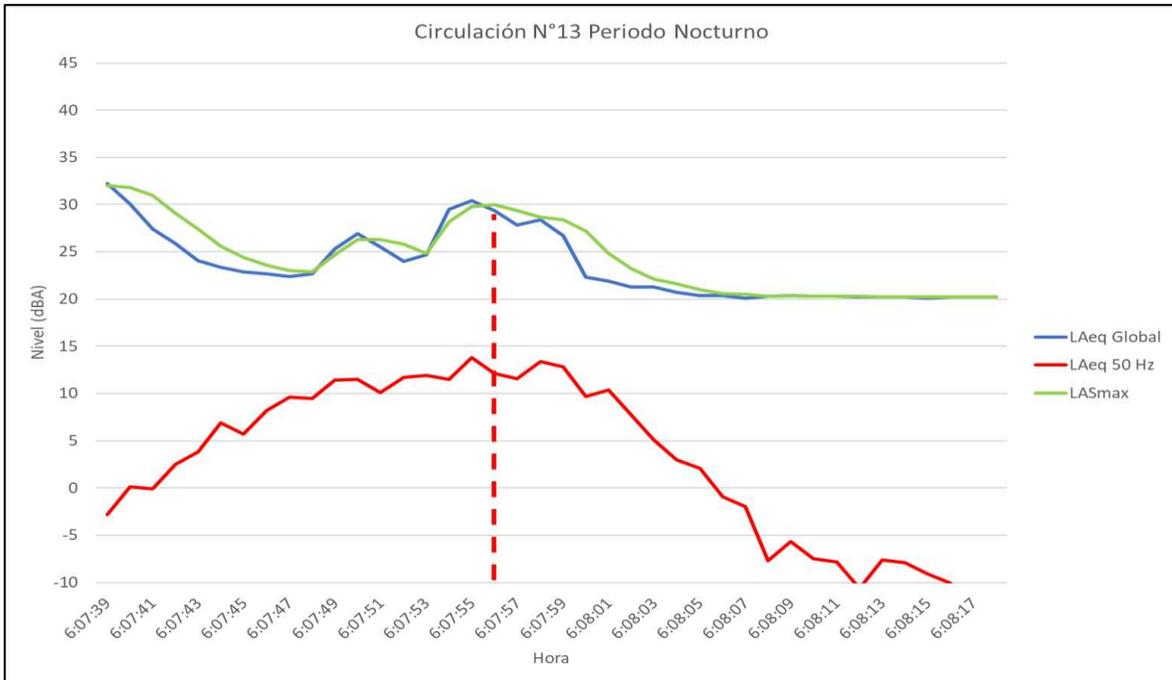
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	41.4	42.7	41	45.1	52.7	60.5	52.9	43.9	39.6	30.7	25.8	22.9	20
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-15.3	-7.8	-3.7	5.7	18.1	30.3	26.7	21.4	20.5	14.6	12.4	12.0	11.4
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-20.3	-12.8	-8.7	0.7	13.1	25.3	21.7	16.4	15.5	9.6	7.4	7.0	6.4
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-20.3	-12.8	-8.7	0.7	13.1	25.3	21.7	16.4	15.5	9.6	7.4	7.0	6.4
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-14.3	-10.7	-0.4	9.4	10.8	12.6	13.9	14.3	20.1	19.3	10.7	24	21.8
Valor global estimado según método FTA (dBA)	27.9												

Ilustración 71. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°12 nocturno.



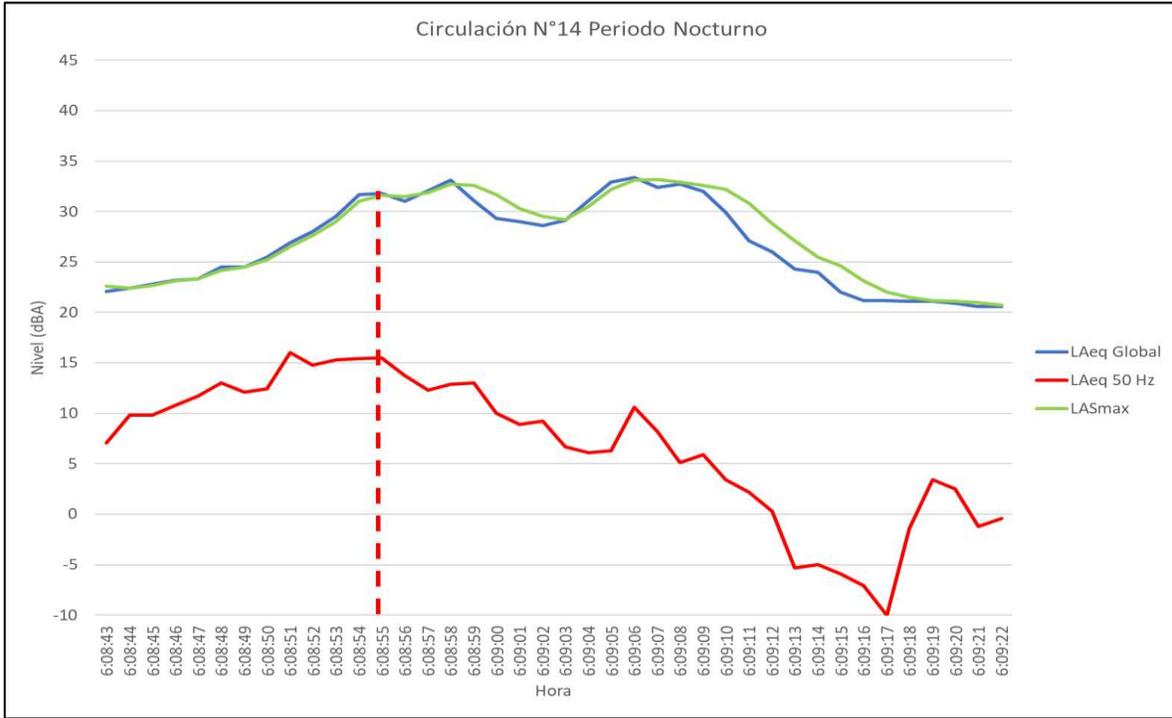
Circulación 13

Ilustración 72. Gráfico circulación N°13 de tren horario nocturno.



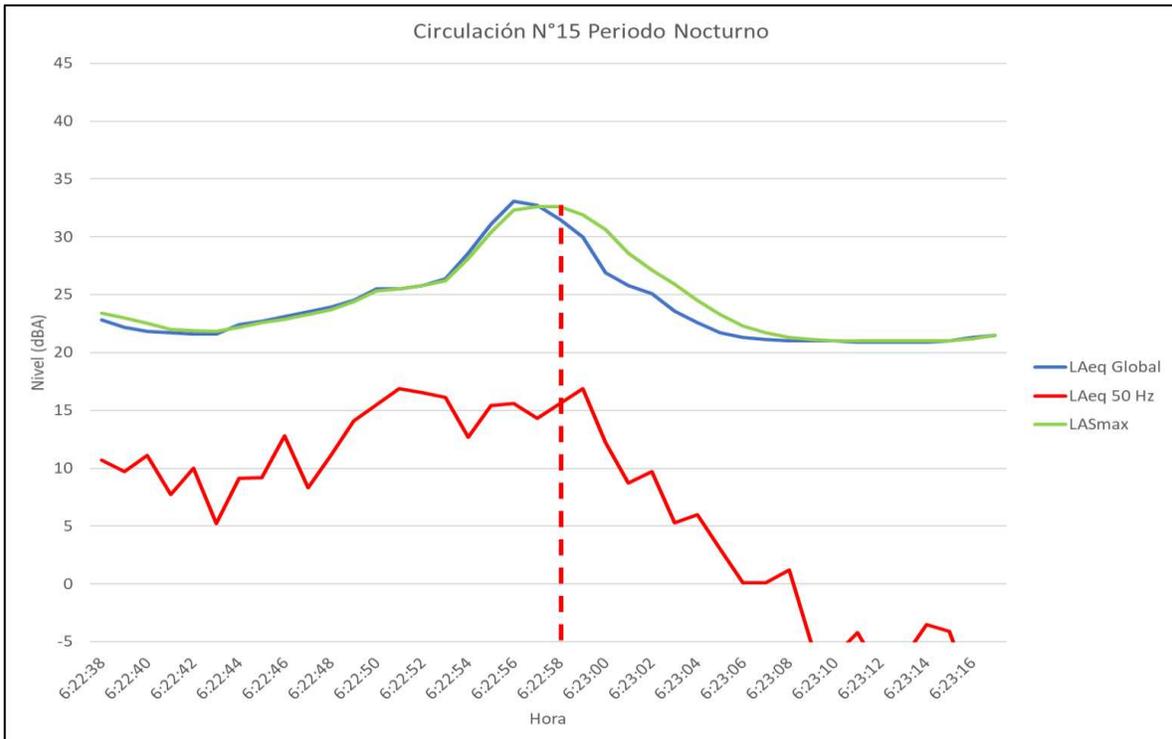
Circulación 14

Ilustración 73. Gráfico circulación N°14 de tren horario nocturno.



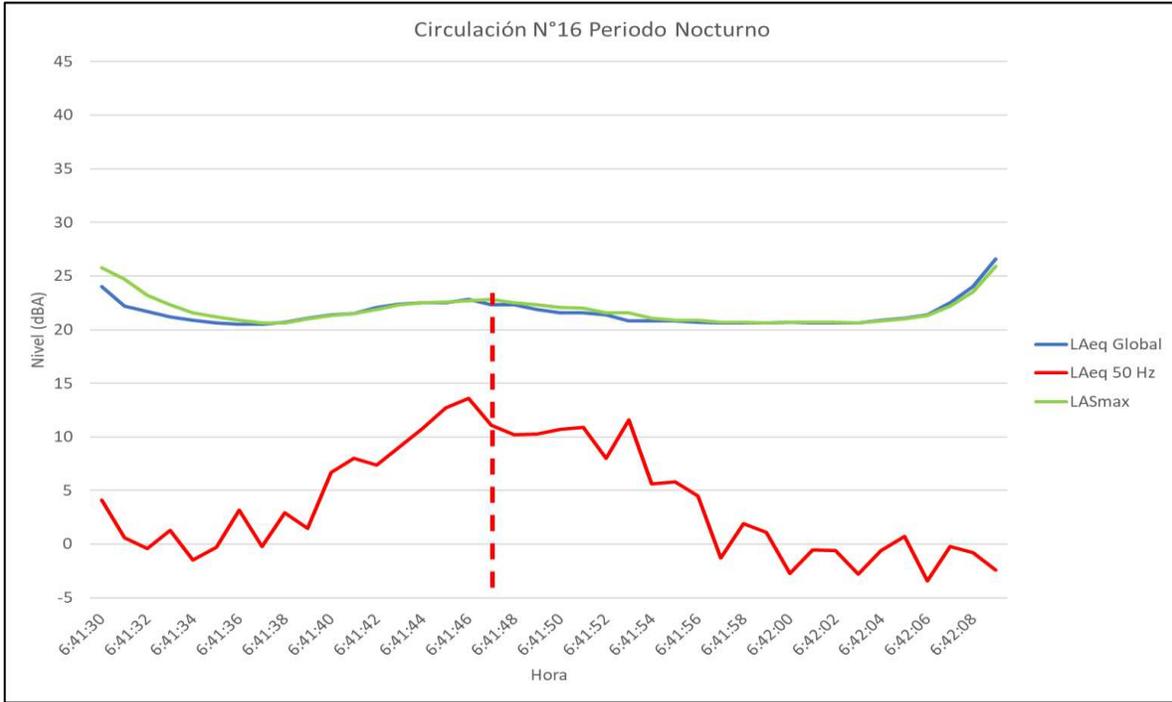
Circulación 15

Ilustración 74. Gráfico circulación N°15 de tren horario nocturno.



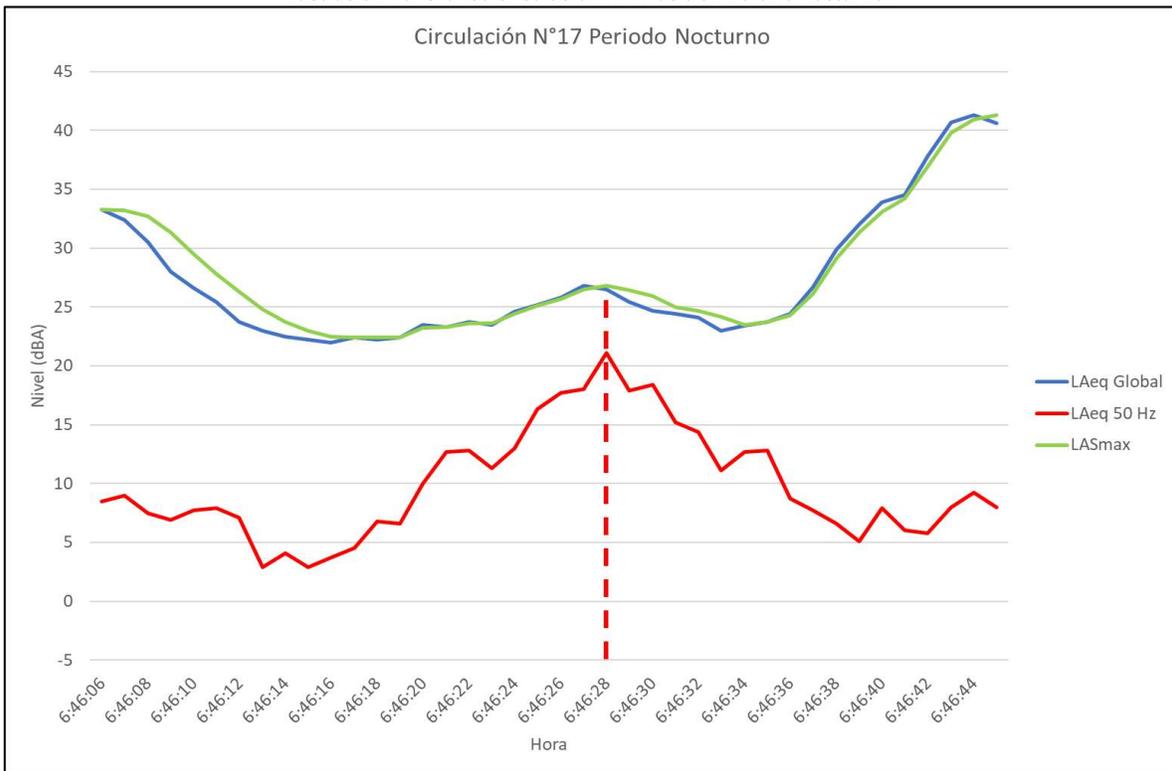
Circulación 16

Ilustración 75. Gráfico circulación N°16 de tren horario nocturno.



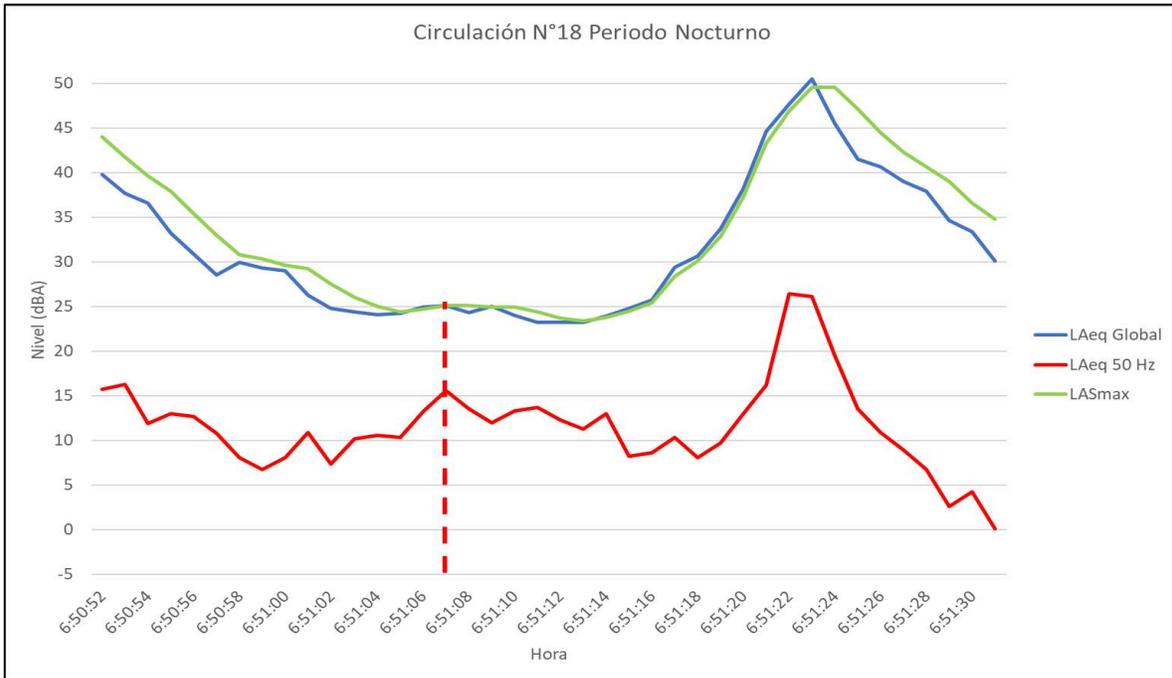
Circulación 17

Ilustración 76. Gráfico circulación N°17 de tren horario nocturno.



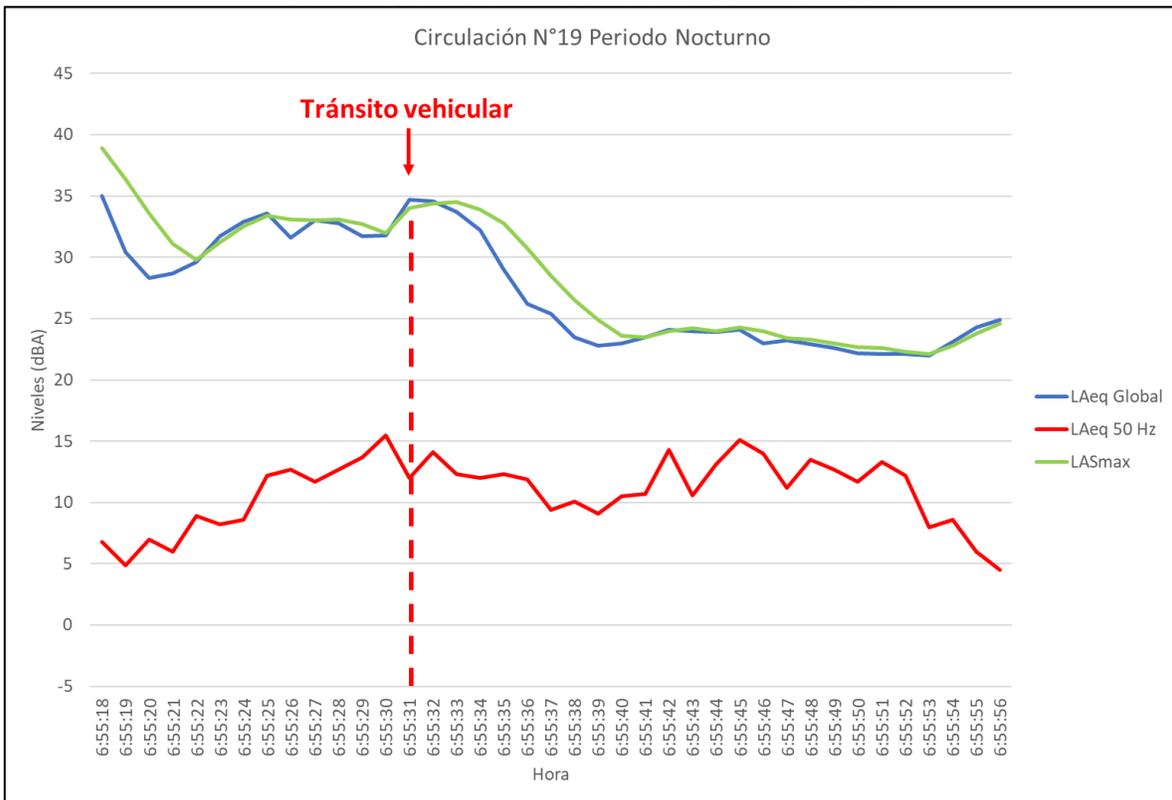
Circulación 18

Ilustración 77. Gráfico circulación N°18 de tren horario nocturno.



Circulación 19

Ilustración 78. Gráfico circulación N°19 de tren horario nocturno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 27.3 dBA.

Ilustración 79. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°19 nocturno.

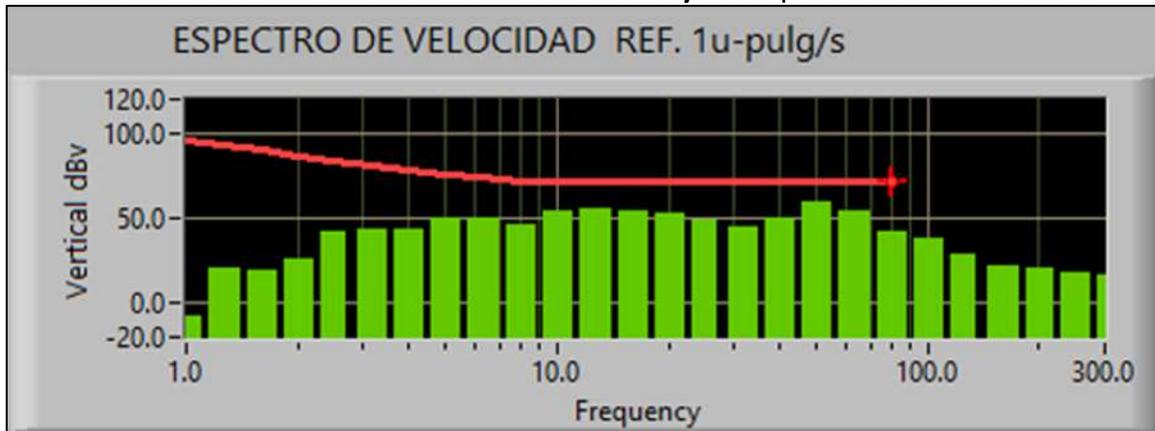
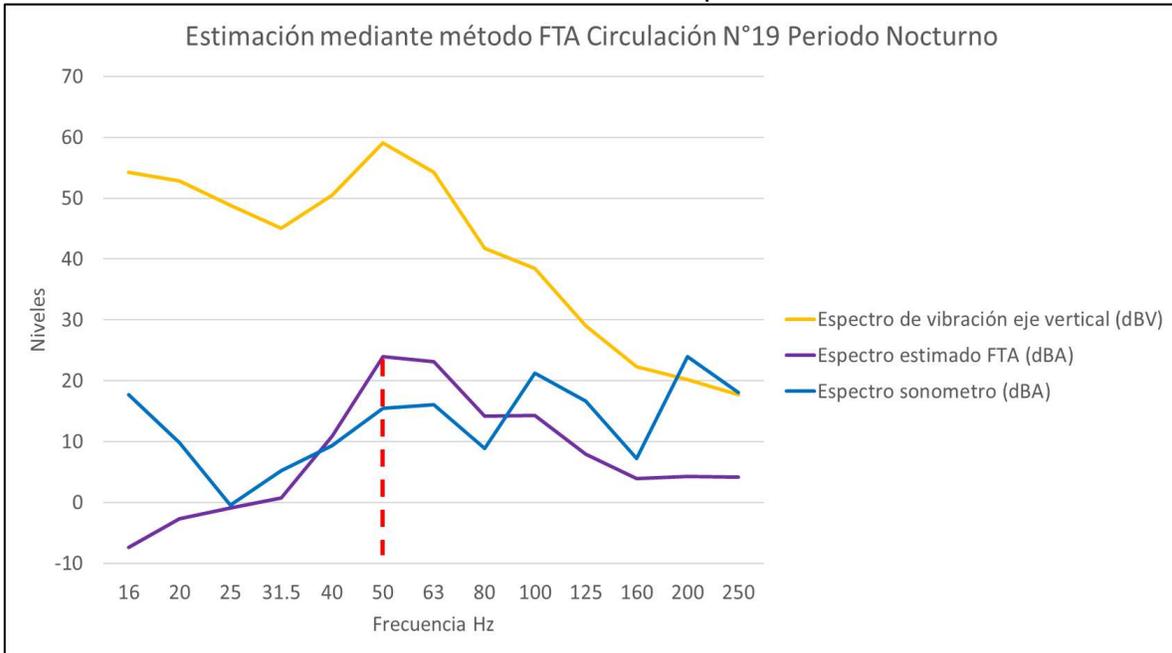


Tabla 25. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y los niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°19 nocturno.

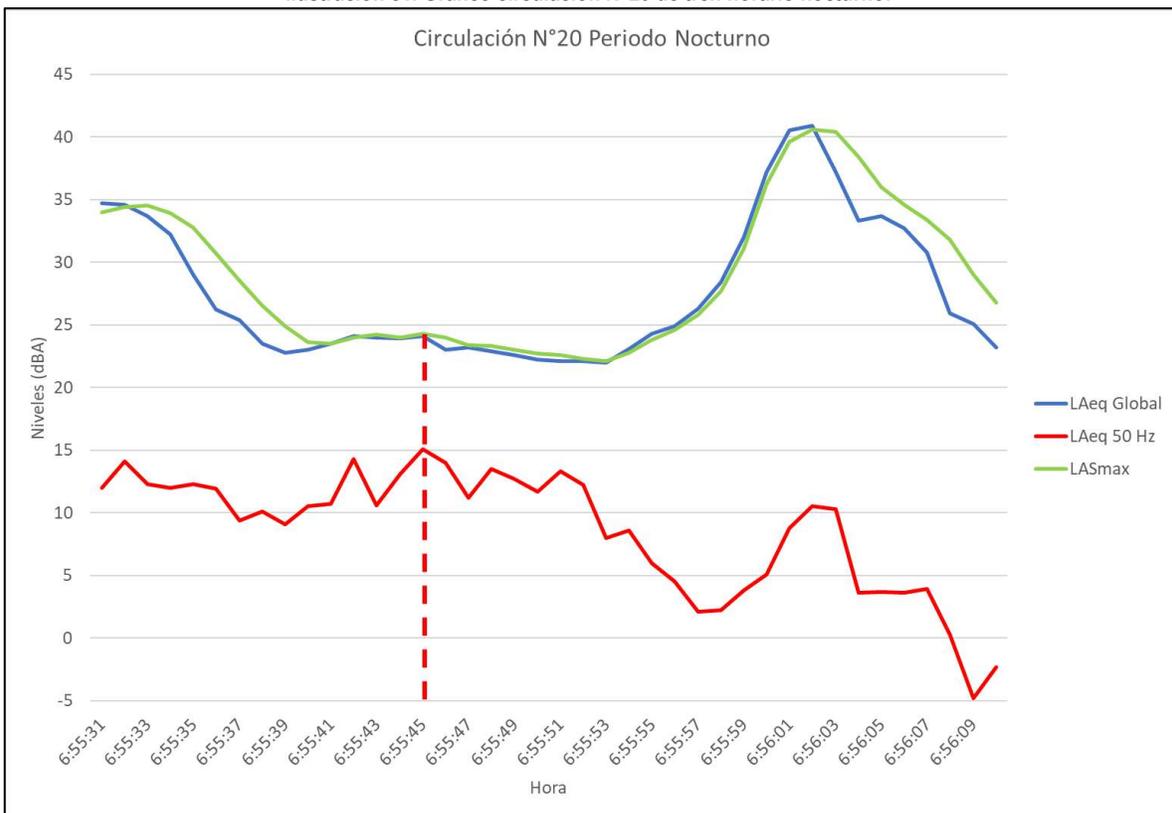
Descriptor	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	54.3	52.8	48.8	45.1	50.5	59.1	54.3	41.7	38.4	29	22.3	20.2	17.7
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-2.4	2.3	4.1	5.7	15.9	28.9	28.1	19.2	19.3	12.9	8.9	9.3	9.1
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-7.4	-2.7	-0.9	0.7	10.9	23.9	23.1	14.2	14.3	7.9	3.9	4.3	4.1
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-7.4	-2.7	-0.9	0.7	10.9	23.9	23.1	14.2	14.3	7.9	3.9	4.3	4.1
Espectro medido con sonómetro (dBA)	17.7	9.8	-0.4	5.2	9.3	15.5	16	8.9	21.3	16.7	7.2	24	18.1
Valor global estimado según método FTA (dBA)	27.3												

Ilustración 80. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°19 nocturno.



Circulación 20

Ilustración 81. Gráfico circulación N°20 de tren horario nocturno.



8 EVALUACIÓN DE NORMATIVA.

De acuerdo con lo que establece la norma FTA Report N°0123:2018 se presenta a continuación la evaluación de los niveles de ruido inducido medidos al interior del recinto para cada circulación de tren en horario diurno y nocturno.

8.1 EVALUACIÓN CIRCULACIONES DIURNAS.

En la siguiente tabla se presentan los niveles de ruido inducido alcanzados para cada circulación de tren en período diurno comparado con el nivel máximo permisible según FTA N°0123:2018.

Tabla 26. Evaluación según FTA N°0123:2018 para cada circulación de tren en horario Diurno.

N° Circulación	Fecha	Hora	LAmx (slow) (dBA)	Influencia RF	Predicción de GBN (RMS 1 seg.) (dBA)	Eje para predicción	Límite FTA N°0123:2018	Evaluación según FTA N°0123:2018
1	04-02-2021	18:05:47	37.2	SI	25.1	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
2	04-02-2021	18:15:12	35.4	SI	26.9	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
3	04-02-2021	18:30:46	34.5	SI	24.7	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
4	04-02-2021	19:10:51	34.1	SI	28.2	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
5	04-02-2021	19:40:21	32.4	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
6	04-02-2021	20:10:54	33.4	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
7	04-02-2021	20:33:34	34.7	SI	29.0	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
8	04-02-2021	20:44:09	34.0	SI	26.4	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
9	04-02-2021	20:57:29	31.8	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
10	04-02-2021	21:06:52	31.7	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
11	04-02-2021	21:13:30	32.5	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
12	04-02-2021	21:20:10	35.1	SI	25.5	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
13	04-02-2021	21:36:34	37.3	SI	25.8	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
14	05-02-2021	7:00:26	26.4	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
15	05-02-2021	7:04:46	26.0	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
16	05-02-2021	7:18:50	24.3	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
17	05-02-2021	7:28:53	24.3	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
18	05-02-2021	7:33:35	27.6	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
19	05-02-2021	8:11:56	24.2	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
20	05-02-2021	8:31:26	24.6	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
21	05-02-2021	8:55:13	32.4	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
22	05-02-2021	9:27:56	34.1	SI	27.7	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
23	05-02-2021	9:32:40	34.4	SI	27.8	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE

Al momento de identificar una circulación de tren, se analiza si ésta se ve influenciada o no por el ruido de fondo durante la medición considerando los audios asociados a la medición, identificándose principalmente tráfico vehicular. Por lo tanto, al verse contaminada la medición no en su totalidad, se procede a estimar el nivel de ruido inducido de una circulación de tren a partir de los valores de vibración mecánica medidos en el mismo periodo.

En base a lo anterior, según los valores obtenidos para las circulaciones diurnas N°3, N°4, N°7, N°8, N°22 y N°23 los cuales, a pesar de estar por debajo del límite máximo permisible, se encuentran influenciados en parte por el ruido de fondo.

De igual manera, se estima el nivel de ruido inducido de las circulaciones N°1, N°2, N°12 y N°13 las cuales sobrepasan según descriptor LAmax el nivel máximo permisible según la norma FTA, pero al mismo tiempo son las más influenciadas por el ruido de fondo.

Es importante destacar, que los valores obtenidos de la predicción se asemejan a los valores de ruido medidos en terreno para una circulación de tren limpia.

8.2 EVALUACIÓN CIRCULACIONES NOCTURNAS

En la siguiente tabla se presentan los niveles de ruido inducido alcanzados para cada circulación de tren en período nocturno comparado con el nivel máximo permisible según FTA N°0123:2018.

Tabla 27. Valores obtenidos para cada circulación de tren en horario Nocturno.

N° Circulación	Fecha	Hora	L _{Amax} (slow) (dBA)	Influencia RF	Predicción de GBN (RMS 1 seg.) (dBA)	Eje para predicción	Límite FTA N°0123:2018	Evaluación según FTA N°0123:2018
1	05-02-2021	5:13:50	23.8	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
2	05-02-2021	5:14:35	25.8	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
3	05-02-2021	5:19:02	23.5	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
4	05-02-2021	5:28:17	24.7	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
5	05-02-2021	5:32:57	23.4	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
6	05-02-2021	5:42:13	25.1	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
7	05-02-2021	5:46:40	26.7	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
8	05-02-2021	5:47:27	23.4	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
9	05-02-2021	5:51:43	31.7	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
10	05-02-2021	5:52:07	23.4	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
11	05-02-2021	5:58:29	28.6	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
12	05-02-2021	6:03:38	34.2	SI	27.9	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
13	05-02-2021	6:07:52	30.0	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
14	05-02-2021	6:08:53	31.6	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
15	05-02-2021	6:22:53	32.6	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
16	05-02-2021	6:41:46	22.8	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
17	05-02-2021	6:46:26	26.8	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
18	05-02-2021	6:51:06	25.1	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE
19	05-02-2021	6:55:26	34.0	SI	27.3	Eje U-D	35 dBA	CUMPLE
20	05-02-2021	6:55:46	24.3	NO	-	-	35 dBA	CUMPLE

Al momento de identificar una circulación de tren, se analiza si ésta se ve influenciada o no por el ruido de fondo durante la medición, considerando los audios asociados a la medición, identificándose principalmente tráfico vehicular. Por lo tanto, al verse contaminada la medición no en su totalidad, se procede a estimar el nivel de ruido inducido de una circulación de tren a partir de los valores de vibración mecánica del eje más alto medido en el mismo periodo.

En base a lo anterior, según los valores obtenidos para las circulaciones N°12 y N°19 los cuales, a pesar de estar por debajo del límite máximo permisible, se encuentran influenciados en parte por el ruido de fondo.

Es importante destacar, que los valores obtenidos de la predicción se asemejan a los valores de ruido medidos en terreno para una circulación de tren limpia.

9 CONCLUSION

A partir de los datos medidos en terreno y su posterior análisis, se concluye que los niveles de ruido inducido (Groundborne Noise o GBN) registrados al interior del recinto ubicado en Av. Larraín N°6523 departamento N°203 en 2^{do} piso, Comuna de La Reina, originados producto de la operación de la Línea 3 de Metro S.A. en la interestación Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco, cumplen con el nivel de evaluación máximo permitido para recintos del tipo residencial con uso de suelo en categoría 2 para eventos frecuentes establecido en 35 dBA, según criterio normativo FTA 0123:2018.

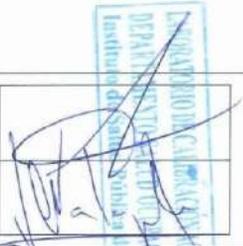
Lo anterior se cumple tanto para las 23 circulaciones de tren más limpias y con menos influencia del ruido ambiente evaluadas durante el período diurno, y las 20 circulaciones evaluadas durante el periodo nocturno al interior del receptor, ya sea de manera directa como aquellas predichas mediante los niveles de vibración mecánica según FTA 0123:2018 producto de la influencia del ruido ambiente o de fondo en los bloques horarios bajo, valle y punta.

10 REFERENCIAS

- Criterio Normativo FTA Report 0123:2018. “*Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual*” de la Federal Transit Administration (FTA) – EEUU (2018).
- Criterio Normativo EPA. “*Guidelines for the Assessment of Noise from Rail Infrastructure*”, de la Environment Protection Authority (EPA) – South Australia (2013).
- Norma ISO 14837-1:2005 “*Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 1: General Guidance*”.
- Norma ISO/TS 14837-31:2017 “*Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 31: Guideline on field measurements for the evaluation of human exposure in buildings*”.

ANEXOS

10.1 Anexo – Certificado de Calibración Sonómetro NTI XL2-TA

	LABCAL – ISP Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Código: SON20190114 Página 1 de 7 páginas
<u>DATOS DEL ÍTEM</u>	
FABRICANTE SONÓMETRO	: NTI AUDIO
MODELO SONÓMETRO	: XL2-TA
NÚMERO SERIE SONÓMETRO	: A2A-13728-E0
MARCA MICRÓFONO	: NTI AUDIO
MODELO MICRÓFONO	: M2230 (MC230)
NÚMERO SERIE MICRÓFONO	: 7054 (A16350)
<u>DATOS DEL CLIENTE</u>	
CLIENTE	: CONTADOR Y CAMPOS INGENIERÍA LIMITADA
DIRECCIÓN	: JOSÉ MANUEL INFANTE N° 919, OF. 102, PROVIDENCIA, REGIÓN METROPOLITANA
<u>DATOS DE LA CALIBRACIÓN</u>	
LUGAR DE CALIBRACIÓN	: LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACÚSTICA ISP
FECHA RECEPCIÓN	: 05/12/2019
FECHA CALIBRACIÓN	: 05/12/2019
FECHA EMISIÓN INFORME	: 06/12/2019
Hernán Fontecilla Garcia Técnico de Calibración	
Juan Carlos Valenzuela Illanes Encargado Laboratorio de Calibración Acústica	
<p>La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura 2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.</p> <p>Anexo a este Certificado de Calibración se adjuntan los valores nominales de los resultados de la calibración, junto con las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Se incluye además, una tabla resumen con el resultado de contrastar dichas tolerancias con los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre de medida. La tabla no supone la conformidad del instrumento con respecto a la especificación metrológica, tan sólo con los apartados de dicha especificación metrológica.</p> <p>Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, aplicando únicamente al instrumento sometido a ensayo.</p> <p>Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calibración Acústica del Instituto de Salud Pública de Chile, que lo expide.</p>	
Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile Marathon 1000 – Nuñoa – Santiago – Chile. Tel.: (56 – 2) 2575 55 61. www.ispch.cl	

Código: SON20190114

Página 2 de 7 páginas

- **CONDICIONES AMBIENTALES DE MEDIDA:**
T = 23°C ± 3°C / H.R. = 50% ± 20% / P = 95kPa ± 10kPa
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIA:**
T = 23°C / H.R. = 50 % / P = 101,325kPa
- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**
ME-512.03-001 Calibración de Sonómetros Según Norma Técnica IEC 61672-3:2006 de Sonómetros.
- **ESPECIFICACIÓN METROLÓGICA APLICADA:**
Las tolerancias aplicadas son las establecidas en la Norma IEC 61672-3:2006 de Sonómetros. Dichas tolerancias son las indicadas para un grado de precisión del instrumento Clase 1.
- **PATRONES UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN:**
Los patrones utilizados garantizan su trazabilidad a través de Laboratorios nacionales acreditados por el INN o por Laboratorios internacionales acreditados. La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente con los patrones de los laboratorios de Brüel & Kjaer.
- **RESUMEN DE RESULTADOS:**

Apartado de la especificación metroológica (Ref. IEC 61672-3:2006)		Resultado
Indicación a la frecuencia de comprobación de la calibración (Apartado 9)		POSITIVO
Ruido intrínseco (Apartado 10)	Micrófono Instalado	N/A
	Dispositivo de entrada eléctrica	POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales acústicas (Apartado 11)	Ponderación frecuencial A	N/A
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales eléctricas (Apartado 12)	Ponderación frecuencial A	POSITIVO
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
	Ponderación frecuencial lineal	N/A
Ponderaciones temporales y frecuenciales a 1 kHz (Apartado 13)	Ponderaciones frecuenciales	POSITIVO
	Ponderaciones temporales	POSITIVO
Linealidad de nivel en el margen de nivel de referencia (Apartado 14)		POSITIVO
Linealidad de nivel incluyendo el selector de márgenes de nivel (Apartado 15)		POSITIVO
Respuesta a tren de ondas (Apartado 16)	Ponderación temporal Fast	POSITIVO
	Ponderación temporal Slow	POSITIVO
	Nivel promediado en el tiempo	POSITIVO
Nivel de sonido con ponderación C de pico (Apartado 17)		POSITIVO
Indicación de sobrecarga (Apartado 18)		POSITIVO

- Resultado **POSITIVO** significa que el instrumento cumple con la especificación metroológica aplicada.
- Resultado **NEGATIVO** significa que el instrumento no cumple con la especificación metroológica aplicada.
- Resultado **N/A** significa que el ensayo no es aplicable al instrumento.

▪ **INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LA CALIBRACIÓN**

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	Nº SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CALIBRADO POR
Generador de funciones	STANDFORD	DS360	88431	18-JO-CA-6564	DIS
Generador Multifrecuencia	BRUEL & KJAER	4226	2692339	18LACT6920F01	LACAINAC
Módulo de presión Barométrica	ALMEMO AHLBORN	FDA612-SA Almemo 2490-2	09040332 H09030234	P00998	ENAER
Termohigrómetro	AHLBORN	Almemo 2490 FHA646-E1	H09050234 09070450	H00242	ENAER

Laboratorio de Calibración Acústica, Instituto de Salud Pública de Chile
Marathon 1000 – Nuñoa – Santiago – Chile
Tel., (56 – 2) 2575 55 61.
www.ispch.cl

Código: SON20190114
Página 3 de 7 páginas

INDICACIÓN A LA FRECUENCIA DE CALIBRACIÓN

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial (dB)	Corrección (dB)	Ajustado	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
93.98	1000	0	0.0	NO	93.97	93.98	-0.01	0.20	1.1	-1.1

RUIDO INTRÍNSECO

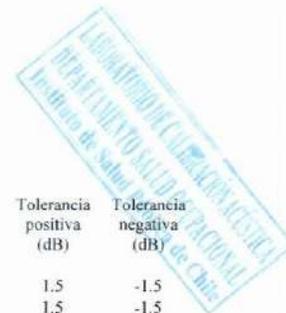
Dispositivo de Entrada Eléctrica

Ponderación Frecuencial	Nivel Leído (dB)	U (dB)	Especificación Fabricante (dB)
A	8.30	0.058	18.00
C	11.90	0.058	17.00
Z	18.20	0.058	21.00

PONDERACIÓN FRECUENCIAL ACÚSTICA

Ponderación Frecuencial C

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial (dB)	Corrección (dB)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
94.02	63	-0.8	0	93.27	93.21	0.06	0.23	1.5	-1.5
93.99	125	-0.2	0	93.92	93.78	0.14	0.26	1.5	-1.5
93.97	250	0	0	94.02	93.96	0.06	0.26	1.4	-1.4
93.95	500	0	0.0	94.02	93.94	0.08	0.26	1.4	-1.4
93.98	1000	0	0.0	93.97	-	-	-	-	-
93.96	2000	-0.2	0.3	93.72	93.45	0.27	0.26	1.6	-1.6
93.93	4000	-0.8	0.7	92.92	92.42	0.50	0.26	1.6	-1.6
94.07	8000	-3	2.6	85.87	88.46	-2.59	0.23	2.1	-3.1
94.11	12500	-6.2	6	81.37	81.90	-0.53	0.24	3	-6



Si a la derecha de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metrologica aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa.

Código: SON20190114

Página 4 de 7 páginas

PONDERACIÓN FRECUENCIAL

Ponderación Frecuencial A

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial (dB)	Corrección (eléctrica) (dB)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
101.20	63	-26.2	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	1.5	-1.5
91.10	125	-16.1	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.5	-1.5
83.60	250	-8.6	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	1.4	-1.4
78.20	500	-3.2	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.4	-1.4
75.00	1000	0	0	75.00	-	-	-	-	-
73.80	2000	1.2	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
74.00	4000	1	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
76.10	8000	-1.1	0	75.00	75.00	0.00	0.18	2.1	-3.1
81.60	16000	-6.6	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	3.5	-17

Ponderación Frecuencial C

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial (dB)	Corrección (eléctrica) (dB)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
75.80	63	-0.8	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	1.5	-1.5
75.20	125	-0.2	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.5	-1.5
75.00	250	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.4	-1.4
75.00	500	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.4	-1.4
75.00	1000	0	0	75.00	-	-	-	-	-
75.20	2000	-0.2	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
75.80	4000	-0.8	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
78.00	8000	-3	0	75.00	75.00	0.00	0.18	2.1	-3.1
83.50	16000	-8.5	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	3.5	-17

Ponderación Frecuencial Z

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial (dB)	Corrección (eléctrica) (dB)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
75.00	63	0	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	1.5	-1.5
75.00	125	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.5	-1.5
75.00	250	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.4	-1.4
75.00	500	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.4	-1.4
75.00	1000	0	0	75.00	-	-	-	-	-
75.00	2000	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
75.00	4000	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
75.00	8000	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	2.1	-3.1
75.00	16000	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	3.5	-17

Si a la derecha de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metroológica aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa

Código: SON20190114

Página 5 de 7 páginas

LINEALIDAD

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
124.10	8000	OVERLOAD	123.00	-	-	1.1	-1.1
123.10	8000	122.00	122.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
122.10	8000	121.00	121.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
121.10	8000	120.00	120.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
120.10	8000	119.00	119.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
119.10	8000	118.00	118.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
118.10	8000	117.00	117.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
117.10	8000	116.00	116.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
116.10	8000	115.00	115.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
115.10	8000	114.00	114.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
110.10	8000	109.00	109.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
105.10	8000	104.00	104.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
100.10	8000	99.00	99.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
95.10	8000	94.00	-	-	-	-	-
90.10	8000	89.00	89.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
85.10	8000	84.00	84.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
80.10	8000	79.00	79.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
75.10	8000	74.00	74.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
70.10	8000	69.00	69.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
65.10	8000	64.00	64.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
60.10	8000	59.00	59.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
55.10	8000	54.00	54.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
50.10	8000	49.00	49.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
45.10	8000	44.00	44.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
40.10	8000	39.00	39.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
35.10	8000	34.10	34.00	0.10	0.14	1.1	-1.1
30.10	8000	29.40	29.00	0.40	0.14	1.1	-1.1
29.10	8000	UNDER-RANGE	28.00	-	-	1.1	-1.1



Si a la derecha de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metroológica aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa.

Código: SON20190114
Página 6 de 7 páginas

LINEALIDAD SELECTOR MARGENES DE NIVEL

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Rango	Rango (dB)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
94.00	1000	Ref	20 - 120	94.00	-	-	-	-	-
74.00	1000	R1	0 - 100	74.00	74.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
95.00	1000	R1	0 - 100	95.00	95.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
114.00	1000	R2	40 - 140	114.00	114.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
135.00	1000	R2	40 - 140	135.00	135.00	0.00	0.14	1.1	-1.1

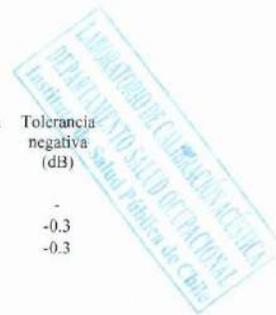
DIFERENCIA DE INDICACIÓN

Ponderaciones Temporales

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Temporal	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
94.00	1000	NPS Fast	94.00	-	-	-	-	-
94.00	1000	NPS Slow	94.00	94.00	0.00	0.082	0.3	-0.3
94.00	1000	Leq	94.00	94.00	0.00	0.082	0.3	-0.3

Ponderaciones Frecuenciales

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
94.00	1000	A	94.00	-	-	-	-	-
94.00	1000	C	94.00	94.00	0.00	0.082	0.4	-0.4
94.00	1000	Z	94.00	94.00	0.00	0.082	0.4	-0.4



Si a la derecha de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa.

Código: SON20190114
Página 7 de 7 páginas

RESPUESTA A TREN DE ONDAS

Ponderación temporal Fast

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Duración (ms)	t_exp (s)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
116.00	4000.00	-	-	117.00	-	-	-	-	-
116.00	4000.00	200	0.125	116.00	116.02	-0.02	0.082	0.8	-0.8
116.00	4000.00	2	0.125	98.90	99.01	-0.11	0.082	1.3	-1.8
116.00	4000.00	0.25	0.125	89.80	90.01	-0.21	0.082	1.3	-3.3

Ponderación temporal Slow

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Duración (ms)	t_exp (s)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
116.00	4000.00	-	-	117.00	-	-	-	-	-
116.00	4000.00	200	1	109.50	109.58	-0.08	0.082	0.8	-0.8
116.00	4000.00	2	1	89.90	90.01	-0.11	0.082	1.3	-3.3

Nivel promediado en el tiempo

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Duración (ms)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
116.00	4000.00	-	117.00	-	-	-	-	-
116.00	4000.00	200	109.92	110.01	-0.09	0.082	0.8	-0.8
116.00	4000.00	2	89.92	90.01	-0.09	0.082	1.3	-1.8
116.00	4000.00	0.25	79.82	80.98	-1.16	0.082	1.3	-3.3

NIVEL DE SONIDO CON PONDERACIÓN C DE PICO

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Número de Ciclos	Lepeak-Lc	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
130.00	8000	-	-	126.90	-	-	-	-	-
127.00	500	-	-	127.00	-	-	-	-	-
130.00	8000	Uno	3.4	130.10	130.30	-0.20	0.082	2.4	-2.4
127.00	500	Semiciclo positivo	2.4	129.20	129.40	-0.20	0.082	1.4	-1.4
127.00	500	Semiciclo negativo	2.4	129.20	129.40	-0.20	0.082	1.4	-1.4

INDICACIÓN DE SOBRECARGA

Margen Superior (dB)	Frecuencia (Hz)	Señal de Entrada	Nivel Sobrecarga (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
140	4000	Semiciclo positivo	140.90	-	-	-	-	-
140	4000	Semiciclo negativo	140.90	140.90	0.00	0.14	1.8	-1.8

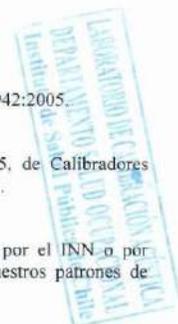
Si a la derecha de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metrología aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa.

10.2 Anexo – Certificado de Calibración Calibrador Larson Davis

	LABCAL – ISP Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile.
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Código: CAL20190101 Página 1 de 1 páginas (más anexo)	
<u>DATOS DEL ÍTEM</u>	
FABRICANTE CALIBRADOR	: LARSON DAVIS
MODELO	: CAL200
NÚMERO DE SERIE	: 11831
<u>DATOS DEL CLIENTE</u>	
CLIENTE	: CONTADOR Y CAMPOS INGENIERÍA LIMITADA
DIRECCIÓN	: JOSÉ MANUEL INFANTE N° 919, OF. 102, PROVIDENCIA, REGIÓN METROPOLITANA
<u>DATOS DE LA CALIBRACIÓN</u>	
LUGAR DE CALIBRACIÓN	: LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACÚSTICA ISP
FECHA RECEPCIÓN	: 05/12/2019
FECHA CALIBRACIÓN	: 11/12/2019
FECHA EMISIÓN INFORME	: 12/12/2019
Mauricio Sánchez Valenzuela Técnico de Calibración	
Juan Carlos Valenzuela Illanes Encargado Laboratorio de Calibración Acústica	
<p>La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.</p> <p>Anexo a este Certificado de Calibración se adjuntan los valores nominales de los resultados de la calibración, junto con las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Se incluye además, una tabla resumen con el resultado de contrastar dichas tolerancias con los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre de medida. La tabla no supone la conformidad del instrumento con respecto a la especificación metrológica, tan solo con los apartados de dicha especificación metrológica.</p> <p>Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, aplicando únicamente al instrumento sometido a ensayo. Este Informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo expide.</p>	
<p align="center">Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile Marathon 1000 – Nuñoa – Santiago – Chile. Tel.: (56 – 2) 2575 55 61. www.ispchi.cl</p>	



Anexo Código: CAL20190101
Página 1 de 2 páginas



- **CONDICIONES AMBIENTALES DE MEDIDA:**
T = 23°C ± 3°C / H.R. = 50% ± 20% / P = 95kPa ± 10kPa
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIA:**
T = 23°C / H.R. = 50% / P = 101,325kPa
- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**
ME 512 03 002 Calibración de Calibradores Acústicos de Terreno Según Norma Técnica UNE-EN 60942:2005.
- **ESPECIFICACIÓN METROLÓGICA APLICADA:**
Las tolerancias aplicadas son las establecidas en el Anexo B de la norma UNE-EN 60942:2005, de Calibradores Acústicos. Dichas tolerancias son las establecidas para un grado de precisión del instrumento CLASE 1.
- **PATRONES UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN:**
Los patrones utilizados garantizan su trazabilidad a través de laboratorios nacionales acreditados por el INN o por laboratorios internacionales acreditados. La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente con los patrones de los laboratorios de Brüel & Kjaer.
- **OBSERVACIONES:**
Todos los resultados están referidos a las condiciones ambientales de referencia establecidas en la especificación metrológica aplicada.
- **RESUMEN DE RESULTADOS:**

Apartados de la especificación metrológica Norma UNE-EN 60942:2005	Prueba	Resultado
Niveles de presión acústica (Apartados 5.2.2 y 5.2.3 – Tabla 1)	Valor nominal	POSITIVO
	Estabilidad	POSITIVO
Distorsión total (Apartado 5.5 – Tabla 6)		POSITIVO
Frecuencia (Apartado 5.3.2 – Tabla 3)	Valor nominal	POSITIVO

- Resultado **POSITIVO** significa que el instrumento cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **NEGATIVO** significa que el instrumento no cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **N/A** significa que el ensayo no es aplicable al instrumento.

▪ **INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LA CALIBRACIÓN**

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	Nº SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CALIBRADO POR
Generador de funciones	STANDFORD	DS360	88431	2016-3605	DTS
Multímetro Digital	KEITHLEY	2015-P	2485	2016-3423	DTS
Módulo de presión Barométrica	ALMEMO	FD A612-SA	9040332	D-K-15211-01-00	ENAFR
Termohigrómetro	ALMEMO	FH A646-EI	09070450	D-K-15211-01-00	ENAFR
Microfono Patrón	BRUEL & KJAER	4192	2686091	CDK1707976	BRÜEL&KJAER

Laboratorio de Calibración Acústica, Instituto de Salud Pública de Chile
Marathon 1000 – Nuñoa – Santiago – Chile
Tel. (56 – 2) 2575 55 61.
www.ispch.cl



Anexo Código: CAL20190101
Página 2 de 2 páginas

NIVEL DE PRESIÓN SONORA

Valor nominal del NPS

NPS (dB)	Frecuencia (Hz)	Nivel Leído (dB)	Desviación (dB)	Tolerancia Positiva (dB)	Tolerancia Negativa (dB)	Incertidumbre (dB)
94.00	1000.00	94.08	0.08	0.40	-0.40	± 0.14
114.00	1000.00	114.08	0.08	0.40	-0.40	± 0.14

Estabilidad del NPS

NPS (dB)	Frecuencia (Hz)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	Tolerancia (dB)	Incertidumbre (dB)
94.00	1000.00	0.01	0.00	0.01	0.10	± 0.011
114.00	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.10	± 0.0058

DISTORSIÓN

NPS (dB)	Frecuencia (Hz)	Distorsión Leída (%)	Distorsión Esperada (%)	Desviación (%)	Tolerancia (%)	Incertidumbre (%)
94.00	1000.00	0.389	0.000	0.389	3.000	± 0.11
114.00	1000.00	0.459	0.000	0.459	3.000	± 0.13

FRECUENCIA

Valor nominal de la Frecuencia

NPS (dB)	Frecuencia (Hz)	Frecuencia Exacta (Hz)	Frecuencia Leída (Hz)	Desviación (Hz)	Tolerancia Positiva (Hz)	Tolerancia Negativa (Hz)	Incertidumbre (Hz)
94.00	1000.00	1000.00	1000.26	0.26	10.00	-10.00	± 0.50
114.00	1000.00	1000.00	1000.25	0.25	10.00	-10.00	± 0.50

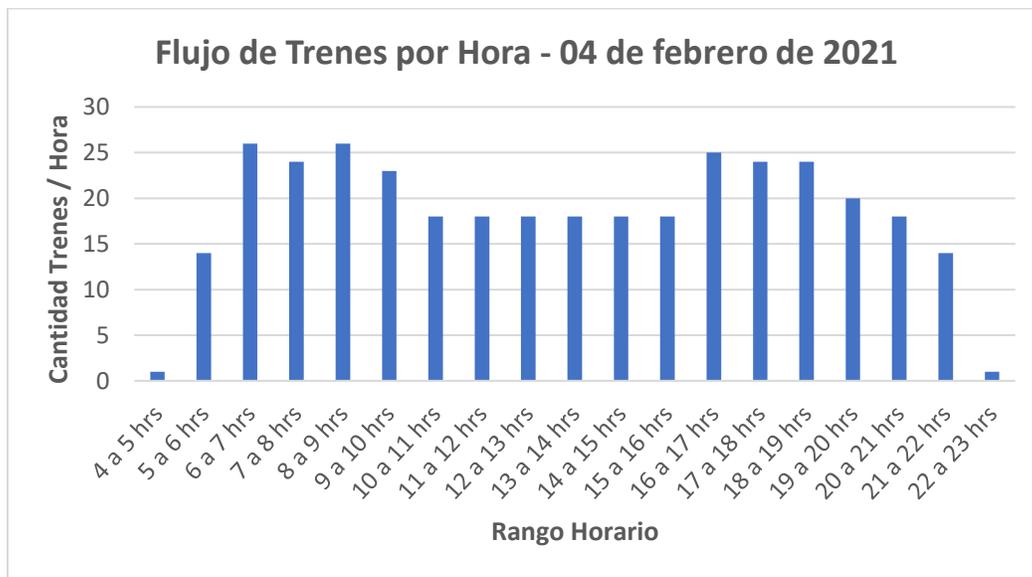
Si a la izquierda de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa.

10.3 Anexo - Registro Circulación Trenes Línea 3 Tramo Plaza Egaña (PZE) – Fernando Castillo Velasco (FCV)

El presente anexo da cuenta de información referente a la circulación de trenes los días 4 y 5 de febrero de 2021, en los cuales se realizaron las mediciones solicitadas en edificaciones del tramo PZE-FCV de Línea 3, información proporcionada por Metro de Santiago.

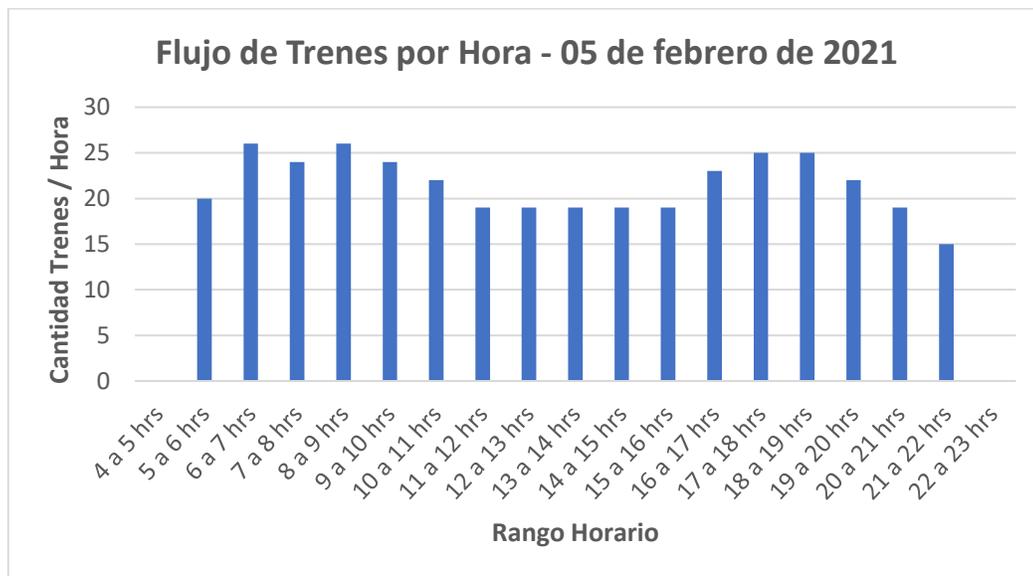
Se presenta un resumen diario, así como el detalle horario de todas las circulaciones que se efectuaron los días indicados, separando esta por vía 1 (desde PZE hacia FCV) y por vía 2 (desde FCV hacia PZE).

- 04 de febrero de 2021



Tramo Horario	Cantidad Trenes / hora
4 a 5 horas	1
5 a 6 horas	14
6 a 7 horas	26
7 a 8 horas	24
8 a 9 horas	26
9 a 10 horas	23
10 a 11 horas	18
11 a 12 horas	18
12 a 13 horas	18
13 a 14 horas	18
14 a 15 horas	18
15 a 16 horas	18
16 a 17 horas	25
17 a 18 horas	24
18 a 19 horas	24
19 a 20 horas	20
20 a 21 horas	18
21 a 22 horas	14
22 a 23 horas	1

- 05 de febrero de 2021



Tramo Horario	Cantidad Trenes / hora
4 a 5 horas	0
5 a 6 horas	20
6 a 7 horas	26
7 a 8 horas	24
8 a 9 horas	26
9 a 10 horas	24
10 a 11 horas	22
11 a 12 horas	19
12 a 13 horas	19
13 a 14 horas	19
14 a 15 horas	19
15 a 16 horas	19
16 a 17 horas	23
17 a 18 horas	25
18 a 19 horas	25
19 a 20 horas	22
20 a 21 horas	19
21 a 22 horas	15
22 a 23 horas	0

- Detalle del total de circulaciones 04 y 05 de febrero de 2021

La hora indicada en las presentes tablas corresponde a la hora que los trenes salieron de la estación respectiva.

04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
4:40:02	5:22:55	5:12:34	5:13:51
5:30:04	5:33:21	5:17:46	5:17:54
5:35:59	5:38:31	5:22:26	5:22:34
5:42:05	5:44:36	5:27:01	5:27:15
5:46:23	5:48:56	5:31:41	5:31:56
5:50:10	5:53:14	5:35:18	5:36:36
5:54:01	5:57:05	5:40:57	5:41:16
5:57:47	6:00:53	5:46:11	5:45:56
6:02:26	6:05:32	5:50:51	5:50:59
6:07:06	6:10:11	5:57:13	5:55:41
6:11:26	6:14:31	6:02:22	6:02:01
6:16:00	6:19:04	6:07:37	6:07:08
6:20:33	6:23:39	6:12:17	6:12:26
6:25:10	6:28:14	6:16:57	6:17:07
6:29:49	6:32:53	6:21:37	6:21:47
6:34:26	6:37:31	6:26:17	6:26:27
6:39:06	6:42:12	6:31:03	6:31:07
6:43:46	6:46:50	6:35:43	6:35:53
6:48:45	6:53:34	6:40:30	6:40:34
6:54:54	6:59:44	6:45:10	6:45:18
6:59:42	7:04:28	6:49:50	6:50:02
7:04:31	7:09:18	6:54:30	6:54:42
7:09:12	7:14:04	6:59:10	6:59:22
7:14:10	7:19:00	7:03:50	7:04:02
7:18:50	7:23:41	7:08:31	7:08:43
7:23:30	7:28:21	7:13:13	7:13:23
7:28:10	7:33:02	7:18:17	7:18:06
7:32:52	7:37:42	7:23:11	7:23:11
7:37:32	7:42:22	7:28:00	7:28:09
7:42:11	7:47:02	7:32:59	7:32:51
7:46:51	7:51:43	7:37:41	7:37:56

04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
7:51:31	7:56:24	7:42:25	7:42:36
7:56:11	8:01:04	7:47:08	7:47:18
8:00:51	8:05:45	7:51:48	7:52:05
8:05:31	8:10:25	7:56:34	7:56:45
8:10:28	8:15:16	8:01:16	8:01:28
8:15:14	8:20:04	8:05:59	8:06:10
8:20:18	8:25:07	8:10:40	8:10:51
8:25:14	8:30:03	8:16:10	8:15:35
8:29:54	8:34:44	8:20:50	8:21:04
8:34:49	8:39:39	8:25:30	8:25:44
8:39:29	8:44:20	8:30:10	8:30:24
8:44:17	8:49:06	8:34:54	8:35:04
8:49:00	8:53:49	8:39:35	8:39:45
8:54:05	8:58:54	8:44:15	8:44:30
8:58:51	9:03:40	8:49:01	8:49:10
9:03:35	9:08:27	8:53:57	8:53:55
9:08:15	9:13:09	8:58:52	8:58:53
9:13:08	9:17:56	9:03:33	9:03:49
9:17:48	9:22:46	9:08:13	9:08:29
9:22:40	9:27:40	9:12:53	9:13:11
9:27:37	9:35:45	9:17:33	9:17:52
9:32:40	9:40:17	9:22:17	9:22:32
9:37:11	9:44:53	9:27:03	9:27:12
9:41:48	9:49:44	9:32:28	9:31:56
9:46:40	9:54:30	9:37:16	9:37:23
9:51:27	10:01:11	9:41:56	9:42:11
9:58:06	10:07:47	9:46:36	9:46:51
10:04:41	10:14:27	9:51:18	9:51:31
10:11:21	10:21:05	9:56:00	9:56:14
10:18:01	10:27:45	10:00:54	10:01:45
10:24:41	10:34:27	10:05:46	10:08:51
10:31:21	10:41:07	10:10:44	10:13:59
10:38:01	10:48:41	10:15:30	10:18:44
10:45:36	10:55:24	10:20:57	10:24:11
10:52:20	11:02:04	10:26:24	10:29:38
10:59:00	11:08:45	10:33:42	10:36:48

04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
11:05:40	11:15:27	10:39:11	10:42:17
11:12:22	11:22:07	10:44:40	10:47:44
11:19:02	11:28:47	10:50:10	10:53:16
11:25:42	11:35:38	10:56:20	10:59:24
11:32:33	11:42:18	11:03:36	11:06:41
11:39:13	11:48:58	11:10:25	11:13:30
11:45:53	11:55:41	11:19:58	11:23:03
11:52:33	12:02:21	11:25:31	11:28:36
11:59:13	12:09:05	11:31:02	11:34:07
12:06:00	12:15:45	11:36:32	11:39:37
12:12:40	12:22:26	11:42:00	11:45:04
12:19:20	12:29:06	11:47:38	11:50:43
12:26:00	12:35:47	11:53:09	11:56:14
12:32:40	12:42:27	11:59:59	12:03:04
12:39:20	12:49:07	12:05:27	12:08:33
12:46:00	12:55:48	12:11:27	12:14:32
12:52:43	13:02:28	12:19:16	12:22:21
12:59:23	13:09:09	12:25:18	12:28:18
13:06:05	13:15:51	12:33:39	12:36:46
13:12:46	13:22:32	12:39:22	12:42:27
13:19:26	13:29:12	12:44:49	12:47:54
13:26:06	13:35:52	12:50:17	12:53:23
13:32:46	13:42:32	12:55:44	12:58:50
13:39:27	13:49:12	13:01:11	13:04:18
13:46:07	13:55:53	13:07:10	13:10:05
13:52:49	14:02:34	13:13:11	13:16:17
13:59:29	14:09:14	13:19:13	13:22:19
14:06:09	14:15:54	13:25:22	13:28:17
14:12:49	14:22:34	13:32:24	13:35:18
14:19:29	14:29:14	13:38:39	13:41:44
14:26:09	14:35:54	13:47:17	13:50:23
14:32:49	14:42:34	13:53:04	13:56:09
14:39:29	14:49:14	13:58:33	14:01:39
14:46:09	14:55:56	14:04:06	14:07:15
14:52:51	15:02:36	14:09:49	14:12:58
14:59:31	15:09:16	14:15:19	14:18:31

04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
15:06:11	15:15:57	14:20:55	14:24:06
15:12:51	15:22:37	14:27:14	14:30:25
15:19:31	15:29:17	14:33:26	14:36:35
15:26:11	15:35:57	14:40:05	14:43:14
15:32:52	15:42:37	14:46:42	14:49:52
15:39:33	15:49:14	14:53:22	14:56:32
15:46:09	15:55:58	15:00:26	15:03:31
15:52:53	16:02:12	15:07:20	15:10:26
15:59:15	16:03:54	15:14:00	15:17:06
16:05:47	16:10:35	15:20:40	15:23:46
16:12:30	16:17:19	15:27:20	15:30:26
16:17:05	16:22:04	15:34:00	15:37:06
16:21:37	16:26:35	15:40:46	15:43:50
16:25:45	16:30:43	15:47:24	15:50:29
16:30:34	16:35:35	15:54:05	15:54:13
16:35:24	16:40:23	16:00:38	15:59:35
16:40:21	16:45:20	16:07:17	16:05:46
16:45:02	16:49:58	16:12:18	16:13:33
16:49:41	16:54:38	16:17:30	16:17:28
16:54:39	16:59:38	16:22:36	16:22:28
16:59:38	17:04:37	16:27:37	16:27:29
17:04:36	17:09:37	16:32:47	16:32:30
17:09:35	17:14:34	16:37:52	16:37:41
17:14:35	17:19:34	16:42:55	16:42:47
17:19:35	17:24:34	16:47:57	16:47:49
17:24:35	17:29:34	16:52:59	16:52:49
17:29:34	17:34:32	16:58:01	16:57:53
17:34:34	17:39:32	17:03:02	17:02:55
17:39:34	17:44:32	17:08:04	17:07:55
17:44:34	17:49:31	17:13:01	17:12:56
17:49:33	17:54:31	17:17:55	17:17:55
17:54:33	17:59:31	17:22:47	17:22:49
17:59:31	18:04:31	17:27:58	17:27:41
18:04:31	18:09:28	17:32:46	17:32:50
18:09:31	18:14:28	17:37:20	17:37:39
18:14:30	18:19:28	17:41:57	17:42:14

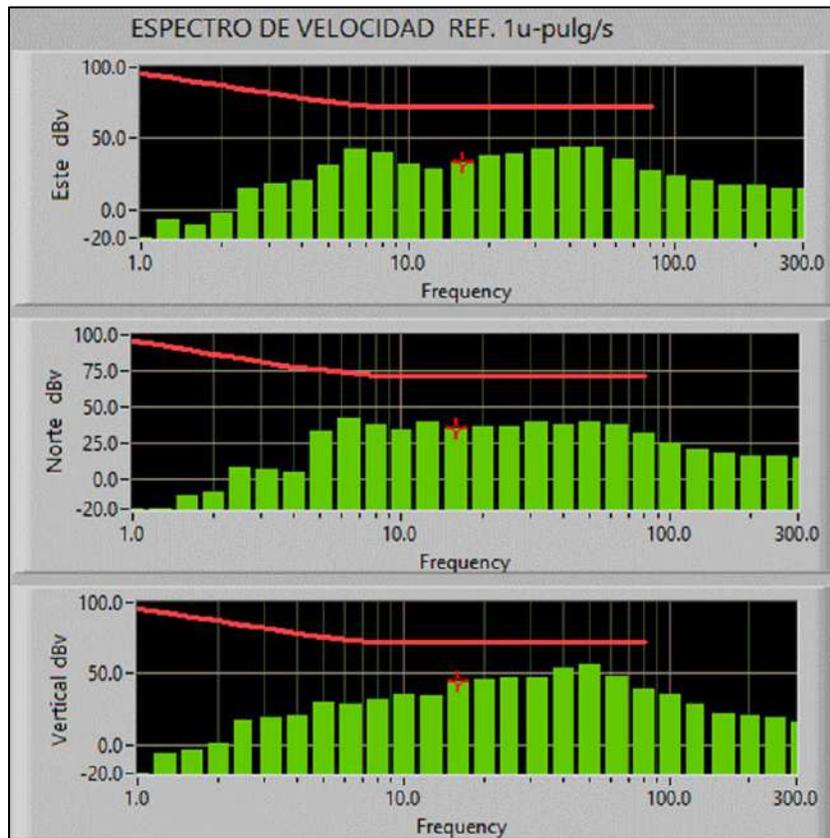
04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
18:19:30	18:24:28	17:46:25	17:46:50
18:24:30	18:29:28	17:50:53	17:51:17
18:29:30	18:34:27	17:55:21	17:55:46
18:34:30	18:39:27	17:59:48	18:00:17
18:39:30	18:44:26	18:04:17	18:04:46
18:44:30	18:49:26	18:09:06	18:09:13
18:49:30	18:54:26	18:13:38	18:14:03
18:54:30	18:59:26	18:18:42	18:18:31
18:59:30	19:07:42	18:23:38	18:23:36
19:04:32	19:12:49	18:28:39	18:28:32
19:09:35	19:17:46	18:33:34	18:33:33
19:14:31	19:22:56	18:38:21	18:38:28
19:19:42	19:27:56	18:43:38	18:43:12
19:24:41	19:32:59	18:48:27	18:48:33
19:29:43	19:39:37	18:53:10	18:53:21
19:36:22	19:46:15	18:57:38	18:58:06
19:43:01	19:52:55	19:02:17	19:02:35
19:49:41	19:59:35	19:06:50	19:08:11
19:56:19	20:06:14	19:11:37	19:14:51
20:02:59	20:12:53	19:16:10	19:19:25
20:09:38	20:19:32	19:20:44	19:23:59
20:16:17	20:26:11	19:25:57	19:29:13
20:22:56	20:32:50	19:30:30	19:33:46
20:29:34	20:39:28	19:35:19	19:38:34
20:36:14	20:46:07	19:41:59	19:45:14
20:42:53	20:52:47	19:48:26	19:51:40
20:49:33	20:59:27	19:55:06	19:58:20
20:56:13	21:06:08	20:01:46	20:05:00
21:02:53	21:12:46	20:08:25	20:11:40
21:09:31	21:19:26	20:15:03	20:18:18
21:16:11	21:26:06	20:21:46	20:21:43
21:22:51	21:32:00	20:28:23	20:25:04
21:28:43	21:38:33	20:35:02	20:31:37
21:35:18	21:43:12	20:41:42	20:38:17
21:40:10		20:48:22	20:44:56
22:21:29		20:55:02	20:51:36

04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
		21:02:26	20:58:16
		21:08:23	21:05:22
		21:15:03	21:11:39
		21:21:43	21:14:05
		21:28:23	21:18:18
		21:33:36	21:24:58
		21:39:55	21:31:37
			21:36:49
			21:43:06

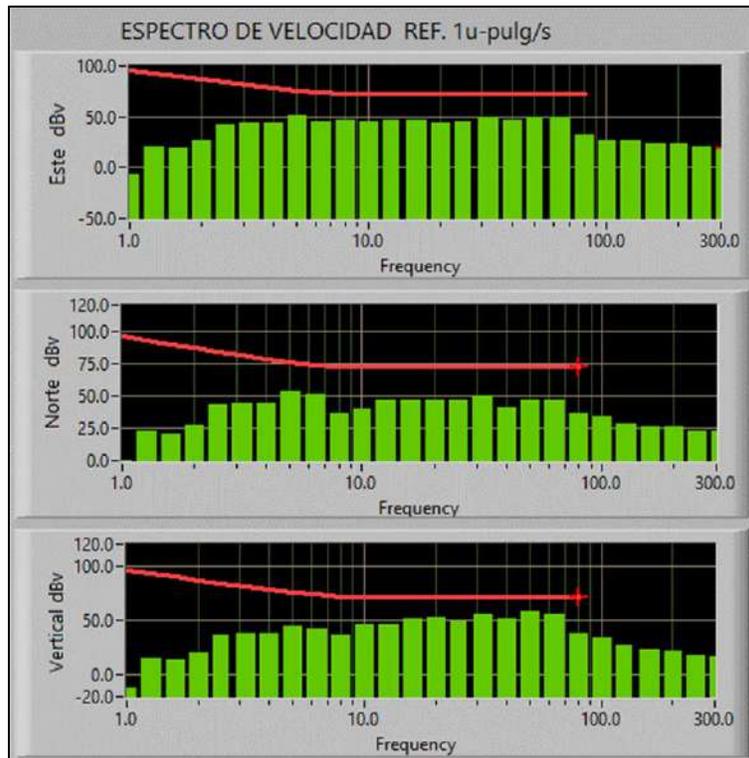
10.4 Anexo – Espectros de Vibración Circulaciones Influenciadas por Ruido Ambiente

- Horario Diurno

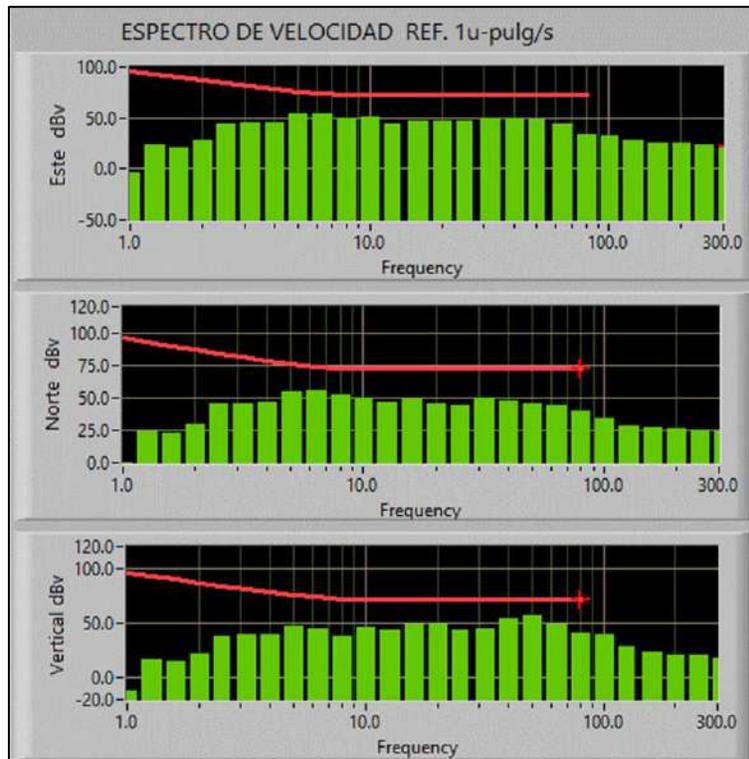
Circulación 1



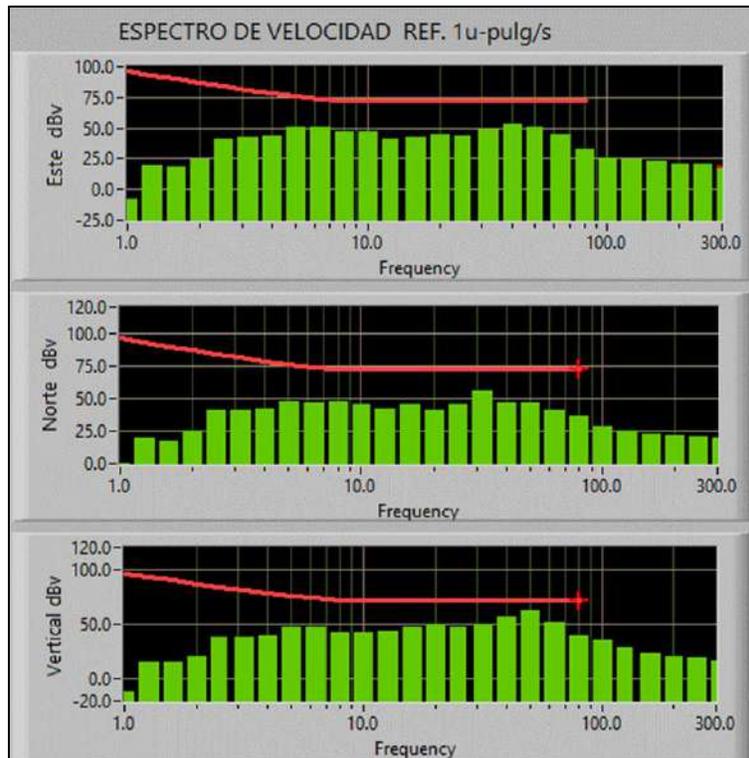
Circulación 2



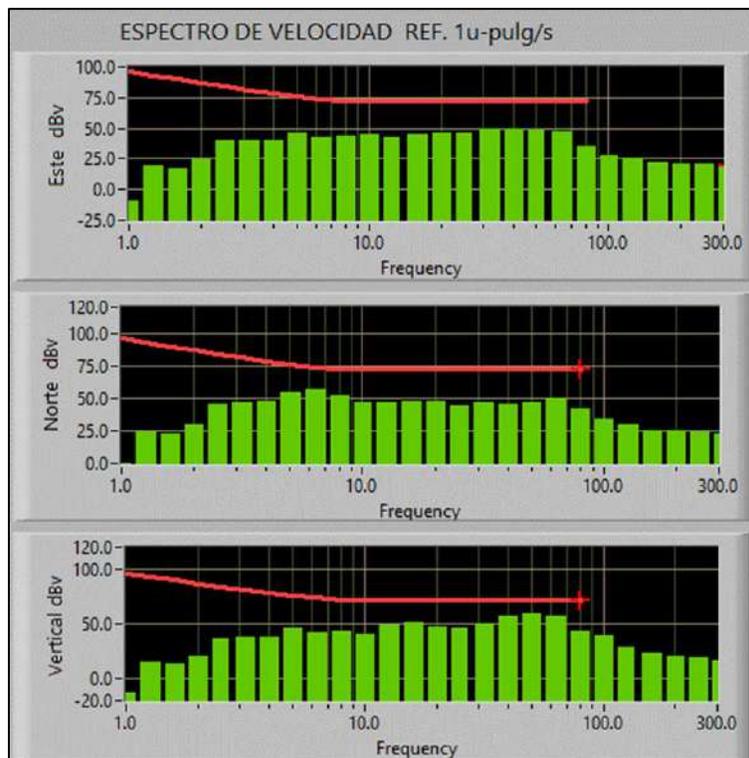
Circulación 3



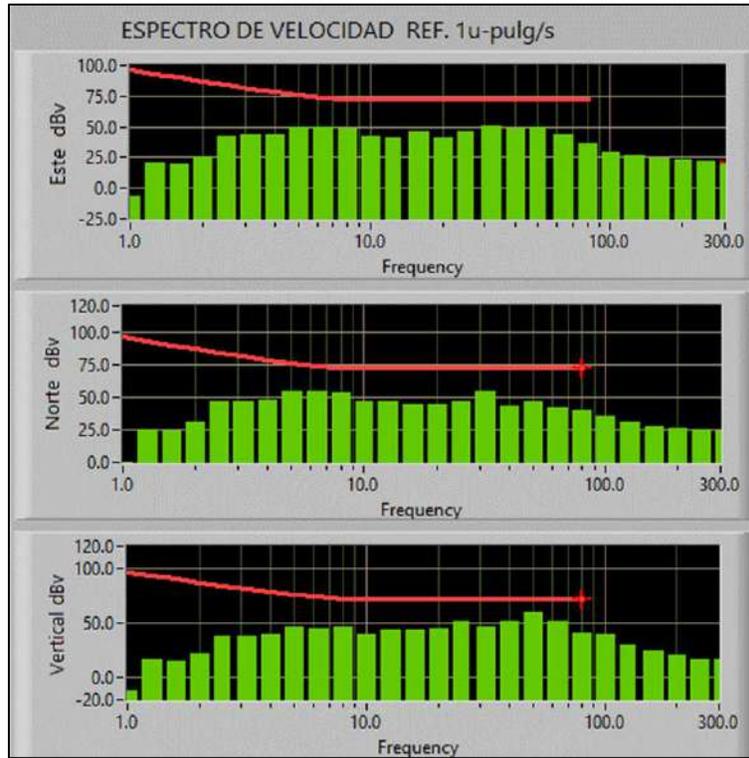
Circulación 4



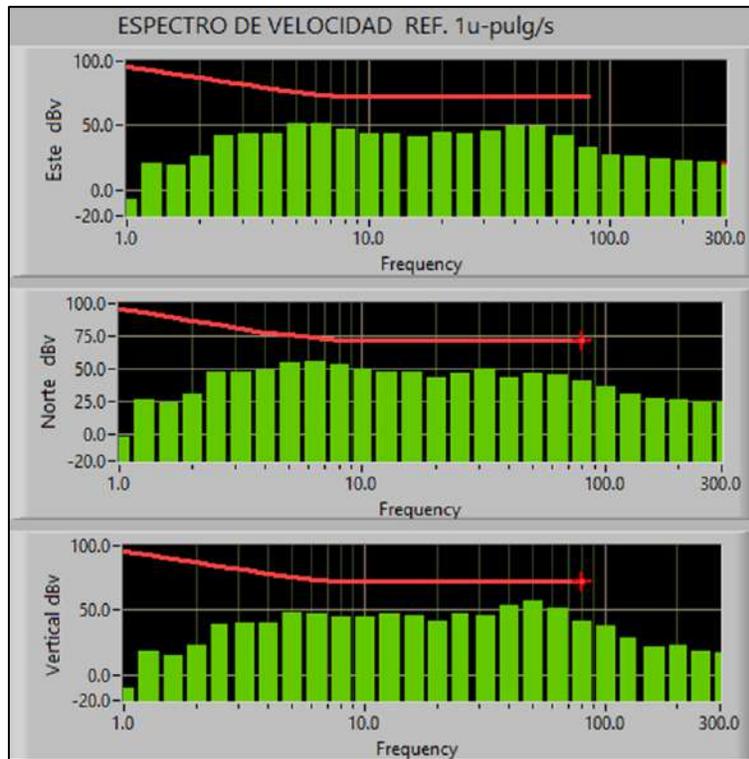
Circulación 7



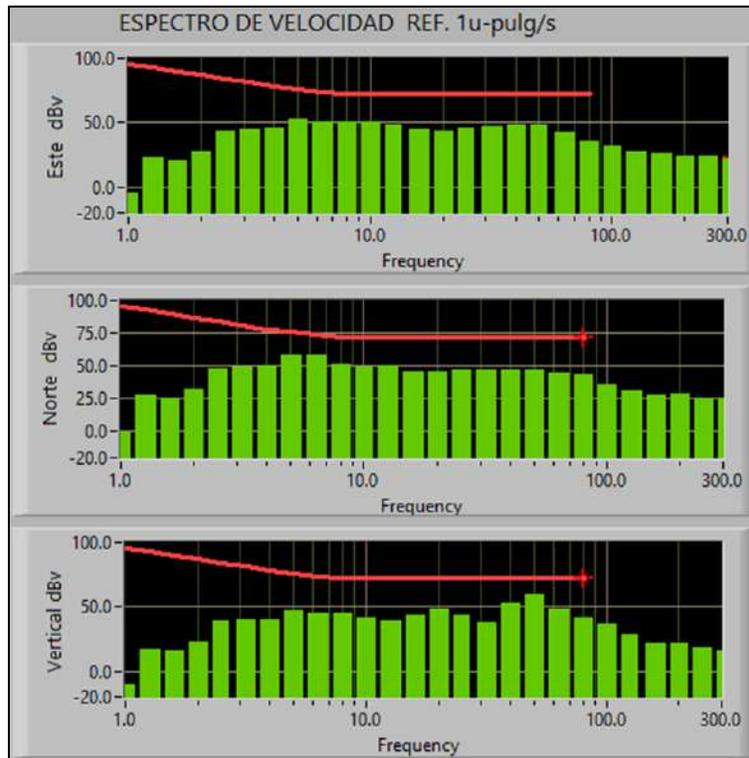
Circulación 8



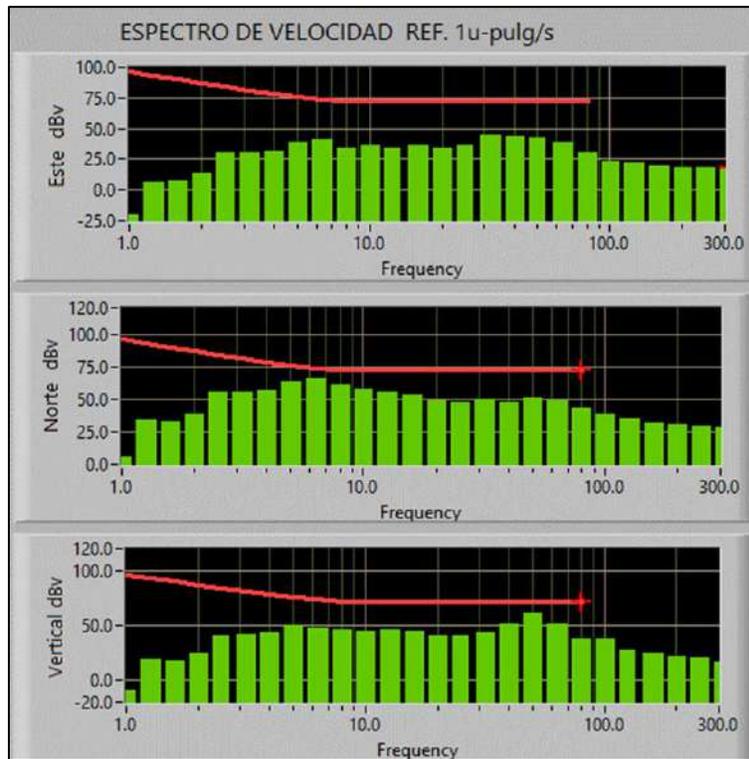
Circulación 12



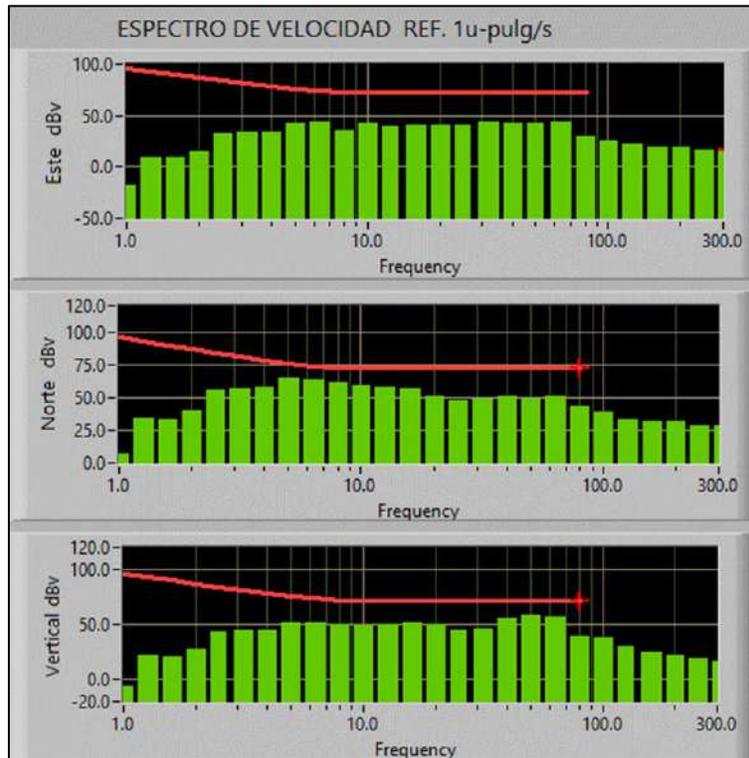
Circulación 13



Circulación 22

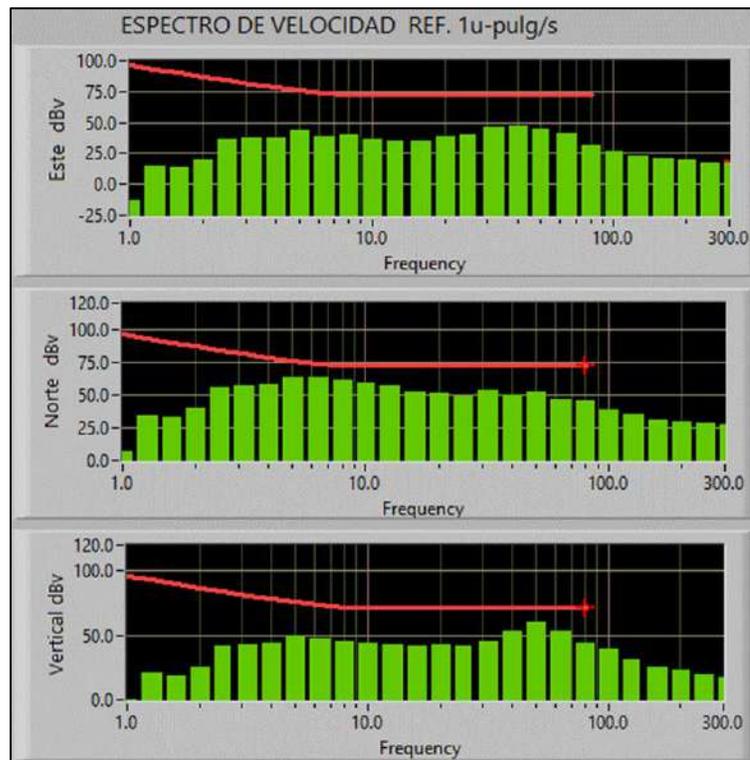


Circulación 23

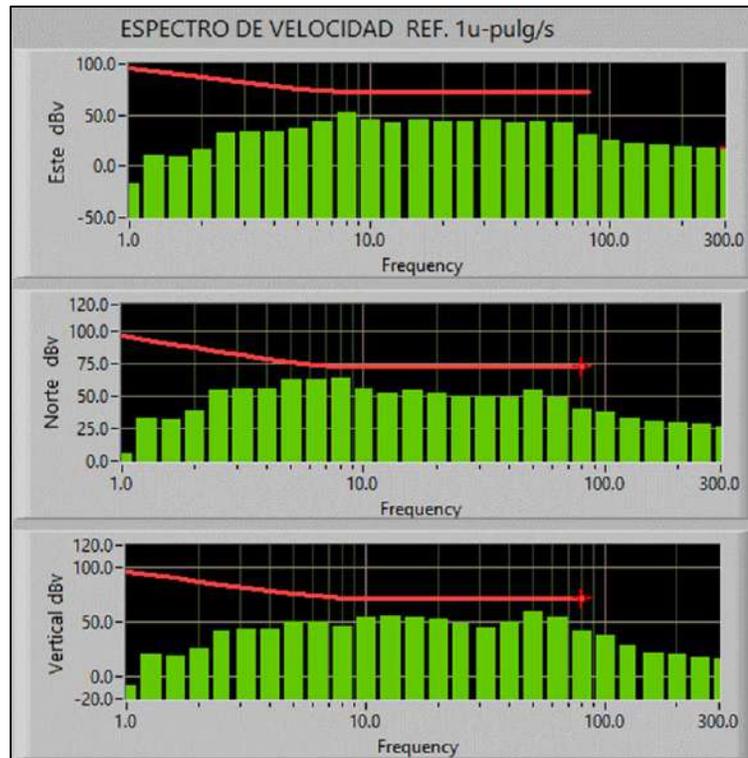


- Horario Nocturno

Circulación 12



Circulación 19



11 EQUIPO DE TRABAJO

Aldo Campos Pérez – Ing. en Control de Ruido y Ruido (U. Austral de Chile); Mg. Ing. Estructural y Geotecnia (P.U.C.):

- Análisis y procesamiento de datos.
- Evaluación normativa.
- Validación de documento.

Francisco Gutiérrez Alvarado – Ing. en Sonido y Acústica (U.D.L.A.):

- Análisis y procesamiento de datos.
- Evaluación normativa.

Adolfo Salgado Zapata – Ing. en Sonido (Santo Tomás):

- Mediciones en Terreno.
- Análisis y procesamiento de datos.
- Evaluación normativa.

Edgar Céspedes Silva – Ing. en Sonido (A.I.E.P.):

- Análisis y procesamiento de datos.

MEDICIÓN DE RUIDO INDUCIDO SEGÚN FTA 0123-2018

Receptor ubicado en Calle Javiera Carrera Norte N°20A, La Reina

Preparado para:



Preparado por:



CONTADOR Y CAMPOS
INGENIEROS
ACUSTICA, CONTROL DE RUIDO Y VIBRACIONES

MEDICIÓN DE RUIDO INDUCIDO SEGÚN FTA 0123-2018

**Receptor ubicado en Calle Javiera Carrera Norte N°20A, La Reina
Santiago | Chile**

Número de Proyecto: 210203-1

Contador y Campos Ingenieros Ltda.

Acústica, Control de Ruidos y Ruido

Santiago, Chile

Fonos: +56 2 2985 1088 / +56 2 2792 6371

contacto@contadorycampos.cl

www.contadorycampos.cl

Revisión 2

29 de marzo de 2021

Elaborado por

Contador y Campos Ingeniería Limitada

Aprobado por

Contador y Campos Ingeniería Limitada

ÍNDICE

1	RESUMEN EJECUTIVO	4
2	INTRODUCCION	5
3	OBJETIVO	6
4	ANTECEDENTES NORMATIVOS	6
4.1	FTA REPORT N°0123:2018	6
4.2	NORMATVA COMPLEMENTARIA	8
5	ANTECEDENTES DE MEDICIÓN	10
5.1	PUNTO DE MEDICIÓN.....	10
5.2	MONTAJE DE EQUIPAMIENTO.....	12
6	METODOLOGÍA	16
6.1	ESTIMACIÓN NIVEL DE RUIDO INDUCIDO SEGÚN METODOLOGIA FTA 0123:2018 18	
7	MEDICIONES ACÚSTICAS.....	23
7.1	RESULTADOS DE LA MEDICIÓN CONTINUA 24 HRS	23
7.2	RESUMEN DE LOS NIVELES DE RUIDO Y VIBRACIÓN OBTENIDOS PARA CADA CIRCULACIÓN DE TREN IDENTIFICADA.....	27
7.3	DETALLE DE CIRCULACIÓN DE TRENES HORARIO DIURNO	32
7.4	DETALLE DE CIRCULACIÓN DE TRENES HORARIO NOCTURNO	65
8	EVALUACIÓN DE NORMATIVA.....	81
8.1	EVALUACIÓN CIRCULACIONES DIURNAS.....	81
8.2	EVALUACIÓN CIRCULACIONES NOCTURNAS	83
9	CONCLUSIÓN	84
10	REFERENCIAS	85
	ANEXOS.....	86
10.1	Anexo – Certificado de Calibración Sonómetro NTI XL2-TA.....	86
10.2	Anexo – Certificado de Calibración Calibrador Larson Davis	93
10.3	Anexo - Registro Circulación Trenes Línea 3 Tramo Plaza Egaña (PZE) – Fernando Castillo Velasco (FCV).....	96
10.4	Anexo – Espectros de Vibración Circulaciones Influenciadas por Ruido Ambiente 105	
11	EQUIPO DE TRABAJO	121

1 RESUMEN EJECUTIVO

El documento a continuación entrega los resultados obtenidos para la evaluación de los niveles de ruido inducido (Groundborne Noise o GBN), al interior de una edificación de acuerdo con la metodología y niveles de referencia establecidos en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018.

Los resultados analizados y presentados en este informe corresponden a los medidos en el receptor ubicado en calle Javiera Carrera Norte N°20A, comuna de La Reina, cuyos registros al interior del recinto evaluado para el 1^{er} piso son comparados con el límite para residencias de FTA 0123:2018.

El receptor se encuentra ubicado en el tramo perteneciente a Línea 3 de Metro S.A. comprendido entre las estaciones Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco, específicamente el sector entre Plaza Egaña y Calle Lynch.

De acuerdo con los registros y los análisis obtenidos de las mediciones realizadas al interior del recinto mencionado, se puede observar que en 25 circulaciones diurnas analizadas solo 13 se ven influenciadas por ruido ambiente, en las cuales se procede a estimar el ruido inducido. De la misma manera en las 20 circulaciones nocturnas analizadas solo 3 se ven influenciadas por ruido ambiente.

Debido a que la vibración generada por la circulación de trenes no depende de la carga producto de la dependencia de la masa no suspendida del material rodante, es esperable que los niveles exclusivos de ruido inducido (Groundborne Noise o GBN) se mantengan en un rango de valores correctamente medidos durante el periodo diurno como el periodo nocturno.

De esta manera las circulaciones cumplen a cabalidad con el límite máximo para el tipo residencial definida por la metodología estipulada en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018. Lo anterior se cumple para los niveles de ruido inducido medidos de manera directa, como para los niveles de ruido inducido estimados según metodología FTA cuando son influenciados por el ruido ambiente, para las circulaciones de trenes diurnas y nocturnas evaluadas durante el periodo de medición.

2 INTRODUCCION

El presente informe entrega los resultados obtenidos de la medición y evaluación de Ruido inducido (Groundborne Noise o GBN) al interior de una edificación, de acuerdo con la metodología estipulada en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018 "*Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual*", debido a la circulación de trenes asociados a la operación de Línea 3 de Metro S.A. de Santiago. Esta línea presenta 18 estaciones y se extiende por 22 km aproximadamente, abarcando las comunas de Quilicura, Conchalí, Independencia, Santiago, Ñuñoa y La Reina.

Los resultados presentados y analizados en este documento corresponden al recinto ubicado específicamente en calle Javiera Carrera Norte N°20A, Comuna de La Reina, en el tramo comprendido entre las estaciones Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco, específicamente el sector entre Plaza Egaña y Calle Lynch.

Se analizan los niveles de ruido inducido medido de manera continua en forma global y en bandas de frecuencia de tercio de octava, cuantificando los descriptores Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (LAeq 1 seg.), Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (LAmax) con respuesta rápida (fast) y lenta (slow) y Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "C" con respuesta lenta (slow).

De manera complementaria, debido al conocimiento de ruido ambiente en la ciudad de Santiago producto del tránsito vehicular, se realizan mediciones de vibraciones mecánicas para el análisis de la señal de velocidad mediante registro de tiempo historia para cada eje de medición, considerando los niveles registrados en el eje de mayor valor para estimar el nivel de ruido inducido en aquellos casos donde el ruido ambiente interfiere el correcto análisis de los descriptores mencionados anteriormente, de acuerdo a lo indicado en la FTA.

3 OBJETIVO

Evaluar los niveles de ruido inducido (Groundborne Noise o GBN) asociado a la circulación de trenes en la interestación Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco de Línea 3, al interior del recinto ubicado en calle Javiera Carrera Norte N°20A, comuna de La Reina, contrastando los niveles registrados con los máximos permitidos según la metodología y niveles de referencia establecidos en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018 para edificaciones del tipo residencial, considerando eventos frecuentes.

4 ANTECEDENTES NORMATIVOS

4.1 FTA REPORT N°0123:2018

Este criterio normativo corresponde a la metodología recomendada por el Departamento de Transporte de Estados Unidos, a través del reporte de la Agencia Federal de Tránsito (FTA) publicado en septiembre de 2018, que considera la evaluación para período diurno (entre 07:00 hrs a 22:00 hrs) y período nocturno (entre 22:00 hrs y 07:00 hrs) de los niveles de ruido inducido (GBN) originados por la contribución exclusiva del tránsito ferroviario en el interior del recinto evaluado ubicado en el tramo comprendido entre las estaciones Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco.

Este criterio normativo no es claro en el descriptor, ni tampoco en el tipo de respuesta del instrumental (slow o fast) para cuantificar los niveles de presión sonora. De hecho, la tabla 5-1, página 110 de la FTA detalla que, “Los niveles de sonido con ponderación A representan el ruido general en un receptor que se ajusta en frecuencia para aproximarse a la sensibilidad de la audición humana típica. Esta unidad se utiliza para caracterizar el ruido transmitido por el suelo”.

Tabla 1. Métricas para Groundborne Vibration y Groundborne Noise.

Metric	Abbreviation	Definition
Vibration Decibels	VdB	The vibration velocity level in decibel scale.
Peak Particle Velocity	PPV	The peak signal value of an oscillating vibration velocity waveform. Usually expressed in inches/second in the United States.
Root Mean Square	rms	The square root of the arithmetic average of the squared amplitude of the signal.
A-weighted Sound Level	dBA	A-weighted sound levels represent the overall noise at a receiver that is adjusted in frequency to approximate typical human hearing sensitivity. This unit is used to characterize ground-borne noise.

Fuente: Manual FTA, tabla 5-1, página 110.

El criterio de evaluación se basa en una comparación entre los niveles medidos y los niveles de referencia indicados como apenas perceptible y distintivamente perceptible establecidos en el capítulo 5 de la guía presentados en la tabla a continuación.

Tabla 2. Respuesta humana a los diferentes niveles de vibración y ruido inducido.

Vibration Velocity Level	Noise Level		Human Response
	Low Freq*	Mid Freq**	
65 VdB	25 dBA	40 dBA	Approximate threshold of perception for many humans. Low-frequency sound: usually inaudible. Mid-frequency sound: excessive for quiet sleeping areas.
75 VdB	35 dBA	50 dBA	Approximate dividing line between barely perceptible and distinctly perceptible. Many people find transit vibration at this level annoying. Low-frequency noise: tolerable for sleeping areas. Mid-frequency noise: excessive in most quiet occupied areas.
85 VdB	45 dBA	60 dBA	Vibration tolerable only if there are an infrequent number of events per day. Low-frequency noise: excessive for sleeping areas. Mid-frequency noise: excessive even for infrequent events for some activities.

*Approximate noise level when vibration spectrum peak is near 30 Hz.
**Approximate noise level when vibration spectrum peak is near 60 Hz.

Fuente: Manual FTA, tabla 5-5, página 120.

El procedimiento establecido en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018 indica que el nivel de ruido inducido se estima aplicando la curva de ponderación A al espectro RMS 1 segundo de velocidad vibratoria en tercios de octava y sustrayendo 5 dB adicionales.

Ilustración 1. Metodología para estimar el nivel de ruido inducido a partir del espectro de velocidad.

xi The A-weighted level of ground-borne noise can be estimated by applying A-weighting to the vibration velocity spectrum and by subtracting an additional 5 dB for a room with average acoustical absorption. Since the A-weighting at 31.5 Hz is -39.4 dB, if the vibration spectrum peaks at 30 Hz, the A-weighted sound level will be approximately 40 dB lower than the velocity level. If the vibration spectrum peaks at 60 Hz, the A-weighted sound level will be approximately 25 dB lower than the velocity level.

Fuente: Manual FTA, pie de página, página 119.

Para la definición del límite normativo a considerar, se utiliza la categoría 2 en uso de suelo, aplicable a recintos residenciales y eventos frecuentes, cuyo límite es el más estricto para este tipo de edificaciones.

Tabla 3. Categorías según uso de suelo efectivo.

Land Use Category	GBV Impact Levels (VdB re 1 micro-inch /sec)			GBN Impact Levels (dBA re 20 micro Pascals)		
	Frequent Events	Occasional Events	Infrequent Events	Frequent Events	Occasional Events	Infrequent Events
Category 1: Buildings where vibration would interfere with interior operations.	65 VdB*	65 VdB*	65 VdB*	N/A**	N/A**	N/A**
Category 2: Residences and buildings where people normally sleep.	72 VdB	75 VdB	80 VdB	35 dBA	38 dBA	43 dBA
Category 3: Institutional land uses with primarily daytime use.	75 VdB	78 VdB	83 VdB	40 dBA	43 dBA	48 dBA

* This criterion limit is based on levels that are acceptable for most moderately sensitive equipment such as optical microscopes. For equipment that is more sensitive, a Detailed Vibration Analysis must be performed.
** Vibration-sensitive equipment is generally not sensitive to ground-borne noise; however, the manufacturer's specifications should be reviewed for acoustic and vibration sensitivity.

Fuente: Manual FTA, tabla 6-3, página 126.

4.2 NORMATVA COMPLEMENTARIA

Debido a que el criterio normativo FTA 2018 no es claro en el descriptor y tipo de respuesta a utilizar para cuantificar los niveles de ruido inducido producto de la circulación ferroviaria, se ha considerado para la evaluación el descriptor Nivel de Presión Sonora Máximo con Ponderación “A” (L_{Amax}) y respuesta lenta (slow), acorde a las directrices para sistemas ferroviarios existentes en la materia, las cuales se resumen a continuación.

Guidelines for the Assessment of Noise from Rail Infrastructure, de la Environment Protection Authority (EPA) – South Australia (2013).

En esta guía, se entregan las directrices que describen los enfoques para minimizar y gestionar los impactos del ruido inducido y las vibraciones mecánicas de la actividad ferroviaria, incluido el proceso para evaluar los impactos potenciales y permitir una gestión ambiental adecuada.

En el capítulo 4.2 de la presente guía, se establece el descriptor a utilizar para su evaluación respecto de los valores obtenidos de una circulación de tren. Este descriptor corresponde al L_{Amax} con respuesta en “slow” como se indica en la siguiente ilustración:

<p>4.2 Ground-borne rail noise measurement</p> <p>Ground-borne rail noise levels at a site should only be measured where the level of ground-borne rail noise is higher than that of air-borne noise from the rail pass-bys.</p> <p>To provide ground-borne noise measurements of appropriate accuracy:</p> <ul style="list-style-type: none">• sound level meters are to be of at least Class 1 certification as defined by AS IEC-61672.1-2004• meters or loggers must be calibrated on site immediately before and after any measurement period using a calibrator which is suitable for the class of the instrument and complies with AS IEC-60942-2004• L_{Amax} levels should be measured using the 'Slow' response setting on the meter or logger.
--

Fuente: EPA - South Australia (2013), capítulo 4.2, página 20.¹

Esta misma guía menciona que la Norma ISO 14837-1 proporciona más información sobre la medición del ruido transmitido por el suelo de las operaciones ferroviarias.

¹ https://www.epa.sa.gov.au/files/47789_guidelines_rail_noise.pdf

Guía general ISO 14837-1 Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 1: General Guidance.

Esta parte de la Norma ISO 14837 proporciona directrices sobre las consideraciones esenciales asociadas con la cuantificación de los niveles de ruido transmitido por el suelo o GBN que aplica para este caso.

Uno de los puntos importantes, corresponde al espectro de interés para efectos de evaluación del GBN el cual establece el rango entre los 16 Hz a 250 Hz mencionado en el capítulo 5.3, página 9.

5.3 Perception of ground-borne noise (16 Hz to 250 Hz)

Ground-borne noise occurs when often imperceptible levels of ground-borne vibration give rise to vibration of building surfaces, and some contents that in turn cause an audible “rumbling” sound, usually by radiation to the air inside rooms. Ground-borne noise is more often associated with rail systems in tunnels, as distinct from railways at grade, because the receiving building is completely screened from any airborne noise in the tunnel. Ground-borne noise could, however, also be an issue for an at-grade situation in a room that is on the remote façade to the source.

En el capítulo 6.3, página 11, detalla que se debe cuantificar el ruido transmitido por el suelo utilizando el nivel máximo de presión acústica ponderado en A con una constante de tiempo “Slow”, abreviado como $L_{pASmáx}$ (abreviatura similar a L_{Amax}).

6.3 Perception of ground-borne noise

Ground-borne noise should be evaluated in the metric recommended by the relevant national standards and should be consistent with the form of the guide value to be adopted.

To assist in future standards development of rating values, ground-borne noise should also be quantified using the maximum A-weighted sound pressure level with a slow time constant, L_{pASmax} and the raw unweighted sound pressure time history should be preserved so that metrics such as event L_{pAeq} and the one-third-octave band linear spectrum of the event can be derived.

Guía general ISO/TS 14837-31 Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 31: Guideline on field measurements for the evaluation of human exposure in buildings.

Esta parte de la Norma ISO 14837 proporciona directrices respecto de las mediciones en terreno, entregando una recomendación objetiva respecto de la discriminación de cuando un ruido es de baja frecuencia y por ende se asocia a ruido inducido (Groundborne noise) y no a ruido aéreo (airborne noise).

En tabla 9 “*Requeriments on analysis, evaluation and reporting procedures*”, páginas 17 y 18 se indica:

The difference $L_{pCSmax} - L_{pASmax}$ should be calculated and reported (see Note 7)

NOTE 7 a difference of 15 dB between the average values L_{pCSmax} – L_{pASmax} indicates low-frequency noise, characteristic of groundborne noise; conversely, a small difference may indicate the presence of airborne noise (see reference 23).

Lo cual se traduce que si la diferencia en los descriptores L_{pCSmax} – $L_{pASmax} \geq 15$ dB existe presencia de ruido de baja frecuencia asociado a ruido inducido.

5 ANTECEDENTES DE MEDICIÓN

5.1 PUNTO DE MEDICIÓN

El recinto evaluado se ubica en Calle Javiera Carrera Norte N°20A, Comuna de La Reina, recinto de un piso que se ubica a 40 m perpendiculares al eje de la vía aproximadamente en el PK 20+755, en la interestación Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco de Línea 3, en el tramo Plaza Egaña y calle Lynch.

La medición se realizó los días 4 y 5 de febrero de 2021, en el interior de una de las dependencias que contaba con mobiliario de oficina, por el uso efectivo de esta actualmente.

Cabe señalar que la zona del trazado de la vía frente a la cual se emplaza el recinto evaluado corresponde a una zona recta, y con sistema de soporte con sistema de mitigación de vibraciones del tipo -10 dB implementado.

Las siguientes ilustraciones muestran la ubicación del punto de medición.

Ilustración 2. Vista aérea interestación Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco.

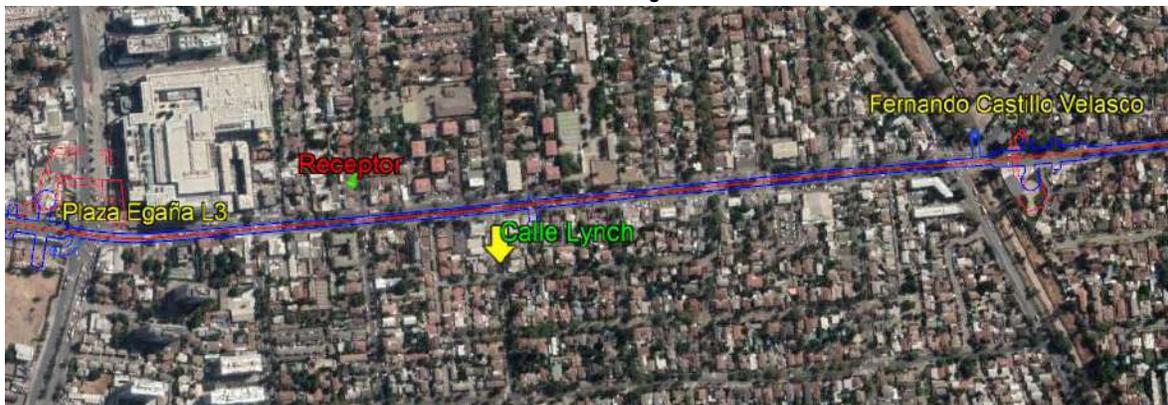


Ilustración 3. Croquis de ubicación punto de medición.



Vista en planta y Frontis del recinto





Tabla 4. Descripción del punto de medición.

Punto de evaluación	Coordenadas U.T.M. Datum WGS84		Descripción	Pk del trazado L3
	E	N		
Calle Javiera Carrera Norte N°20A (piso 1), Comuna de La Reina	354 344	6 297 412	Medición interior	20+755

5.2 EQUIPAMIENTO Y MONTAJE

Se realizó el montaje de equipamiento para la medición de ruido inducido y vibración mecánica, de acuerdo con los espacios disponibles en el recinto facilitado por los residentes, donde el instrumental utilizado es el siguiente:

- Sonómetro
1 sonómetro marca NTI Audio modelo XL2-TA, Clase 1.
1 calibrador acústico Larson Davis modelo CAL 200.

- Sensores
 - 1 acelerómetro marca PCB, modelo 393B04 de 1000mV/g de sensibilidad.
 - 2 acelerómetros marca PCB, modelo 333B50 de 1000mV/g de sensibilidad.

- 1 Sistema de adquisición Embebido Compact Rio 9063
 - 3 canales de adquisición con 1 unidades C-Module 9230.

Tabla 5. Características sistema Embebido Compact Rio 9063.

Input Characteristics	
Number of channels	3 analog input channels
ADC resolution	24 bits
Type of ADC	Delta-Sigma (with analog prefiltering)
Sampling mode	Simultaneous
Type of TEDS supported	IEEE 1451.4 TEDS Class I
TEDS capacitive drive	3000 pF
Internal master timebase (f_M)	
Frequency	13.1072 MHz
Accuracy	±100 ppm
Data rate range (f_s) using internal master timebase	
Minimum	0.985 kS/s
Maximum	12.8 kS/s
Data rate range (f_s) using external master timebase	
Minimum	0.977 kS/s
Maximum	12.84 kS/s

Para el presente estudio se consideró una medición continua de ruido inducido y vibraciones mecánicas de 24 hrs al interior del recinto, con logging cada 1 segundo en forma global y en bandas de frecuencia de tercio de octava, cuantificando los descriptores Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación “A” (LAeq 1 seg.) y Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación “A” (LAmáx) con respuesta rápida (fast) y lenta (slow), y Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación “C” con respuesta lenta (slow), mediante sonómetro clase 1.

Ilustración 4. Montaje sonómetro.



Acorde a lo indicado en FTA 0123:2018, se considera una medición de vibración mecánica en la misma ubicación de sonómetro, cuantificando la velocidad vibratoria con referencia $1 \mu\text{in/s}$ con un registro del tipo tiempo historia de la señal sin ponderación para cada eje de medición durante 24 hrs, en caso de requerir estimar el ruido inducido según la metodología establecida en el capítulo 5 de la guía FTA 0123:2018, dado los niveles de ruido ambiente asociados al tráfico vehicular.

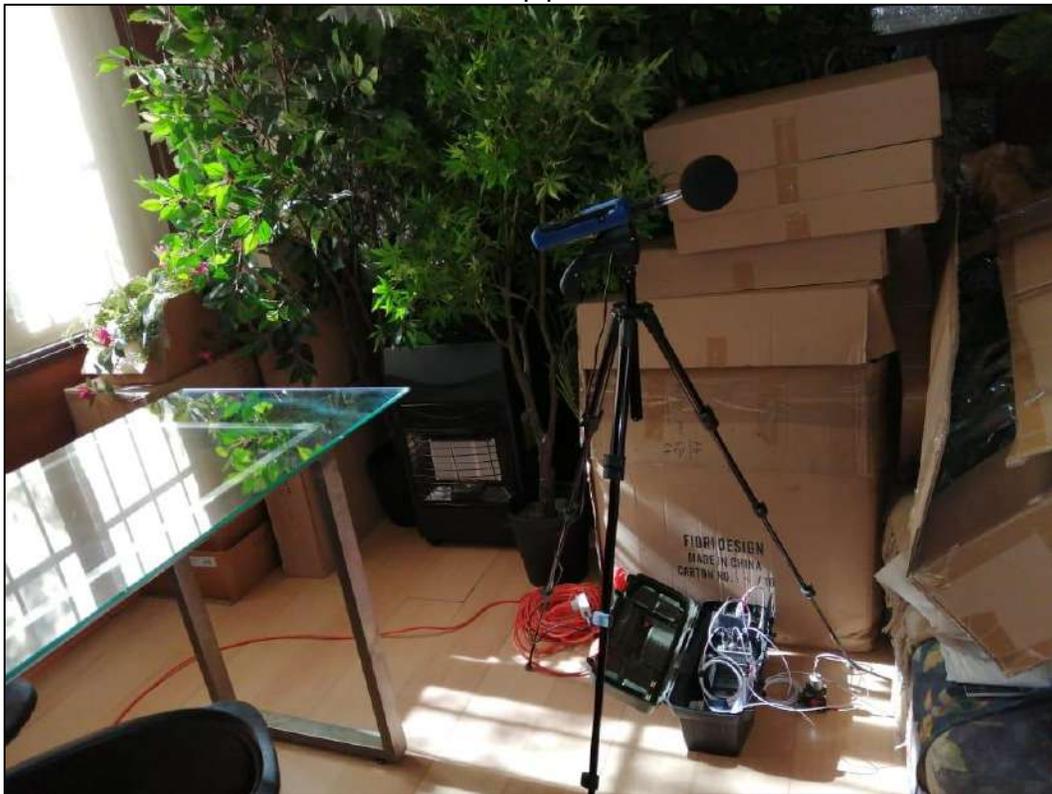
Los acelerómetros instalados al interior del recinto fueron adheridos mediante imanes a un cubo de acero el que a su vez es fijado a un piso flotante mediante cera de abeja.

La frecuencia natural del sistema se encuentra en un rango mayor a los 250 Hz tomando el eje vertical representativo para el resto de los ejes, se debe verificar que la resonancia natural horizontal no influya significativamente en la medición, por lo que si hay efectos se debe ubicar otro sector de apoyo de sensor. Según lo anterior la frecuencia natural del sistema se encuentra fuera del rango interés de mayor relevancia centrado principalmente en torno a los 63 Hz.

Ilustración 5. Montaje medición triaxial de velocidad de vibración.



Ilustración 6. Ubicación equipos al interior del recinto.



6 METODOLOGÍA

De acuerdo con el procedimiento establecido en el manual de la FTA 0123:2018, las mediciones consideran el registro solo al interior del recinto. De esta manera se registró un total de 25 circulaciones de trenes en horario diurno y 20 circulaciones en horario nocturno (medición pass-by), a la velocidad comercial existente actualmente en este tramo.

Se asocian estas circulaciones en los casos que es posible, a los bloques horarios que presenta Metro de Santiago en día hábil, los cuales se resumen en tabla a continuación.

Tabla 6. Horarios asociados a normativa y bloques horarios de operación Metro.

Horario FTA	Horario Circulación Metro	Observaciones
Diurno (07:00 a 22:00 hrs)	Bajo (06:00 a 07:00 hrs y 20:45 hrs a cierre)	Existen circulaciones en horario FTA
	Punta (07:00 a 09:00 hrs y 18:00 a 20:00 hrs)	Existen circulaciones en horario FTA
	Valle (09:00 a 18:00 hrs y 20:00 a 20:45 hrs)	Existen circulaciones en horario FTA
Nocturno (22:00 a 07:00 hrs)	Bajo (06:00 a 07:00 hrs y 20:45 hrs a cierre)	Existen circulaciones en horario FTA (horario cierre y apertura normal)
	Punta (07:00 a 09:00 hrs y 18:00 a 20:00 hrs)	No existen circulaciones en horario FTA
	Valle (09:00 a 18:00 hrs y 20:00 a 20:45 hrs)	No existen circulaciones en horario FTA

Metro de Santiago, facilitó los registros de circulación de trenes de los días 4 y 5 de febrero de 2021 en el tramo en cuestión, el cual se encuentra en Anexo 10.3 del presente informe.

Se analiza la presión sonora medida, considerando el descriptor Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" LAmax y respuesta lenta (slow), y el registro gráfico de la envolvente de cada circulación.

Se analiza la señal de velocidad de vibración del eje de mayor nivel para aquellas circulaciones influenciadas por el ruido ambiente presente durante la medición, de acuerdo a la revisión de la envolvente y registro de audio respectivo, en bandas de tercios de octava en el rango de frecuencia de interés entre 16 Hz y 250 Hz, estimando según metodología FTA el nivel de ruido inducido atribuido exclusivamente a la circulación del tren, comparando el nivel máximo con los niveles de referencia establecidos en el capítulo 5 de guía FTA 0123:2018.

Para la predicción del nivel de ruido inducido de acuerdo con los niveles de velocidad vibratoria, se considera la detección del segundo de máximo valor RMS de velocidad vibratoria integrado de 1 segundo con referencia $1 \mu\text{in/s}$, para luego estimar el espectro en tercios de octava del nivel de ruido inducido en ponderación A. Este espectro corresponderá entonces a valores RMS de 1 segundo de acuerdo con la metodología establecida en la guía FTA 0123:2018.

En términos generales la metodología FTA utiliza el espectro RMS de velocidad vibratoria en tercios de octava, luego se pondera en dBA y se sustraen 5 dB, para luego realizar la suma energética de las bandas y obtener el valor de ruido inducido.

Los niveles de ruido inducido serán contrastados con el límite residencial para uso de suelo categoría 2 y eventos frecuentes según FTA 0123:2018, con el fin de verificar el cumplimiento normativo de la circulación de trenes en el punto de medición.

- Escenario de Peor Condición de Inmisión

Es importante destacar que la condición evaluada corresponde a la peor condición, dado que la vibración generada por la circulación de trenes no depende de la carga de este sino de la masa no suspendida, por tanto es esperable que los niveles exclusivos de ruido inducido se mantengan en un rango de valores correctamente medidos durante el periodo diurno como el periodo nocturno, destacando que la evaluación en horarios de bajo tráfico vehicular o bajo ruido aéreo genera que el ruido inducido por la circulación de trenes sea más notoria, lo que se condice con los reclamos que se reciben en esta materia, producto de la menor influencia y enmascaramiento del ruido ambiente.

Además, se estima el nivel de ruido inducido para cada uno de los ejes de vibración (Este, Norte y Vertical), de los cuales se evalúa el eje con el nivel de ruido inducido más alto cuando es necesario utilizar la predicción indicada por FTA 0123:2018, lo anterior con objeto de representar todos los casos en que el eje vertical no es el predominante, lo que es factible que pueda ocurrir en un porcentaje menor de las evaluaciones, situándonos de esta manera en el escenario de peor condición de inmisión en este aspecto.

6.1 ESTIMACIÓN NIVEL DE RUIDO INDUCIDO SEGÚN METODOLOGIA FTA 0123:2018

De acuerdo con lo establecido en la guía FTA 0123:2018 sección 6.5 se presenta una fórmula usada para estimar el nivel de ruido inducido (GBN o Ground-borne Noise) la cual combina niveles vibratorios, niveles ponderados en "A" y una constante de corrección, todos en bandas de tercios de octava para estimar un nivel de ruido global.

Ilustración 7. Fórmula para estimar el nivel de ruido inducido o Ground-borne Noise.

- **Floor vibration and ground-borne noise** – The projected floor vibration is used to estimate the levels of ground-borne noise. The primary factors affecting noise level are the average vibration level of the room surfaces and the amount of acoustical absorption within the room. The radiation adjustment is -5 dB for typical rooms, ⁽³⁷⁾ ⁽⁵⁰⁾ which gives:
$$L_A \approx L_V + K_{A-wt} - 5$$

Eq. 6-8

where:

 - L_A = A-weighted sound level in a 1/3-octave band
 - L_V = rms vibration velocity level in that band
 - K_{A-wt} = A-weighting adjustment at the 1/3-octave band center frequency

The A-weighted levels in the 1/3-octave bands are combined to produce the overall A-weighted sound level.

Fuente: Manual FTA, sección 6.5, página 164.

Posterior a este cálculo en bandas de frecuencia de tercio de octava en el rango de frecuencias de interés, se realiza la suma energética de estas para obtener la valoración global de ruido inducido.

$$L_{Amax} = 10 \log_{10} \left(\sum_i 10^{\frac{L_{Ai}}{10}} \right)$$

Donde

L_{Ai} = Nivel de presión sonora con ponderación A (dBA) para la banda de tercio de octava i . La integración (sumatoria) se realiza hasta la banda de 250Hz.

L_{Amax} = Nivel de presión sonora máximo, con ponderación A y respuesta lenta (*overall A-weighted sound level*).

Previo al proceso de estimación de niveles de ruido inducido, a través de los niveles de vibración mecánica medidos, se analiza para verificar la correcta correlación de lo medido con lo proyectado, una medición con una circulación de tren que no esté influenciada por el ruido de fondo presente en el lugar (circulación limpia).

Gráficamente este análisis se muestra en ilustración siguiente, donde el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (LAeq 1 seg.) corresponde a curva en color azul, el Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (LAmáx) y respuesta lenta (slow) corresponde a curva en color verde, y el Nivel de Presión Sonora con ponderación "A" de la frecuencia de 50 Hz a 80 Hz (según corresponda) corresponde a curva en color rojo, estas últimas a modo de referencia gráfica, ya que predominan en la circulación ferroviaria y permiten discriminar visualmente de manera clara la circulación de los trenes y la envolvente máxima alcanzada.

En la circulación presentada se aprecia la clara correlación entre el máximo en la frecuencia predominante y el aumento en el nivel sonoro máximo LAmáx.

Ilustración 8. Gráfico niveles de ruido de una circulación de tren limpia, sin influencia de ruido de fondo.

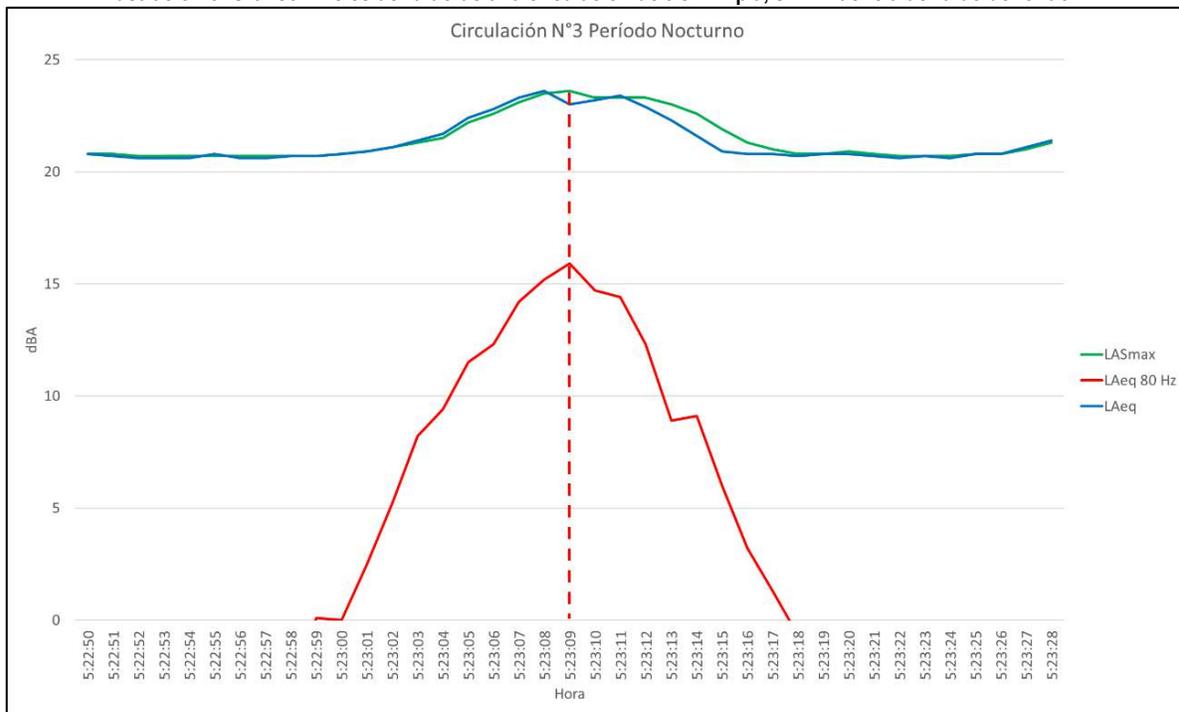
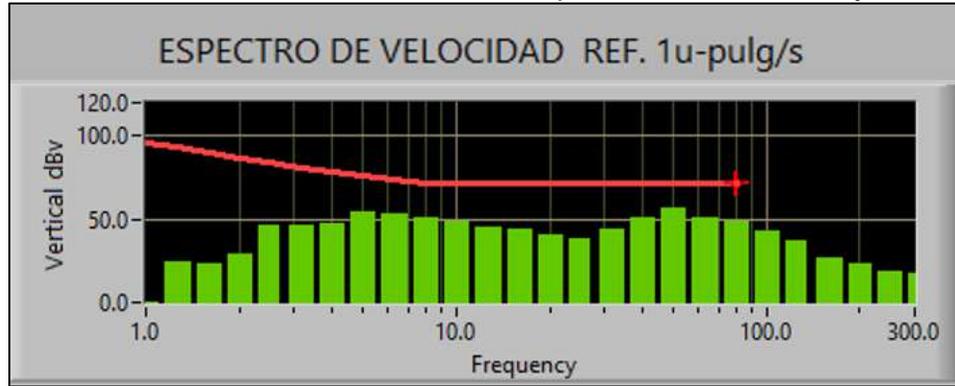


Tabla 7. Niveles peak medidos para circulación sin fuentes externas.

Nº Circulación	Instante máximo	Leq (1 seg.) (dBA) peak	LAmáx (1 seg.) (dBA) peak	Leq (1 seg.) (dBA) 80 Hz peak
3	5:23:09	23.0	23.6	15.9

Posteriormente, se procede a analizar el mismo instante en la medición realizada de vibración mecánica, considerando el eje de mayor valor alcanzado (correspondiente en este caso al eje vertical), identificando el nivel peak de velocidad vibratoria con RMS 1 segundo. En la siguiente ilustración, se detalla los niveles de vibración mecánica medidos para la misma circulación de tren.

Ilustración 9. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación de tren N°3 eje vertical.



A continuación, se analiza el nivel máximo de velocidad vibratoria con RMS 1 segundo para la circulación del tren, indicando los niveles medidos en banda de tercios de octava contemplando desde 16 Hz hasta 250 Hz.

En la siguiente tabla se presentan los cálculos realizados de acuerdo con la fórmula propuesta por la FTA, donde el valor de ruido inducido predicho es de 27.4 dBA

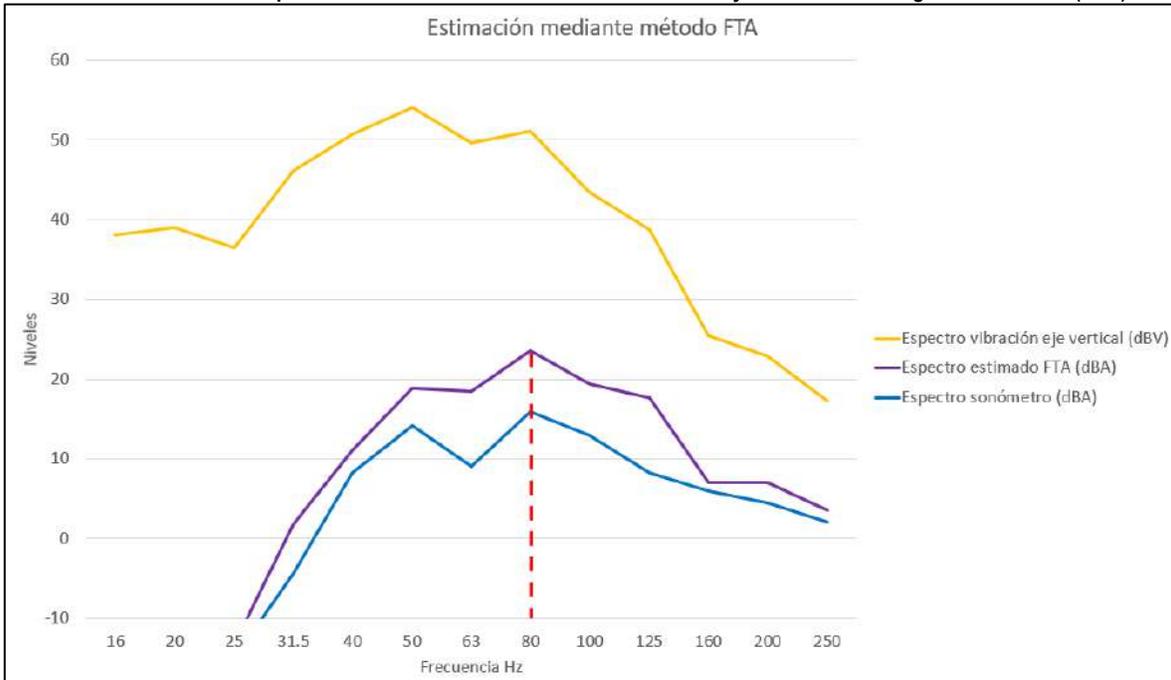
Tabla 8. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA.

Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	38.1	39.0	36.5	46.2	50.7	54.1	49.6	51.1	43.5	38.8	25.4	22.9	17.2
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-18.6	-11.5	-8.2	6.8	16.1	23.9	23.4	28.6	24.4	22.7	12.0	12.0	8.6
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-23.6	-16.5	-13.2	1.8	11.1	18.9	18.4	23.6	19.4	17.7	7.0	7.0	3.6
Espectro estimado según método FTA (dBA)	-23.6	-16.5	-13.2	1.8	11.1	18.9	18.4	23.6	19.4	17.7	7.0	7.0	3.6
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-22.7	-17.2	-15.0	-4.4	8.3	14.2	9.0	15.9	12.9	8.2	6.0	4.5	2.0
Valor global estimado según método FTA (dBA)	27.4												

De esta manera se verifica que los niveles máximos analizados mediante el descriptor L_{Amax} del sonómetro (23.6 dBA en ilustración 8) y el nivel global del espectro estimado mediante metodología FTA a partir de las vibraciones medidas (27.4 dBA ilustración 10) son concordantes respecto del ruido inducido presente al interior del recinto.

Gráficamente, los resultados se presentan en la siguiente ilustración, donde la curva amarilla representa el espectro de velocidad de vibración medido en el eje de mayor valor alcanzado (correspondiente en este caso al eje vertical (dBV)), la curva azul representa el espectro sonoro del ruido inducido medido con sonómetro (dBA) y la curva morada representa el espectro sonoro del ruido inducido estimado mediante metodología FTA (dBA).

Ilustración 10. Gráfico espectro en tercios de octava nivel medido en dBV y nivel estimado según método FTA (dBA).



Por lo tanto, al presentarse circulaciones de trenes influenciadas por el ruido de fondo (contaminadas), se procede a realizar este método de predicción para obtener los niveles de ruido inducido a partir de las vibraciones mecánicas generadas por la misma circulación de tren.

Cabe destacar que parte de este procedimiento, para descartar niveles de ruido externos a la circulación propia de un tren, considera el análisis de los audios obtenidos de la medición, en donde es posible discriminar entre un tren y el ruido de fondo (principalmente tránsito vehicular cercano).

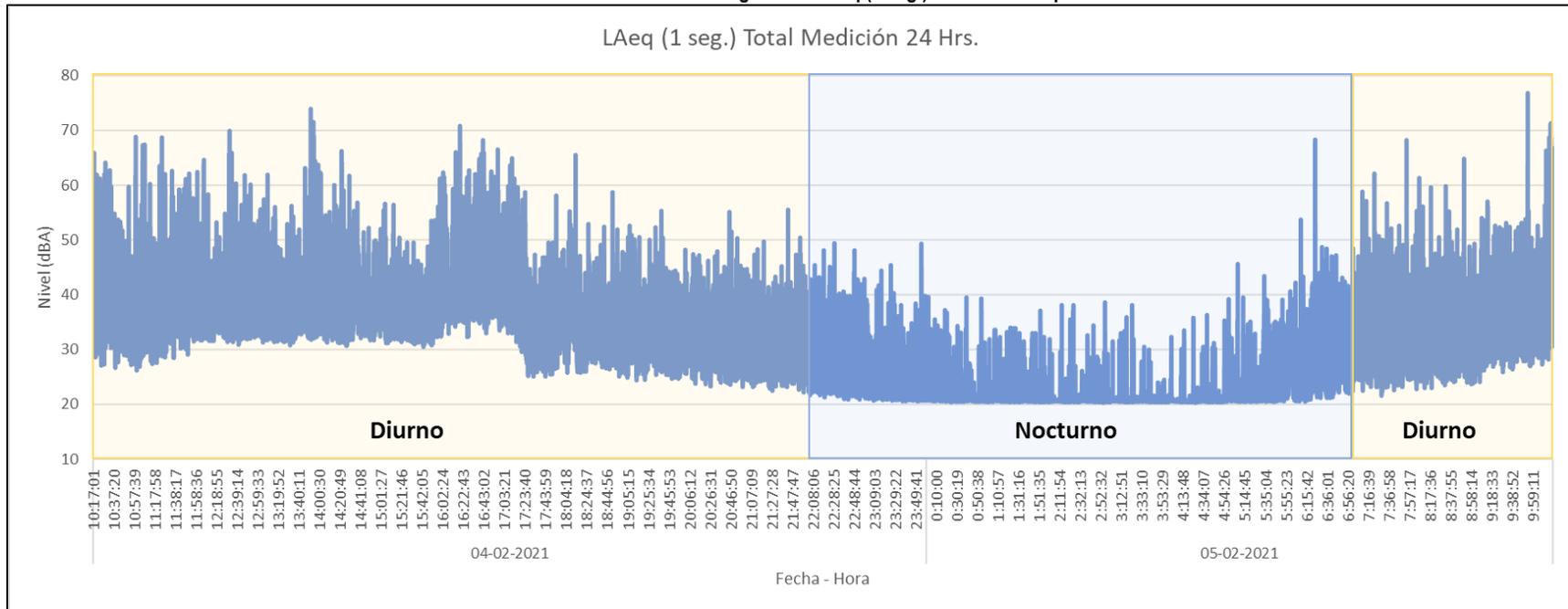
7 MEDICIONES ACÚSTICAS

7.1 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN CONTINUA 24 HRS

Se realizó una medición de 24 horas continuas al interior del recinto, en donde se identifican los periodos de menor ruido de fondo para analizar las circulaciones menos influenciadas por fuentes externas asociadas principalmente a ruido de tráfico y uso propio de los residentes de las edificaciones, dichos periodos fueron de desde las 18:00 hrs hasta las 21:40 hrs del 04 de febrero y desde las 07:00 hrs hasta las 09:30 hrs del 05 de febrero para el horario Diurno; y desde las 05:00 hrs hasta las 07:00 hrs del 05 de febrero para el periodo Nocturno.

En el siguiente gráfico se presenta el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (LAeq 1 seg.) de la medición.

Ilustración 11. Gráfico niveles globales LAeq (1 seg.) medición completa.



A continuación, se grafica el nivel LAeq 1 seg. de los 3 períodos medidos equivalente a 24 horas, destacando con recuadro rojo el horario seleccionado para el análisis de circulación de trenes. El horario destacado se prefirió debido a la disminución del ruido de fondo y a la presencia de trenes en dichos horarios, de acuerdo con las circulaciones diarias entregadas por Metro de Santiago.

Ilustración 12. Gráfico niveles globales LAeq 1 seg. periodo diurno 04 febrero 2021.

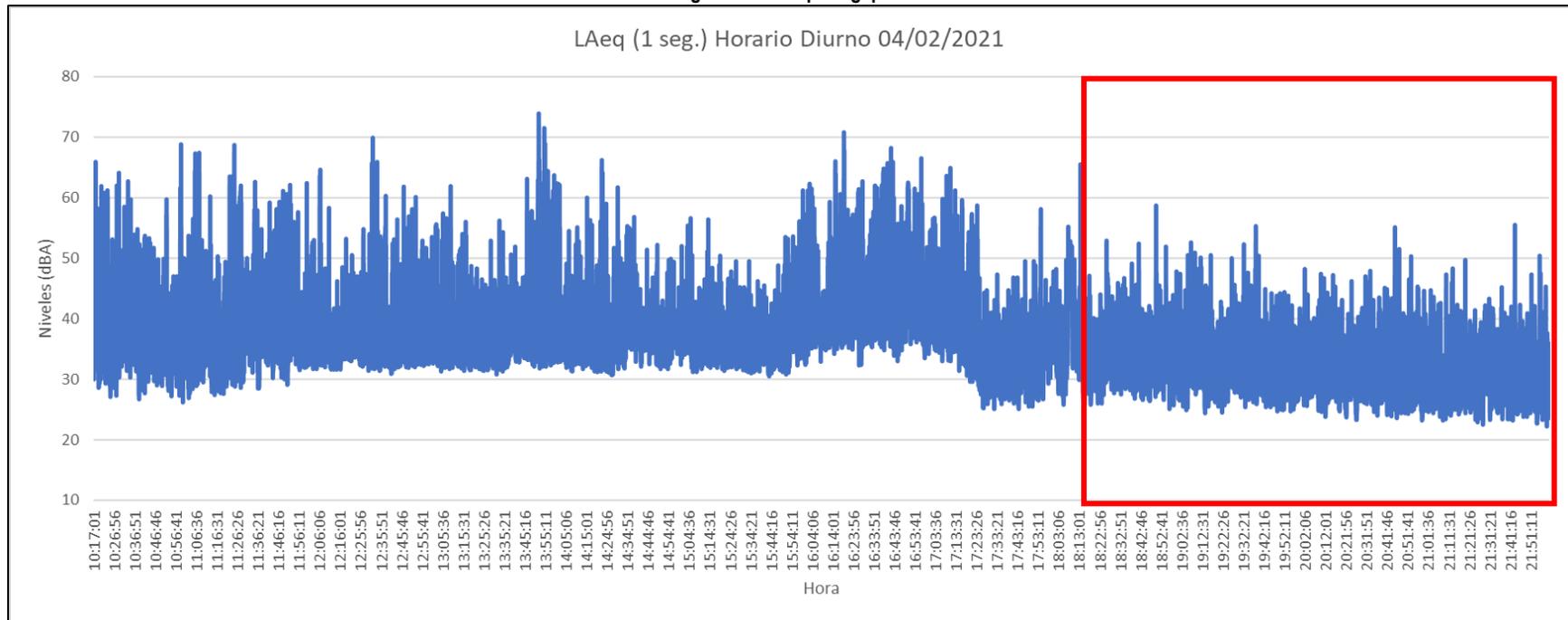


Ilustración 13. Gráfico niveles globales LAeq 1 seg. periodo nocturno 04 al 05 febrero 2021.

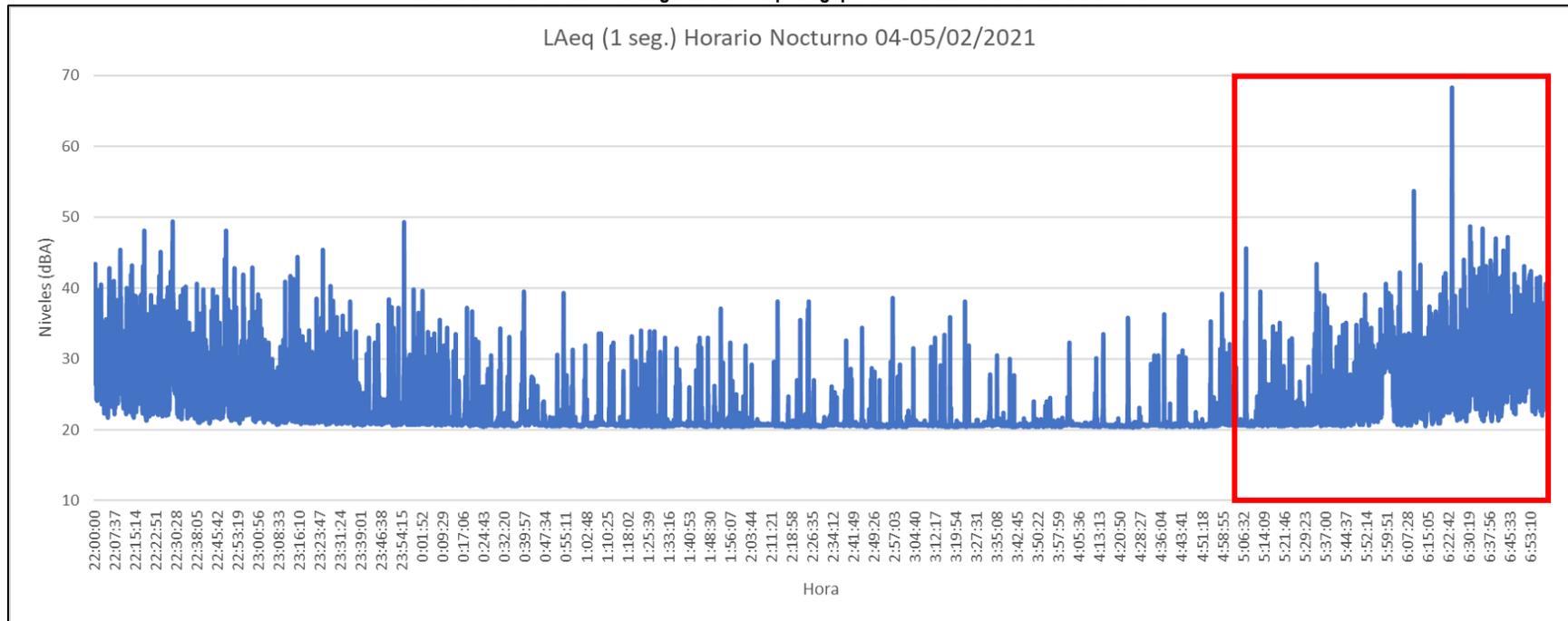
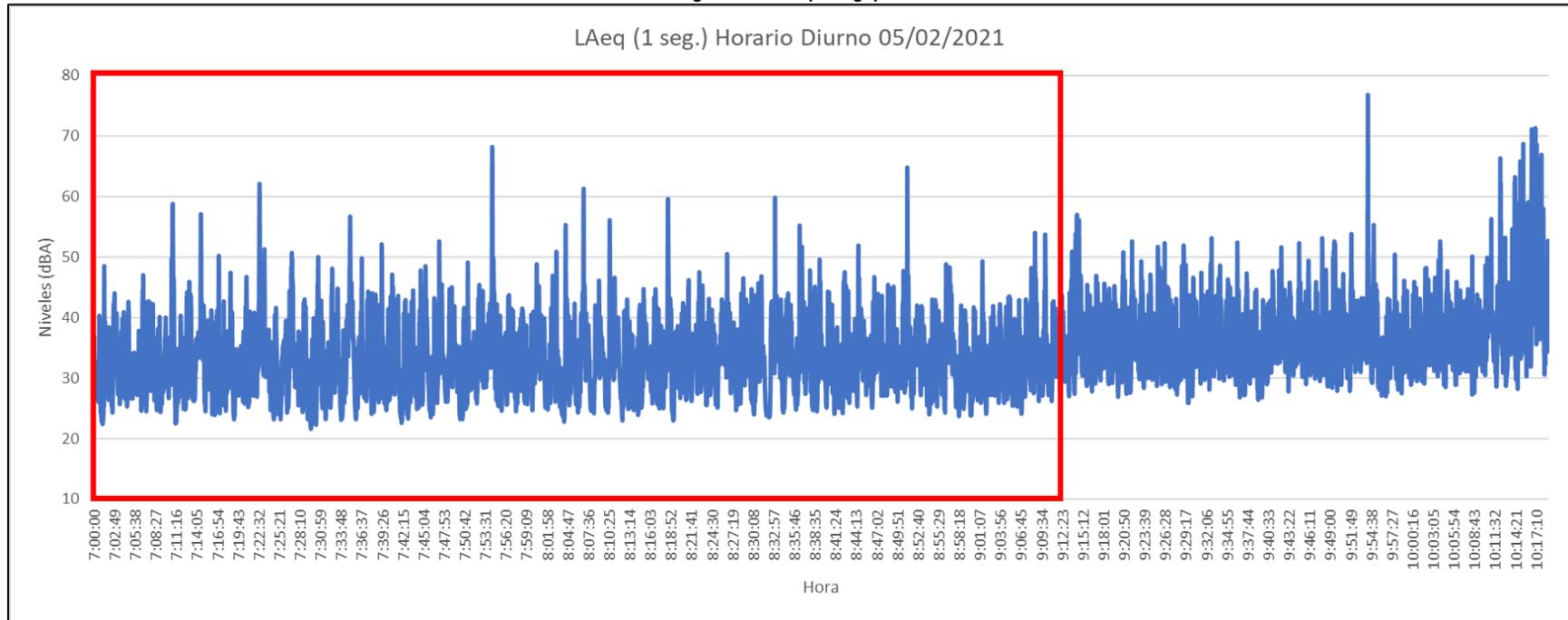


Ilustración 14. Gráfico niveles globales LAeq 1 seg. periodo diurno 05 febrero 2021.



7.2 RESUMEN DE LOS NIVELES DE RUIDO Y VIBRACIÓN OBTENIDOS PARA CADA CIRCULACIÓN DE TREN IDENTIFICADA

A continuación, se presenta una tabla resumen de los niveles de ruido inducido medidos de forma directa mediante el sonómetro para cada circulación de tren durante el período diurno, identificándose el número de circulación, la fecha y hora de dicha circulación, la vía por la cual circuló y el número de identificación del tren, los descriptores Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (LAeq 1 seg.), Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (LAmaz), Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "C" (LCmax) ambos con respuesta lenta (slow), la diferencia entre estos descriptores, además si los niveles están influenciados por el ruido ambiente y el nivel aproximado de ruido ambiente antes y después de la circulación de tren identificada.

Cabe destacar que el nivel LAmaz (slow) corresponde al máximo registrado durante la circulación del tren. En caso de que la medición se vea influenciada por el nivel de ruido de fondo se procedió a estimar el nivel de ruido inducido a través de los niveles de vibración mecánica del eje de mayor valor mediante metodología FTA.

Tabla 9. Niveles obtenidos para cada circulación de tren en horario Diurno.

N° Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	Leq (1 seg.) (dBA)	LAmaz (slow) (dBA)	LCmax (slow) (dBA)	LCmax - LAmaz (dBA)	Influencia RF	RF Antes - Después de la circulación (Leq 1 seg.) (dBA)
1	04-02-2021	18:05:36	2	30	29.8	30.1	56.4	26.3	NO	27.3 - 28.7
2	04-02-2021	18:15:05	1	31	28.4	28.7	54.5	25.8	NO	26.9 - 26.4
3	04-02-2021	18:15:33	2	24	30.6	31.2	56.6	25.4	NO	29.3 - 29.3
4	04-02-2021	19:05:07	1	21	28.5	29.4	55.7	26.3	NO	26.6 - 26.2
5	04-02-2021	20:03:34	1	28	39.6	38.8	58.5	19.7	SI	33.4 - 34.8
6	04-02-2021	20:10:13	1	34	28.7	28.8	56.1	27.3	NO	25.8 - 26.7
7	04-02-2021	20:23:31	1	21	28.2	28.6	55.1	26.5	NO	27.5 - 27.6
8	04-02-2021	20:27:16	2	21	33.1	32.5	53.7	21.2	NO	24.4 - 29.7
9	04-02-2021	21:00:32	2	31	33.0	34.5	57.9	23.4	SI	32.8 - 30.4
10	04-02-2021	21:16:46	1	41	29.6	29.1	48.3	19.2	SI	28.8 - 33.0
11	04-02-2021	21:20:31	2	41	27.7	28.9	51.9	23.0	NO	25.4 - 26.5
12	04-02-2021	21:27:11	2	28	39.2	38.1	57.8	19.7	SI	28.1 - 30.8
13	04-02-2021	21:40:45	1	23	32.9	32.8	60.2	27.4	NO	29.2 - 24.3
14	05-02-2021	7:09:06	1	24	27.2	26.9	51.3	24.4	NO	24.4 - 25.7
15	05-02-2021	7:13:48	1	40	35.6	36.4	62.7	26.3	SI	30.8 - 35.6
16	05-02-2021	7:19:11	2	40	34.8	33.9	54.0	20.1	SI	27.6 - 30.1
17	05-02-2021	7:23:46	1	26	37.7	37.5	65.4	27.9	SI	33.5 - 32.0
18	05-02-2021	7:24:16	2	35	35.9	35.4	53.9	18.5	SI	32.5 - 33.3
19	05-02-2021	7:29:14	2	26	31.0	32.7	54.7	22.0	NO	23.9 - 22.3

N° Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	Leq (1 seg.) (dBA)	LAmx (slow) (dBA)	LCmax (slow) (dBA)	LCmax - LAmx (dBA)	Influencia RF	RF Antes - Después de la circulación (Leq 1 seg.) (dBA)
20	05-02-2021	7:33:34	1	34	33.1	32.7	57.9	25.2	SI	33.3 - 23.9
21	05-02-2021	7:38:16	1	27	43.8	42.3	62.1	19.8	SI	31.2 - 40.7
22	05-02-2021	8:01:51	2	41	31.8	31.1	52.9	21.8	NO	25.5 - 25.2
23	05-02-2021	8:54:32	1	23	41.4	42.2	60.1	17.9	SI	30.2 - 31.4
24	05-02-2021	8:59:27	2	34	35.0	34.8	57.6	22.8	SI	31.8 - 29.2
25	05-02-2021	9:04:08	1	28	35.5	35.2	60.0	24.8	SI	35.4 - 31.7

De los datos presentados es posible apreciar que la diferencia entre los descriptores LCmax – LAmx ≥ 15 dB en todas las circulaciones consideradas para evaluación, lo cual es indicio que las mediciones están correctamente asociadas a ruido inducido.

A continuación, se entregan los niveles de velocidad de vibración mecánica RMS 1 segundo medidos en horario diurno en paralelo en los 3 ejes de medición (N-S, E-O, U-D), con objeto de identificar el eje con mayor nivel, el cual es utilizado para la predicción. Se presenta también el nivel de ruido inducido (GBN) (dBA) proyectado en cada eje a partir de los niveles de vibración mecánica, para aquellas circulaciones de tren influenciadas por el ruido de fondo. En Anexo 10.4 se presentan los espectros de vibración medido para cada circulación.

Tabla 10. Niveles medidos y proyectados para cada circulación de tren influenciada en horario Diurno.

N° Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	RMS 1 seg. (dBv) Eje N-S	RMS 1 seg. (dBv) Eje E-O	RMS 1 seg. (dBv) Eje U-D	Nivel Proyectado (dBA) Eje N-S	Nivel Proyectado (dBA) Eje E-O	Nivel Proyectado (dBA) Eje U-D
5	04-02-2021	20:03:34	1	28	51.4	46.3	60.1	16.1	16.7	28.4
9	04-02-2021	21:00:32	2	31	50.0	48.5	58.5	16.5	19.8	27.5
10	04-02-2021	21:16:46	1	41	50.9	48.8	60.4	17.3	17.8	28.4
12	04-02-2021	21:27:11	2	28	50.6	50.6	61.9	18.7	19.5	28.6
15	05-02-2021	7:13:48	1	40	53.7	54.7	64.7	12.4	13.8	30.6
16	05-02-2021	7:19:11	2	40	48.4	49.0	64.6	17	20.5	33.4
17	05-02-2021	7:23:46	1	26	56.5	58.0	65.6	20	21	30.5
18	05-02-2021	7:24:16	2	35	49.6	48.1	62.0	16.5	20.1	31.7
20	05-02-2021	7:33:34	1	34	51.2	48.7	59.8	17.6	19.7	28.2
21	05-02-2021	7:38:16	1	27	54.0	51.7	65.7	18.4	19.0	29.8
23	05-02-2021	8:54:32	1	23	55.6	53.7	64.6	18.5	21.0	30.6
24	05-02-2021	8:59:27	2	34	54.8	55.2	65.4	12	20.0	30.8
25	05-02-2021	9:04:08	1	28	50.0	51.2	62.0	14.8	18.6	28.2

De la tabla anterior es posible apreciar que los mayores niveles vibratorios para este recinto se generan en el eje vertical (U-D).

A continuación, se presenta una tabla resumen con los niveles de ruido inducido (GBN) medidos de forma directa mediante el sonómetro para cada circulación de tren durante el período nocturno.

Similar al caso anterior, el nivel LAmax (slow) corresponde al máximo registrado durante la circulación del tren. Asimismo, en caso de que la medición se vea influenciada por el nivel de ruido de fondo se procedió a estimar el nivel de ruido inducido a través de los niveles de vibración mecánica del eje de mayor valor mediante metodología FTA.

Tabla 11. Niveles obtenidos para cada circulación de tren en horario Nocturno.

N° Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	Leq 1 seg. (dBA)	LAmax (slow) (dBA)	LCmax (slow) (dBA)	LCmax – LAmax (dBA)	Influencia RF	RF Antes – Después de la circulación (Leq 1 seg.) (dBA)
1	05-02-2021	5:14:56	2	23	26.5	26.8	53.2	26.4	NO	21.4 - 18.7
2	05-02-2021	5:18:21	1	37	24.2	24.6	49.5	24.9	NO	18.6 - 15.5
3	05-02-2021	5:23:01	1	32	23.0	23.6	41.7	18.1	NO	14.2 - 15.9
4	05-02-2021	5:27:36	1	27	26.4	26.5	53.5	27.0	NO	22.1 - 17.5
5	05-02-2021	5:28:20	2	32	23.8	24.0	46.2	22.2	NO	9.9 - 16.3
6	05-02-2021	5:32:16	1	30	24.9	25.0	50.9	25.9	NO	20.3 - 13.5
7	05-02-2021	5:33:01	2	27	31.3	32.8	53.3	20.5	SI	16.6 - 20.3
8	05-02-2021	5:35:53	1	31	24.0	24.1	49.2	25.1	NO	17.4 - 14.6
9	05-02-2021	5:41:32	1	39	27.1	27.0	54.8	27.8	NO	22.1 - 15.7
10	05-02-2021	5:42:21	2	31	33.1	32.1	50.3	18.2	NO	9.0 - 17.0
11	05-02-2021	5:46:46	1	33	24.1	24.1	49.7	25.6	NO	18.2 - 12.2
12	05-02-2021	5:47:01	2	39	25.9	26.7	52.4	25.7	NO	19.0 - 17.9
13	05-02-2021	5:56:46	2	24	32.1	31.1	53.5	22.4	NO	13.9 - 13.5
14	05-02-2021	5:57:48	1	40	24.2	25.0	50.6	25.6	NO	19.1 - 13.6
15	05-02-2021	6:13:31	2	26	27.2	28.6	49.5	20.9	NO	11.4 - 13.2
16	05-02-2021	6:18:12	2	21	35.3	34.1	56.3	22.2	SI	9.4 - 9.7
17	05-02-2021	6:22:52	2	41	31.1	33.6	61.0	27.4	SI	25.5 - 18.1
18	05-02-2021	6:26:52	1	23	32.2	32.1	53.9	21.8	NO	13.3 - 10.1
19	05-02-2021	6:27:32	2	34	26.0	26.6	54.6	28.0	NO	18.4 - 17.9
20	05-02-2021	6:41:05	1	32	31.0	31.7	58.8	27.1	NO	22.1 - 13.5

De los datos presentados es posible apreciar que la diferencia entre los descriptores LCmax – LAmax ≥ 15 dB en todas las circulaciones consideradas para evaluación, lo cual es indicio que las mediciones están correctamente asociadas a ruido inducido.

A continuación, se entregan los niveles de velocidad de vibración mecánica RMS 1 segundo medidos en horario nocturno en paralelo en los 3 ejes de medición (N-S, E-O, U-D), con objeto de identificar el eje con mayor nivel, el cual es utilizado para la predicción. Se presenta también el nivel de ruido inducido (GBN) (dBA) proyectado en cada eje a partir de los niveles de vibración mecánica, para aquellas circulaciones de tren influenciadas por el ruido de fondo. En Anexo 10.4 se presentan los espectros de vibración medido para cada circulación.

Tabla 12. Niveles obtenidos para cada circulación de tren en horario Nocturno.

N° Circulación	Fecha	Hora	Vía	Tren	RMS 1 seg. (dBv) Eje N-S	RMS 1 seg. (dBv) Eje E-O	RMS 1 seg. (dBv) Eje U-D	Nivel Proyectado (dBA) Eje N-S	Nivel Proyectado (dBA) Eje E-O	Nivel Proyectado (dBA) Eje U-D
7	05-02-2021	5:33:01	2	27	51.9	50	64.5	18.4	19.8	33.8
16	05-02-2021	6:18:12	2	21	54.3	57.8	68.5	20.1	21.6	33.5
17	05-02-2021	6:22:52	2	41	48.6	49.4	59.4	19.3	20.5	28.7

De la tabla anterior es posible apreciar que los mayores niveles vibratorios para este recinto se generan en el eje vertical (U-D).

Al momento de identificar una circulación de tren, se analiza gráficamente los descriptores medidos distinguiendo los niveles asociados a una circulación de tren de los niveles del ruido de fondo. De forma paralela se analiza auditivamente los audios de las circulaciones, diferenciando la contribución de una circulación de tren y la presencia de fuentes externas.

En la siguiente tabla se muestran las circulaciones de tren asociadas a los bloques horarios que presenta Metro de Santiago en día hábil, existiendo al menos 5 mediciones en cada bloque horario.

Tabla 13. Circulaciones asociadas a los bloques horarios de Metro de Santiago.

Periodo de medición FTA	Bloque horario Metro	N° circulación	Fecha	Hora	Vía	N° Tren
Diurno (07:00 a 22:00 hrs)	Bajo (20:45 hrs a cierre)	9	04-02-2021	21:00:32	2	31
		10	04-02-2021	21:16:46	1	41
		11	04-02-2021	21:20:31	2	41
		12	04-02-2021	21:27:11	2	28
		13	04-02-2021	21:40:45	1	23
	Punta (07:00 a 09:00 hrs y 18:00 a 20:00 hrs)	1	04-02-2021	18:05:36	2	30
		2	04-02-2021	18:15:05	1	31
		3	04-02-2021	18:15:33	2	24
		4	04-02-2021	19:05:07	1	21
		14	05-02-2021	7:09:06	1	24

Periodo de medición FTA	Bloque horario Metro	N° circulación	Fecha	Hora	Vía	N° Tren
		15	05-02-2021	7:13:48	1	40
		16	05-02-2021	7:19:11	2	40
		17	05-02-2021	7:23:46	1	26
		18	05-02-2021	7:24:16	2	35
		19	05-02-2021	7:29:14	2	26
		20	05-02-2021	7:33:34	1	34
		21	05-02-2021	7:38:16	1	27
		22	05-02-2021	8:01:51	2	41
		23	05-02-2021	8:54:32	1	23
		24	05-02-2021	8:59:27	2	34
	Valle (09:00 a 18:00 hrs y 20:00 a 20:45 hrs)	5	04-02-2021	20:03:34	1	28
		6	04-02-2021	20:10:13	1	34
		7	04-02-2021	20:23:31	1	21
		8	04-02-2021	20:27:16	2	21
Nocturno (22:00 a 07:00 hrs)	Fuera horario explotación comercial (05:00 - 06:00)	25	05-02-2021	9:04:08	1	28
		1	05-02-2021	5:14:56	2	23
		2	05-02-2021	5:18:21	1	37
		3	05-02-2021	5:23:01	1	32
		4	05-02-2021	5:27:36	1	27
		5	05-02-2021	5:28:20	2	32
		6	05-02-2021	5:32:16	1	30
		7	05-02-2021	5:33:01	2	27
		8	05-02-2021	5:35:53	1	31
		9	05-02-2021	5:41:32	1	39
		10	05-02-2021	5:42:21	2	31
		11	05-02-2021	5:46:46	1	33
		12	05-02-2021	5:47:01	2	39
		13	05-02-2021	5:56:46	2	24
	14	05-02-2021	5:57:48	1	40	
	Bajo (06:00 a 07:00 hrs)	15	05-02-2021	6:13:31	2	26
		16	05-02-2021	6:18:12	2	21
		17	05-02-2021	6:22:52	2	41
		18	05-02-2021	6:26:52	1	23
		19	05-02-2021	6:27:32	2	34
20		05-02-2021	6:41:05	1	32	

7.3 DETALLE DE CIRCULACIÓN DE TRENES HORARIO DIURNO

Se presentan a continuación el detalle de los niveles de ruido inducido para cada circulación de tren, mediante el descriptor LAmax (slow) y el gráfico de envolvente respectivo, a modo de evidenciar el nivel máximo en dBA para período diurno.

Se presenta en los gráficos siguientes el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (LAeq 1 seg.) en color azul, el Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (LAmax) y respuesta lenta (slow) en color verde, y el Nivel de Presión Sonora con ponderación "A" de la frecuencia de 50 Hz u 80 Hz en color rojo, estas últimas a modo de referencia gráfica, ya que predominan en la circulación ferroviaria y permiten discriminar visualmente de manera clara la circulación de los trenes y la envolvente máxima alcanzada.

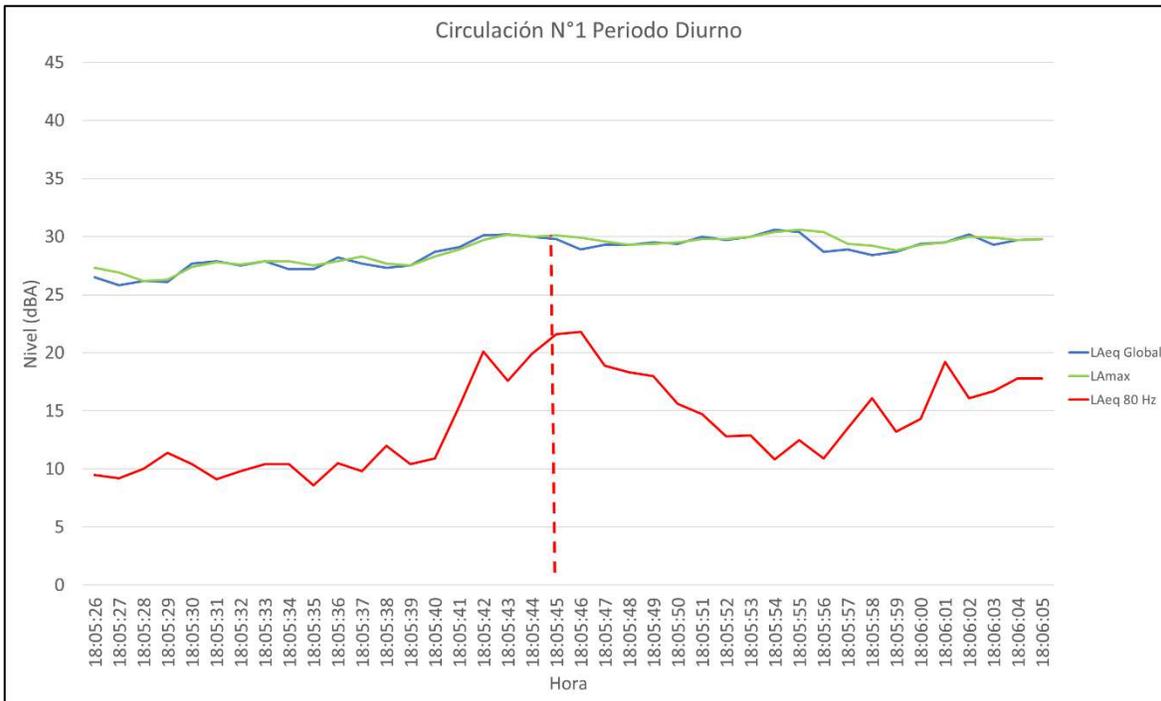
Para cada gráfico la línea punteada identifica el instante peak del nivel de ruido medido, asociado a la circulación del tren en su valor más alto del descriptor LAmax, lo anterior dentro de la campana de gauss que se forma e identifica en las frecuencias predominantes de 50 Hz u 80 Hz.

Cabe destacar que, para el período de medición diurno los niveles de ruido inducido registrados se ven afectados en gran medida por el tránsito vehicular.

A continuación, se grafican las 25 circulaciones en horario diurno utilizadas para el estudio:

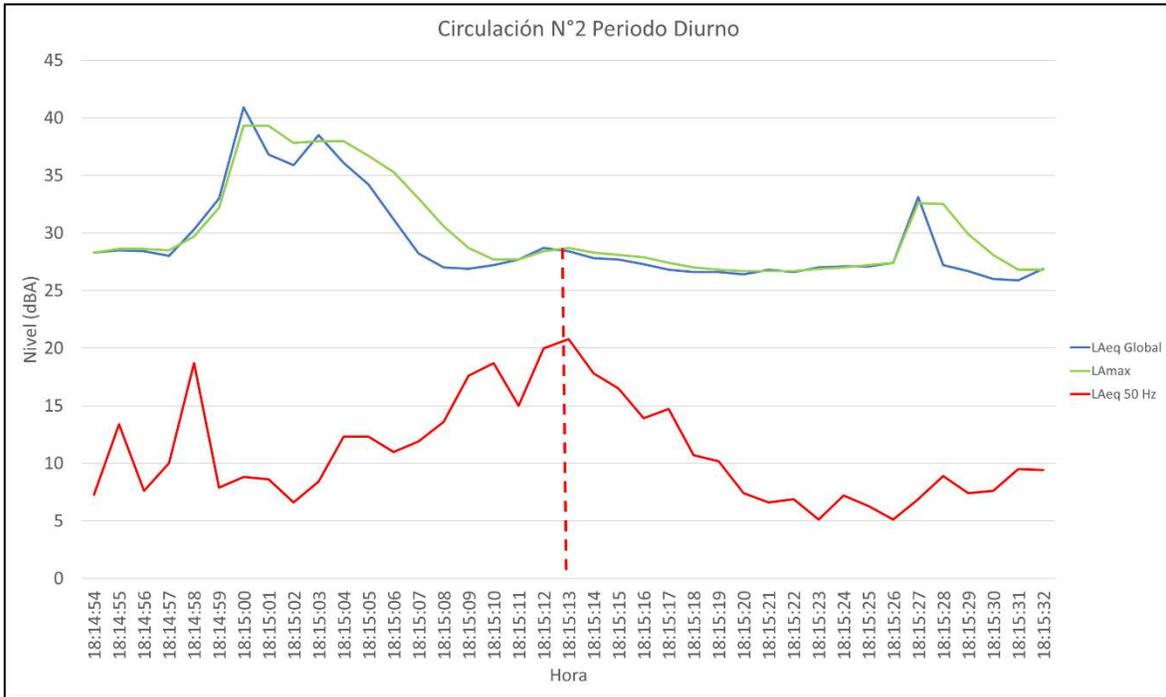
Circulación 1

Ilustración 15. Gráfico circulación N°1 de tren horario diurno.



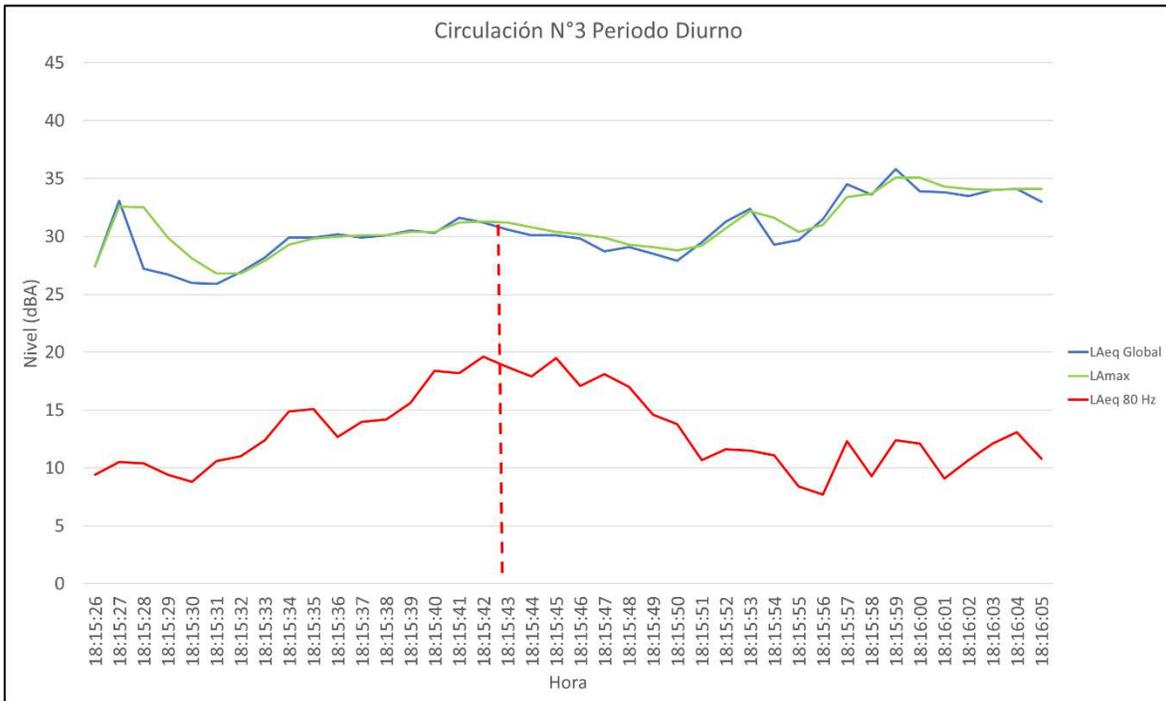
Circulación 2

Ilustración 16. Gráfico circulación N°2 de tren horario diurno.



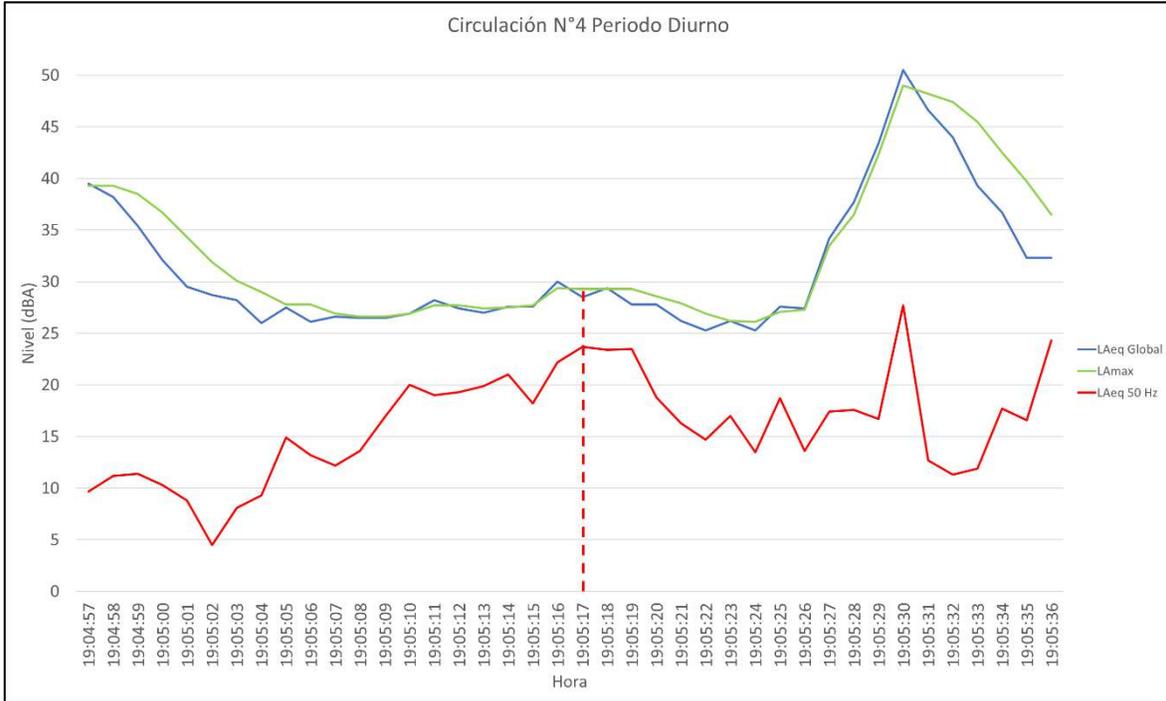
Circulación 3

Ilustración 17. Gráfico circulación N°3 de tren horario diurno.



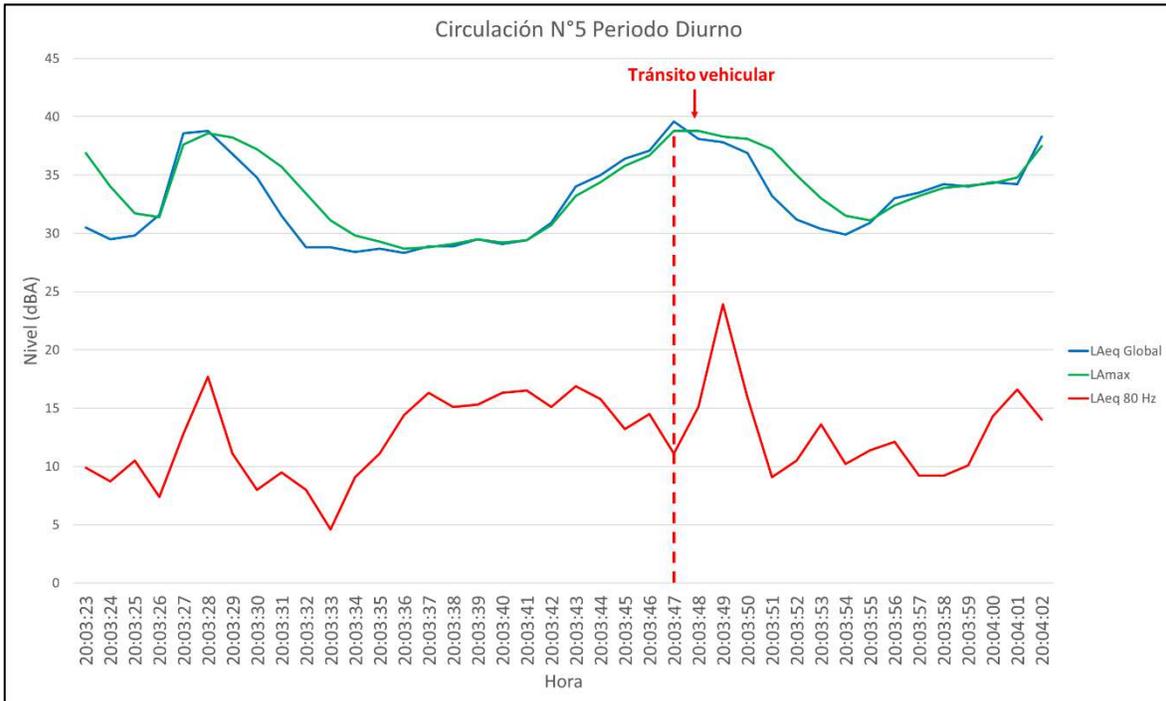
Circulación 4

Ilustración 18. Gráfico circulación N°4 de tren horario diurno.



Circulación 5

Ilustración 19. Gráfico circulación N°5 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 28.4 dBA.

Ilustración 20. Gráfico de velocidad de vibración obtenido en el eje vertical para la circulación N°5 diurno.

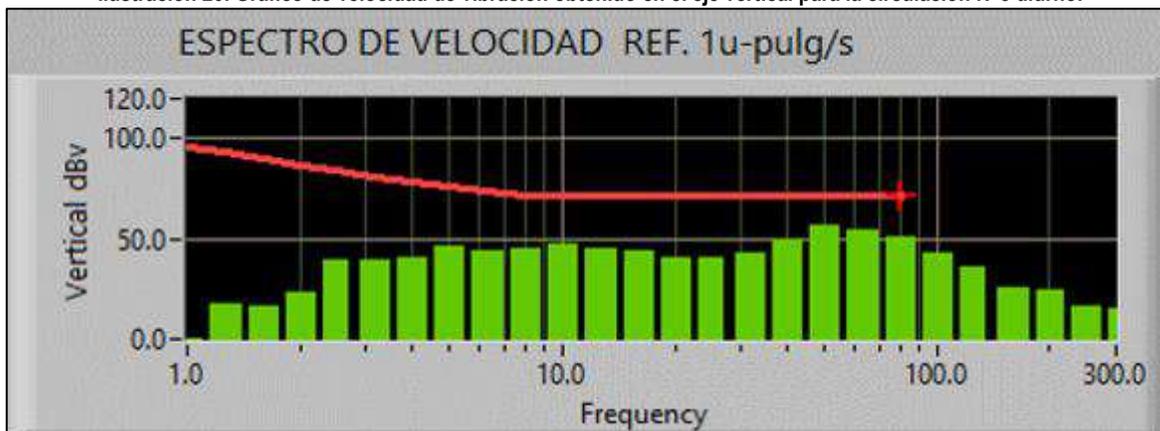
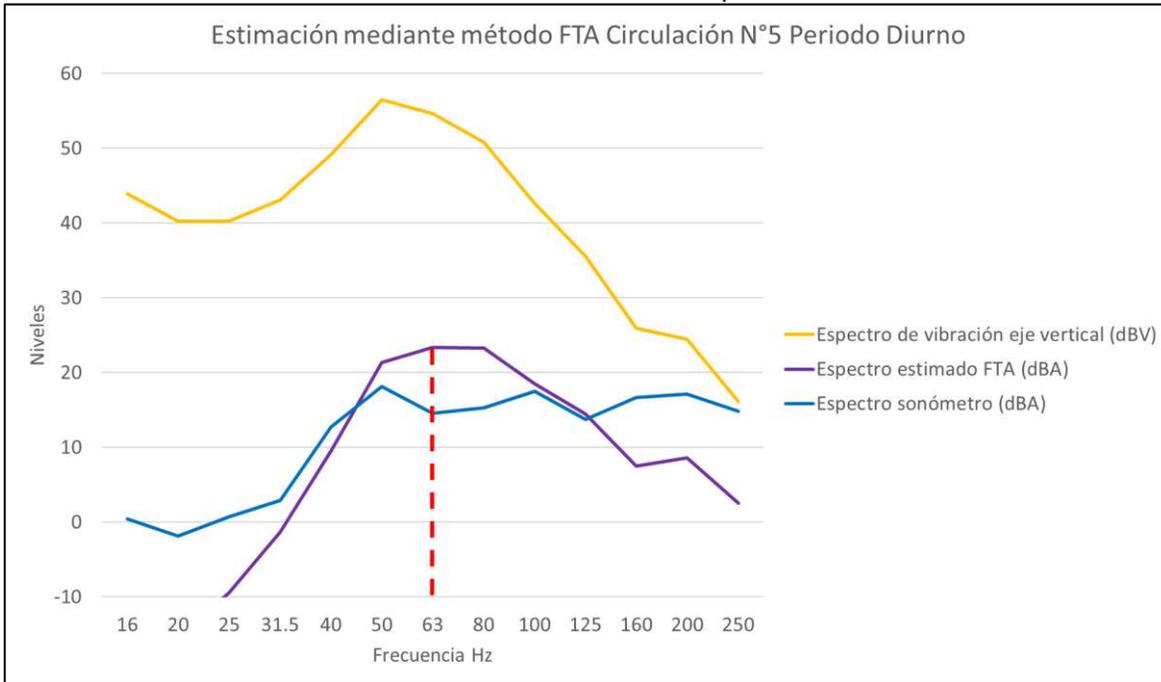


Tabla 14. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°5 diurno.

Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	43.9	40.2	40.2	43.1	49.1	56.5	54.6	50.8	42.6	35.6	25.9	24.5	16.1
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-12.8	-10.3	-4.5	3.7	14.5	26.3	28.4	28.3	23.5	19.5	12.5	13.6	7.5
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-17.8	-15.3	-9.5	-1.3	9.5	21.3	23.4	23.3	18.5	14.5	7.5	8.6	2.5
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-17.8	-15.3	-9.5	-1.3	9.5	21.3	23.4	23.3	18.5	14.5	7.5	8.6	2.5
Espectro medido con sonómetro (dBA)	0.4	-1.9	0.7	2.9	12.7	18.1	14.6	15.3	17.5	13.7	16.7	17.1	14.8
Valor global estimado según método FTA (dBA)	28.4												

Ilustración 21. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°5 diurno.



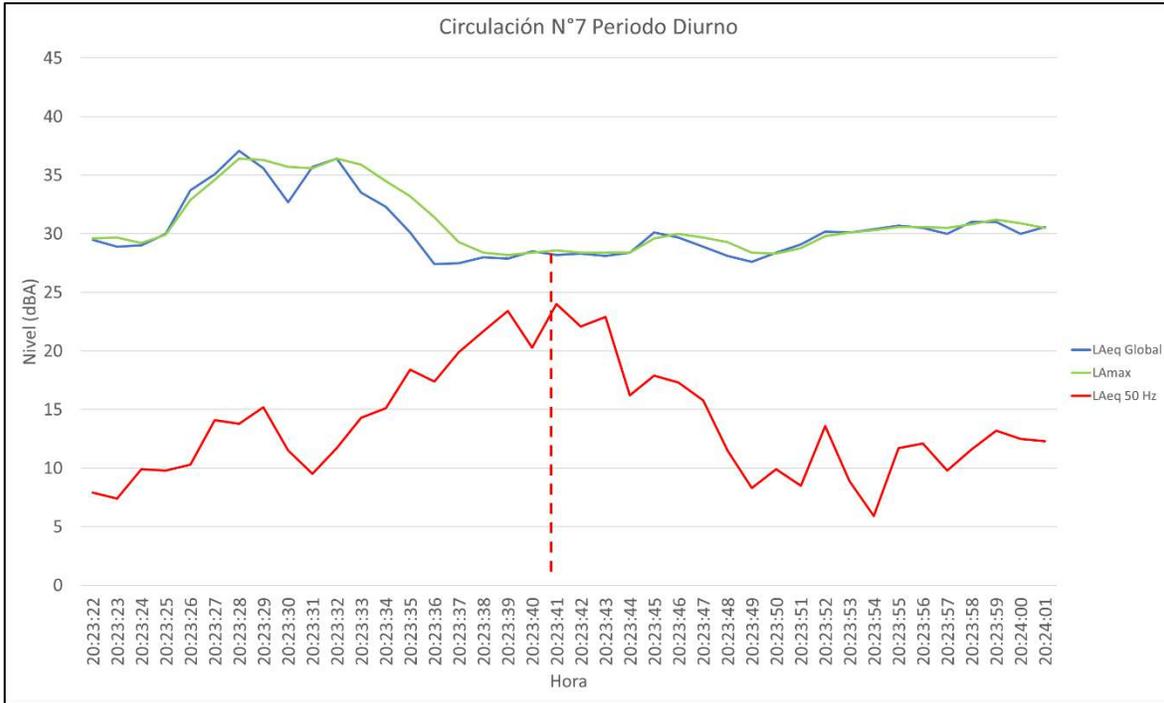
Circulación 6

Ilustración 22. Gráfico circulación N°6 de tren horario diurno.



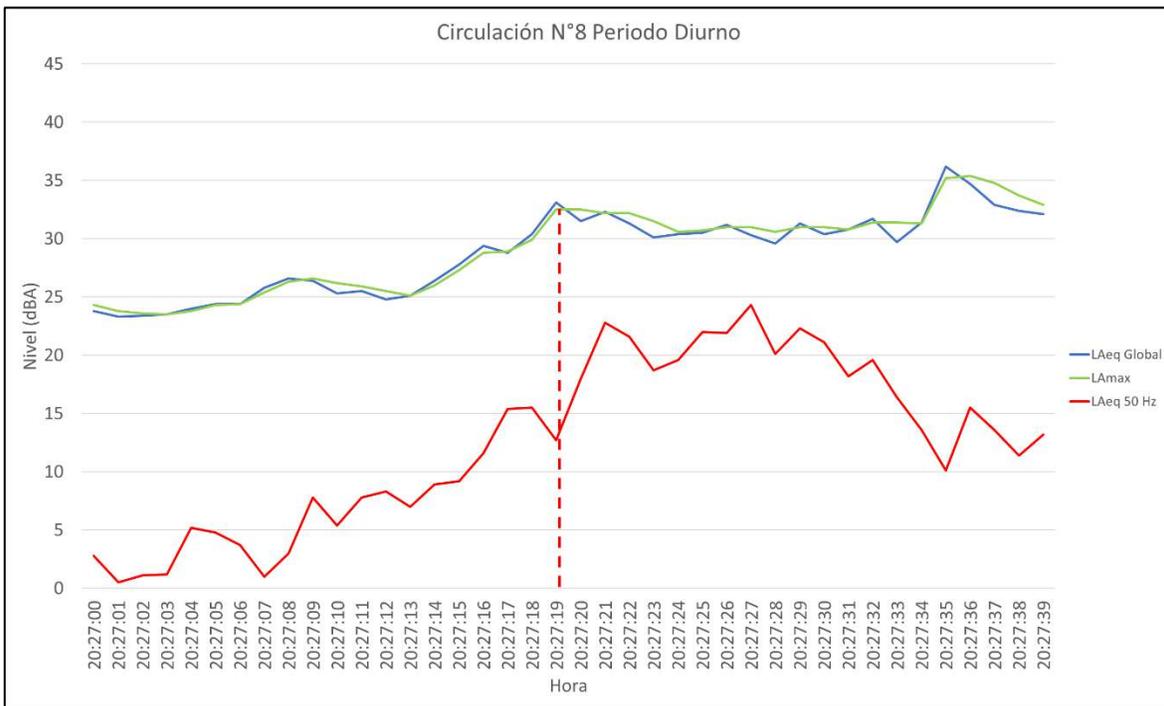
Circulación 7

Ilustración 23. Gráfico circulación N°7 de tren horario diurno.



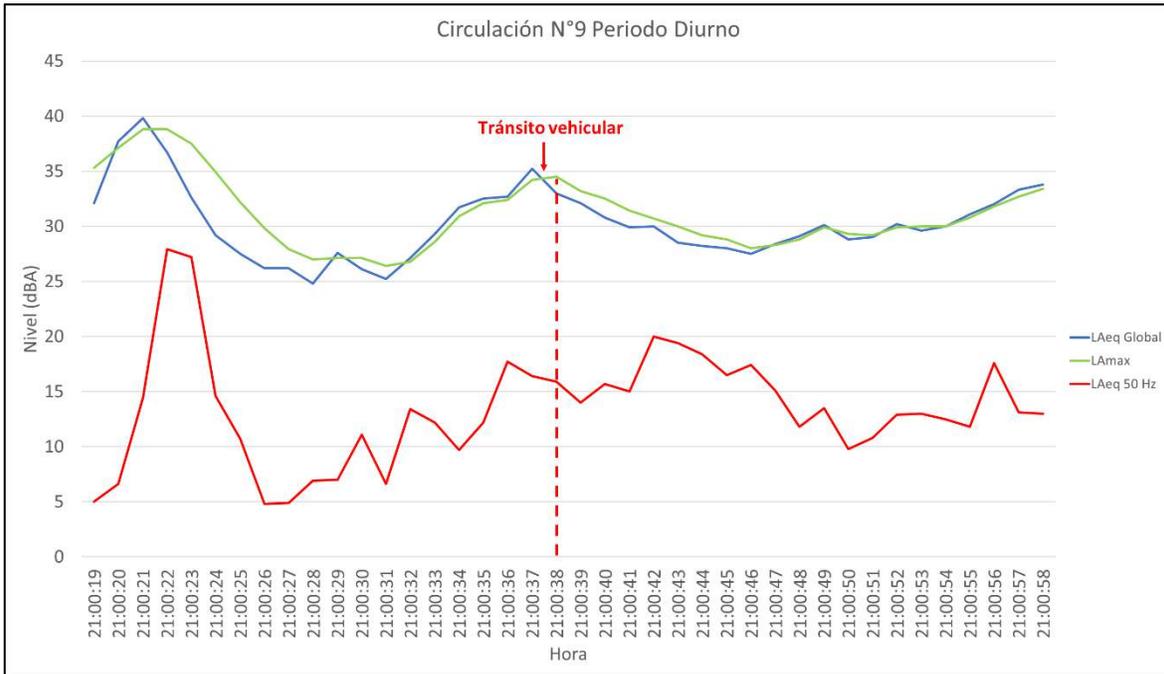
Circulación 8

Ilustración 24. Gráfico circulación N°8 de tren horario diurno.



Circulación 9

Ilustración 25. Gráfico circulación N°9 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 27.5 dBA.

Ilustración 26. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°9 diurno.

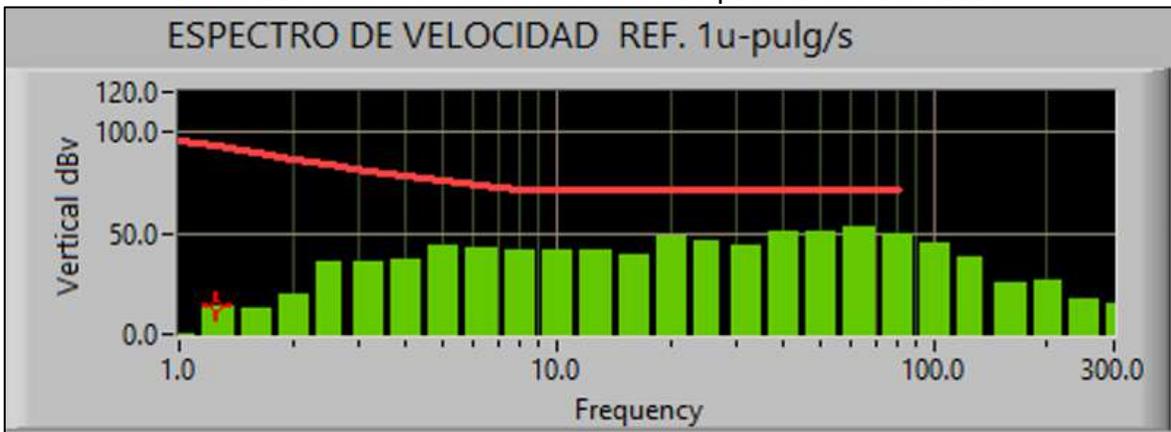
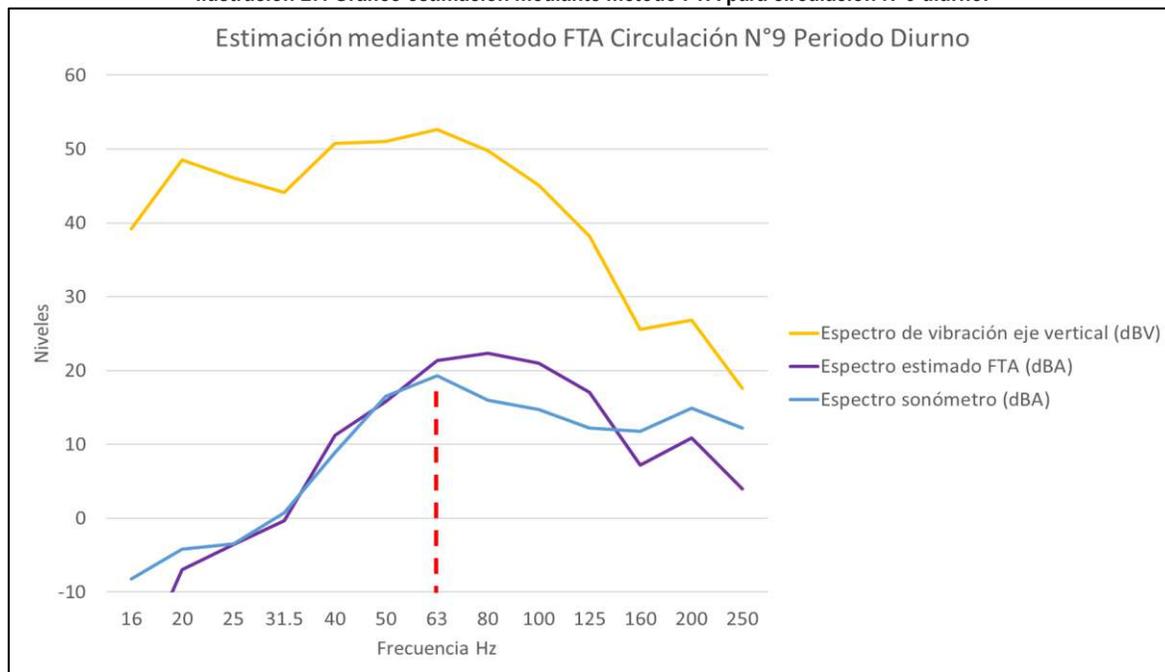


Tabla 15. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°9 diurno.

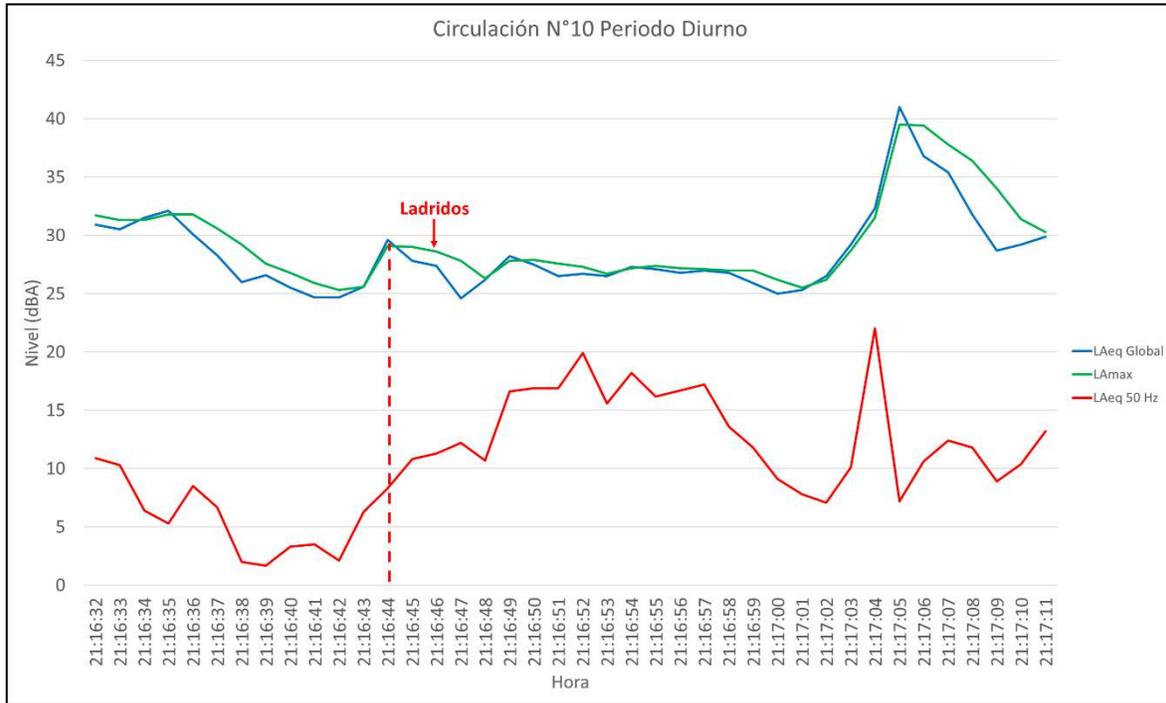
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	39.2	48.5	46.1	44.1	50.8	51	52.6	49.8	45.1	38.2	25.6	26.8	17.6
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-17.5	-2.0	1.4	4.7	16.2	20.8	26.4	27.3	26.0	22.1	12.2	15.9	9.0
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-22.5	-7.0	-3.6	-0.3	11.2	15.8	21.4	22.3	21.0	17.1	7.2	10.9	4.0
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-22.5	-7.0	-3.6	-0.3	11.2	15.8	21.4	22.3	21.0	17.1	7.2	10.9	4.0
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-8.2	-4.2	-3.5	0.7	8.9	16.5	19.3	16	14.7	12.2	11.8	14.9	12.2
Valor global estimado según método FTA (dBA)	27.5												

Ilustración 27. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°9 diurno.



Circulación 10

Ilustración 28. Gráfico circulación N°10 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado a animales, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 28.4 dBA.

Ilustración 29. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°10 diurno.

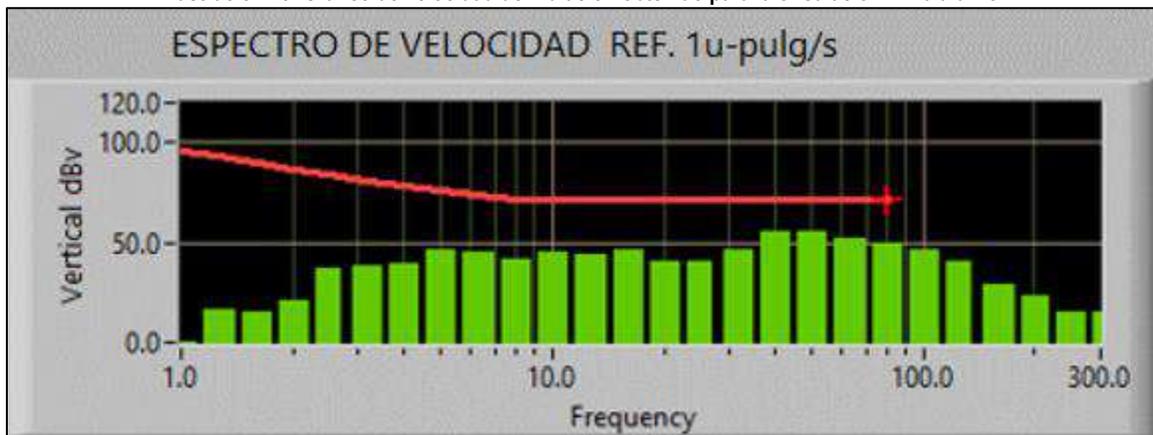
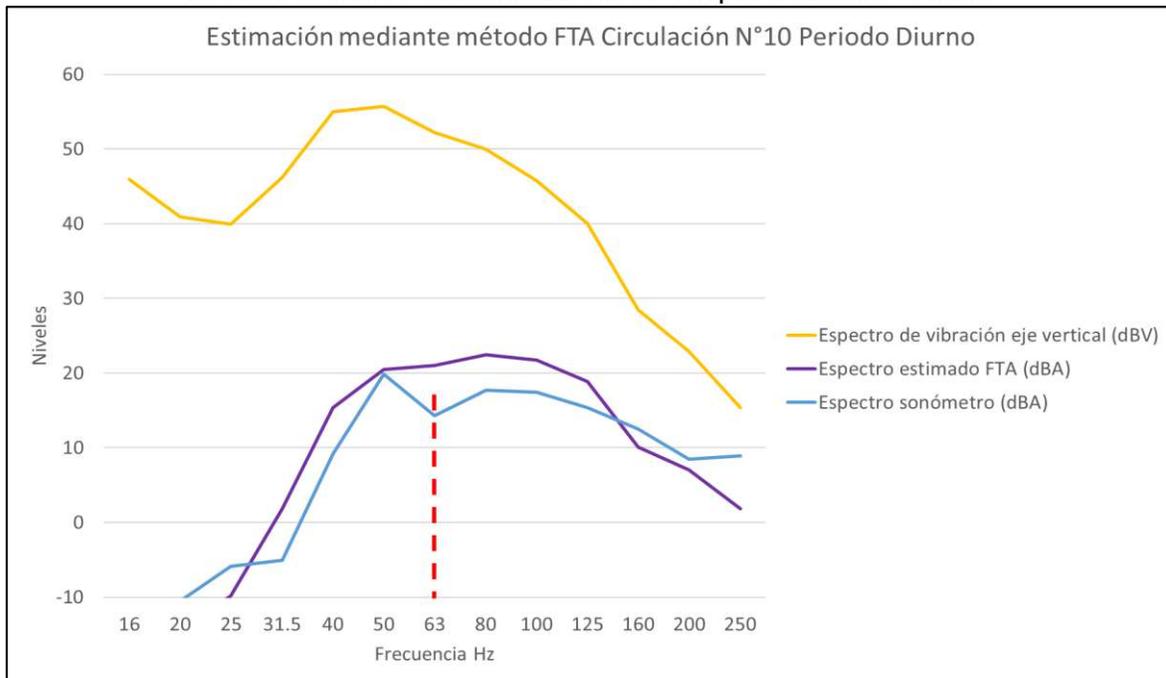


Tabla 16. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°10 diurno.

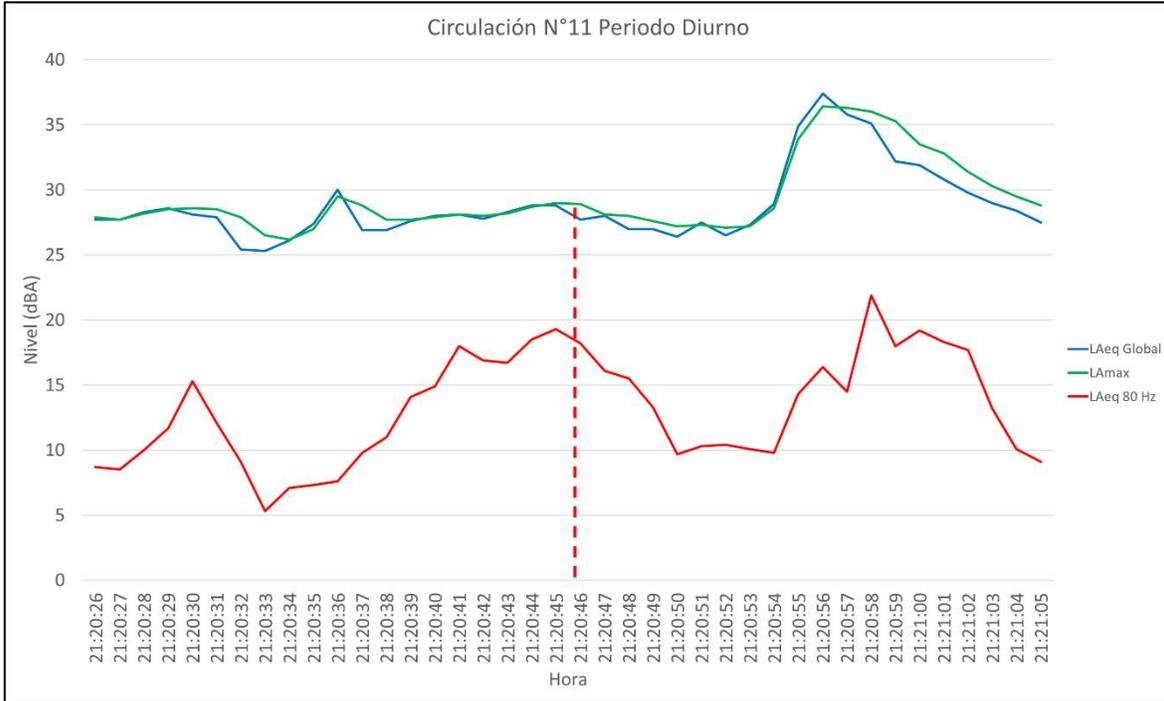
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	45.9	40.9	39.9	46.2	55	55.7	52.2	50	45.8	40	28.5	22.9	15.4
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-10.8	-9.6	-4.8	6.8	20.4	25.5	26.0	27.5	26.7	23.9	15.1	12.0	6.8
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-15.8	-14.6	-9.8	1.8	15.4	20.5	21.0	22.5	21.7	18.9	10.1	7.0	1.8
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-15.8	-14.6	-9.8	1.8	15.4	20.5	21.0	22.5	21.7	18.9	10.1	7.0	1.8
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-11	-10.5	-5.9	-5.1	9.2	19.9	14.3	17.7	17.4	15.4	12.5	8.5	8.9
Valor global estimado según método FTA (dBA)	28.4												

Ilustración 30. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°10 diurno.



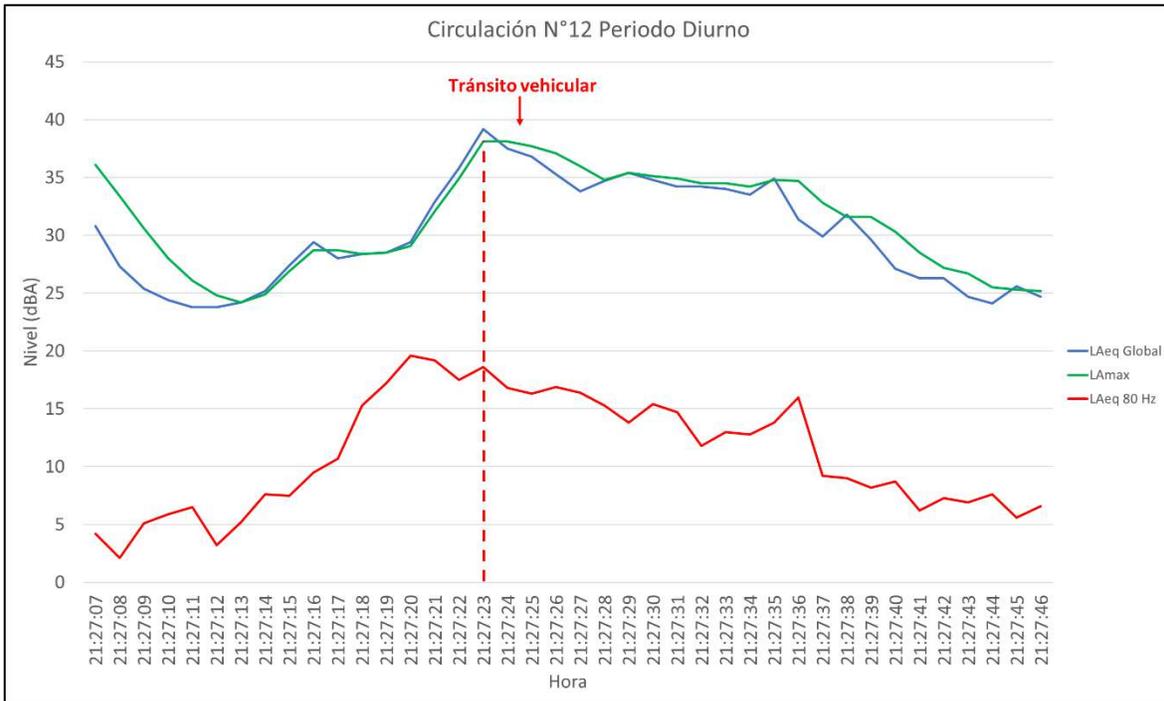
Circulación 11

Ilustración 31. Gráfico circulación N°11 de tren horario diurno.



Circulación 12

Ilustración 32. Gráfico circulación N°12 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 28.6 dBA.

Ilustración 33. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°12 diurno.

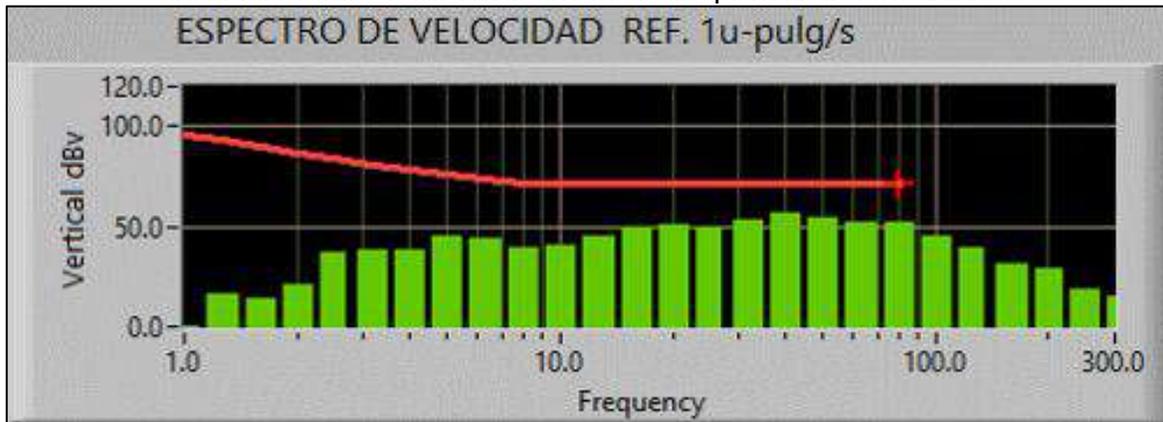
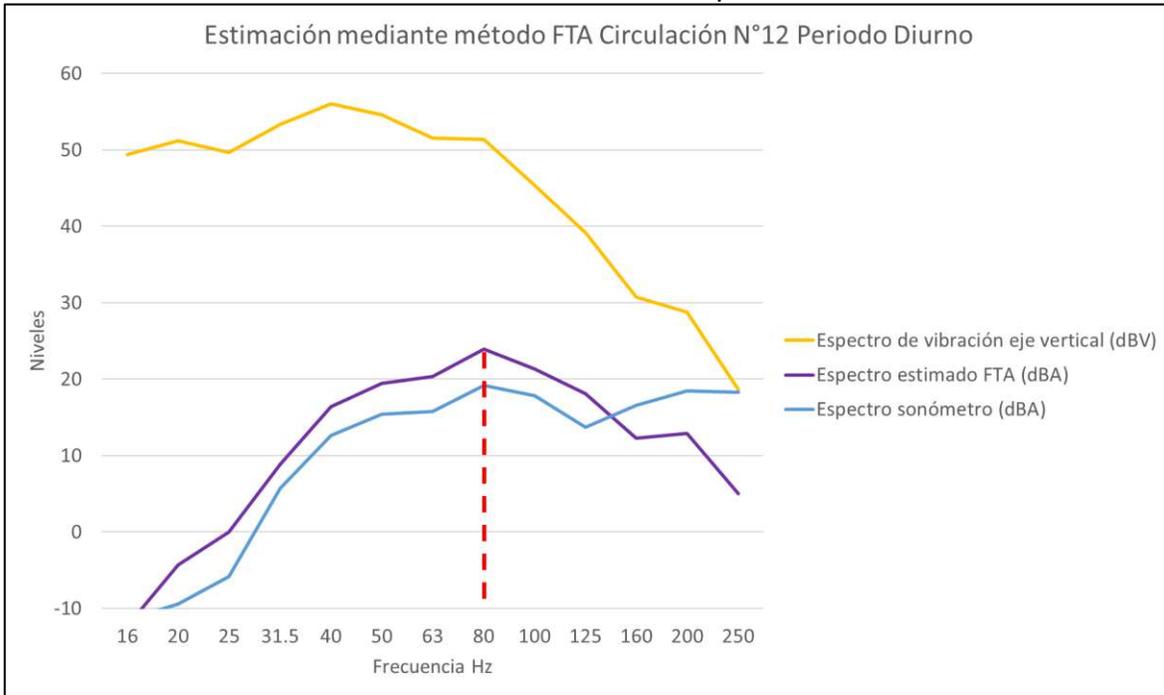


Tabla 17. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°12 diurno.

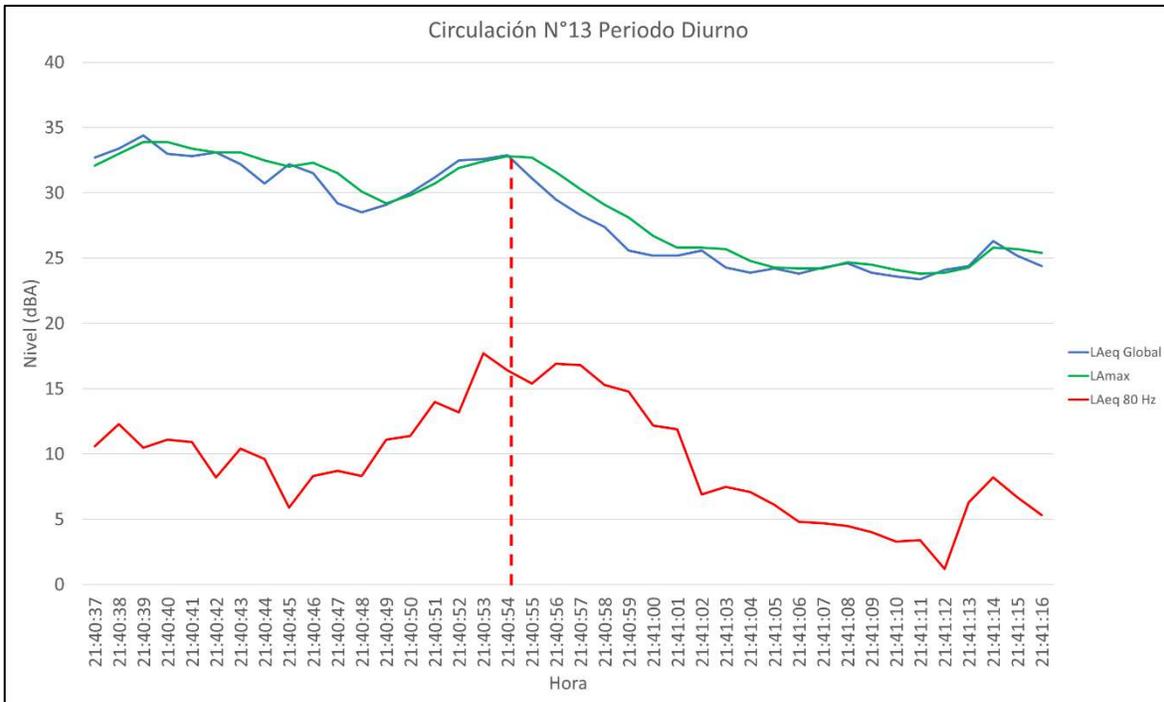
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	49.4	51.2	49.7	53.3	56	54.6	51.5	51.4	45.4	39.2	30.7	28.8	18.6
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-7.3	0.7	5.0	13.9	21.4	24.4	25.3	28.9	26.3	23.1	17.3	17.9	10.0
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-12.3	-4.3	0.0	8.9	16.4	19.4	20.3	23.9	21.3	18.1	12.3	12.9	5.0
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-12.3	-4.3	0.0	8.9	16.4	19.4	20.3	23.9	21.3	18.1	12.3	12.9	5.0
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-11.5	-9.4	-5.8	5.7	12.6	15.4	15.8	19.2	17.8	13.7	16.6	18.5	18.3
Valor global estimado según método FTA (dBA)	28.6												

Ilustración 34. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°12 diurno.



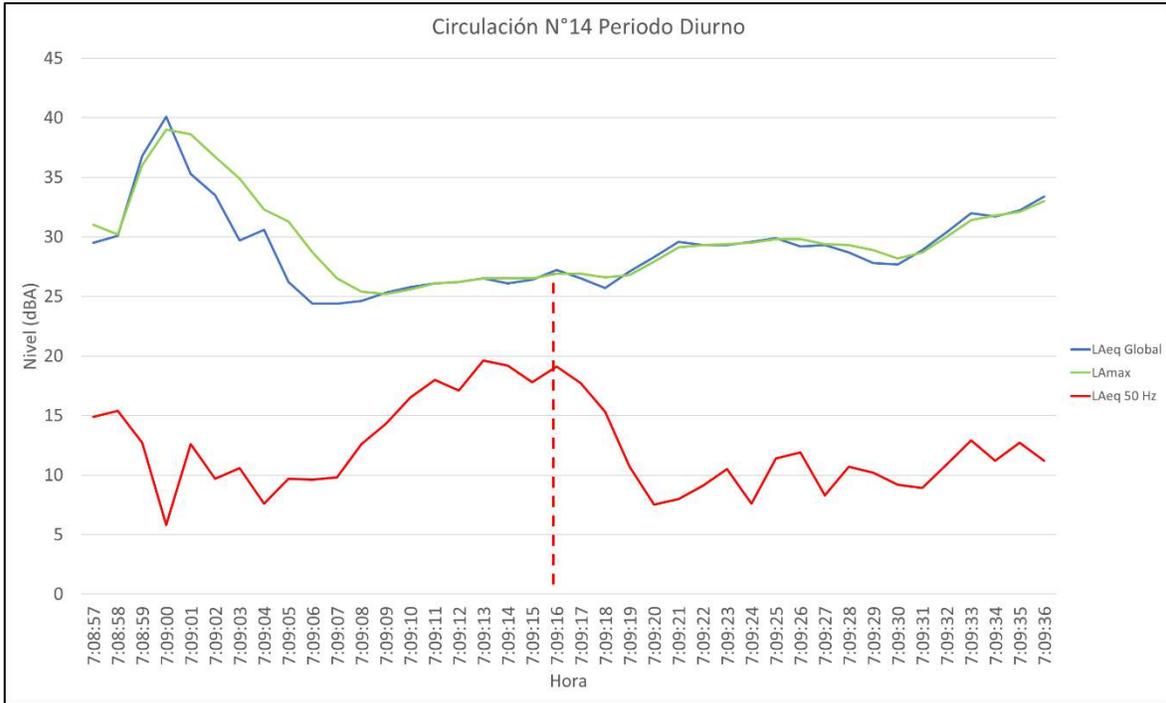
Circulación 13

Ilustración 35. Gráfico circulación N°13 de tren horario diurno.



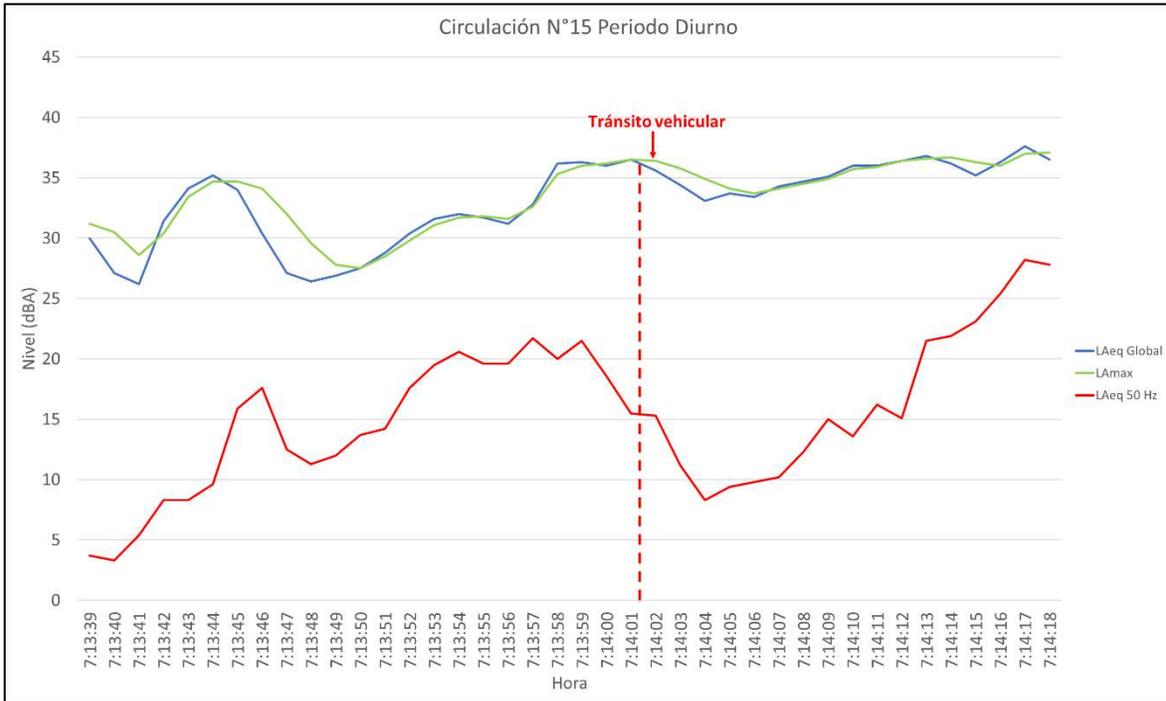
Circulación 14

Ilustración 36. Gráfico circulación N°14 de tren horario diurno.



Circulación 15

Ilustración 37. Gráfico circulación N°15 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 30.6 dBA.

Ilustración 38. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°15 de tren.

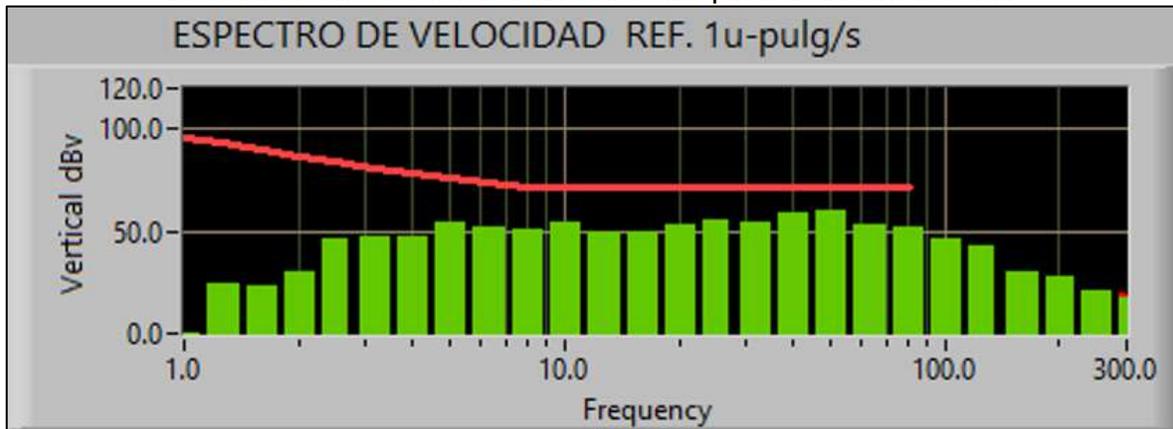
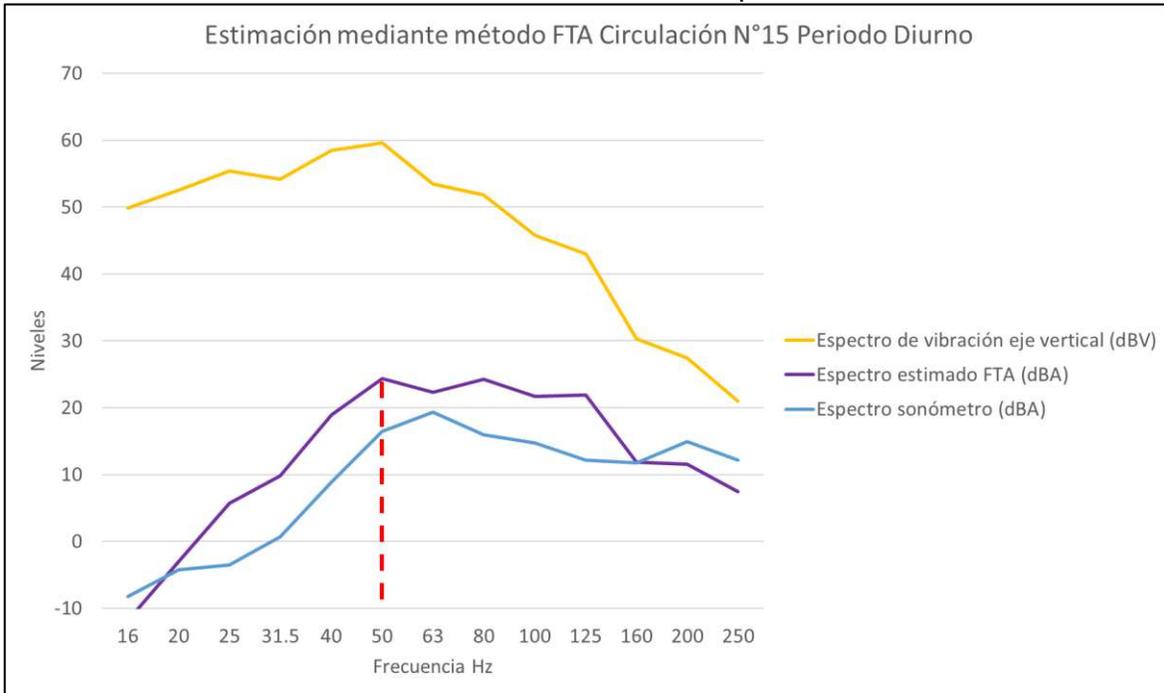


Tabla 18. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para la circulación N°15.

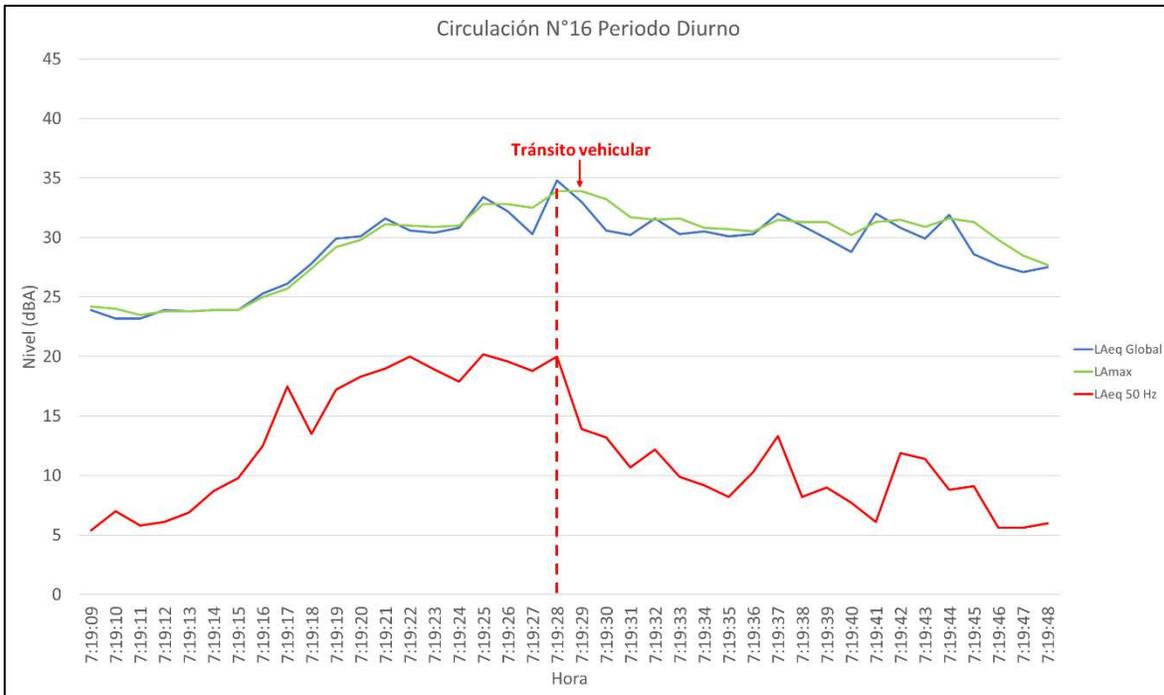
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	49.9	52.5	55.4	54.2	58.5	59.6	53.5	51.8	45.8	43	30.3	27.4	21
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-6.8	2.0	10.7	14.8	23.9	29.4	27.3	29.3	26.7	26.9	16.9	16.5	12.4
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-11.8	-3.0	5.7	9.8	18.9	24.4	22.3	24.3	21.7	21.9	11.9	11.5	7.4
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-11.8	-3.0	5.7	9.8	18.9	24.4	22.3	24.3	21.7	21.9	11.9	11.5	7.4
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-8.2	-4.2	-3.5	0.7	8.9	16.5	19.3	16	14.7	12.2	11.8	14.9	12.2
Valor global estimado según método FTA (dBA)	30.6												

Ilustración 39. Gráfico estimación mediante método FTA para la circulación N°15.



Circulación 16

Ilustración 40. Gráfico circulación N°16 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 33.4 dBA.

Ilustración 41. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°16 de tren.

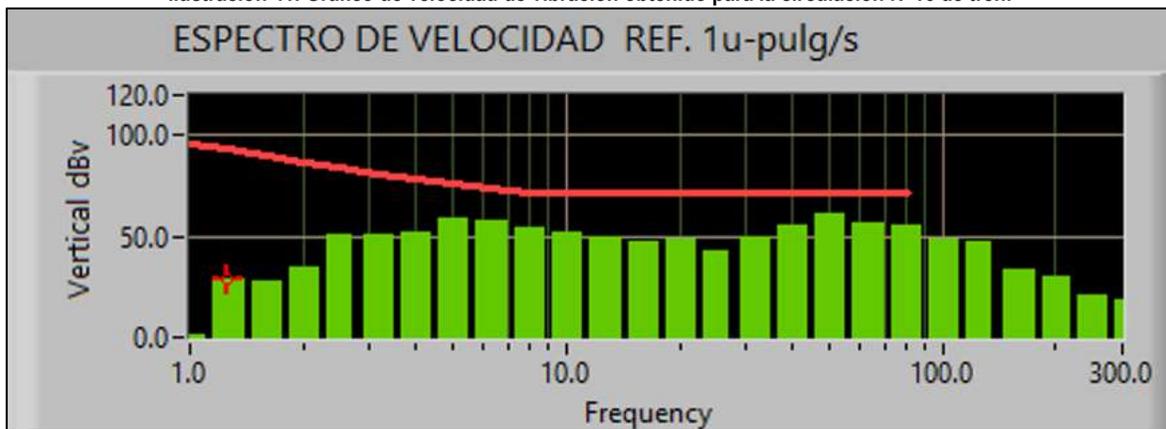
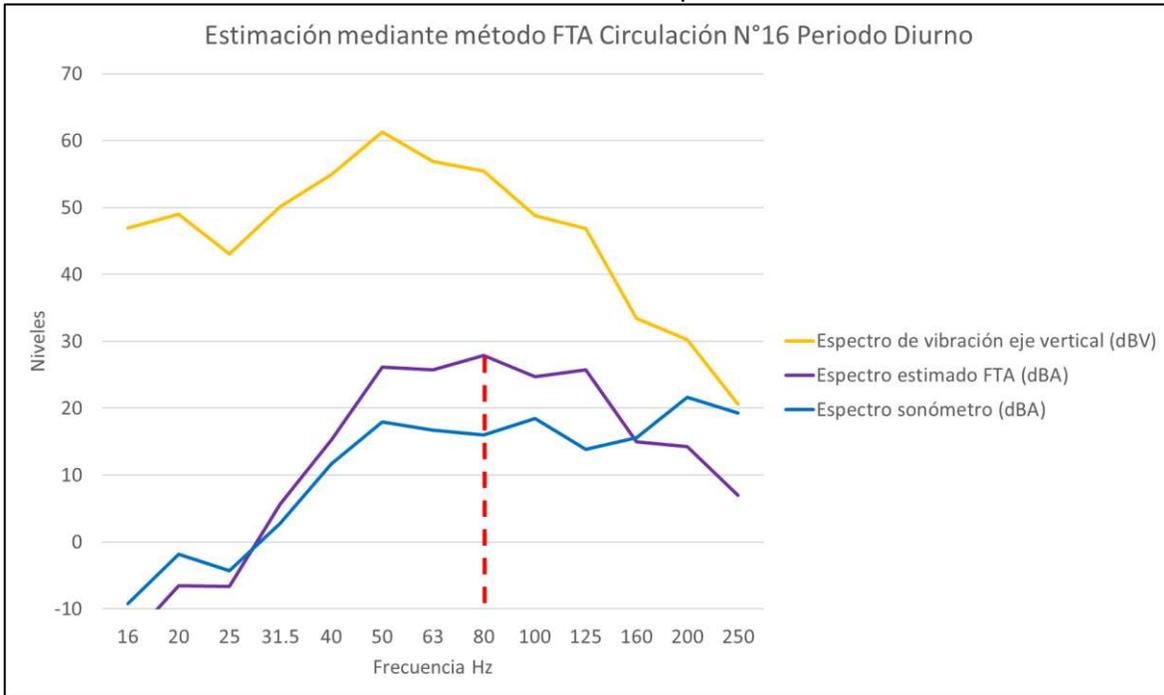


Tabla 19. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para la circulación N°16.

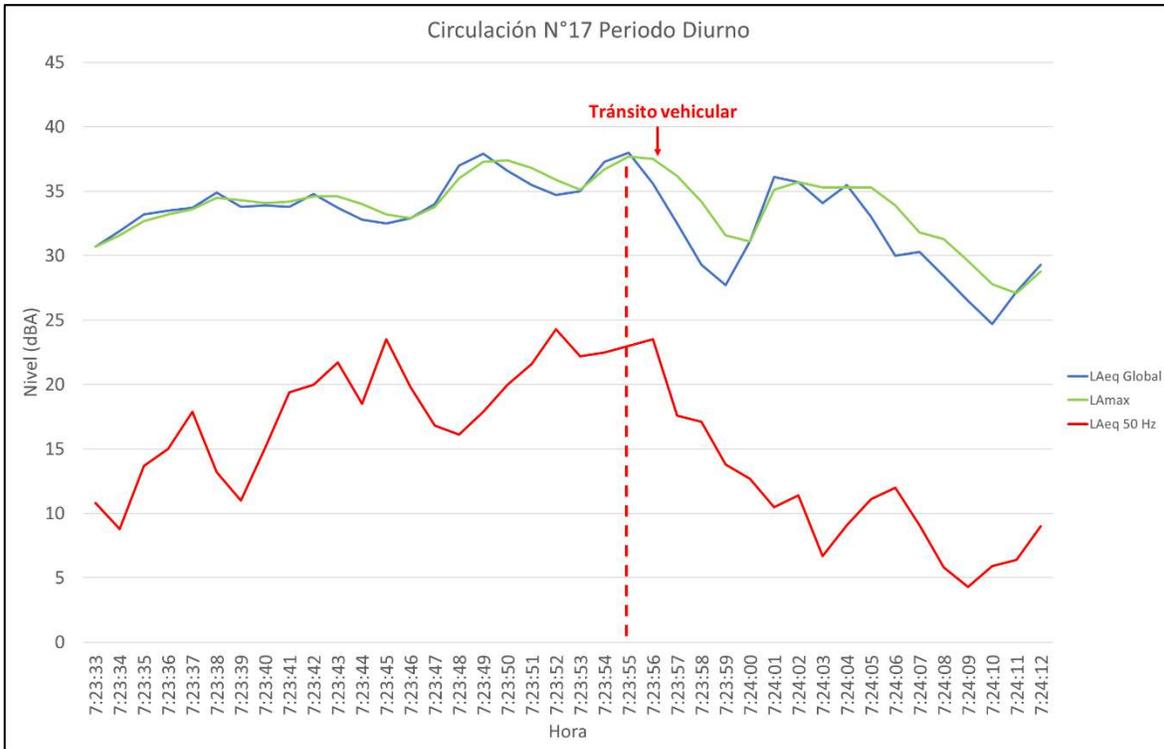
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	46.9	49	43.1	50.1	54.9	61.3	56.9	55.4	48.8	46.8	33.4	30.2	20.6
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-9.8	-1.5	-1.6	10.7	20.3	31.1	30.7	32.9	29.7	30.7	20.0	19.3	12.0
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-14.8	-6.5	-6.6	5.7	15.3	26.1	25.7	27.9	24.7	25.7	15.0	14.3	7.0
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-14.8	-6.5	-6.6	5.7	15.3	26.1	25.7	27.9	24.7	25.7	15.0	14.3	7.0
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-9.2	-1.8	-4.3	2.8	11.7	17.9	16.7	16	18.5	13.9	15.6	21.6	19.3
Valor global estimado según método FTA (dBA)	33.4												

Ilustración 42. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°16 horario diurno.



Circulación 17

Ilustración 43. Gráfico circulación N°17 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 30.5 dBA.

Ilustración 44. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°17 de tren horario diurno.

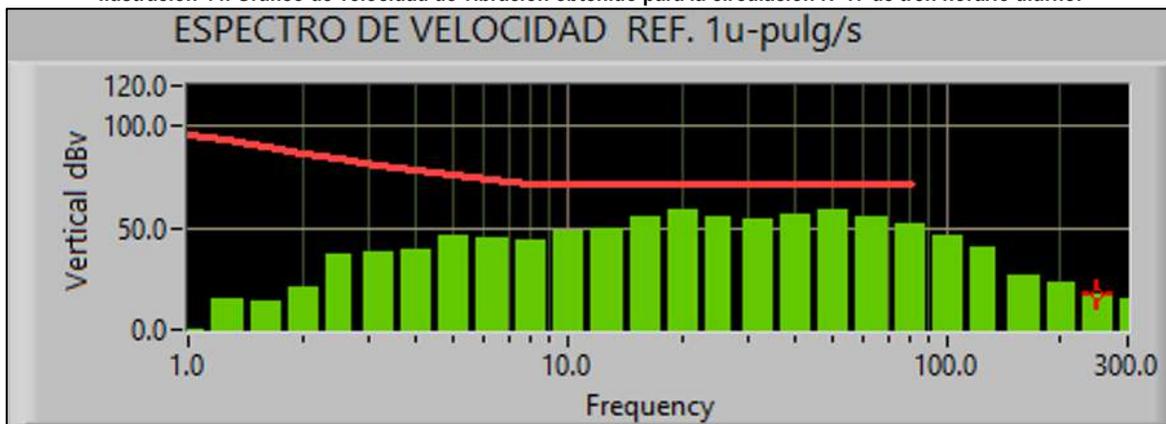
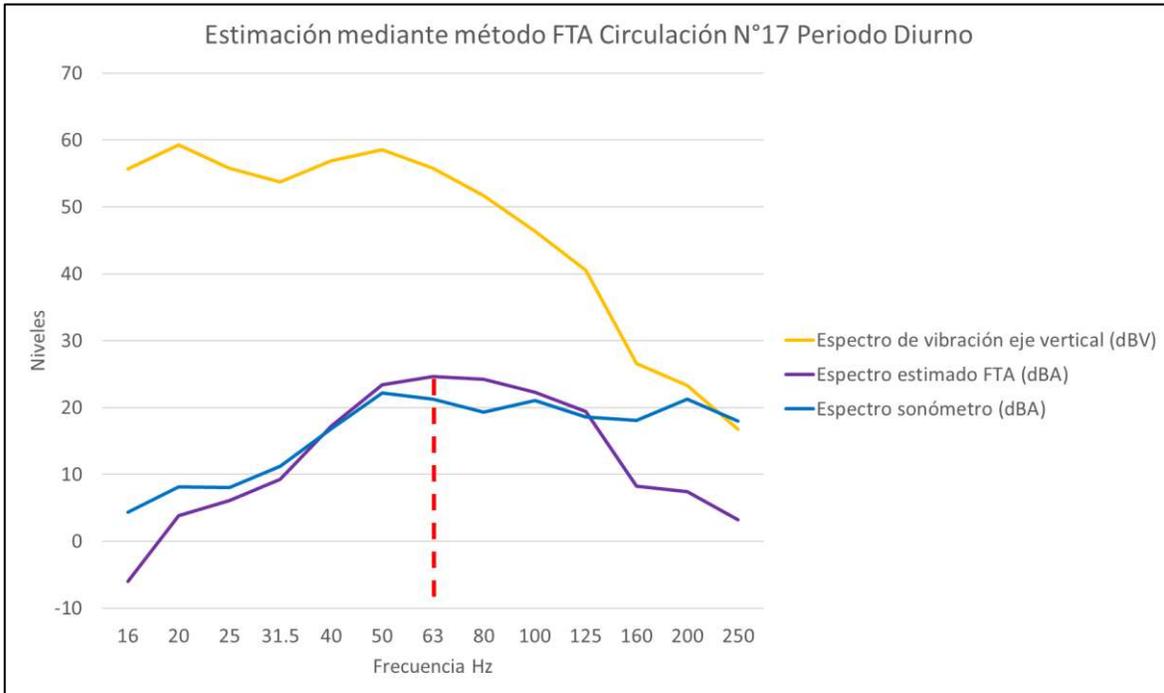


Tabla 20. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°17 diurno.

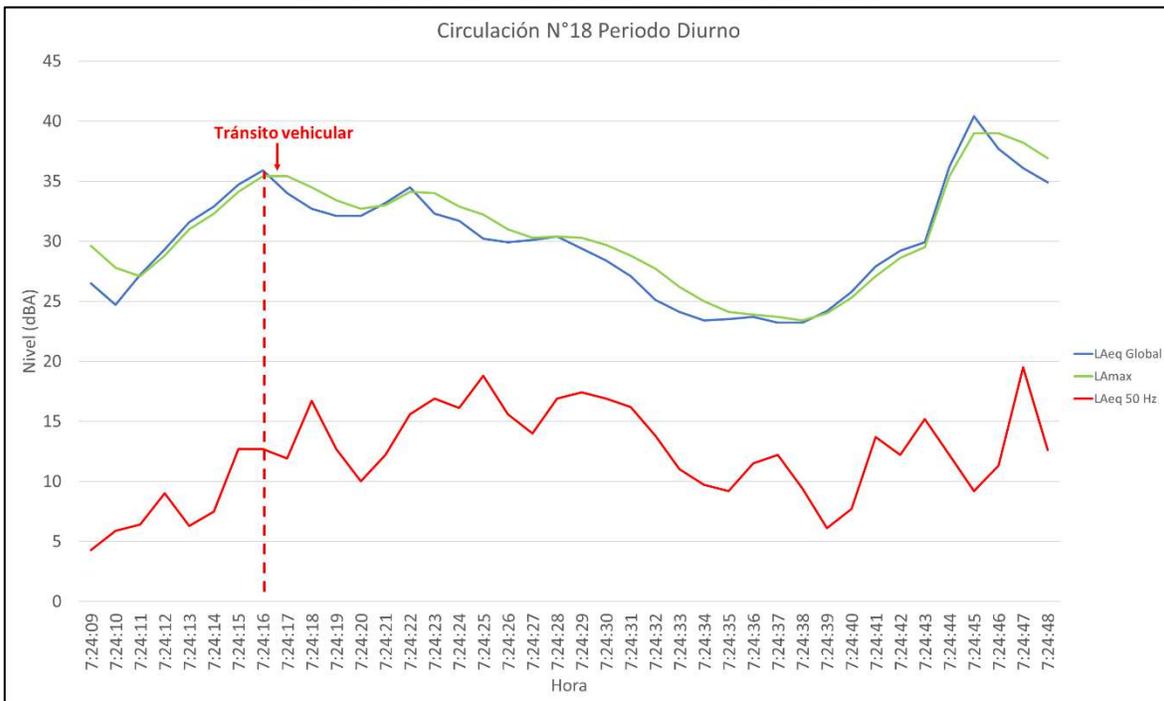
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	55.7	59.3	55.8	53.7	56.9	58.6	55.8	51.7	46.4	40.5	26.6	23.3	16.8
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-1.0	8.8	11.1	14.3	22.3	28.4	29.6	29.2	27.3	24.4	13.2	12.4	8.2
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-6.0	3.8	6.1	9.3	17.3	23.4	24.6	24.2	22.3	19.4	8.2	7.4	3.2
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-6.0	3.8	6.1	9.3	17.3	23.4	24.6	24.2	22.3	19.4	8.2	7.4	3.2
Espectro medido con sonómetro (dBA)	4.4	8.1	8	11.2	16.9	22.2	21.3	19.3	21.1	18.6	18.1	21.3	18
Valor global estimado según método FTA (dBA)	30.5												

Ilustración 45. Gráfico estimación mediante método FTA circulación N°17 diurno.



Circulación 18

Ilustración 46. Gráfico circulación N°18 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 31.7 dBA.

Ilustración 47. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°18 de tren horario diurno.

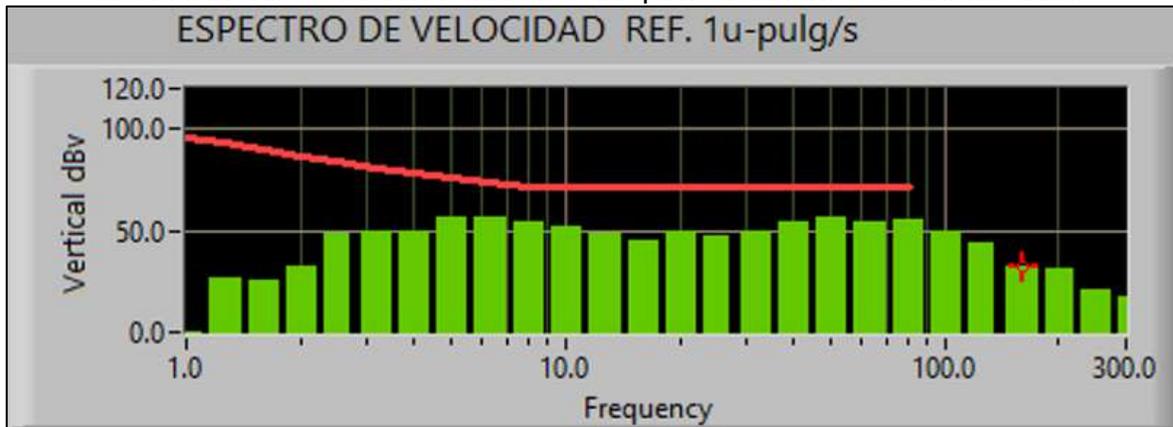
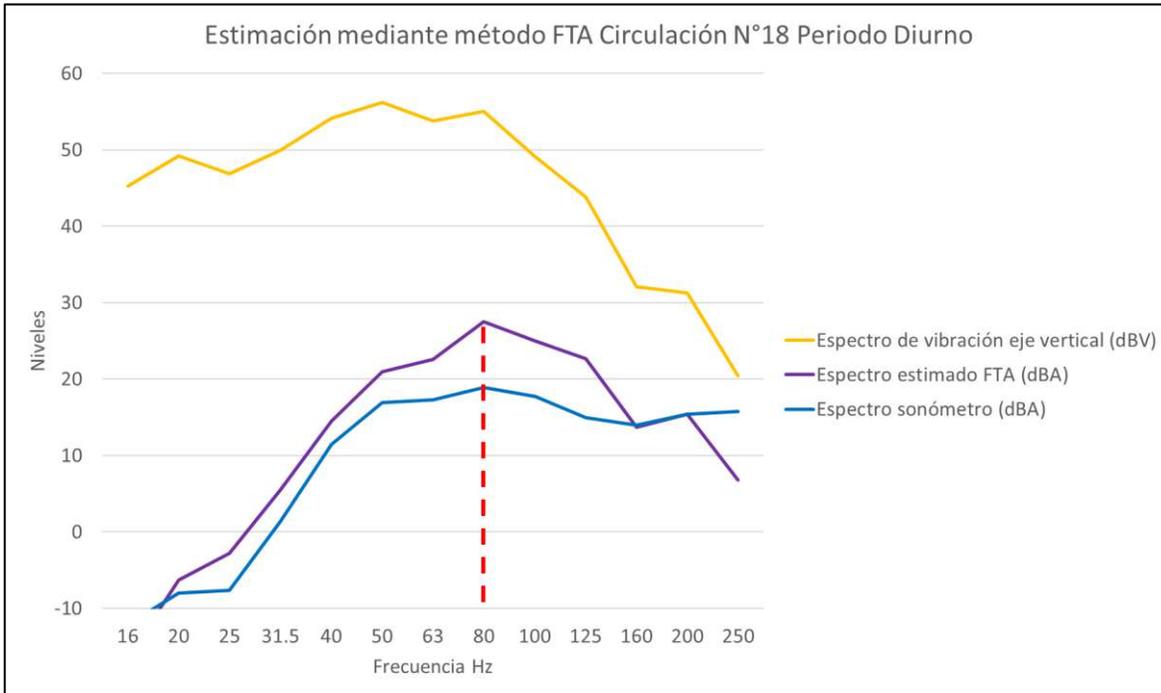


Tabla 21. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para la circulación N°18 de tren horario diurno.

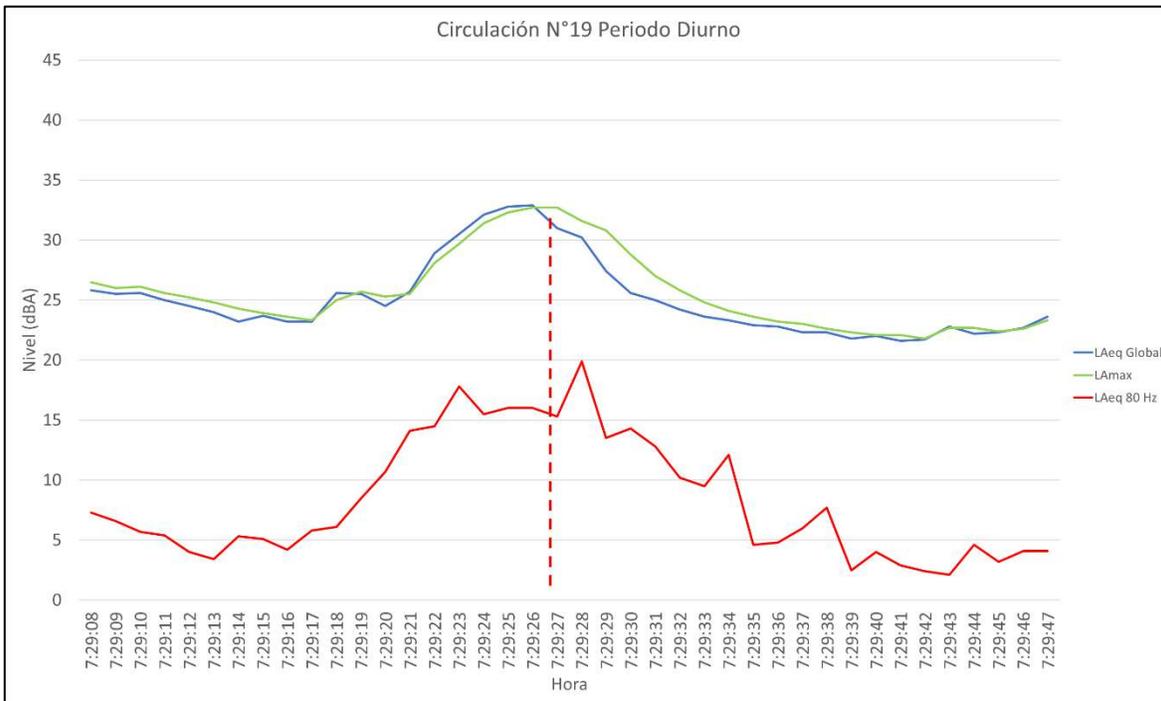
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	45.3	49.2	46.9	49.9	54.1	56.2	53.8	55	49.1	43.8	32.1	31.3	20.4
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-11.4	-1.3	2.2	10.5	19.5	26.0	27.6	32.5	30.0	27.7	18.7	20.4	11.8
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-16.4	-6.3	-2.8	5.5	14.5	21.0	22.6	27.5	25.0	22.7	13.7	15.4	6.8
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-16.4	-6.3	-2.8	5.5	14.5	21.0	22.6	27.5	25.0	22.7	13.7	15.4	6.8
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-12.1	-8	-7.6	1.3	11.5	16.9	17.3	18.9	17.7	15	14	15.4	15.8
Valor global estimado según método FTA (dBA)	31.7												

Ilustración 48. Gráfico estimación mediante método FTA circulación N°18.



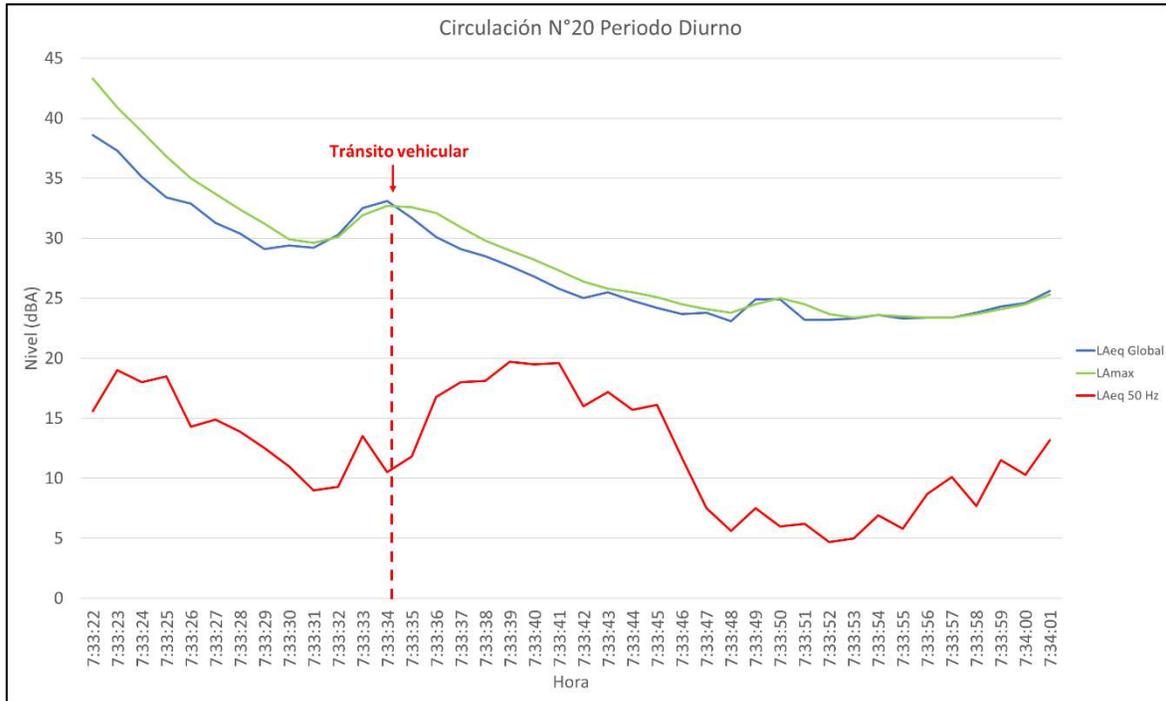
Circulación 19

Ilustración 49. Gráfico circulación N°19 de tren horario diurno.



Circulación 20

Ilustración 50. Gráfico circulación N°20 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 28.2 dBA.

Ilustración 51. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°20 de tren horario diurno.

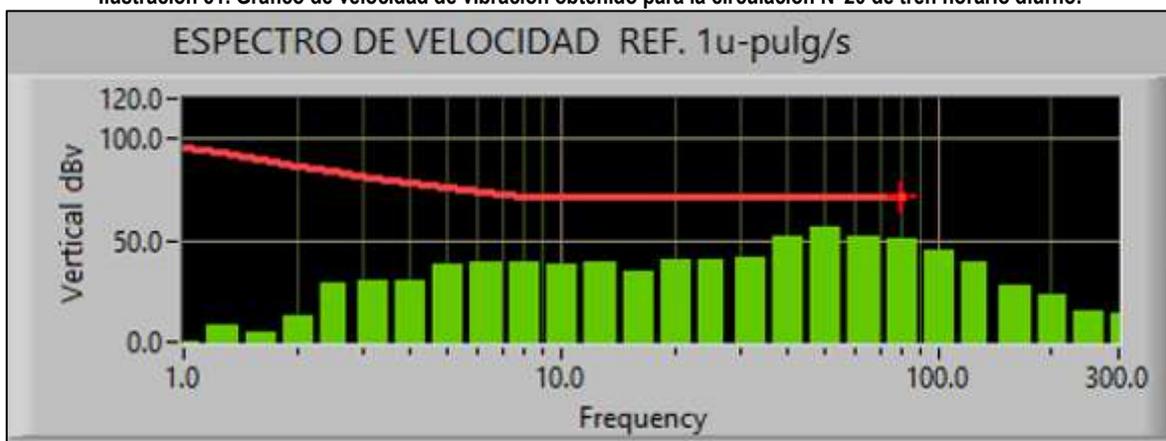
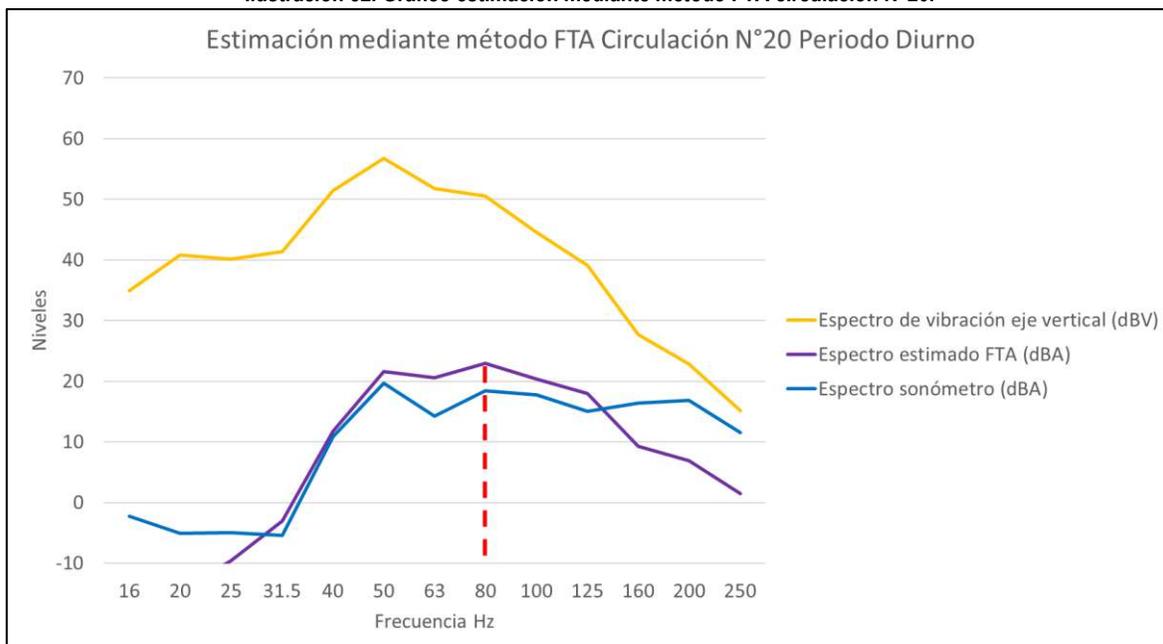


Tabla 22. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para la circulación N°20 de tren horario diurno.

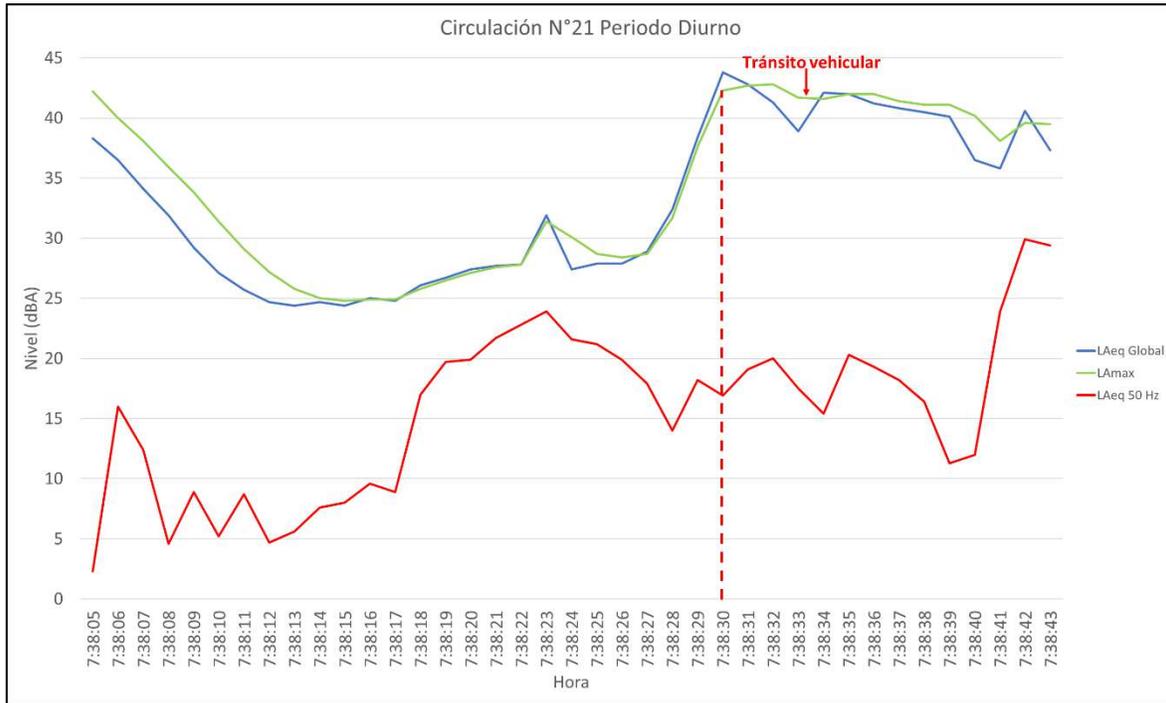
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	34.9	40.8	40.1	41.4	51.4	56.8	51.8	50.5	44.5	39.1	27.7	22.8	15.1
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-21.8	-9.7	-4.6	2.0	16.8	26.6	25.6	28.0	25.4	23.0	14.3	11.9	6.5
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-26.8	-14.7	-9.6	-3.0	11.8	21.6	20.6	23.0	20.4	18.0	9.3	6.9	1.5
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-26.8	-14.7	-9.6	-3.0	11.8	21.6	20.6	23.0	20.4	18.0	9.3	6.9	1.5
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-2.3	-5.1	-5	-5.4	10.9	19.7	14.3	18.4	17.7	15	16.4	16.9	11.5
Valor global estimado según método FTA (dBA)	28.2												

Ilustración 52. Gráfico estimación mediante método FTA circulación N°20.



Circulación 21

Ilustración 53. Gráfico circulación N°21 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 29.8 dBA.

Ilustración 54. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°21 de tren horario diurno.

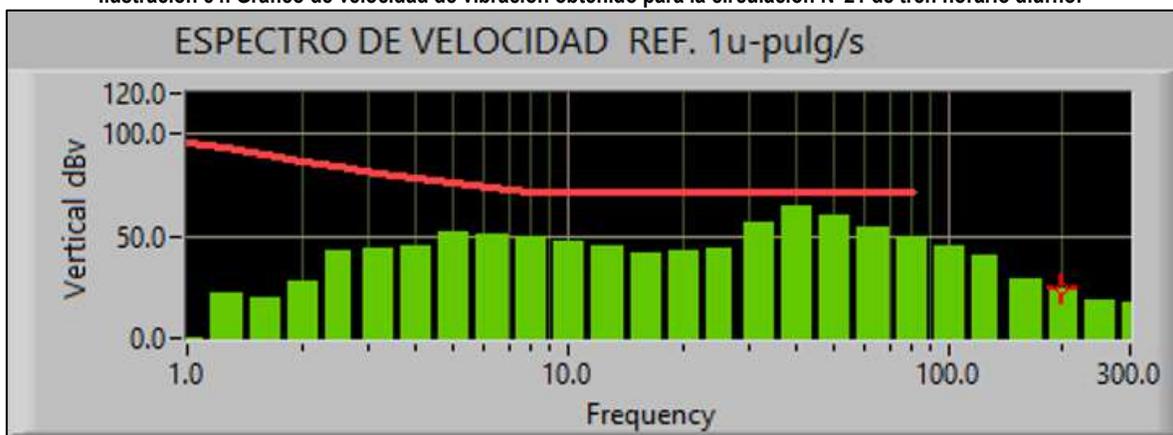
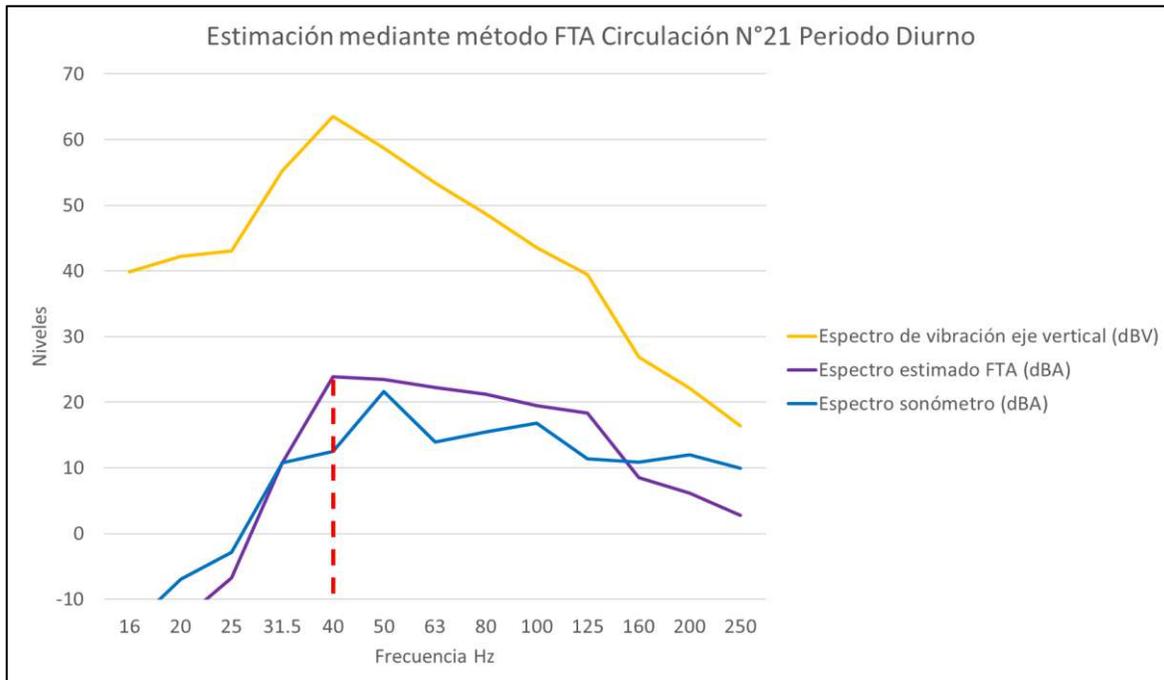


Tabla 23. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°21 horario diurno.

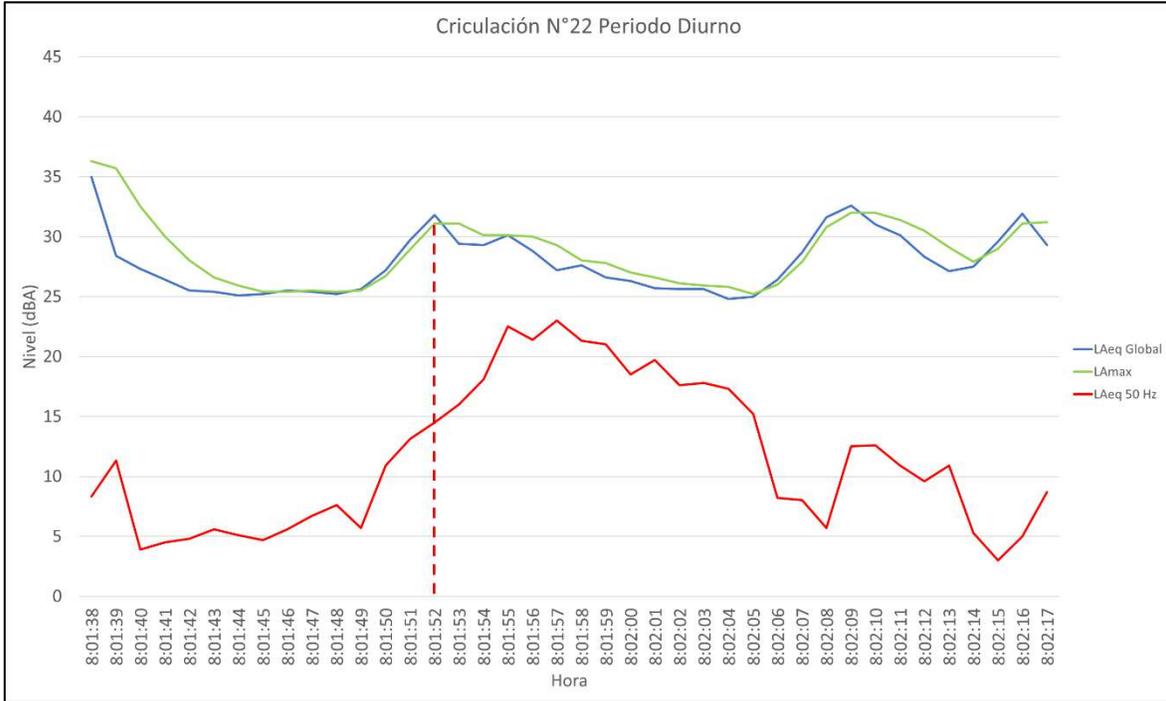
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	39.9	42.2	43	55.2	63.5	58.7	53.4	48.7	43.6	39.5	26.9	22.1	16.4
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-16.8	-8.3	-1.7	15.8	28.9	28.5	27.2	26.2	24.5	23.4	13.5	11.2	7.8
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-21.8	-13.3	-6.7	10.8	23.9	23.5	22.2	21.2	19.5	18.4	8.5	6.2	2.8
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-21.8	-13.3	-6.7	10.8	23.9	23.5	22.2	21.2	19.5	18.4	8.5	6.2	2.8
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-14.4	-7	-2.9	10.8	12.5	21.6	13.9	15.5	16.8	11.4	10.9	12	10
Valor global estimado según método FTA (dBA)	29.8												

Ilustración 55. Gráfico estimación mediante método FTA circulación N°21 horario diurno.



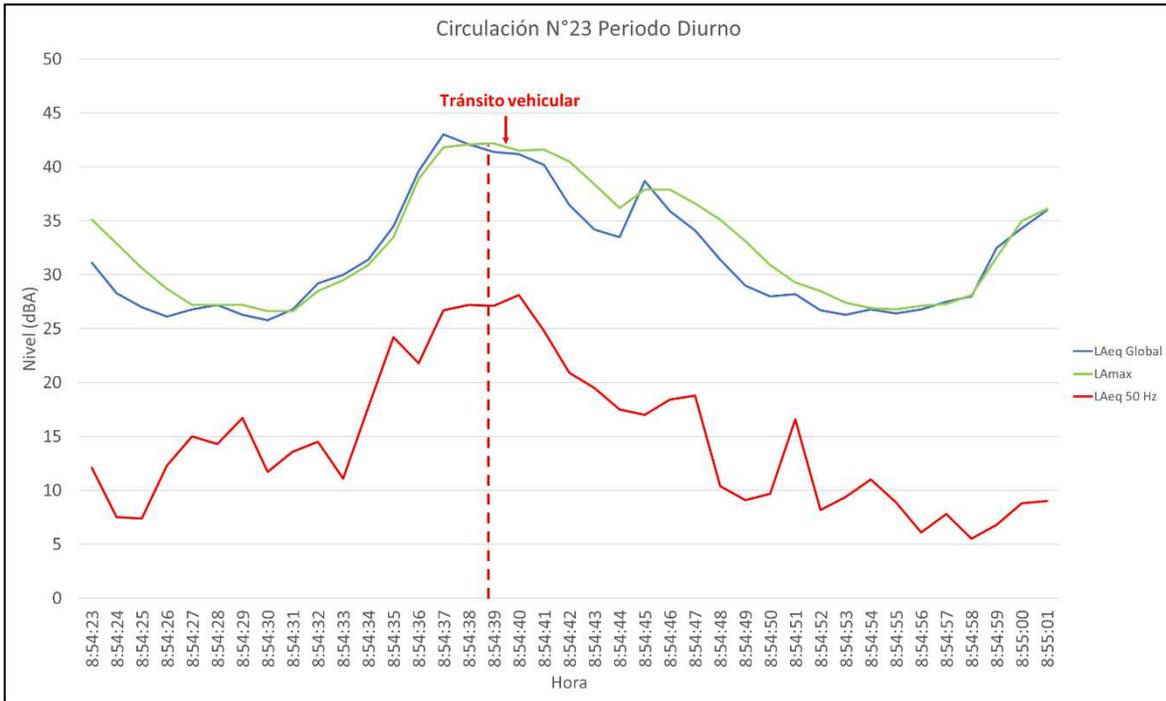
Circulación 22

Ilustración 56. Gráfico circulación N°22 de tren horario diurno.



Circulación 23

Ilustración 57. Gráfico circulación N°23 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 30.6 dBA.

Ilustración 58. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°23 de tren.

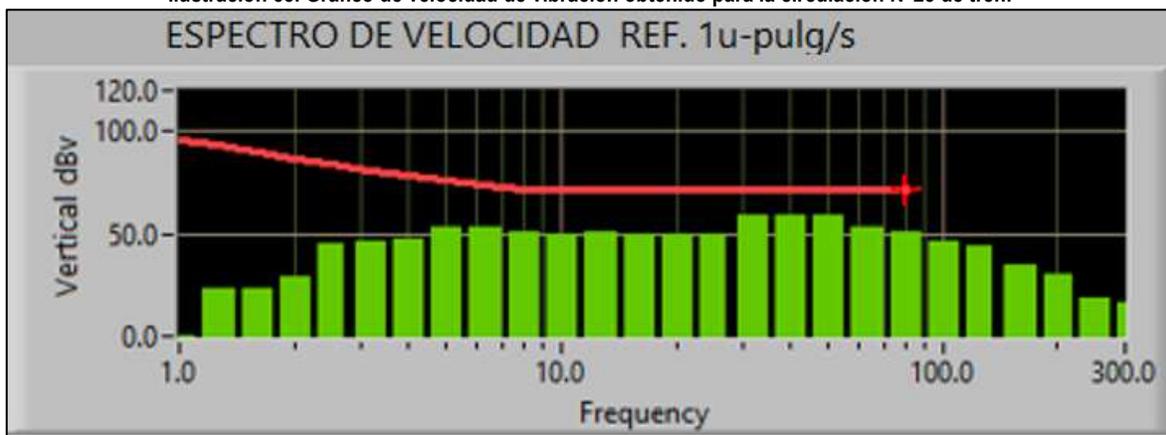
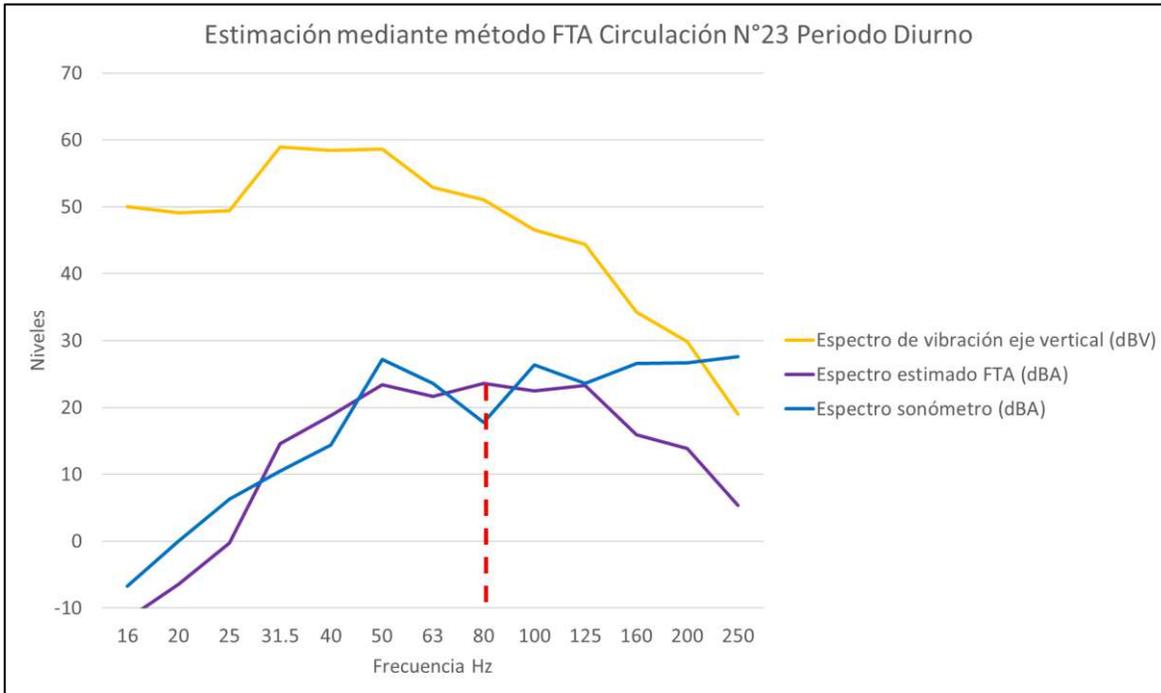


Tabla 24. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°23 horario diurno.

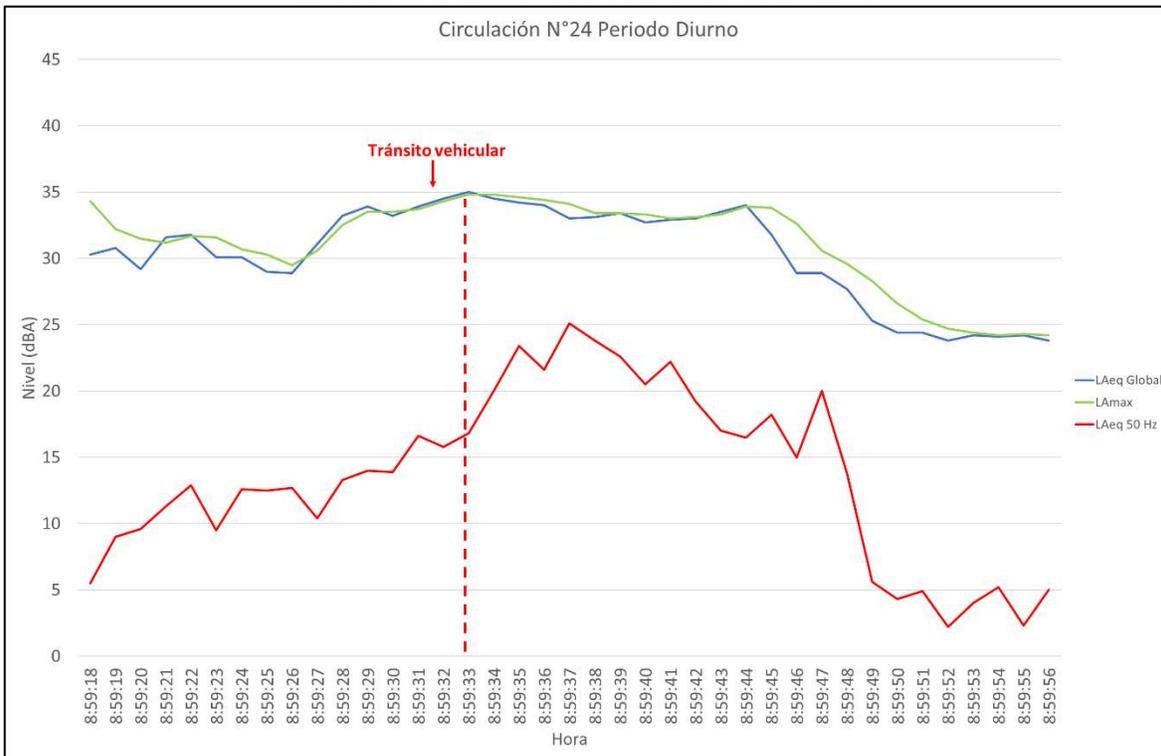
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	50	49.1	49.4	59	58.4	58.6	52.9	51.1	46.6	44.4	34.3	29.8	19
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-6.7	-1.4	4.7	19.6	23.8	28.4	26.7	28.6	27.5	28.3	20.9	18.9	10.4
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-11.7	-6.4	-0.3	14.6	18.8	23.4	21.7	23.6	22.5	23.3	15.9	13.9	5.4
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-11.7	-6.4	-0.3	14.6	18.8	23.4	21.7	23.6	22.5	23.3	15.9	13.9	5.4
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-6.7	0	6.3	10.5	14.4	27.2	23.6	17.8	26.4	23.6	26.6	26.7	27.6
Valor global estimado según método FTA (dBA)	30.6												

Ilustración 59. Gráfico estimación mediante método FTA circulación N°23.



Circulación 24

Ilustración 60. Gráfico circulación N°24 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 30.8 dBA.

Ilustración 61 Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°24 de tren horario diurno.

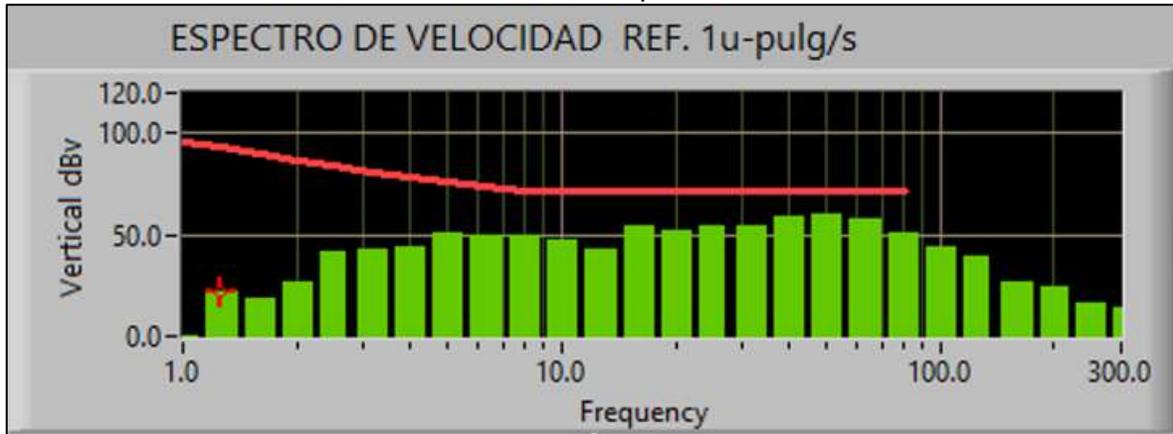
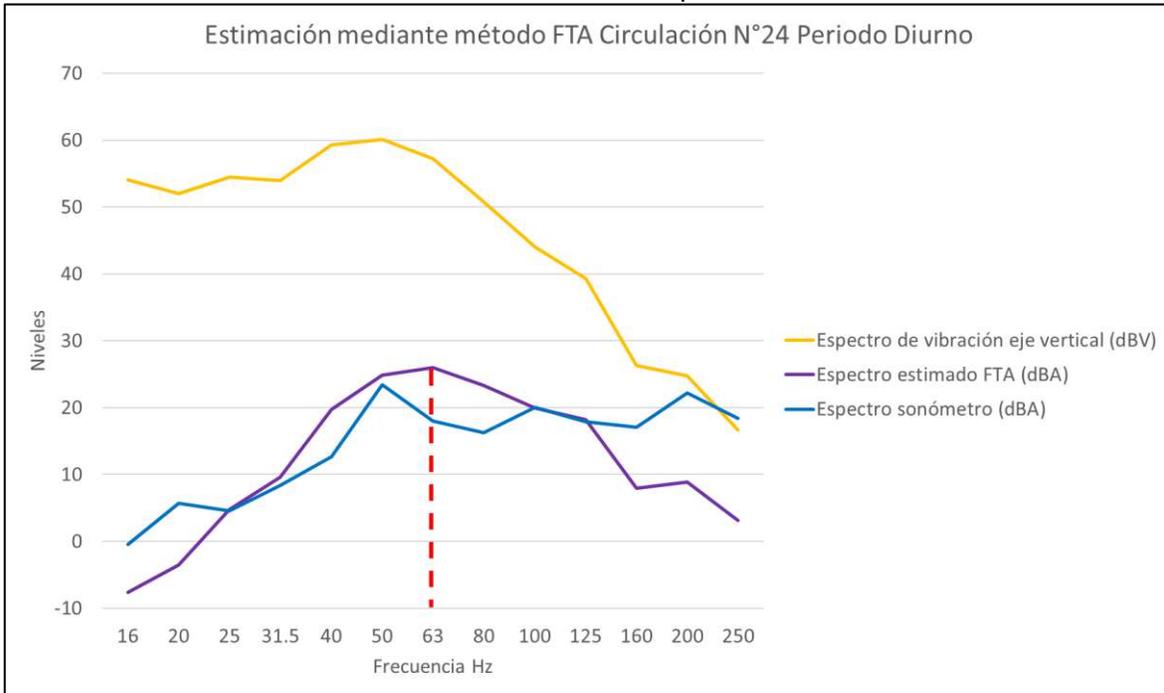


Tabla 25. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°24 horario diurno.

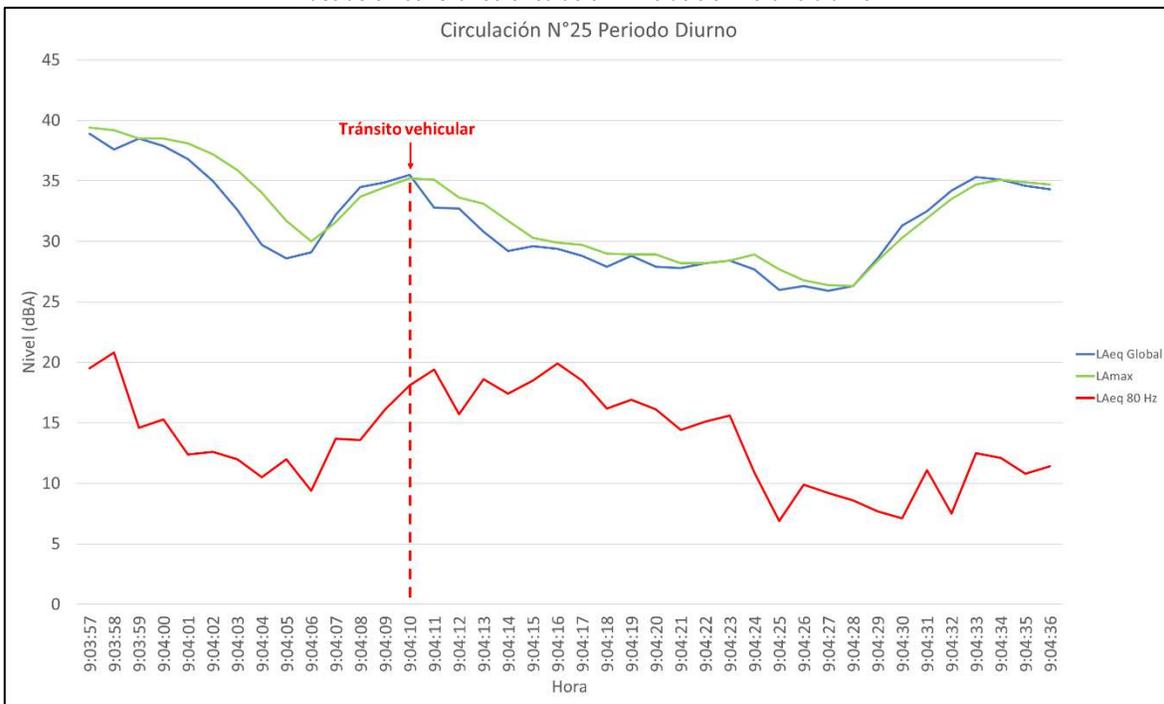
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	54.1	52	54.5	54	59.3	60.1	57.2	50.8	44	39.3	26.3	24.8	16.7
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-2.6	1.5	9.8	14.6	24.7	29.9	31.0	28.3	24.9	23.2	12.9	13.9	8.1
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-7.6	-3.5	4.8	9.6	19.7	24.9	26.0	23.3	19.9	18.2	7.9	8.9	3.1
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-7.6	-3.5	4.8	9.6	19.7	24.9	26.0	23.3	19.9	18.2	7.9	8.9	3.1
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-0.5	5.7	4.6	8.4	12.7	23.4	18	16.3	20	17.9	17.1	22.2	18.4
Valor global estimado según método FTA (dBA)	30.8												

Ilustración 62. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°24 horario diurno.



Circulación 25

Ilustración 63. Gráfico circulación N°25 de tren horario diurno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 28.2 dBA.

Ilustración 64. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°25 de tren horario diurno.

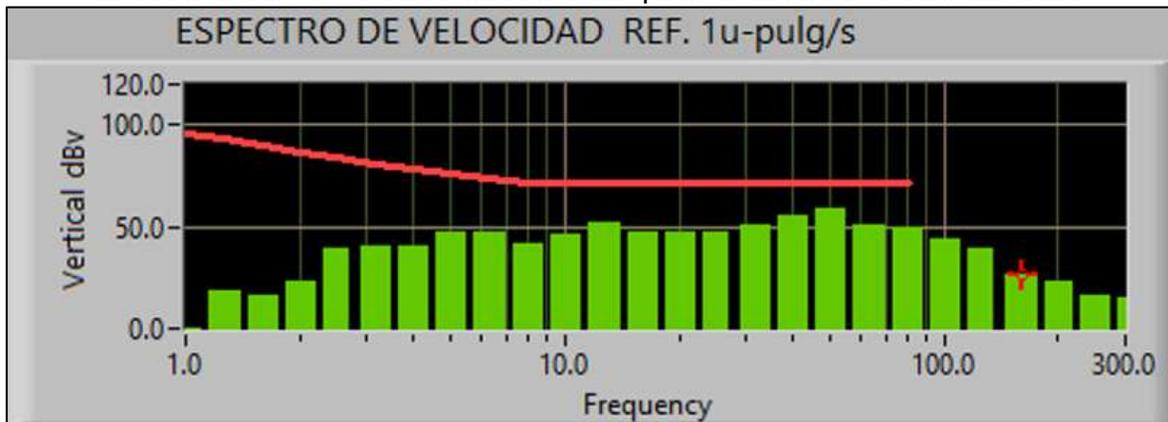
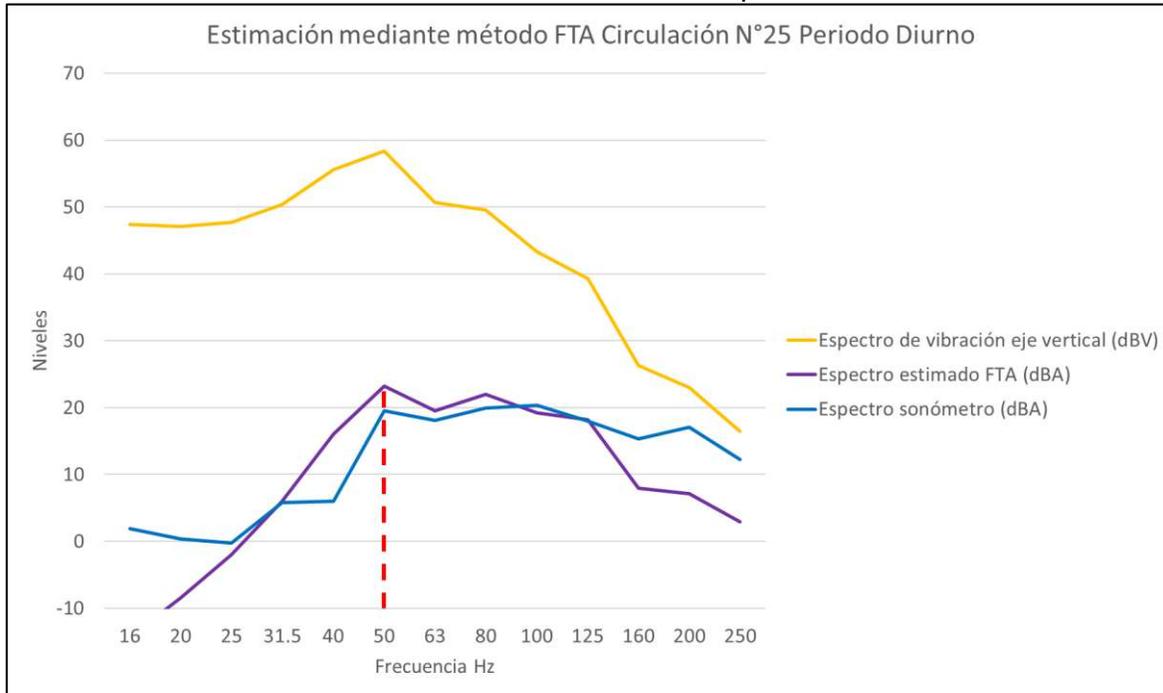


Tabla 26. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para la circulación N°25 horario diurno.

Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	47.4	47.1	47.7	50.4	55.6	58.4	50.7	49.5	43.3	39.3	26.3	23	16.5
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-9.3	-3.4	3.0	11.0	21.0	28.2	24.5	27.0	24.2	23.2	12.9	12.1	7.9
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-14.3	-8.4	-2.0	6.0	16.0	23.2	19.5	22.0	19.2	18.2	7.9	7.1	2.9
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-14.3	-8.4	-2.0	6.0	16.0	23.2	19.5	22.0	19.2	18.2	7.9	7.1	2.9
Espectro medido con sonómetro (dBA)	1.9	0.4	-0.2	5.8	6	19.5	18.1	19.9	20.3	18	15.3	17.1	12.3
Valor global estimado según método FTA (dBA)	28.2												

Ilustración 65. Gráfico estimación mediante método FTA para la circulación N°25.



7.4 DETALLE DE CIRCULACIÓN DE TRENES HORARIO NOCTURNO

Se presentan a continuación el detalle de los niveles de ruido inducido para cada circulación de tren, mediante el descriptor L_{Amax} (slow) y el gráfico de envolvente respectivo, a modo de evidenciar el nivel máximo en dBA para período nocturno.

Se presenta en los gráficos siguientes el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (L_{Aeq} 1 seg.) en color azul, el Nivel de Presión Sonora Máximo con ponderación "A" (L_{Amax}) y respuesta lenta (slow) en color verde, y el Nivel de Presión Sonora con ponderación "A" de la frecuencia de 50 Hz u 80 Hz en color rojo, estas últimas a modo de referencia gráfica, ya que predominan en la circulación ferroviaria y permiten discriminar visualmente de manera clara la circulación de los trenes y la envolvente máxima alcanzada.

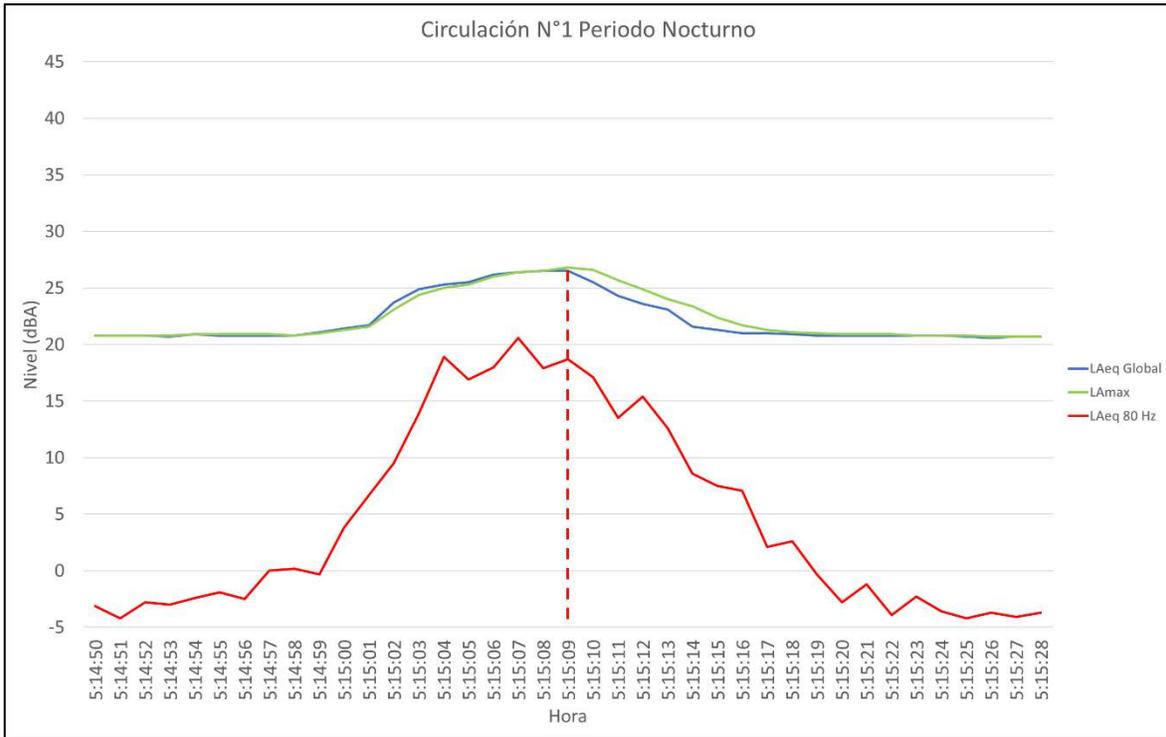
Para cada gráfico la línea punteada identifica el instante peak del nivel de ruido medido, asociado a la circulación del tren en su valor más alto del descriptor L_{Amax}, lo anterior dentro de la campana de gauss que se forma e identifica en las frecuencias predominantes de 50 Hz u 80 Hz.

Cabe destacar que, para el período de medición nocturno los niveles de ruido inducido registrados se ven influenciados acústicamente por artefactos domésticos al interior del recinto. La influencia de tránsito vehicular es casi nula en las primeras circulaciones de trenes registradas, dado el bajo movimiento de la ciudad en esos horarios. Al avanzar la hora se aprecia mayor influencia del ruido de tránsito vehicular.

A continuación, se grafican las 20 circulaciones en horario nocturno utilizadas para el estudio:

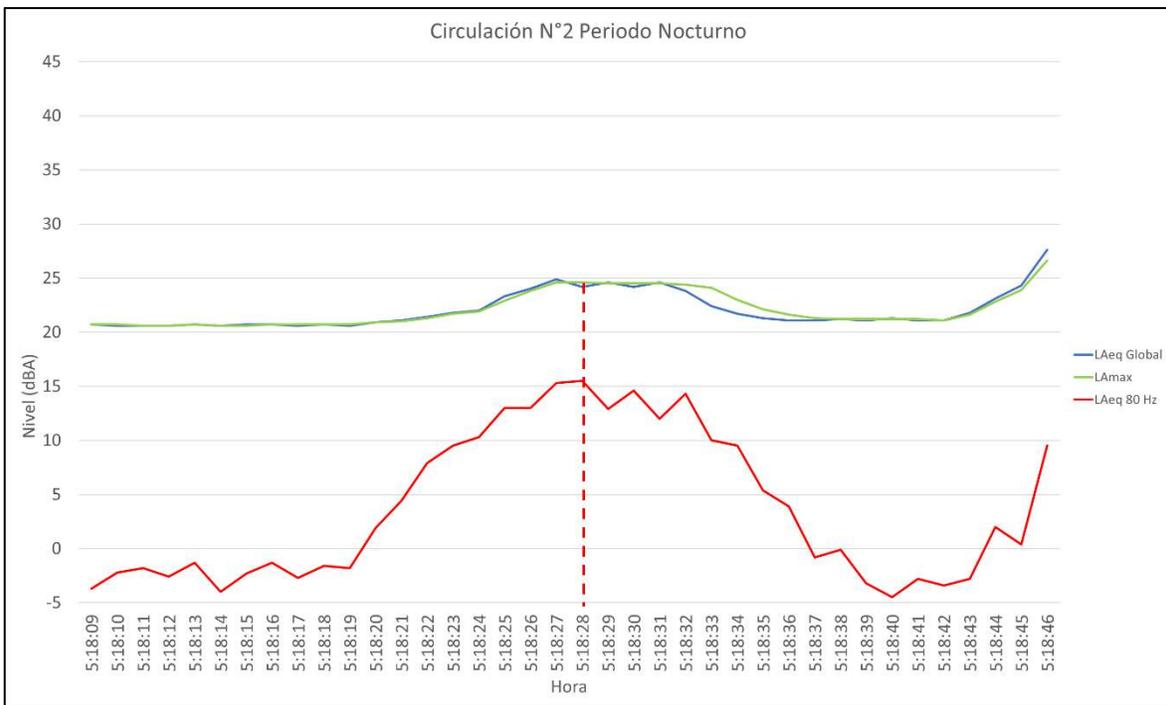
Circulación 1

Ilustración 66. Gráfico circulación N°1 de tren horario nocturno.



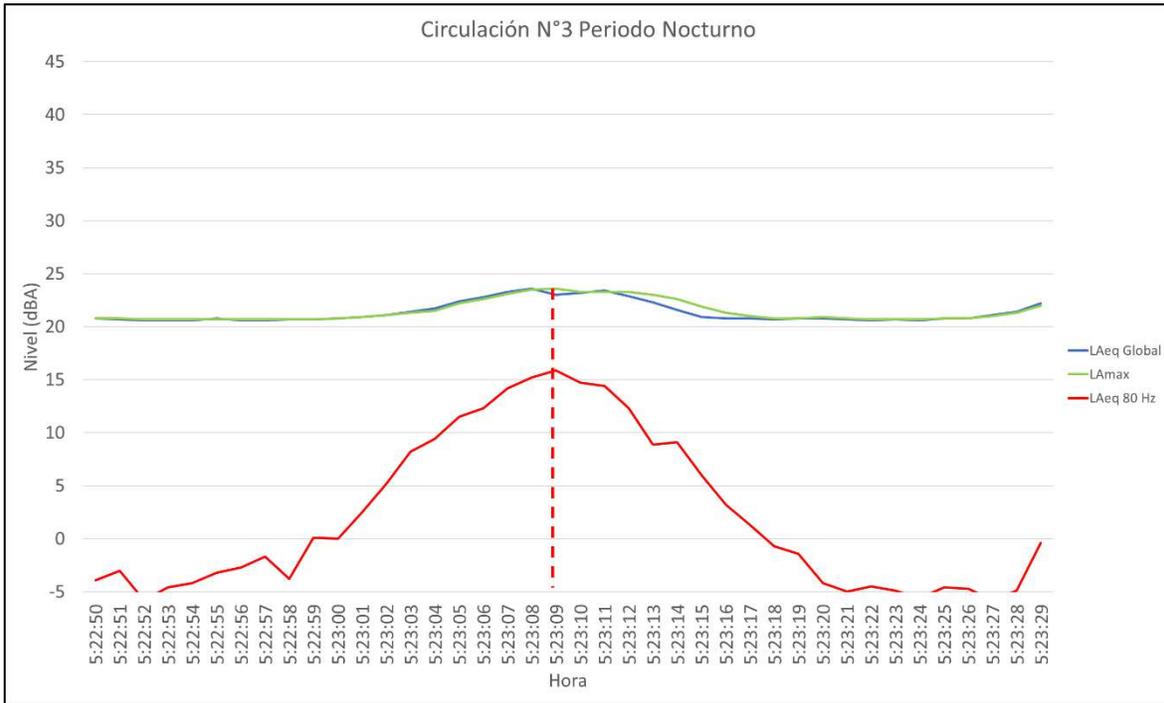
Circulación 2

Ilustración 67. Gráfico circulación N°2 de tren horario nocturno.



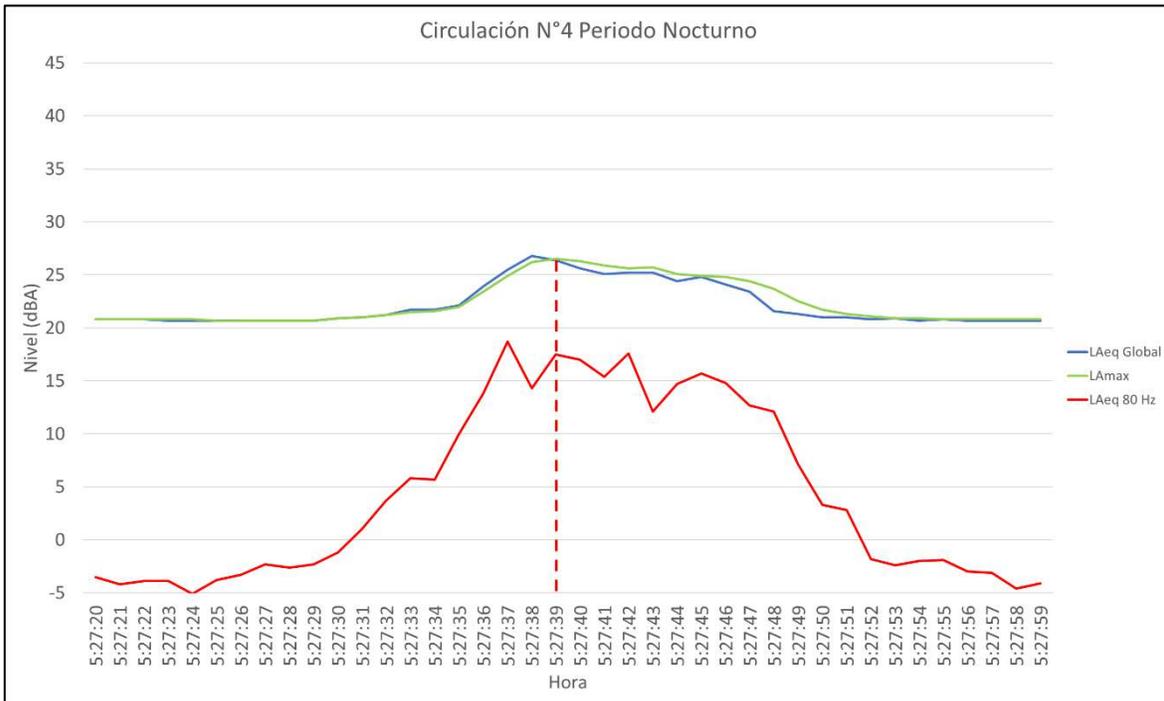
Circulación 3

Ilustración 68. Gráfico circulación N°3 de tren horario nocturno.



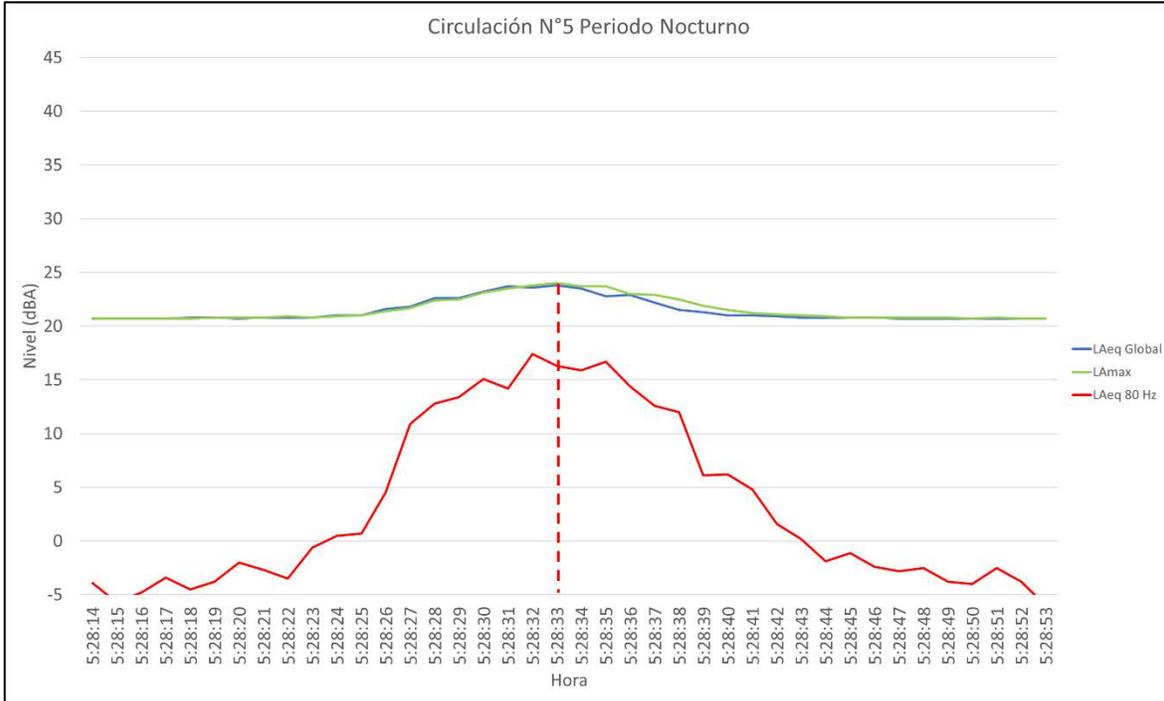
Circulación 4

Ilustración 69. Gráfico circulación N°4 de tren horario nocturno.



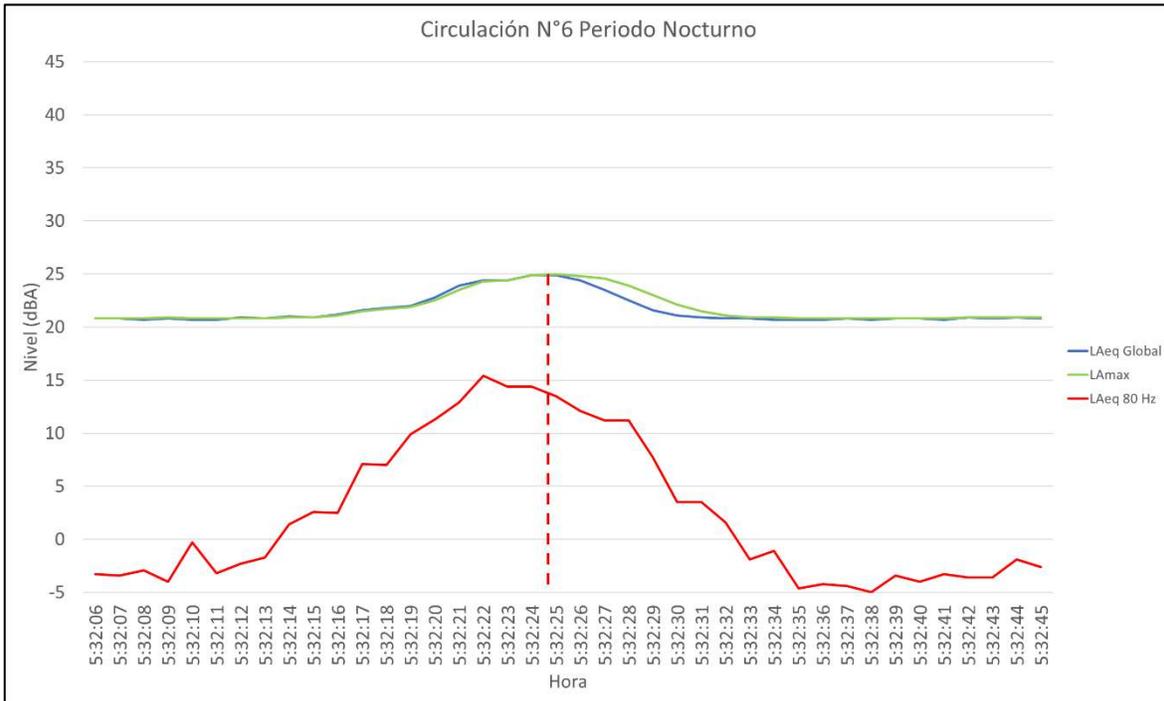
Circulación 5

Ilustración 70. Gráfico circulación N°5 de tren horario nocturno.



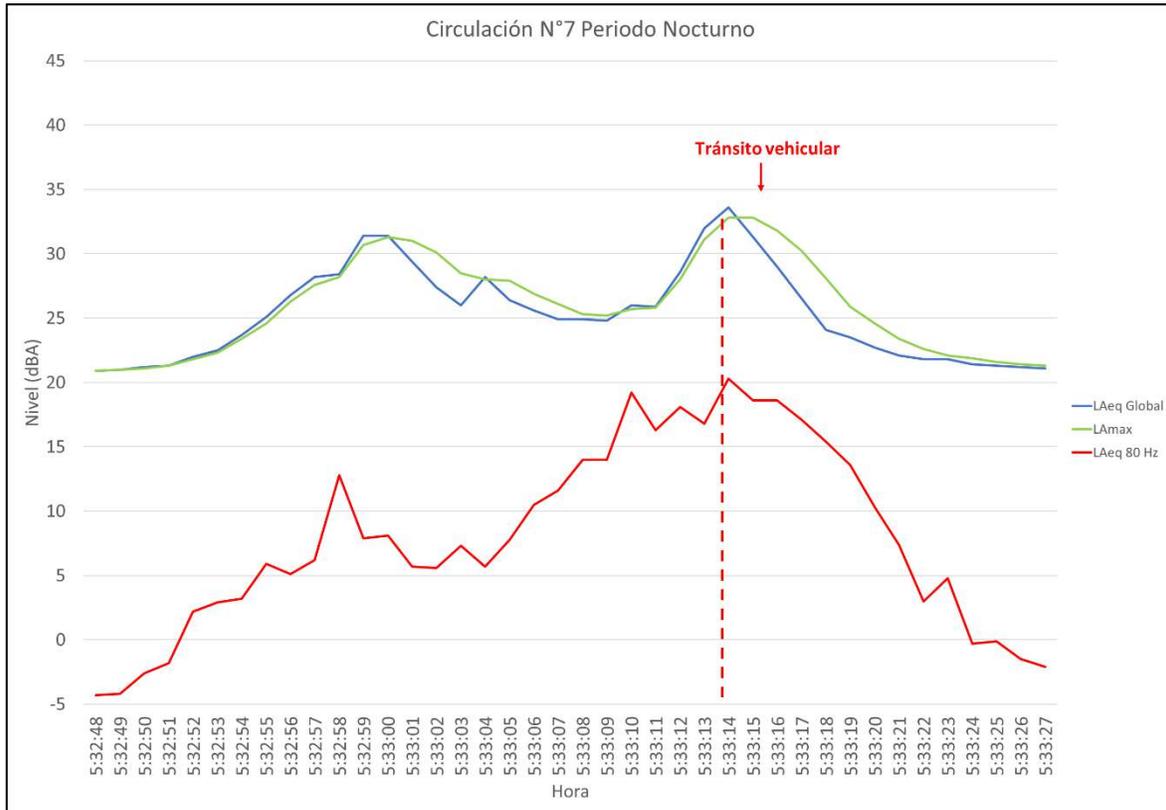
Circulación 6

Ilustración 71. Gráfico circulación N°6 de tren horario nocturno.



Circulación 7

Ilustración 72. Gráfico circulación N°7 de tren horario nocturno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 33.8 dBA.

Ilustración 73. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°7 de circulación horario nocturno.

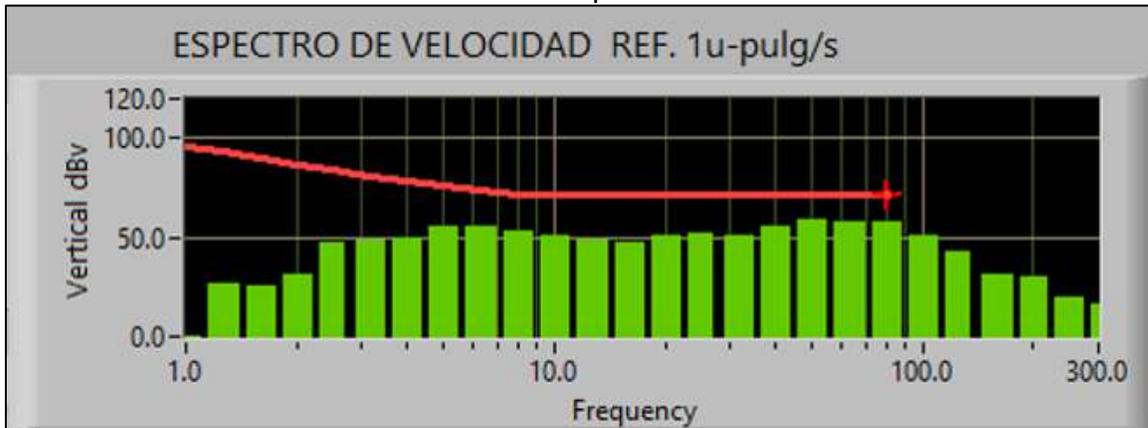
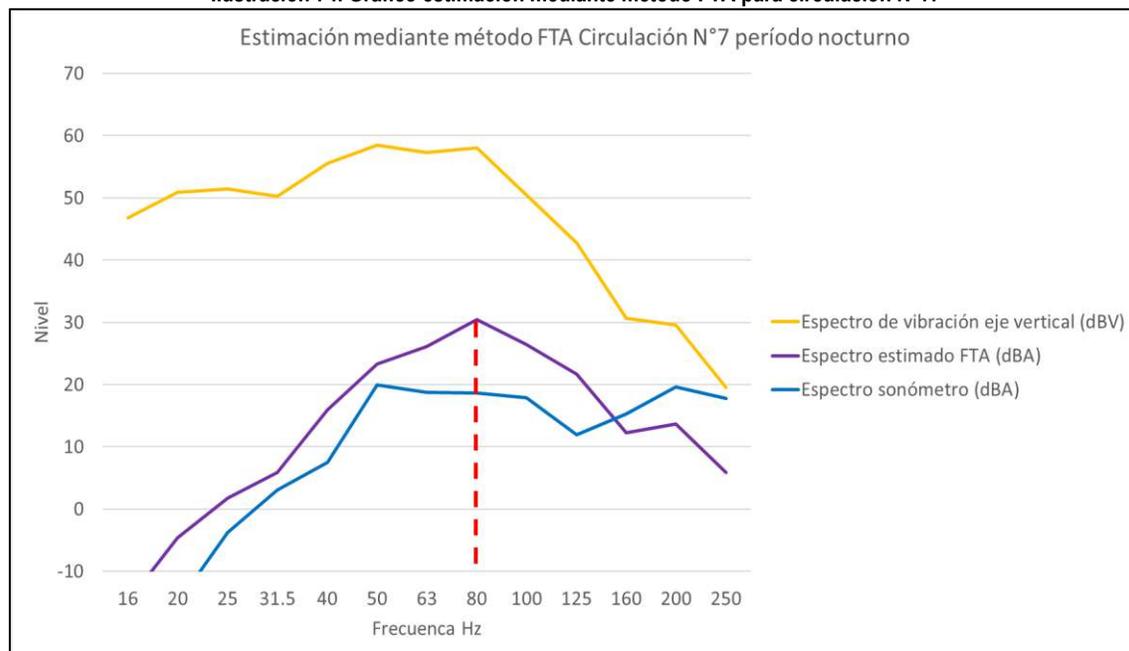


Tabla 27. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°7 horario nocturno.

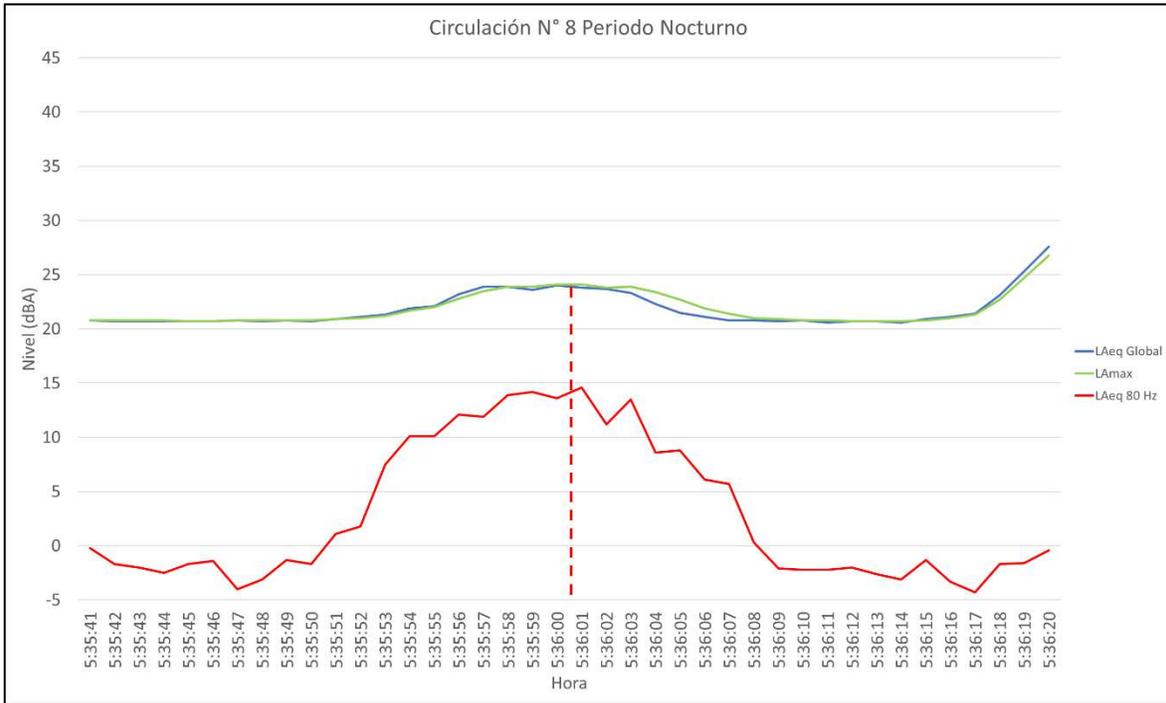
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	46.8	50.9	51.5	50.3	55.6	58.5	57.3	58	50.5	42.8	30.7	29.6	19.5
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-9.9	0.4	6.8	10.9	21.0	28.3	31.1	35.5	31.4	26.7	17.3	18.7	10.9
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-14.9	-4.6	1.8	5.9	16.0	23.3	26.1	30.5	26.4	21.7	12.3	13.7	5.9
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-14.9	-4.6	1.8	5.9	16.0	23.3	26.1	30.5	26.4	21.7	12.3	13.7	5.9
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-14.6	-15.1	-3.7	3.1	7.5	19.9	18.8	18.6	17.9	11.9	15.3	19.6	17.8
Valor global estimado según método FTA (dBA)	33.8												

Ilustración 74. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°7.



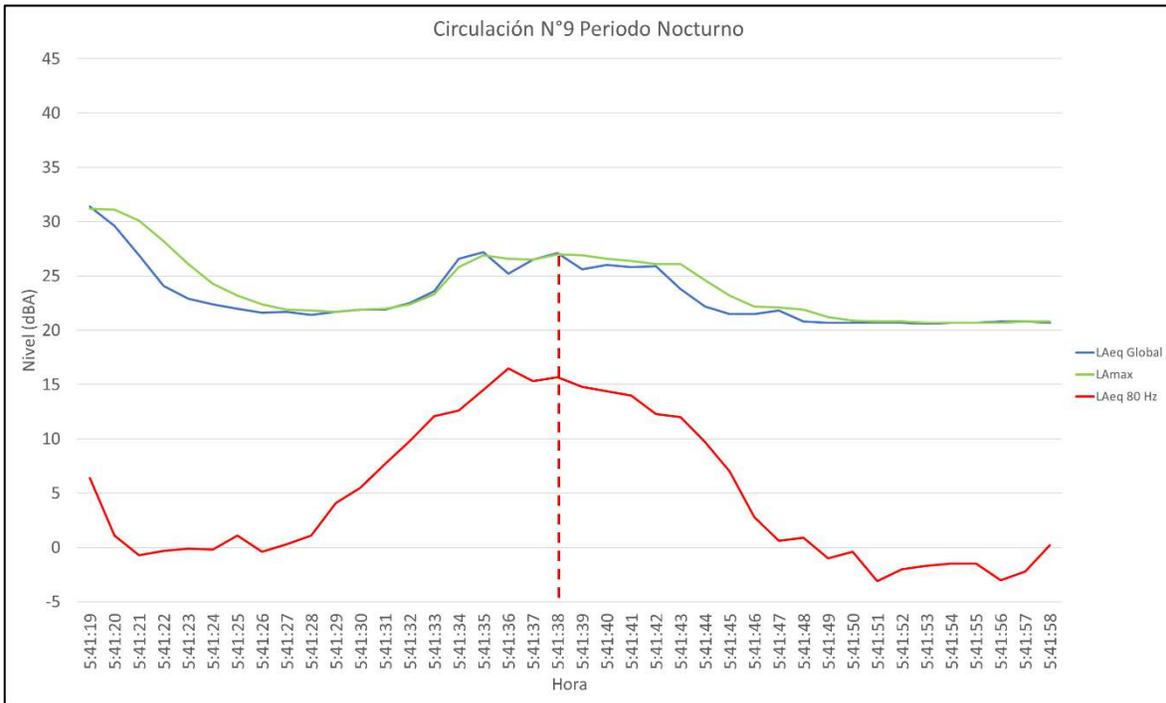
Circulación 8

Ilustración 75. Gráfico circulación N°8 de tren horario nocturno.



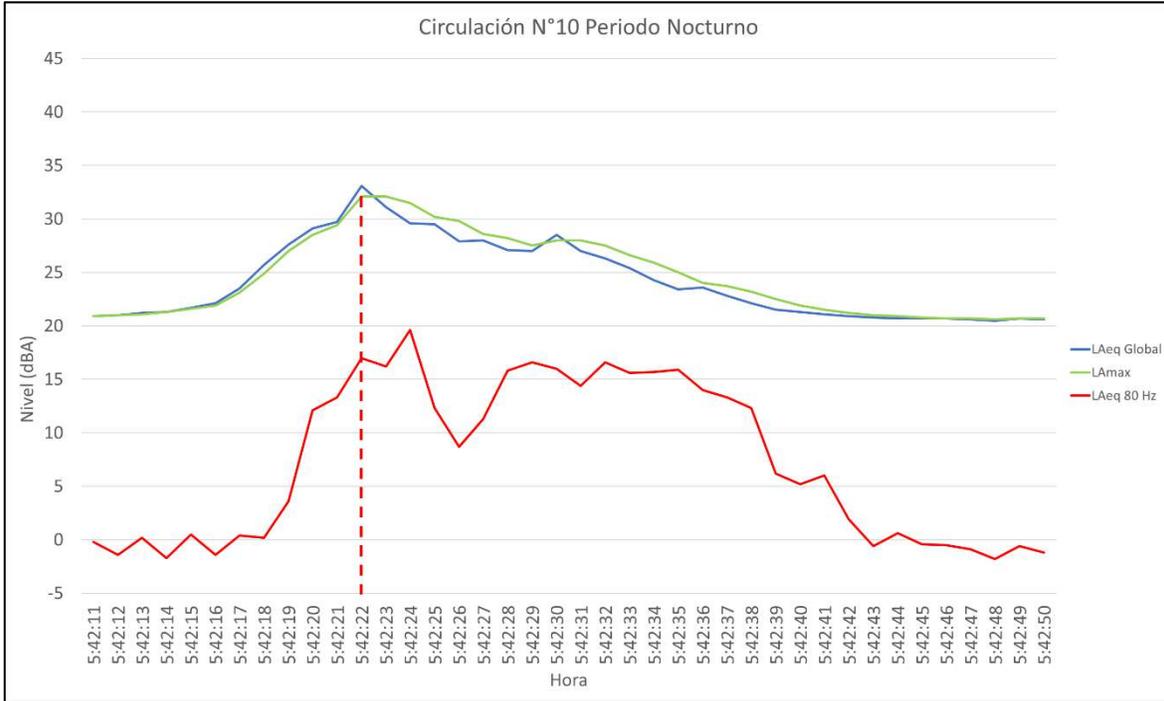
Circulación 9

Ilustración 76. Gráfico circulación N°9 de tren horario nocturno.



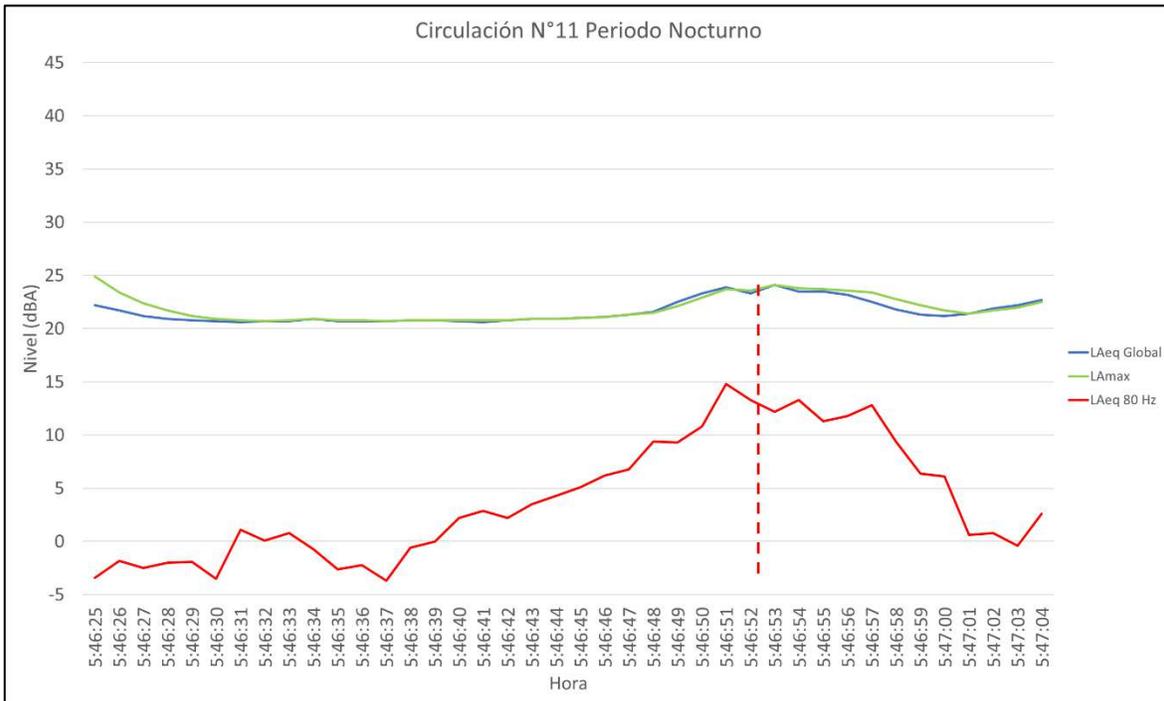
Circulación 10

Ilustración 77. Gráfico circulación N°10 de tren horario nocturno.



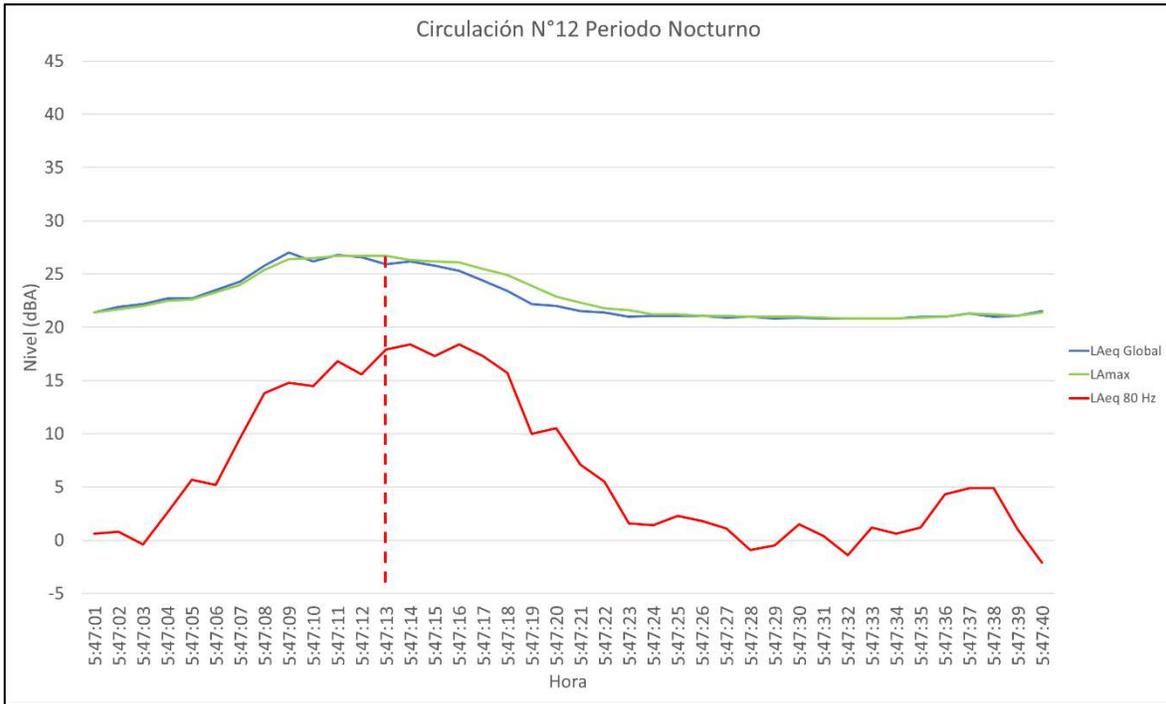
Circulación 11

Ilustración 78. Gráfico circulación N°11 de tren horario nocturno.



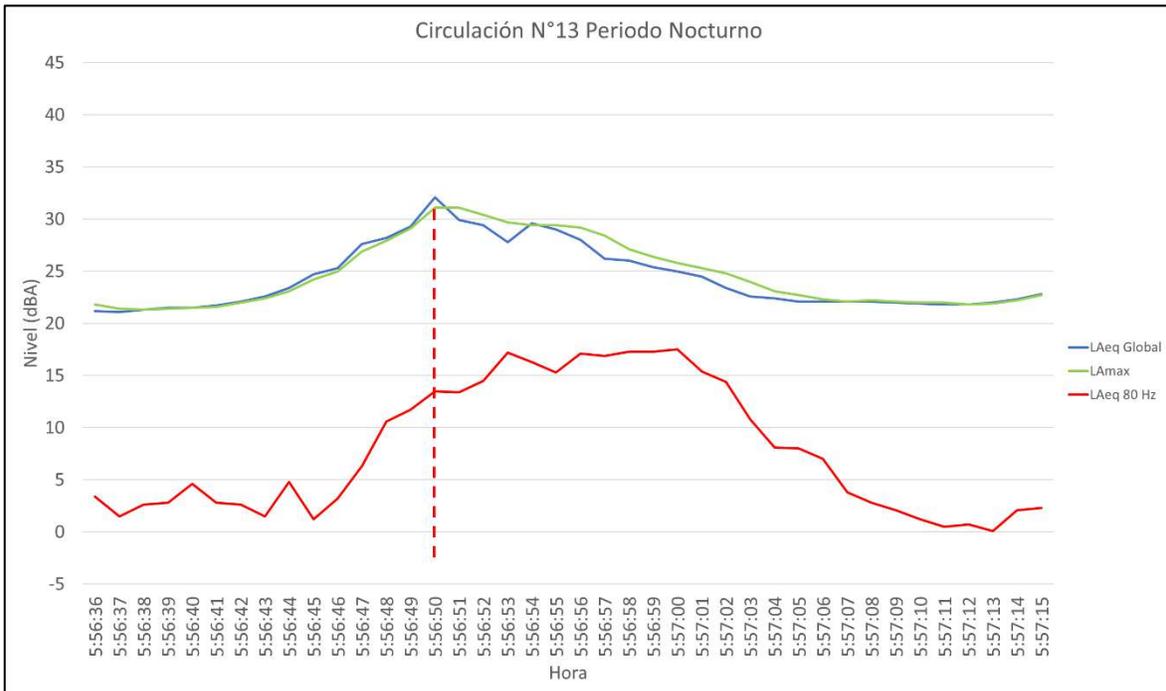
Circulación 12

Ilustración 79. Gráfico circulación N°12 de tren horario nocturno.



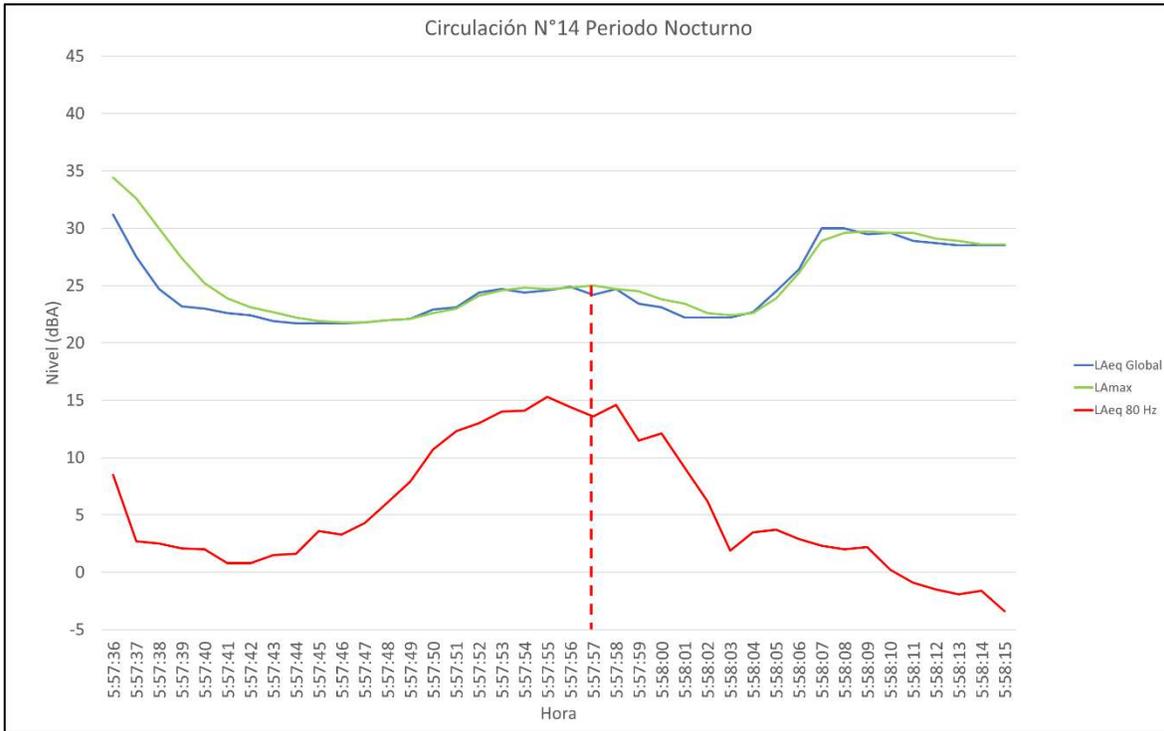
Circulación 13

Ilustración 80. Gráfico circulación N°13 de tren horario nocturno.



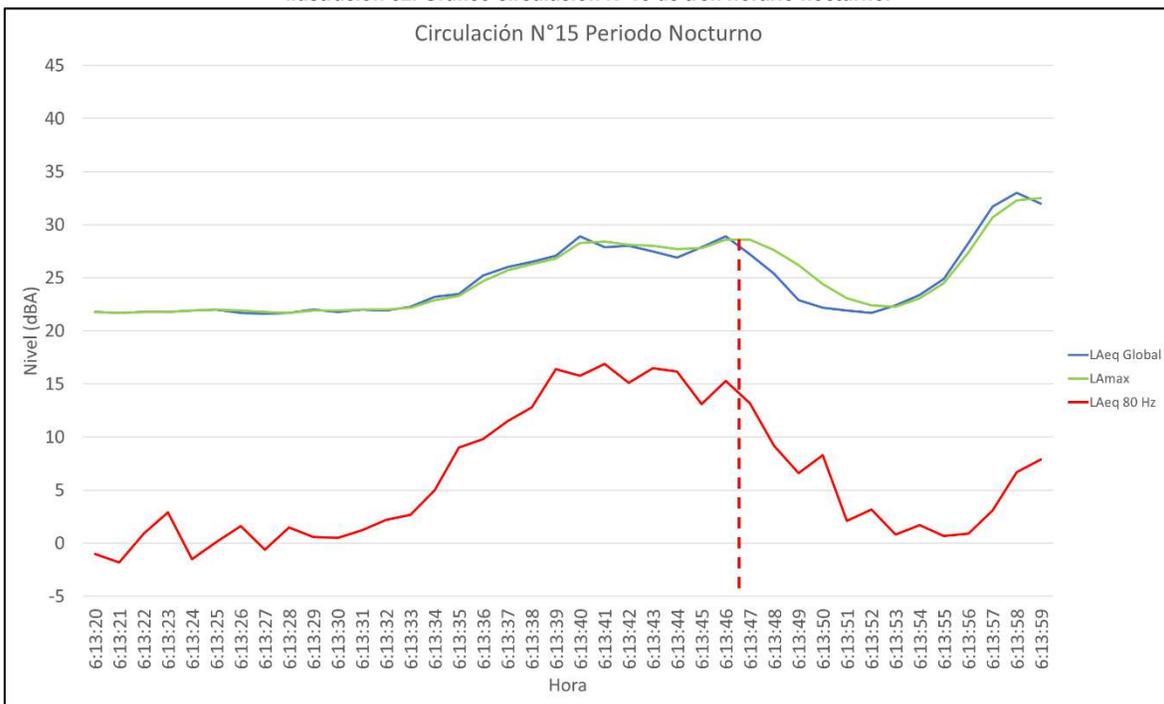
Circulación 14

Ilustración 81. Gráfico circulación N14 de tren horario nocturno.



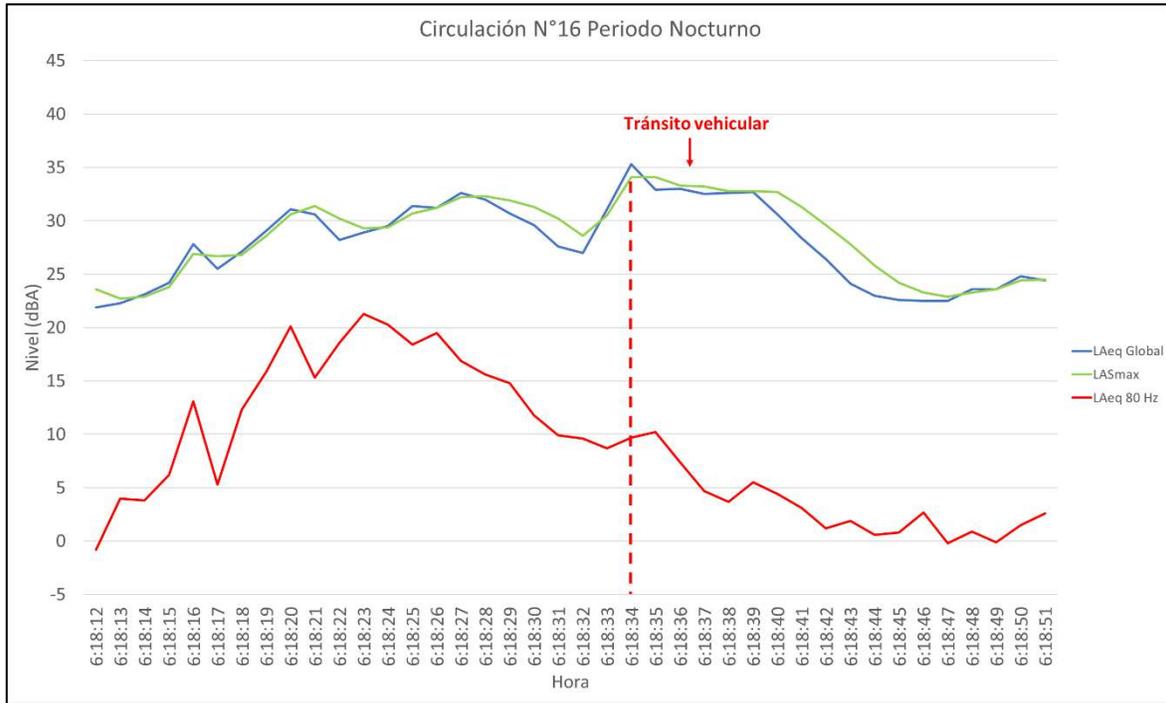
Circulación 15

Ilustración 82. Gráfico circulación N°15 de tren horario nocturno.



Circulación 16

Ilustración 83. Gráfico circulación N°16 de tren horario nocturno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 33.5 dBA.

Ilustración 84. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°16 de circulación horario nocturno.

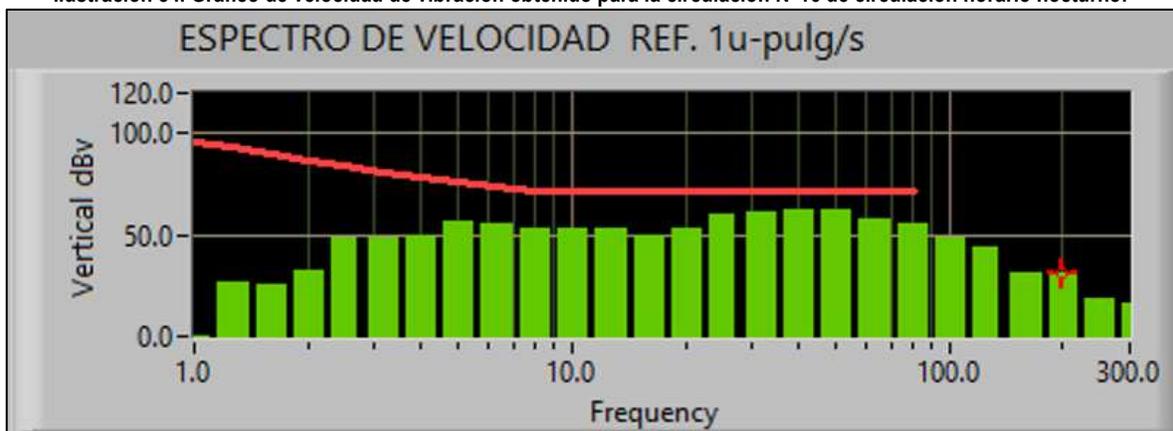
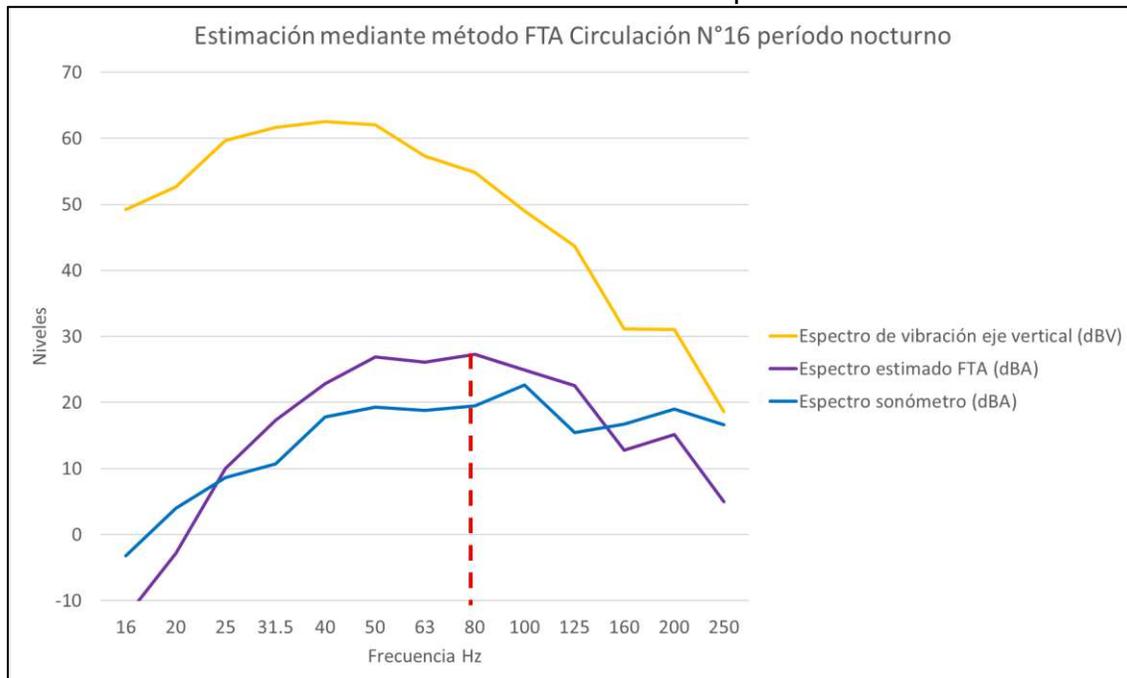


Tabla 28. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°16 horario nocturno.

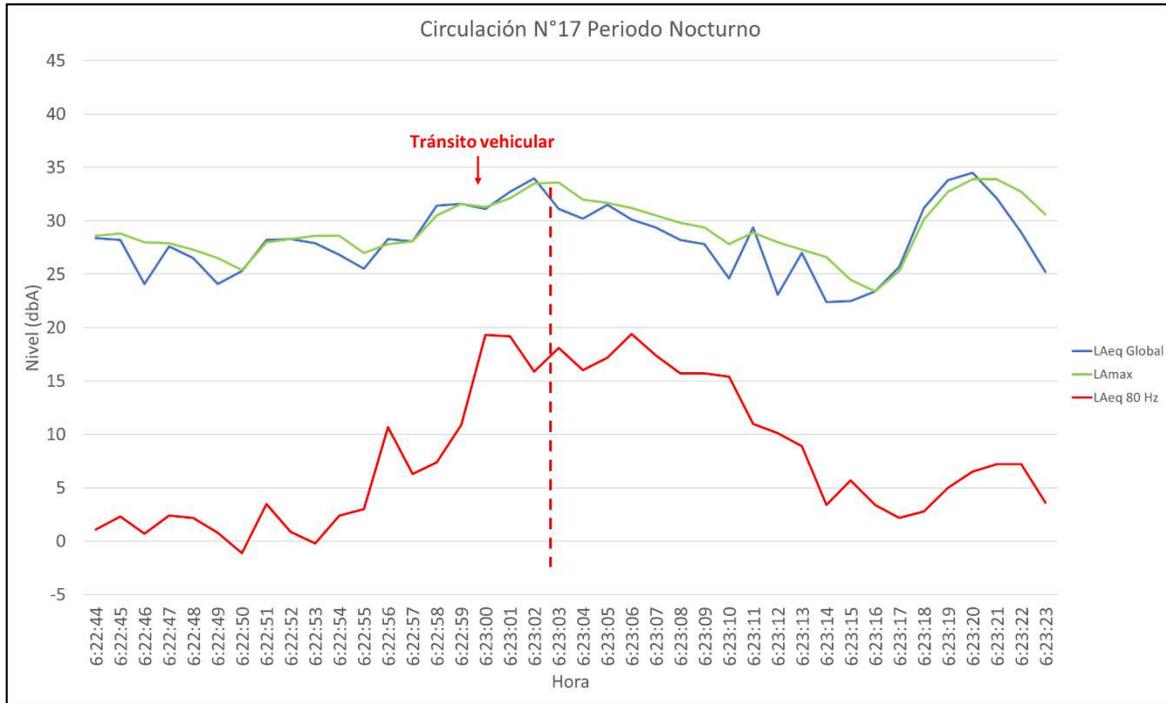
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	49.2	52.7	59.7	61.7	62.5	62.1	57.3	54.8	49	43.7	31.2	31.1	18.6
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-7.5	2.2	15.0	22.3	27.9	31.9	31.1	32.3	29.9	27.6	17.8	20.2	10.0
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-12.5	-2.8	10.0	17.3	22.9	26.9	26.1	27.3	24.9	22.6	12.8	15.2	5.0
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-12.5	-2.8	10.0	17.3	22.9	26.9	26.1	27.3	24.9	22.6	12.8	15.2	5.0
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-3.2	4	8.6	10.7	17.8	19.3	18.8	19.5	22.7	15.5	16.7	19	16.6
Valor global estimado según método FTA (dBA)	33.5												

Ilustración 85. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°16.



Circulación 17

Ilustración 86. Gráfico circulación N°17 de tren horario nocturno.



Al analizar la circulación, dada la influencia del ruido ambiente asociado al tránsito vehicular, se presenta el cálculo del nivel de ruido inducido mediante el nivel de velocidad de vibración mecánica medido en el eje de mayor valor, en este caso el eje vertical, alcanzándose un nivel de ruido inducido de 28.7 dBA.

Ilustración 87. Gráfico de velocidad de vibración obtenido para la circulación N°17 de tren horario nocturno.

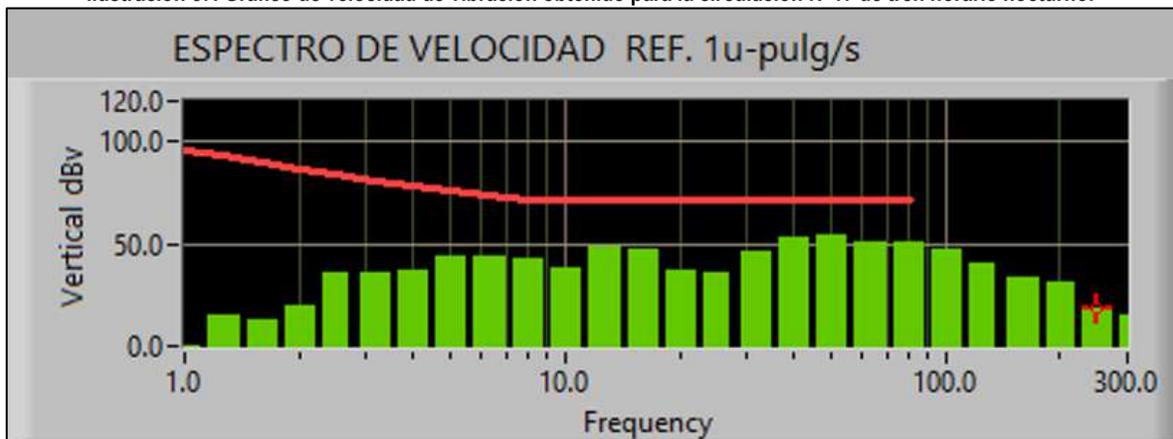
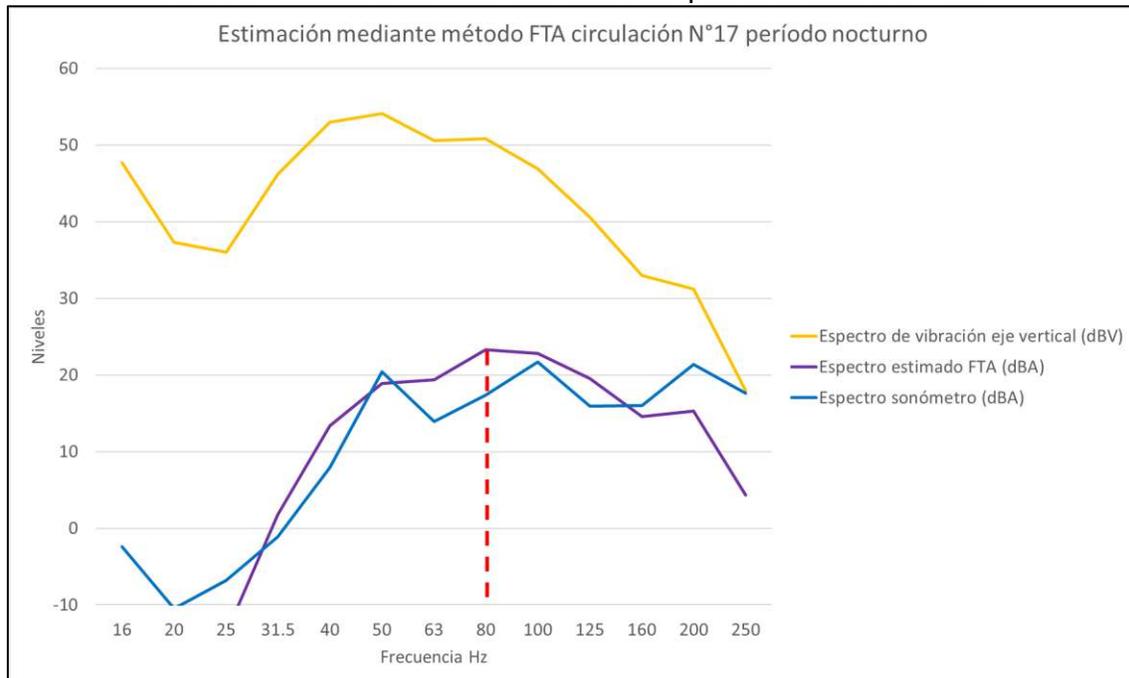


Tabla 29. Niveles de velocidad obtenidos en dBV del eje vertical y niveles de ruido estimados en dBA según método FTA para circulación N°17.

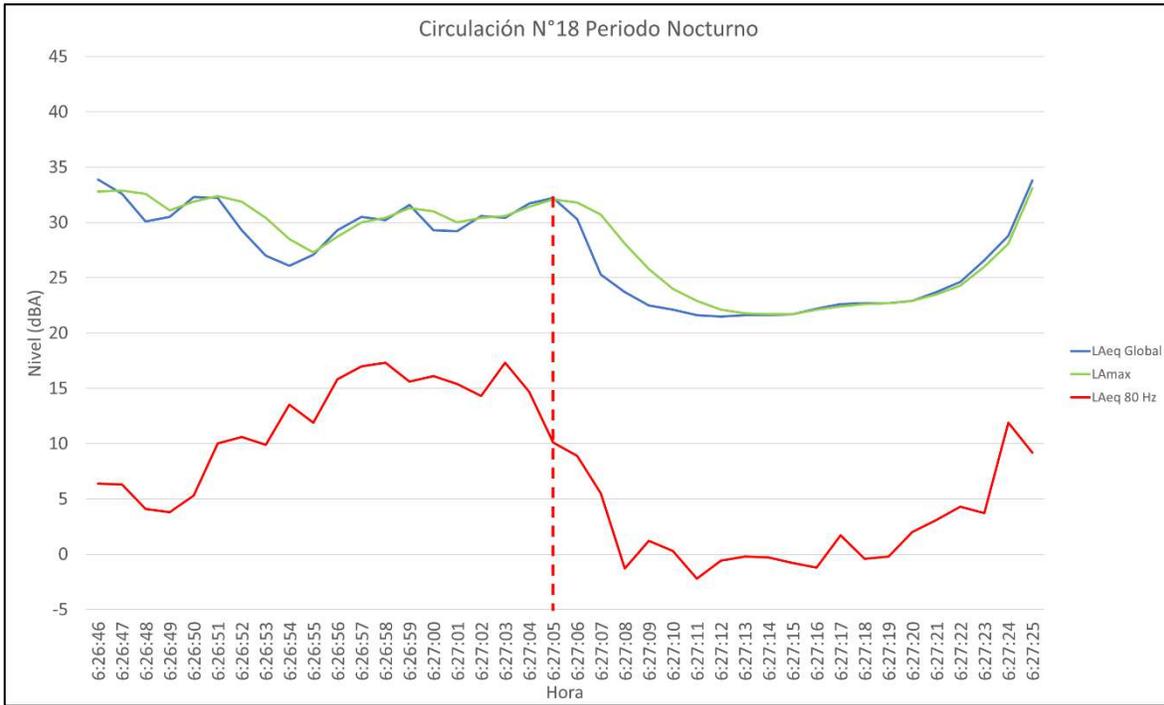
Descripción	Frecuencia (Hz)												
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje vertical (dBV) medido	47.7	37.3	36	46.2	53	54.1	50.6	50.8	46.9	40.6	33	31.2	17.9
Curva de ponderación "A"	-56.7	-50.5	-44.7	-39.4	-34.6	-30.2	-26.2	-22.5	-19.1	-16.1	-13.4	-10.9	-8.6
Espectro de vibración de eje vertical ponderado en curva "A" (dBA)	-9.0	-13.2	-8.7	6.8	18.4	23.9	24.4	28.3	27.8	24.5	19.6	20.3	9.3
Sustracción de 5 dB al espectro de vibración ponderado "A" por absorción de habitación (dBA)	-14.0	-18.2	-13.7	1.8	13.4	18.9	19.4	23.3	22.8	19.5	14.6	15.3	4.3
Espectro GBN estimado según método FTA (dBA)	-14.0	-18.2	-13.7	1.8	13.4	18.9	19.4	23.3	22.8	19.5	14.6	15.3	4.3
Espectro medido con sonómetro (dBA)	-2.4	-10.5	-6.8	-1.1	7.9	20.4	13.9	17.4	21.7	15.9	16	21.4	17.6
Valor global estimado según método FTA (dBA)	28.7												

Ilustración 88. Gráfico estimación mediante método FTA para circulación N°17 nocturno.



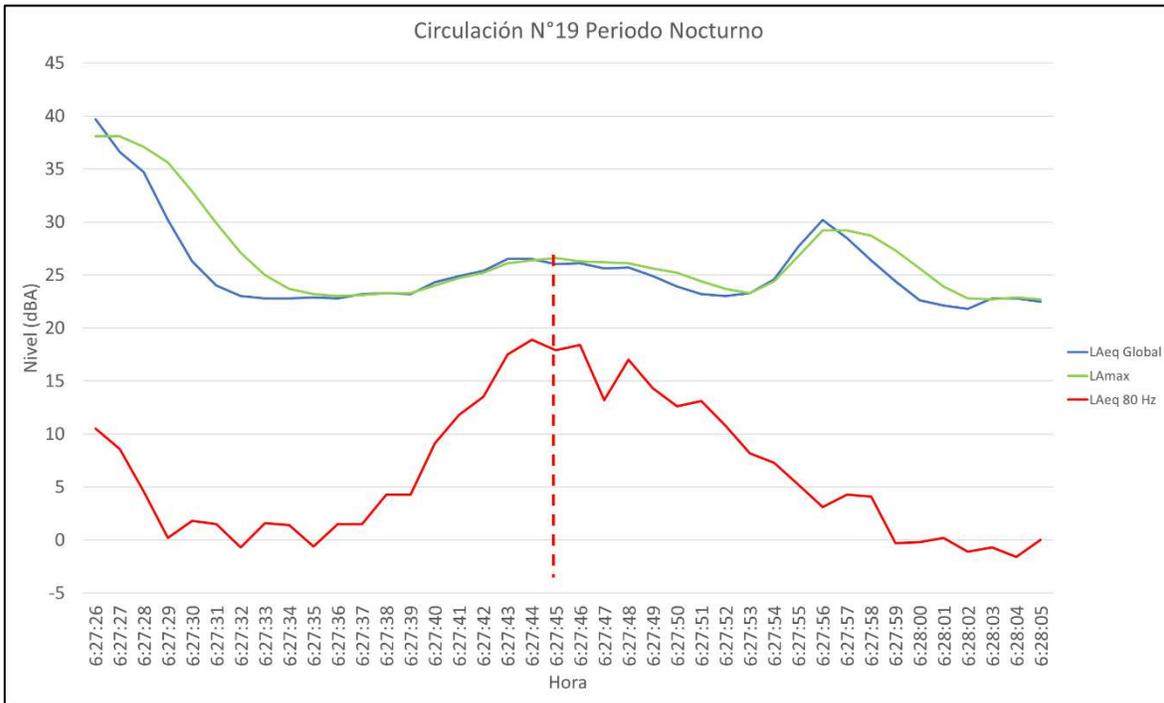
Circulación 18

Ilustración 89. Gráfico circulación N°18 de tren horario nocturno.



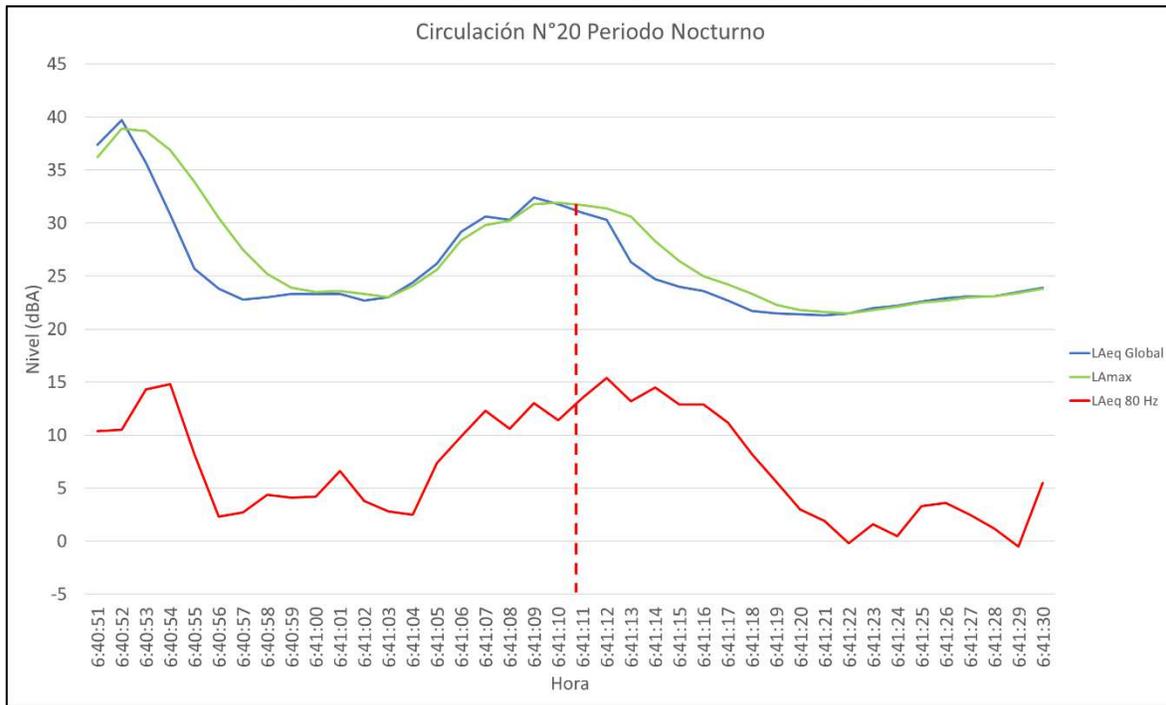
Circulación 19

Ilustración 90. Gráfico circulación N°19 de tren horario nocturno.



Circulación 20

Ilustración 91. Gráfico circulación N°20 de tren horario nocturno.



8 EVALUACIÓN DE NORMATIVA.

De acuerdo con lo que establece la norma FTA Report N°0123:2018 se presenta a continuación la evaluación de los niveles de ruido inducido medidos al interior del recinto para cada circulación de tren en horario diurno y nocturno.

8.1 EVALUACIÓN CIRCULACIONES DIURNAS.

En la siguiente tabla se presentan los niveles de ruido inducido alcanzados para cada circulación de tren en período diurno comparado con el nivel máximo permisible según FTA N°0123:2018, el cual corresponde a 35 dBA para recintos del tipo residencial con uso de suelo en categoría 2 y eventos frecuentes.

Tabla 30. Evaluación según FTA N°0123:2018 para cada circulación de tren en horario Diurno.

Receptor	Fecha	Hora	Tiempo de integración	L _{Amax} (slow) (dBA)	L _{Aeq} (dBA)	Ruido de fondo (dBA)	NPS a los 50 Hz – 80 Hz	Influencia RF	Predicción de GBN (RMS 1 seg.) (dBA)	Eje para predicción	Resultado (Supera / no Supera / Nulo)
Javiera Carrera Norte N°20A	04-02-2021	18:05:36	1 Segundo	30.1	29.8	27.3 - 28.7	18.2 - 21.6	NO	-	-	NO SUPERA
	04-02-2021	18:15:05	1 Segundo	28.7	28.4	26.9 - 26.4	20.8 - 16.4	NO	-	-	NO SUPERA
	04-02-2021	18:15:33	1 Segundo	31.2	30.6	29.3 - 29.3	17.2 - 18.7	NO	-	-	NO SUPERA
	04-02-2021	19:05:07	1 Segundo	29.4	28.5	26.6 - 26.2	23.7 - 14.8	NO	-	-	NO SUPERA
	04-02-2021	20:03:34	1 Segundo	38.8	39.6	33.4 - 34.8	27.5 - 11.1	SI	28.4	Eje U-D	NO SUPERA
	04-02-2021	20:10:13	1 Segundo	28.8	28.7	25.8 - 26.7	24.9 - 15.5	NO	-	-	NO SUPERA
	04-02-2021	20:23:31	1 Segundo	28.6	28.2	27.5 - 27.6	24.0 - 15.7	NO	-	-	NO SUPERA
	04-02-2021	20:27:16	1 Segundo	32.5	33.1	24.4 - 29.7	12.7 - 12.2	NO	-	-	NO SUPERA
	04-02-2021	21:00:32	1 Segundo	34.5	33.0	32.8 - 30.4	15.9 - 15.8	SI	27.5	Eje U-D	NO SUPERA
	04-02-2021	21:16:46	1 Segundo	29.1	29.6	28.8 - 33.0	8.3 - 4.7	SI	28.4	Eje U-D	NO SUPERA
	04-02-2021	21:20:31	1 Segundo	28.9	27.7	25.4 - 26.5	14.7 - 18.2	NO	-	-	NO SUPERA
	04-02-2021	21:27:11	1 Segundo	38.1	39.2	28.1 - 30.8	17.4 - 18.6	SI	28.6	Eje U-D	NO SUPERA
	04-02-2021	21:40:45	1 Segundo	32.8	32.9	29.2 - 24.3	23.6 - 16.4	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	7:09:06	1 Segundo	26.9	27.2	24.4 - 25.7	19.1 - 15.1	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	7:13:48	1 Segundo	36.4	35.6	30.8 - 35.6	15.3 - 15.7	SI	30.6	Eje U-D	NO SUPERA
	05-02-2021	7:19:11	1 Segundo	33.9	34.8	27.6 - 30.1	20 - 10.3	SI	33.4	Eje U-D	NO SUPERA
	05-02-2021	7:23:46	1 Segundo	37.5	37.7	33.5 - 32.0	23 - 17.7	SI	30.5	Eje U-D	NO SUPERA
	05-02-2021	7:24:16	1 Segundo	35.4	35.9	32.5 - 33.3	12.7 - 11.3	SI	31.7	Eje U-D	NO SUPERA
	05-02-2021	7:29:14	1 Segundo	32.7	31.0	23.9 - 22.3	18.8 - 15.3	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	7:33:34	1 Segundo	32.7	33.1	33.3 - 23.9	10.5 - 17.8	SI	28.2	Eje U-D	NO SUPERA
05-02-2021	7:38:16	1 Segundo	42.3	43.8	31.2 - 40.7	16.9 - 16.9	SI	29.8	Eje U-D	NO SUPERA	
05-02-2021	8:01:51	1 Segundo	31.1	31.8	25.5 - 25.2	14.5 - 13.7	NO	-	-	NO SUPERA	
05-02-2021	8:54:32	1 Segundo	42.2	41.4	30.2 - 31.4	27.1 - 26.2	SI	30.6	Eje U-D	NO SUPERA	
05-02-2021	8:59:27	1 Segundo	34.8	35.0	31.8 - 29.2	16.8 - 14.4	SI	30.8	Eje U-D	NO SUPERA	
05-02-2021	9:04:08	1 Segundo	35.2	35.5	35.4 - 31.7	14.6 - 18.1	SI	28.2	Eje U-D	NO SUPERA	

Cabe destacar que para describir de forma correcta el nivel de ruido de fondo o ruido ambiental se emplea el descriptor Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación "A" (LAeq 1 seg.) instantáneo. Este nivel influye directamente en la medición de ruido inducido registrado con sonómetro.

Al momento de identificar una circulación de tren, se analiza si ésta se ve influenciada o no por el ruido de fondo durante la medición considerando los audios asociados a la medición, identificándose principalmente tráfico vehicular. Por lo tanto, al verse contaminada la medición no en su totalidad, se procede a estimar el nivel de ruido inducido de una circulación de tren a partir de los valores de vibración mecánica medidos en el mismo periodo.

En base a lo anterior, según los valores obtenidos para las circulaciones diurnas N°9, N°10, N°16, N°20 y N°24 los cuales, a pesar de estar por debajo del límite máximo permisible, se encuentran influenciados en parte por el ruido de fondo.

De igual manera, se estima el nivel de ruido inducido en las circulaciones N°5, N°12, N°15, N°17, N°18, N°21, N°23 y N°25 las cuales sobrepasan según descriptor LAmax el nivel máximo permisible según la norma FTA, pero al mismo tiempo son las más influenciadas por el ruido de fondo.

Es importante destacar, que los valores obtenidos de la predicción se asemejan a los valores de ruido medidos en terreno para una circulación de tren limpia.

8.2 EVALUACIÓN CIRCULACIONES NOCTURNAS

En la siguiente tabla se presentan los niveles de ruido inducido alcanzados para cada circulación de tren en período nocturno comparado con el nivel máximo permisible según FTA N°0123:2018, el cual corresponde a 35 dBA para recintos del tipo residencial con uso de suelo en categoría 2 y eventos frecuentes.

Tabla 31. Valores obtenidos para cada circulación de tren en horario Nocturno.

Receptor	Fecha	Hora	Tiempo de integración	L _{Amax} (slow) (dBA)	L _{Aeq} (dBA)	Ruido de fondo (dBA)	NPS a los 50 Hz – 80 Hz	Influencia RF	Predicción de GBN (RMS 1 seg) (dBA)	Eje para predicción	Resultado (Supera / no Supera / Nulo)
Javiera Carrera Norte N°20A	05-02-2021	5:14:56	1 Segundo	26.8	26.5	20.8 - 21.3	21.4 - 18.7	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:18:21	1 Segundo	24.6	24.2	20.6 - 21.3	18.6 - 15.5	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:23:01	1 Segundo	23.6	23.0	20.7 - 20.7	14.2 - 15.9	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:27:36	1 Segundo	26.5	26.4	20.8 - 20.8	22.1 - 17.5	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:28:20	1 Segundo	24.0	23.8	20.8 - 20.8	9.9 - 16.3	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:32:16	1 Segundo	25.0	24.9	20.8 - 20.8	20.3 - 13.5	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:33:01	1 Segundo	32.8	31.3	29.5 - 27.9	16.6 - 20.3	SI	33.8	Eje U-D	NO SUPERA
	05-02-2021	5:35:53	1 Segundo	24.1	24.0	20.8 - 20.7	17.4 - 14.6	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:41:32	1 Segundo	27.0	27.1	21.7 - 20.8	22.1 - 15.7	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:42:21	1 Segundo	32.1	33.1	21.0 - 21.1	9.0 - 17.0	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:46:46	1 Segundo	24.1	24.1	20.8 - 21.3	18.2 - 12.2	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:47:01	1 Segundo	26.7	25.9	21.9 - 22.4	19.0 - 17.9	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:56:46	1 Segundo	31.1	32.1	21.2 - 22.3	13.9 - 13.5	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	5:57:48	1 Segundo	25.0	24.2	21.7 - 22.2	19.1 - 13.6	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	6:13:31	1 Segundo	28.6	27.2	21.8 - 21.7	11.4 - 13.2	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	6:18:12	1 Segundo	34.1	35.3	28.4 - 28.1	9.4 - 9.7	SI	33.5	Eje U-D	NO SUPERA
	05-02-2021	6:22:52	1 Segundo	33.6	31.1	28.0 - 29.2	25.5 - 18.1	SI	28.7	Eje U-D	NO SUPERA
	05-02-2021	6:26:52	1 Segundo	32.1	32.2	26.1 - 21.8	13.3 - 10.1	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	6:27:32	1 Segundo	26.6	26.0	22.8 - 23.0	18.4 - 17.9	NO	-	-	NO SUPERA
	05-02-2021	6:41:05	1 Segundo	31.9	31.0	23.6 - 21.6	22.1 - 13.5	NO	-	-	NO SUPERA

Cabe destacar que para describir de forma correcta el nivel de ruido de fondo o ruido ambiental se emplea el descriptor Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente con ponderación “A” (L_{Aeq} 1 seg.) instantáneo. Este nivel influye directamente en la medición de ruido inducido registrado con sonómetro.

Al momento de identificar una circulación de tren, se analiza si ésta se ve influenciada o no por el ruido de fondo durante la medición, considerando los audios asociados a la medición, identificándose principalmente tráfico vehicular. Por lo tanto, al verse contaminada la medición no en su totalidad, se procede a estimar el nivel de ruido inducido de una circulación de tren a partir de los valores de vibración mecánica del eje más alto medido en el mismo periodo.

En base a lo anterior, según los valores obtenidos para la circulación N°7, N°16 y N°17 los cuales, a pesar de estar por debajo del límite máximo permisible, se encuentran influenciados en parte por el ruido de fondo.

Es importante destacar, que los valores obtenidos de la predicción se asemejan a los valores de ruido medidos en terreno para una circulación de tren limpia.

9 CONCLUSIÓN

A partir de los datos medidos en terreno y su posterior análisis, se concluye que los niveles de ruido inducido (Groundborne Noise o GBN) registrados al interior del recinto ubicado en Calle Javiera Carrera Norte N°20A en 1^{er} piso, Comuna de La Reina, originados producto de la operación de la Línea 3 de Metro S.A. en la interestación Plaza Egaña – Fernando Castillo Velasco, cumplen con el nivel de evaluación máximo permitido para recintos del tipo residencial con uso de suelo en categoría 2 para eventos frecuentes establecido en 35 dBA, según criterio normativo FTA 0123:2018.

Lo anterior se cumple tanto para las 25 circulaciones de tren más limpias y con menos influencia del ruido ambiente evaluadas durante el período diurno, y las 20 circulaciones evaluadas durante el periodo nocturno al interior del receptor, ya sea de manera directa como aquellas predichas mediante los niveles de vibración mecánica según FTA 0123:2018 producto de la influencia del ruido ambiente o de fondo en los bloques horarios bajo, valle y punta.

10 REFERENCIAS

- Criterio Normativo FTA Report 0123:2018. “*Transit Noise and Vibration Impact Assessment Manual*” de la Federal Transit Administration (FTA) – EEUU (2018).
- Criterio Normativo EPA. “*Guidelines for the Assessment of Noise from Rail Infrastructure*”, de la Environment Protection Authority (EPA) – South Australia (2013).
- Norma ISO 14837-1:2005 “*Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 1: General Guidance*”.
- Norma ISO/TS 14837-31:2017 “*Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems – Part 31: Guideline on field measurements for the evaluation of human exposure in buildings*”.

ANEXOS

10.1 Anexo – Certificado de Calibración Sonómetro NTI XL2-TA

	LABCAL – ISP Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile.
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Código: SON20190114 Página 1 de 7 páginas	
<u>DATOS DEL ÍTEM</u>	
FABRICANTE SONÓMETRO	: NTI AUDIO
MODELO SONÓMETRO	: XL2-TA
NÚMERO SERIE SONÓMETRO	: A2A-13728-E0
MARCA MICRÓFONO	: NTI AUDIO
MODELO MICRÓFONO	: M2230 (MC230)
NÚMERO SERIE MICRÓFONO	: 7054 (A16350)
<u>DATOS DEL CLIENTE</u>	
CLIENTE	: CONTADOR Y CAMPOS INGENIERÍA LIMITADA
DIRECCIÓN	: JOSÉ MANUEL INFANTE N° 919, OF. 102, PROVIDENCIA, REGIÓN METROPOLITANA
<u>DATOS DE LA CALIBRACIÓN</u>	
LUGAR DE CALIBRACIÓN	: LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACÚSTICA ISP
FECHA RECEPCIÓN	: 05/12/2019
FECHA CALIBRACIÓN	: 05/12/2019
FECHA EMISIÓN INFORME	: 06/12/2019
Hernán Fontecilla Garcia Técnico de Calibración	
Juan Carlos Valenzuela Illanes Encargado Laboratorio de Calibración Acústica	
<p>La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura 2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.</p> <p>Anexo a este Certificado de Calibración se adjuntan los valores nominales de los resultados de la calibración, junto con las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Se incluye además, una tabla resumen con el resultado de contrastar dichas tolerancias con los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre de medida. La tabla no supone la conformidad del instrumento con respecto a la especificación metrológica, tan sólo con los apartados de dicha especificación metrológica.</p> <p>Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, aplicando únicamente al instrumento sometido a ensayo.</p> <p>Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calibración Acústica del Instituto de Salud Pública de Chile, que lo expide.</p>	
Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile Marathon 1000 – Nuñoa – Santiago – Chile. Tel.: (56 – 2) 2575 55 61. www.ispch.cl	

Código: SON20190114

Página 2 de 7 páginas

- **CONDICIONES AMBIENTALES DE MEDIDA:**
T = 23°C ± 3°C / H.R. = 50% ± 20% / P = 95kPa ± 10kPa
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIA:**
T = 23°C / H.R. = 50 % / P = 101,325kPa
- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**
ME-512.03-001 Calibración de Sonómetros Según Norma Técnica IEC 61672-3:2006 de Sonómetros.
- **ESPECIFICACIÓN METROLÓGICA APLICADA:**
Las tolerancias aplicadas son las establecidas en la Norma IEC 61672-3:2006 de Sonómetros. Dichas tolerancias son las indicadas para un grado de precisión del instrumento Clase 1.
- **PATRONES UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN:**
Los patrones utilizados garantizan su trazabilidad a través de Laboratorios nacionales acreditados por el INN o por Laboratorios internacionales acreditados. La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente con los patrones de los laboratorios de Brüel & Kjaer.
- **RESUMEN DE RESULTADOS:**

Apartado de la especificación metrológica (Ref. IEC 61672-3:2006)		Resultado
Indicación a la frecuencia de comprobación de la calibración (Apartado 9)		POSITIVO
Ruido intrínseco (Apartado 10)	Micrófono Instalado	N/A
	Dispositivo de entrada eléctrica	POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales acústicas (Apartado 11)	Ponderación frecuencial A	N/A
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
Ponderación frecuencial con señales eléctricas (Apartado 12)	Ponderación frecuencial A	POSITIVO
	Ponderación frecuencial C	POSITIVO
	Ponderación frecuencial lineal	N/A
Ponderaciones temporales y frecuenciales a 1 kHz (Apartado 13)	Ponderaciones frecuenciales	POSITIVO
	Ponderaciones temporales	POSITIVO
Linealidad de nivel en el margen de nivel de referencia (Apartado 14)		POSITIVO
Linealidad de nivel incluyendo el selector de márgenes de nivel (Apartado 15)		POSITIVO
Respuesta a tren de ondas (Apartado 16)	Ponderación temporal Fast	POSITIVO
	Ponderación temporal Slow	POSITIVO
	Nivel promediado en el tiempo	POSITIVO
Nivel de sonido con ponderación C de pico (Apartado 17)		POSITIVO
Indicación de sobrecarga (Apartado 18)		POSITIVO

- Resultado **POSITIVO** significa que el instrumento cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **NEGATIVO** significa que el instrumento no cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **N/A** significa que el ensayo no es aplicable al instrumento.

▪ **INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LA CALIBRACIÓN**

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	Nº SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CALIBRADO POR
Generador de funciones	STANDFORD	DS360	88431	18-JO-CA-6564	DIS
Generador Multifrecuencia	BRUEL & KJAER	4226	2692339	18LACT6920F01	LACAINAC
Módulo de presión Barométrica	ALMEMO AHLBORN	FDA612-SA Almemo 2490-2	09040332 H09030234	P00998	ENAER
Termohigrómetro	AHLBORN	Almemo 2490 FHA646-E1	H09050234 09070450	H00242	ENAER

Laboratorio de Calibración Acústica, Instituto de Salud Pública de Chile
Marathon 1000 – Nuñoa – Santiago – Chile
Tel.: (56 – 2) 2575 55 61.
www.ispch.cl

Código: SON20190114
Página 3 de 7 páginas

INDICACIÓN A LA FRECUENCIA DE CALIBRACIÓN

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial (dB)	Corrección (dB)	Ajustado	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
93.98	1000	0	0.0	NO	93.97	93.98	-0.01	0.20	1.1	-1.1

RUIDO INTRÍNSECO

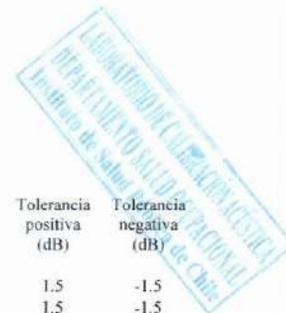
Dispositivo de Entrada Eléctrica

Ponderación Frecuencial	Nivel Leído (dB)	U (dB)	Especificación Fabricante (dB)
A	8.30	0.058	18.00
C	11.90	0.058	17.00
Z	18.20	0.058	21.00

PONDERACIÓN FRECUENCIAL ACÚSTICA

Ponderación Frecuencial C

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial (dB)	Corrección (dB)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
94.02	63	-0.8	0	93.27	93.21	0.06	0.23	1.5	-1.5
93.99	125	-0.2	0	93.92	93.78	0.14	0.26	1.5	-1.5
93.97	250	0	0	94.02	93.96	0.06	0.26	1.4	-1.4
93.95	500	0	0.0	94.02	93.94	0.08	0.26	1.4	-1.4
93.98	1000	0	0.0	93.97	-	-	-	-	-
93.96	2000	-0.2	0.3	93.72	93.45	0.27	0.26	1.6	-1.6
93.93	4000	-0.8	0.7	92.92	92.42	0.50	0.26	1.6	-1.6
94.07	8000	-3	2.6	85.87	88.46	-2.59	0.23	2.1	-3.1
94.11	12500	-6.2	6	81.37	81.90	-0.53	0.24	3	-6



Si a la derecha de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metrologica aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa.

Código: SON20190114

Página 4 de 7 páginas

PONDERACIÓN FRECUENCIAL

Ponderación Frecuencial A

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial (dB)	Corrección (eléctrica) (dB)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
101.20	63	-26.2	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	1.5	-1.5
91.10	125	-16.1	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.5	-1.5
83.60	250	-8.6	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	1.4	-1.4
78.20	500	-3.2	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.4	-1.4
75.00	1000	0	0	75.00	-	-	-	-	-
73.80	2000	1.2	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
74.00	4000	1	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
76.10	8000	-1.1	0	75.00	75.00	0.00	0.18	2.1	-3.1
81.60	16000	-6.6	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	3.5	-17

Ponderación Frecuencial C

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial (dB)	Corrección (eléctrica) (dB)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
75.80	63	-0.8	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	1.5	-1.5
75.20	125	-0.2	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.5	-1.5
75.00	250	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.4	-1.4
75.00	500	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.4	-1.4
75.00	1000	0	0	75.00	-	-	-	-	-
75.20	2000	-0.2	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
75.80	4000	-0.8	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
78.00	8000	-3	0	75.00	75.00	0.00	0.18	2.1	-3.1
83.50	16000	-8.5	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	3.5	-17

Ponderación Frecuencial Z

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial (dB)	Corrección (eléctrica) (dB)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
75.00	63	0	0	74.90	75.00	-0.10	0.18	1.5	-1.5
75.00	125	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.5	-1.5
75.00	250	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.4	-1.4
75.00	500	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.4	-1.4
75.00	1000	0	0	75.00	-	-	-	-	-
75.00	2000	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
75.00	4000	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	1.6	-1.6
75.00	8000	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	2.1	-3.1
75.00	16000	0	0	75.00	75.00	0.00	0.18	3.5	-17

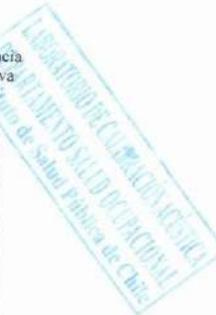
Si a la derecha de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metrologica aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa

Código: SON20190114

Página 5 de 7 páginas

LINEALIDAD

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
124.10	8000	OVERLOAD	123.00	-	-	1.1	-1.1
123.10	8000	122.00	122.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
122.10	8000	121.00	121.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
121.10	8000	120.00	120.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
120.10	8000	119.00	119.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
119.10	8000	118.00	118.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
118.10	8000	117.00	117.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
117.10	8000	116.00	116.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
116.10	8000	115.00	115.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
115.10	8000	114.00	114.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
110.10	8000	109.00	109.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
105.10	8000	104.00	104.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
100.10	8000	99.00	99.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
95.10	8000	94.00	-	-	-	-	-
90.10	8000	89.00	89.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
85.10	8000	84.00	84.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
80.10	8000	79.00	79.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
75.10	8000	74.00	74.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
70.10	8000	69.00	69.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
65.10	8000	64.00	64.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
60.10	8000	59.00	59.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
55.10	8000	54.00	54.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
50.10	8000	49.00	49.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
45.10	8000	44.00	44.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
40.10	8000	39.00	39.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
35.10	8000	34.10	34.00	0.10	0.14	1.1	-1.1
30.10	8000	29.40	29.00	0.40	0.14	1.1	-1.1
29.10	8000	UNDER-RANGE	28.00	-	-	1.1	-1.1



Si a la derecha de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metroológica aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa.

Código: SON20190114
Página 6 de 7 páginas

LINEALIDAD SELECTOR MARGENES DE NIVEL

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Rango	Rango (dB)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
94.00	1000	Ref	20 - 120	94.00	-	-	-	-	-
74.00	1000	R1	0 - 100	74.00	74.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
95.00	1000	R1	0 - 100	95.00	95.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
114.00	1000	R2	40 - 140	114.00	114.00	0.00	0.14	1.1	-1.1
135.00	1000	R2	40 - 140	135.00	135.00	0.00	0.14	1.1	-1.1

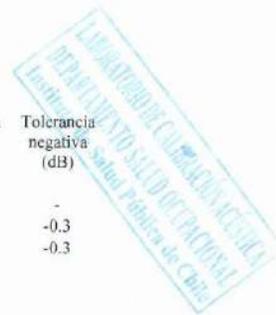
DIFERENCIA DE INDICACIÓN

Ponderaciones Temporales

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Temporal	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
94.00	1000	NPS Fast	94.00	-	-	-	-	-
94.00	1000	NPS Slow	94.00	94.00	0.00	0.082	0.3	-0.3
94.00	1000	Leq	94.00	94.00	0.00	0.082	0.3	-0.3

Ponderaciones Frecuenciales

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Ponderación Frecuencial	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
94.00	1000	A	94.00	-	-	-	-	-
94.00	1000	C	94.00	94.00	0.00	0.082	0.4	-0.4
94.00	1000	Z	94.00	94.00	0.00	0.082	0.4	-0.4



Si a la derecha de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa.

Código: SON20190114
Página 7 de 7 páginas

RESPUESTA A TREN DE ONDAS

Ponderación temporal Fast

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Duración (ms)	t_exp (s)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
116.00	4000.00	-	-	117.00	-	-	-	-	-
116.00	4000.00	200	0.125	116.00	116.02	-0.02	0.082	0.8	-0.8
116.00	4000.00	2	0.125	98.90	99.01	-0.11	0.082	1.3	-1.8
116.00	4000.00	0.25	0.125	89.80	90.01	-0.21	0.082	1.3	-3.3

Ponderación temporal Slow

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Duración (ms)	t_exp (s)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
116.00	4000.00	-	-	117.00	-	-	-	-	-
116.00	4000.00	200	1	109.50	109.58	-0.08	0.082	0.8	-0.8
116.00	4000.00	2	1	89.90	90.01	-0.11	0.082	1.3	-3.3

Nivel promediado en el tiempo

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Duración (ms)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
116.00	4000.00	-	117.00	-	-	-	-	-
116.00	4000.00	200	109.92	110.01	-0.09	0.082	0.8	-0.8
116.00	4000.00	2	89.92	90.01	-0.09	0.082	1.3	-1.8
116.00	4000.00	0.25	79.82	80.98	-1.16	0.082	1.3	-3.3

NIVEL DE SONIDO CON PONDERACIÓN C DE PICO

NPA aplicado (dB)	Frecuencia (Hz)	Número de Ciclos	Lepeak-Lc	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
130.00	8000	-	-	126.90	-	-	-	-	-
127.00	500	-	-	127.00	-	-	-	-	-
130.00	8000	Uno	3.4	130.10	130.30	-0.20	0.082	2.4	-2.4
127.00	500	Semiciclo positivo	2.4	129.20	129.40	-0.20	0.082	1.4	-1.4
127.00	500	Semiciclo negativo	2.4	129.20	129.40	-0.20	0.082	1.4	-1.4

INDICACIÓN DE SOBRECARGA

Margen Superior (dB)	Frecuencia (Hz)	Señal de Entrada	Nivel Sobrecarga (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	U (dB)	Tolerancia positiva (dB)	Tolerancia negativa (dB)
140	4000	Semiciclo positivo	140.90	-	-	-	-	-
140	4000	Semiciclo negativo	140.90	140.90	0.00	0.14	1.8	-1.8

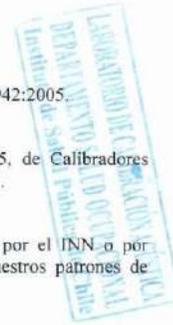
Si a la derecha de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metrología aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa.

10.2 Anexo – Certificado de Calibración Calibrador Larson Davis

	LABCAL – ISP Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile.
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Código: CAL20190101 Página 1 de 1 páginas (más anexo)	
<u>DATOS DEL ÍTEM</u>	
FABRICANTE CALIBRADOR	: LARSON DAVIS
MODELO	: CAL200
NÚMERO DE SERIE	: 11831
<u>DATOS DEL CLIENTE</u>	
CLIENTE	: CONTADOR Y CAMPOS INGENIERÍA LIMITADA
DIRECCIÓN	: JOSÉ MANUEL INFANTE N° 919, OF. 102, PROVIDENCIA, REGIÓN METROPOLITANA
<u>DATOS DE LA CALIBRACIÓN</u>	
LUGAR DE CALIBRACIÓN	: LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACÚSTICA ISP
FECHA RECEPCIÓN	: 05/12/2019
FECHA CALIBRACIÓN	: 11/12/2019
FECHA EMISIÓN INFORME	: 12/12/2019
Mauricio Sánchez Valenzuela Técnico de Calibración	
Juan Carlos Valenzuela Illanes Encargado Laboratorio de Calibración Acústica	
<p>La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.</p> <p>Anexo a este Certificado de Calibración se adjuntan los valores nominales de los resultados de la calibración, junto con las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Se incluye además, una tabla resumen con el resultado de contrastar dichas tolerancias con los resultados, teniendo en cuenta la incertidumbre de medida. La tabla no supone la conformidad del instrumento con respecto a la especificación metrológica, tan solo con los apartados de dicha especificación metrológica.</p> <p>Los resultados se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones, aplicando únicamente al instrumento sometido a ensayo. Este Informe no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo expide.</p>	
<p align="center">Laboratorio de Calibración Acústica. Instituto de Salud Pública de Chile Marathon 1000 – Nuñoa – Santiago – Chile. Tel.: (56 – 2) 2575 55 61. www.ispchi.cl</p>	



Anexo Código: CAL20190101
Página 1 de 2 páginas



- **CONDICIONES AMBIENTALES DE MEDIDA:**
T = 23°C ± 3°C / H.R. = 50% ± 20% / P = 95kPa ± 10kPa
- **CONDICIONES AMBIENTALES DE REFERENCIA:**
T = 23°C / H.R. = 50% / P = 101,325kPa
- **PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN:**
ME 512 03 002 Calibración de Calibradores Acústicos de Terreno Según Norma Técnica UNE-EN 60942:2005.
- **ESPECIFICACIÓN METROLÓGICA APLICADA:**
Las tolerancias aplicadas son las establecidas en el Anexo B de la norma UNE-EN 60942:2005, de Calibradores Acústicos. Dichas tolerancias son las establecidas para un grado de precisión del instrumento CLASE 1.
- **PATRONES UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN:**
Los patrones utilizados garantizan su trazabilidad a través de laboratorios nacionales acreditados por el INN o por laboratorios internacionales acreditados. La trazabilidad de las medidas efectuadas se refiere a nuestros patrones de referencia calibrados periódicamente con los patrones de los laboratorios de Brüel & Kjaer.
- **OBSERVACIONES:**
Todos los resultados están referidos a las condiciones ambientales de referencia establecidas en la especificación metrológica aplicada.
- **RESUMEN DE RESULTADOS:**

Apartados de la especificación metrológica Norma UNE-EN 60942:2005	Prueba	Resultado
Niveles de presión acústica (Apartados 5.2.2 y 5.2.3 – Tabla 1)	Valor nominal	POSITIVO
	Estabilidad	POSITIVO
Distorsión total (Apartado 5.5 – Tabla 6)		POSITIVO
Frecuencia (Apartado 5.3.2 – Tabla 3)	Valor nominal	POSITIVO

- Resultado **POSITIVO** significa que el instrumento cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **NEGATIVO** significa que el instrumento no cumple con la especificación metrológica aplicada.
- Resultado **N/A** significa que el ensayo no es aplicable al instrumento.

▪ **INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA PARA LA CALIBRACIÓN**

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	Nº SERIE	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	CALIBRADO POR
Generador de funciones	STANDFORD	DS360	88431	2016-3605	DTS
Multímetro Digital	KEITHLEY	2015-P	2485	2016-3423	DTS
Módulo de presión Barométrica	ALMEMO	FD A612-SA	9040332	D-K-15211-01-00	ENAER
Termohigrómetro	ALMEMO	FH A646-EI	09070450	D-K-15211-01-00	ENAER
Microfono Patrón	BRUEL & KJAER	4192	2686091	CDK1707976	BRÜEL&KJAER

Laboratorio de Calibración Acústica, Instituto de Salud Pública de Chile
Marathon 1000 – Nuñoa – Santiago – Chile
Tel. (56 – 2) 2575 55 61.
www.ispch.cl



Anexo Código: CAL20190101
Página 2 de 2 páginas

NIVEL DE PRESIÓN SONORA

Valor nominal del NPS

NPS (dB)	Frecuencia (Hz)	Nivel Leído (dB)	Desviación (dB)	Tolerancia Positiva (dB)	Tolerancia Negativa (dB)	Incertidumbre (dB)
94.00	1000.00	94.08	0.08	0.40	-0.40	± 0.14
114.00	1000.00	114.08	0.08	0.40	-0.40	± 0.14

Estabilidad del NPS

NPS (dB)	Frecuencia (Hz)	Nivel Leído (dB)	Nivel Esperado (dB)	Desviación (dB)	Tolerancia (dB)	Incertidumbre (dB)
94.00	1000.00	0.01	0.00	0.01	0.10	± 0.011
114.00	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.10	± 0.0058

DISTORSIÓN

NPS (dB)	Frecuencia (Hz)	Distorsión Leída (%)	Distorsión Esperada (%)	Desviación (%)	Tolerancia (%)	Incertidumbre (%)
94.00	1000.00	0.389	0.000	0.389	3.000	± 0.11
114.00	1000.00	0.459	0.000	0.459	3.000	± 0.13

FRECUENCIA

Valor nominal de la Frecuencia

NPS (dB)	Frecuencia (Hz)	Frecuencia Exacta (Hz)	Frecuencia Leída (Hz)	Desviación (Hz)	Tolerancia Positiva (Hz)	Tolerancia Negativa (Hz)	Incertidumbre (Hz)
94.00	1000.00	1000.00	1000.26	0.26	10.00	-10.00	± 0.50
114.00	1000.00	1000.00	1000.25	0.25	10.00	-10.00	± 0.50

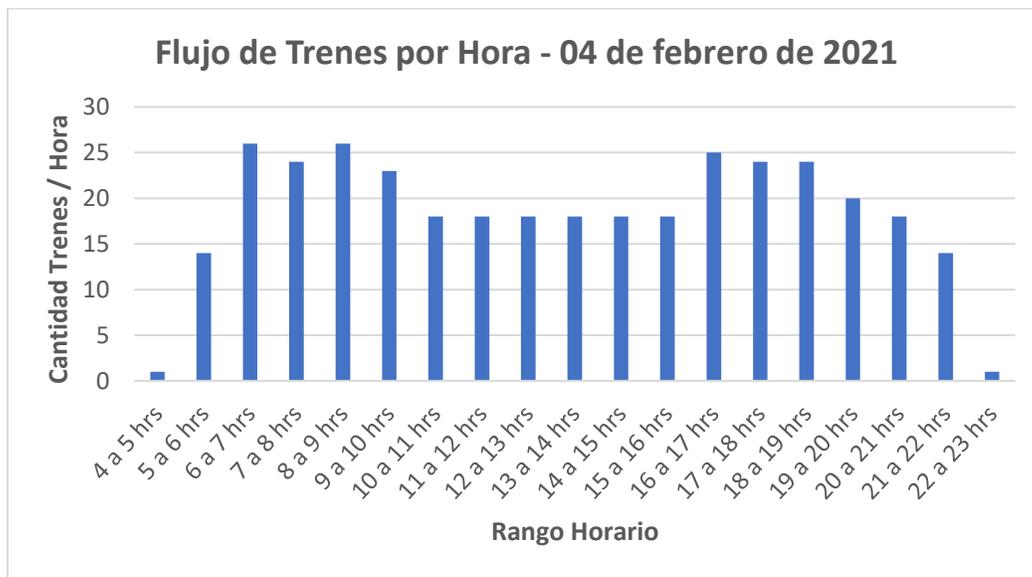
Si a la izquierda de la línea aparece la palabra **ERROR** significa que la lectura, expandida por la incertidumbre de la medición, no está dentro de las tolerancias establecidas en la especificación metrológica aplicada. Las unidades de medida dB son referidos a 20 µPa.

10.3 Anexo - Registro Circulación Trenes Línea 3 Tramo Plaza Egaña (PZE) – Fernando Castillo Velasco (FCV)

El presente anexo da cuenta de información referente a la circulación de trenes los días 4 y 5 de febrero de 2021, en los cuales se realizaron las mediciones solicitadas en edificaciones del tramo PZE-FCV de Línea 3, información proporcionada por Metro de Santiago.

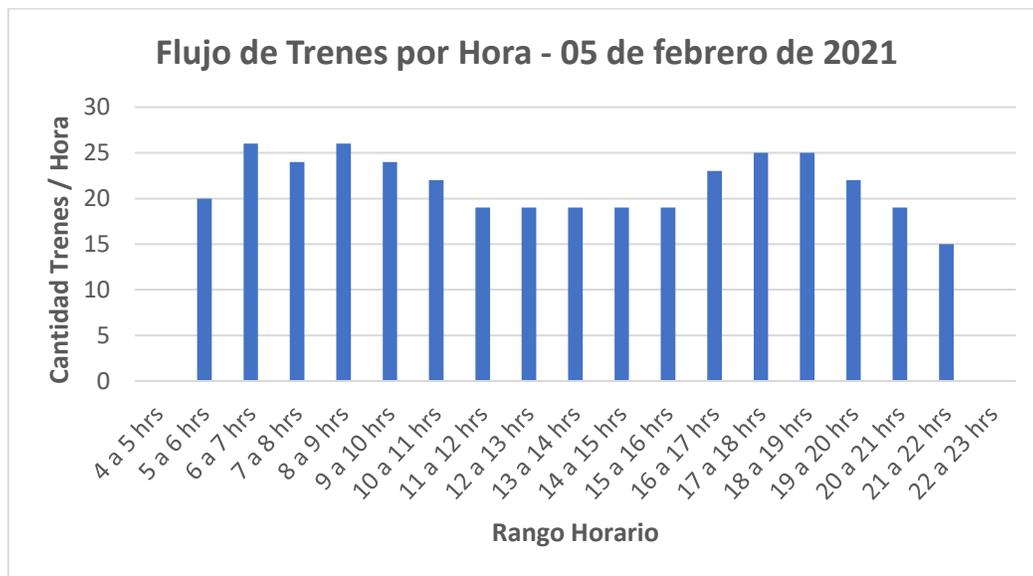
Se presenta un resumen diario, así como el detalle horario de todas las circulaciones que se efectuaron los días indicados, separando esta por vía 1 (desde PZE hacia FCV) y por vía 2 (desde FCV hacia PZE).

- 04 de febrero de 2021



Tramo Horario	Cantidad Trenes / hora
4 a 5 horas	1
5 a 6 horas	14
6 a 7 horas	26
7 a 8 horas	24
8 a 9 horas	26
9 a 10 horas	23
10 a 11 horas	18
11 a 12 horas	18
12 a 13 horas	18
13 a 14 horas	18
14 a 15 horas	18
15 a 16 horas	18
16 a 17 horas	25
17 a 18 horas	24
18 a 19 horas	24
19 a 20 horas	20
20 a 21 horas	18
21 a 22 horas	14
22 a 23 horas	1

- 05 de febrero de 2021



Tramo Horario	Cantidad Trenes / hora
4 a 5 horas	0
5 a 6 horas	20
6 a 7 horas	26
7 a 8 horas	24
8 a 9 horas	26
9 a 10 horas	24
10 a 11 horas	22
11 a 12 horas	19
12 a 13 horas	19
13 a 14 horas	19
14 a 15 horas	19
15 a 16 horas	19
16 a 17 horas	23
17 a 18 horas	25
18 a 19 horas	25
19 a 20 horas	22
20 a 21 horas	19
21 a 22 horas	15
22 a 23 horas	0

- Detalle del total de circulaciones 04 y 05 de febrero de 2021

La hora indicada en las presentes tablas corresponde a la hora que los trenes salieron de la estación respectiva.

04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
4:40:02	5:22:55	5:12:34	5:13:51
5:30:04	5:33:21	5:17:46	5:17:54
5:35:59	5:38:31	5:22:26	5:22:34
5:42:05	5:44:36	5:27:01	5:27:15
5:46:23	5:48:56	5:31:41	5:31:56
5:50:10	5:53:14	5:35:18	5:36:36
5:54:01	5:57:05	5:40:57	5:41:16
5:57:47	6:00:53	5:46:11	5:45:56
6:02:26	6:05:32	5:50:51	5:50:59
6:07:06	6:10:11	5:57:13	5:55:41
6:11:26	6:14:31	6:02:22	6:02:01
6:16:00	6:19:04	6:07:37	6:07:08
6:20:33	6:23:39	6:12:17	6:12:26
6:25:10	6:28:14	6:16:57	6:17:07
6:29:49	6:32:53	6:21:37	6:21:47
6:34:26	6:37:31	6:26:17	6:26:27
6:39:06	6:42:12	6:31:03	6:31:07
6:43:46	6:46:50	6:35:43	6:35:53
6:48:45	6:53:34	6:40:30	6:40:34
6:54:54	6:59:44	6:45:10	6:45:18
6:59:42	7:04:28	6:49:50	6:50:02
7:04:31	7:09:18	6:54:30	6:54:42
7:09:12	7:14:04	6:59:10	6:59:22
7:14:10	7:19:00	7:03:50	7:04:02
7:18:50	7:23:41	7:08:31	7:08:43
7:23:30	7:28:21	7:13:13	7:13:23
7:28:10	7:33:02	7:18:17	7:18:06
7:32:52	7:37:42	7:23:11	7:23:11
7:37:32	7:42:22	7:28:00	7:28:09
7:42:11	7:47:02	7:32:59	7:32:51
7:46:51	7:51:43	7:37:41	7:37:56

04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
7:51:31	7:56:24	7:42:25	7:42:36
7:56:11	8:01:04	7:47:08	7:47:18
8:00:51	8:05:45	7:51:48	7:52:05
8:05:31	8:10:25	7:56:34	7:56:45
8:10:28	8:15:16	8:01:16	8:01:28
8:15:14	8:20:04	8:05:59	8:06:10
8:20:18	8:25:07	8:10:40	8:10:51
8:25:14	8:30:03	8:16:10	8:15:35
8:29:54	8:34:44	8:20:50	8:21:04
8:34:49	8:39:39	8:25:30	8:25:44
8:39:29	8:44:20	8:30:10	8:30:24
8:44:17	8:49:06	8:34:54	8:35:04
8:49:00	8:53:49	8:39:35	8:39:45
8:54:05	8:58:54	8:44:15	8:44:30
8:58:51	9:03:40	8:49:01	8:49:10
9:03:35	9:08:27	8:53:57	8:53:55
9:08:15	9:13:09	8:58:52	8:58:53
9:13:08	9:17:56	9:03:33	9:03:49
9:17:48	9:22:46	9:08:13	9:08:29
9:22:40	9:27:40	9:12:53	9:13:11
9:27:37	9:35:45	9:17:33	9:17:52
9:32:40	9:40:17	9:22:17	9:22:32
9:37:11	9:44:53	9:27:03	9:27:12
9:41:48	9:49:44	9:32:28	9:31:56
9:46:40	9:54:30	9:37:16	9:37:23
9:51:27	10:01:11	9:41:56	9:42:11
9:58:06	10:07:47	9:46:36	9:46:51
10:04:41	10:14:27	9:51:18	9:51:31
10:11:21	10:21:05	9:56:00	9:56:14
10:18:01	10:27:45	10:00:54	10:01:45
10:24:41	10:34:27	10:05:46	10:08:51
10:31:21	10:41:07	10:10:44	10:13:59
10:38:01	10:48:41	10:15:30	10:18:44
10:45:36	10:55:24	10:20:57	10:24:11
10:52:20	11:02:04	10:26:24	10:29:38
10:59:00	11:08:45	10:33:42	10:36:48

04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
11:05:40	11:15:27	10:39:11	10:42:17
11:12:22	11:22:07	10:44:40	10:47:44
11:19:02	11:28:47	10:50:10	10:53:16
11:25:42	11:35:38	10:56:20	10:59:24
11:32:33	11:42:18	11:03:36	11:06:41
11:39:13	11:48:58	11:10:25	11:13:30
11:45:53	11:55:41	11:19:58	11:23:03
11:52:33	12:02:21	11:25:31	11:28:36
11:59:13	12:09:05	11:31:02	11:34:07
12:06:00	12:15:45	11:36:32	11:39:37
12:12:40	12:22:26	11:42:00	11:45:04
12:19:20	12:29:06	11:47:38	11:50:43
12:26:00	12:35:47	11:53:09	11:56:14
12:32:40	12:42:27	11:59:59	12:03:04
12:39:20	12:49:07	12:05:27	12:08:33
12:46:00	12:55:48	12:11:27	12:14:32
12:52:43	13:02:28	12:19:16	12:22:21
12:59:23	13:09:09	12:25:18	12:28:18
13:06:05	13:15:51	12:33:39	12:36:46
13:12:46	13:22:32	12:39:22	12:42:27
13:19:26	13:29:12	12:44:49	12:47:54
13:26:06	13:35:52	12:50:17	12:53:23
13:32:46	13:42:32	12:55:44	12:58:50
13:39:27	13:49:12	13:01:11	13:04:18
13:46:07	13:55:53	13:07:10	13:10:05
13:52:49	14:02:34	13:13:11	13:16:17
13:59:29	14:09:14	13:19:13	13:22:19
14:06:09	14:15:54	13:25:22	13:28:17
14:12:49	14:22:34	13:32:24	13:35:18
14:19:29	14:29:14	13:38:39	13:41:44
14:26:09	14:35:54	13:47:17	13:50:23
14:32:49	14:42:34	13:53:04	13:56:09
14:39:29	14:49:14	13:58:33	14:01:39
14:46:09	14:55:56	14:04:06	14:07:15
14:52:51	15:02:36	14:09:49	14:12:58
14:59:31	15:09:16	14:15:19	14:18:31

04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
15:06:11	15:15:57	14:20:55	14:24:06
15:12:51	15:22:37	14:27:14	14:30:25
15:19:31	15:29:17	14:33:26	14:36:35
15:26:11	15:35:57	14:40:05	14:43:14
15:32:52	15:42:37	14:46:42	14:49:52
15:39:33	15:49:14	14:53:22	14:56:32
15:46:09	15:55:58	15:00:26	15:03:31
15:52:53	16:02:12	15:07:20	15:10:26
15:59:15	16:03:54	15:14:00	15:17:06
16:05:47	16:10:35	15:20:40	15:23:46
16:12:30	16:17:19	15:27:20	15:30:26
16:17:05	16:22:04	15:34:00	15:37:06
16:21:37	16:26:35	15:40:46	15:43:50
16:25:45	16:30:43	15:47:24	15:50:29
16:30:34	16:35:35	15:54:05	15:54:13
16:35:24	16:40:23	16:00:38	15:59:35
16:40:21	16:45:20	16:07:17	16:05:46
16:45:02	16:49:58	16:12:18	16:13:33
16:49:41	16:54:38	16:17:30	16:17:28
16:54:39	16:59:38	16:22:36	16:22:28
16:59:38	17:04:37	16:27:37	16:27:29
17:04:36	17:09:37	16:32:47	16:32:30
17:09:35	17:14:34	16:37:52	16:37:41
17:14:35	17:19:34	16:42:55	16:42:47
17:19:35	17:24:34	16:47:57	16:47:49
17:24:35	17:29:34	16:52:59	16:52:49
17:29:34	17:34:32	16:58:01	16:57:53
17:34:34	17:39:32	17:03:02	17:02:55
17:39:34	17:44:32	17:08:04	17:07:55
17:44:34	17:49:31	17:13:01	17:12:56
17:49:33	17:54:31	17:17:55	17:17:55
17:54:33	17:59:31	17:22:47	17:22:49
17:59:31	18:04:31	17:27:58	17:27:41
18:04:31	18:09:28	17:32:46	17:32:50
18:09:31	18:14:28	17:37:20	17:37:39
18:14:30	18:19:28	17:41:57	17:42:14

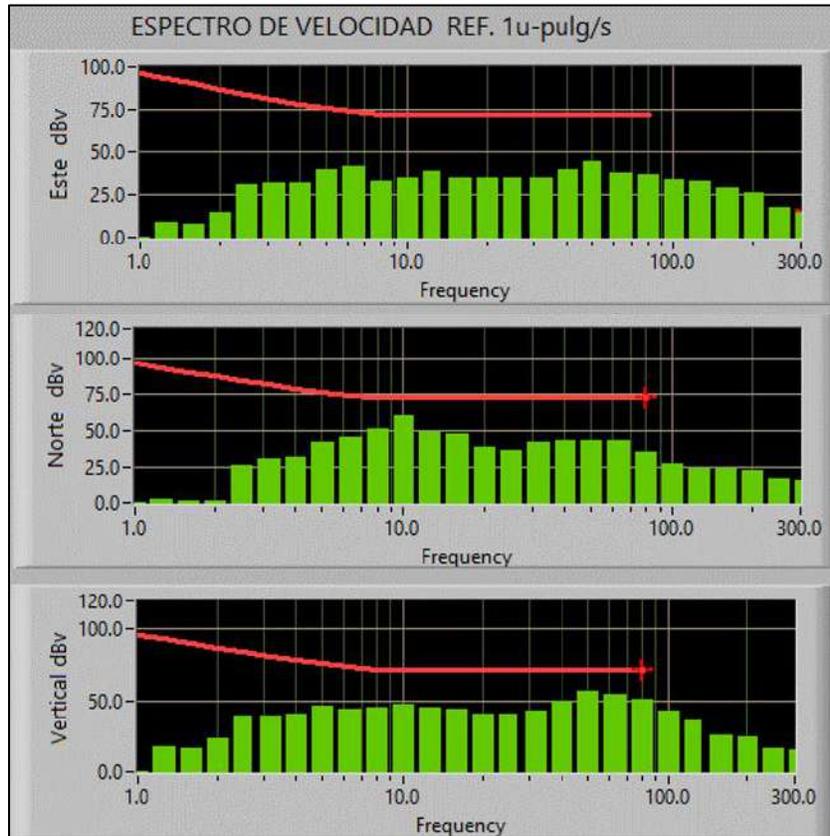
04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
18:19:30	18:24:28	17:46:25	17:46:50
18:24:30	18:29:28	17:50:53	17:51:17
18:29:30	18:34:27	17:55:21	17:55:46
18:34:30	18:39:27	17:59:48	18:00:17
18:39:30	18:44:26	18:04:17	18:04:46
18:44:30	18:49:26	18:09:06	18:09:13
18:49:30	18:54:26	18:13:38	18:14:03
18:54:30	18:59:26	18:18:42	18:18:31
18:59:30	19:07:42	18:23:38	18:23:36
19:04:32	19:12:49	18:28:39	18:28:32
19:09:35	19:17:46	18:33:34	18:33:33
19:14:31	19:22:56	18:38:21	18:38:28
19:19:42	19:27:56	18:43:38	18:43:12
19:24:41	19:32:59	18:48:27	18:48:33
19:29:43	19:39:37	18:53:10	18:53:21
19:36:22	19:46:15	18:57:38	18:58:06
19:43:01	19:52:55	19:02:17	19:02:35
19:49:41	19:59:35	19:06:50	19:08:11
19:56:19	20:06:14	19:11:37	19:14:51
20:02:59	20:12:53	19:16:10	19:19:25
20:09:38	20:19:32	19:20:44	19:23:59
20:16:17	20:26:11	19:25:57	19:29:13
20:22:56	20:32:50	19:30:30	19:33:46
20:29:34	20:39:28	19:35:19	19:38:34
20:36:14	20:46:07	19:41:59	19:45:14
20:42:53	20:52:47	19:48:26	19:51:40
20:49:33	20:59:27	19:55:06	19:58:20
20:56:13	21:06:08	20:01:46	20:05:00
21:02:53	21:12:46	20:08:25	20:11:40
21:09:31	21:19:26	20:15:03	20:18:18
21:16:11	21:26:06	20:21:46	20:21:43
21:22:51	21:32:00	20:28:23	20:25:04
21:28:43	21:38:33	20:35:02	20:31:37
21:35:18	21:43:12	20:41:42	20:38:17
21:40:10		20:48:22	20:44:56
22:21:29		20:55:02	20:51:36

04 de febrero de 2021		05 de febrero de 2021	
Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)	Hora Salida Vía 1 (hacia FCV)	Hora Salida Vía 2 (hacia PZE)
		21:02:26	20:58:16
		21:08:23	21:05:22
		21:15:03	21:11:39
		21:21:43	21:14:05
		21:28:23	21:18:18
		21:33:36	21:24:58
		21:39:55	21:31:37
			21:36:49
			21:43:06

10.4 Anexo – Espectros de Vibración Circulaciones Influenciadas por Ruido Ambiente

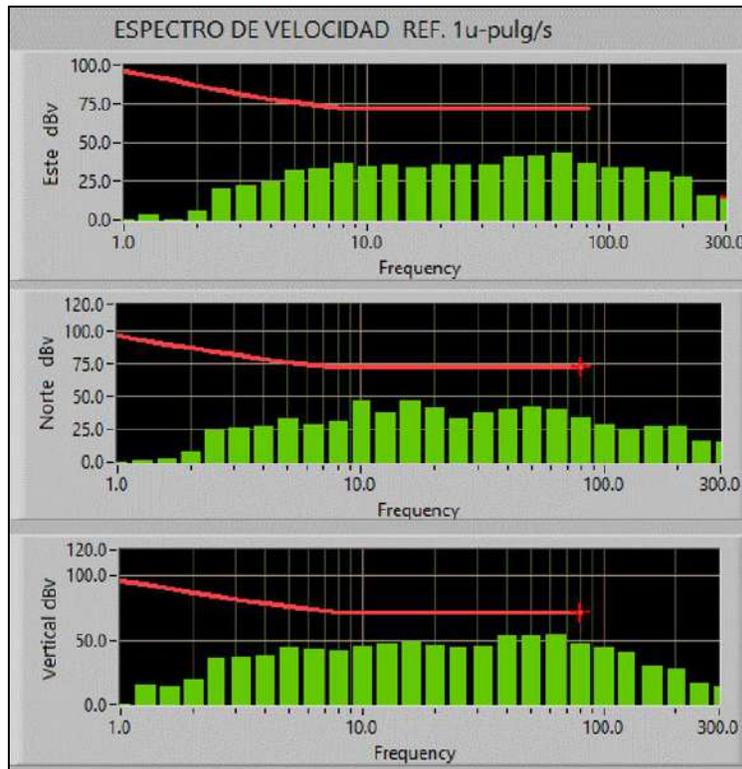
- Horario Diurno

Circulación 5



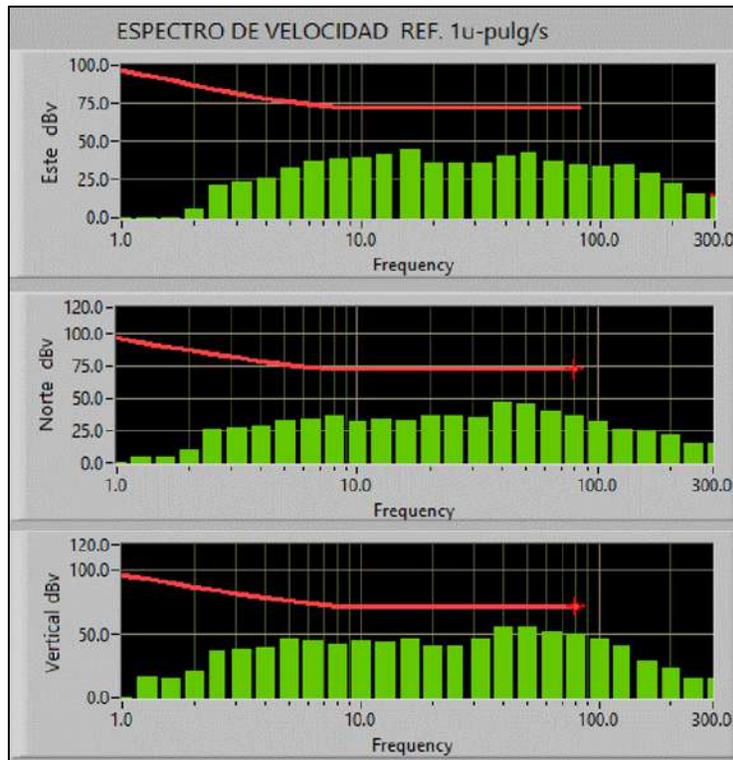
Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	46.3	33.4	32.6	32.3	33.1	37.8	42.4	36.5	34.9	31.9	31.0	27.5	24.3	15.5
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	51.4	47.1	38.1	36.5	42.0	43.0	42.6	42.7	34.8	26.9	23.4	23.2	22.6	16.3
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	60.1	43.9	40.2	40.2	43.1	49.1	56.5	54.6	50.8	42.6	35.6	25.9	24.5	16.1

Circulación 9



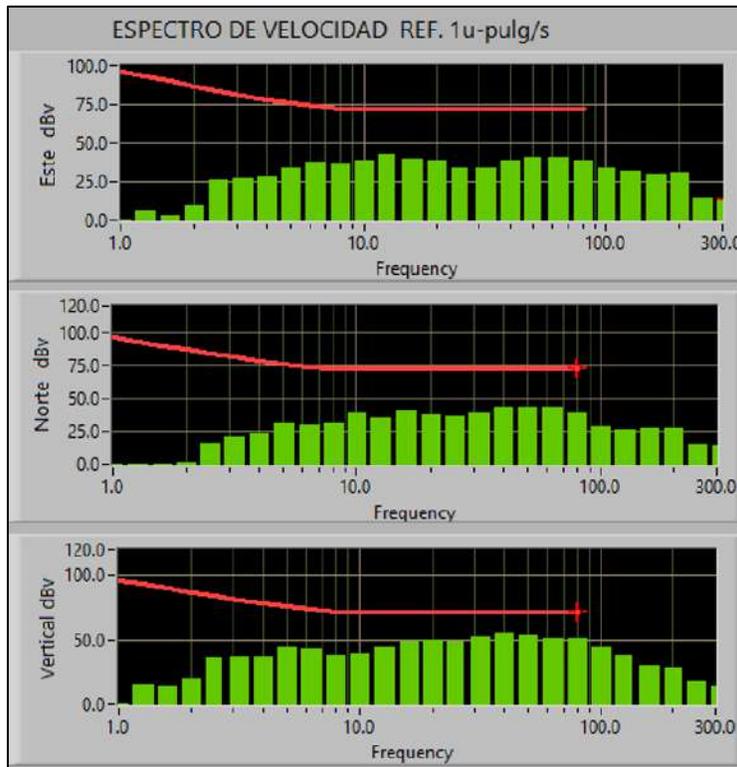
Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	48.5	34.1	35.8	35.1	35.8	40.7	41.6	43.1	36.6	34.1	33.7	31.2	28.2	15.5
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	50.0	46.5	40.7	32.3	37.2	39.5	41.9	39.2	33.9	27.9	25.4	27.1	27.3	15.9
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	58.5	39.2	48.5	46.1	44.1	50.8	51.0	52.6	49.8	45.1	38.2	25.6	26.8	17.6

Circulación 10



Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	48.8	44.0	35.2	35.7	35.7	40.4	41.8	36.3	34.8	33.5	34.5	28.4	21.8	14.8
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	50.9	37.7	36.9	32.3	31.6	47.5	43.9	43.2	37.0	29.1	23.8	24.7	22.9	14.6
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	60.4	45.9	40.9	39.9	46.2	55.0	55.7	52.2	50.0	45.8	40.0	28.5	22.9	15.4

Circulación 12



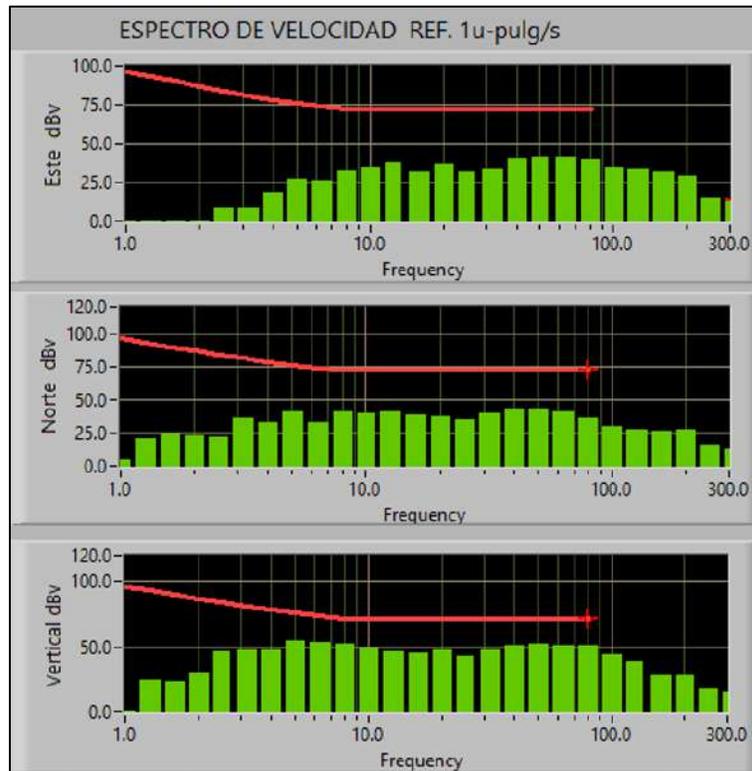
Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)													
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	50.6	42.8	44.8	36.8	40.1	41.1	40.7	41.8	37.2	31.7	33.3	30.5	29.3	16.1	
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	50.6	41.4	37.6	37.0	38.8	43.6	43.9	43.6	39.5	28.5	26.0	27.6	27.6	15.0	
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	61.9	49.4	51.2	49.7	53.3	56.0	54.6	51.5	51.4	45.4	39.2	30.7	28.8	18.6	

Circulación 15



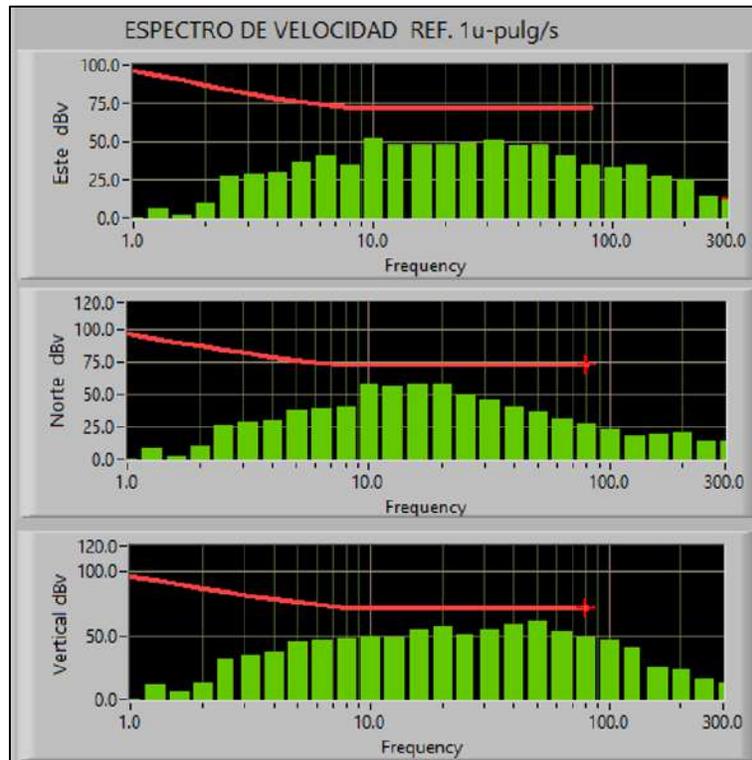
Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	54.7	51.8	44.7	43.4	48.0	42.5	40.0	32.1	30.9	26.0	25.7	21.3	23.1	14.8
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	53.7	50.9	43.5	46.2	41.2	43.6	38.9	34.0	27.2	24.5	20.8	19.5	21.6	15.9
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	64.7	49.9	52.5	55.4	54.2	58.5	59.6	53.5	51.8	45.8	43.0	30.3	27.4	21.0

Circulación 16



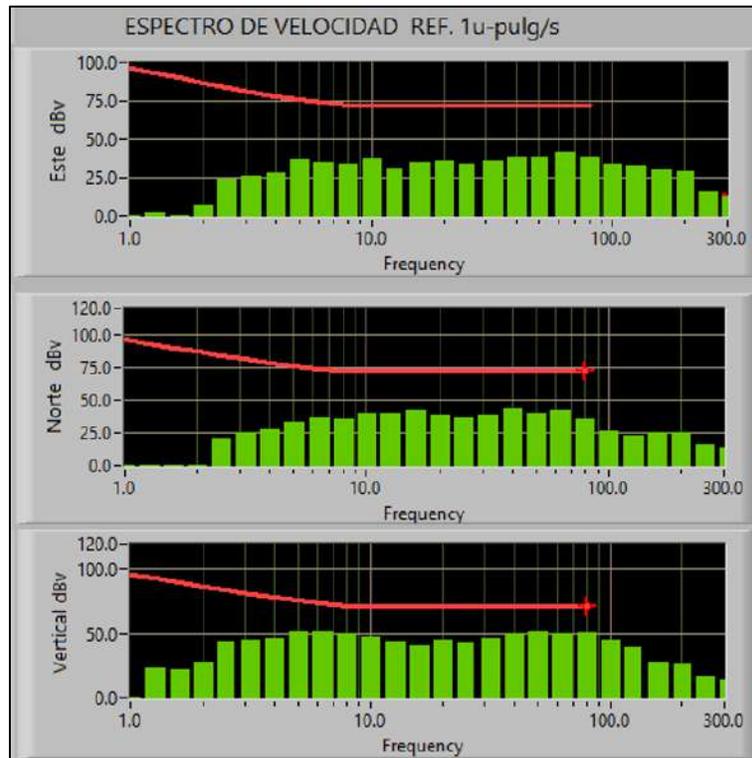
Descripción	RMS 1 seg. (dBV)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	49.0	37.0	36.6	32.7	37.2	41.4	42.0	41.9	39.7	35.5	34.3	31.9	28.7	14.1
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	48.4	37.1	36.8	35.2	39.5	41.5	42.4	40.0	35.4	29.1	27.5	26.7	27.0	16.0
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	64.6	46.9	49.0	43.1	50.1	54.9	61.3	56.9	55.4	48.8	46.8	33.4	30.2	20.6

Circulación 17



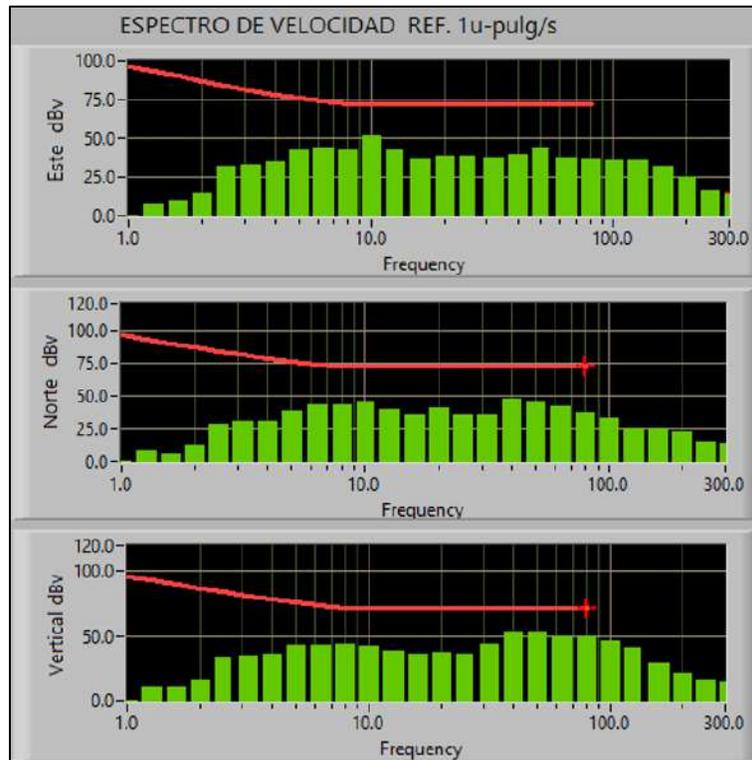
Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	58.0	49.2	49.6	50.1	52.2	48.8	49.6	42.0	36.4	34.3	35.6	28.3	26.7	15.9
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	56.5	42.6	45.5	43.3	48.5	51.7	51.0	43.1	37.6	29.8	25.1	24.2	22.9	16.5
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	65.6	55.7	59.3	55.8	53.7	56.9	58.6	55.8	51.7	46.4	40.5	26.6	23.3	16.8

Circulación 18



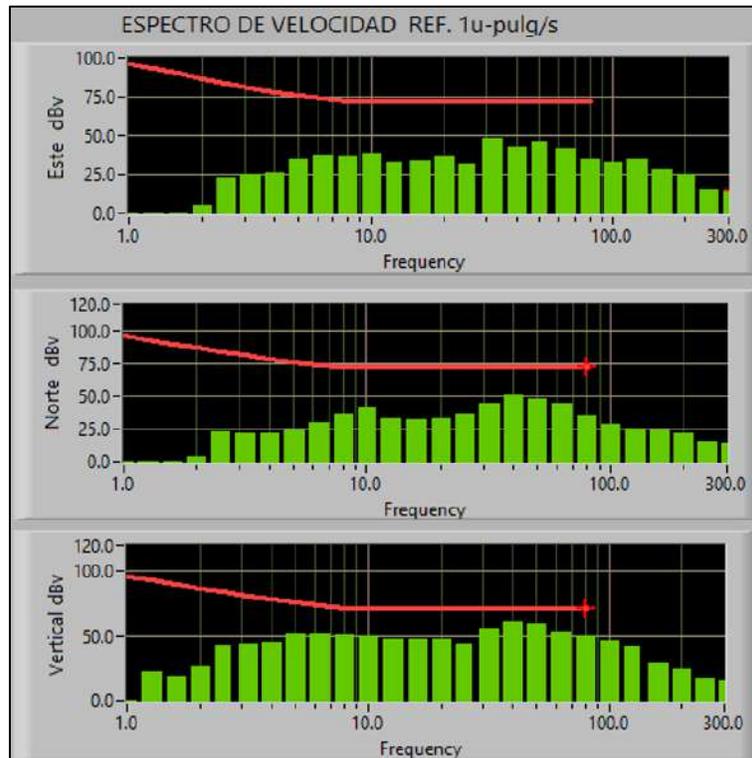
Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	48.1	35.0	35.8	34.1	36.5	39.4	39.2	42.5	39.2	34.6	33.2	30.9	29.8	15.6
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	49.6	42.8	38.7	36.4	38.7	43.4	39.9	42.0	35.7	27.2	23.8	25.5	25.8	16.0
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	62.0	45.3	49.2	46.9	49.9	54.1	56.2	53.8	55.0	49.1	43.8	32.1	31.3	20.4

Circulación 20



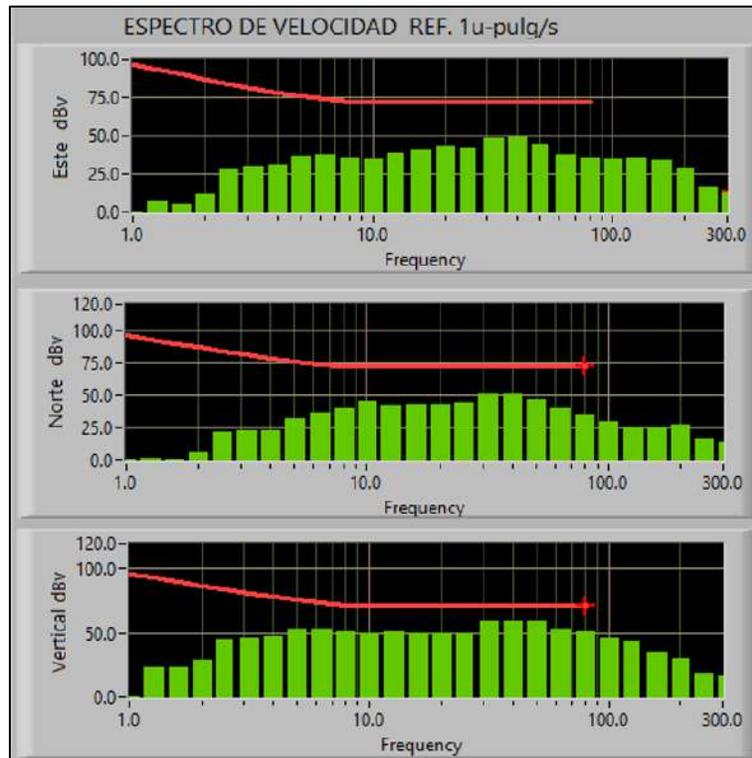
Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)													
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	48.7	36.5	38.7	38.0	37.9	39.1	43.5	37.3	36.4	35.7	35.6	31.7	24.8	16.7	
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	51.2	35.5	40.4	35.6	34.9	47.3	45.4	41.9	37.5	32.3	25.4	24.9	22.5	15.2	
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	59.8	34.9	40.8	40.1	41.4	51.4	56.8	51.8	50.5	44.5	39.1	27.7	22.8	15.1	

Circulación 21



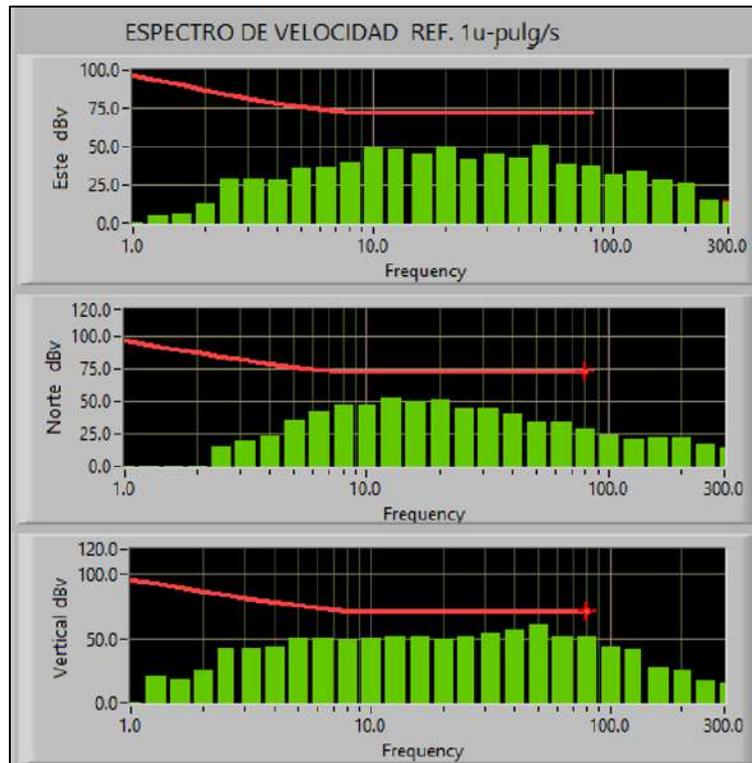
Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBv) medido	51.7	33.4	36.3	31.5	47.6	42.7	46.2	41.2	34.4	32.5	34.6	28.4	24.7	15.3
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBv) medido	54.0	31.7	32.7	36.4	44.2	51.1	47.6	43.9	34.8	27.8	24.6	23.3	21.9	14.4
Espectro de vibración eje Vertical (dBv) medido	65.7	39.9	42.2	43.0	55.2	63.5	58.7	53.4	48.7	43.6	39.5	26.9	22.1	16.4

Circulación 23



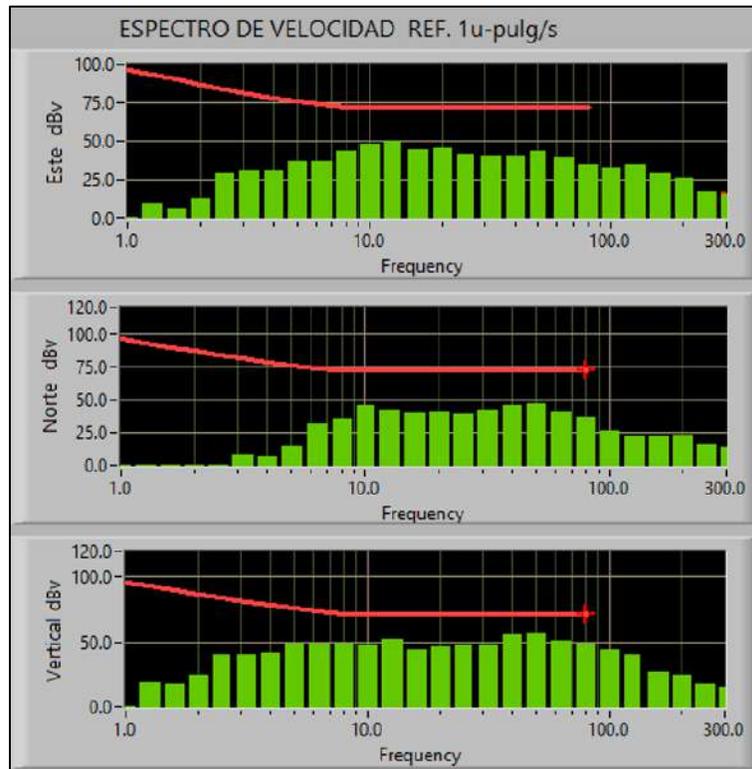
Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	53.7	40.0	43.1	41.4	48.1	49.0	43.9	37.9	35.4	34.5	35.6	33.5	29.3	16.3
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	55.6	42.7	42.8	43.8	50.8	50.8	46.9	39.3	35.5	28.9	25.4	25.4	26.9	15.9
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	64.6	50.0	49.1	49.4	59.0	58.4	58.6	52.9	51.1	46.6	44.4	34.3	29.8	19.0

Circulación 24



Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	55.2	45.2	50.0	41.0	45.6	42.1	50.6	38.5	37.5	31.8	33.9	28.1	26.3	15.8
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	54.8	49.6	51.4	44.6	44.6	40.0	33.4	33.5	28.6	23.3	19.9	21.2	21.8	16.5
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	65.4	54.1	52.0	54.5	54.0	59.3	60.1	57.2	50.8	44.0	39.3	26.3	24.8	16.7

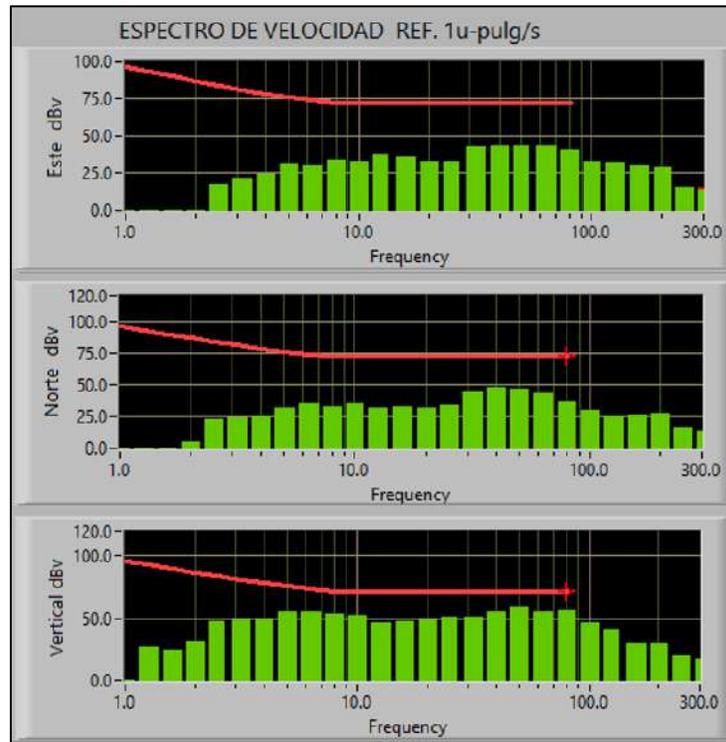
Circulación 25



Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	51.2	43.9	45.4	41.0	40.8	40.4	43.0	39.4	34.2	32.8	34.5	29.0	26.1	17.1
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	50.0	41.6	43.3	37.9	35.2	43.6	43.4	38.6	34.5	26.3	22.9	21.4	21.7	15.4
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	62.0	47.4	47.1	47.7	50.4	55.6	58.4	50.7	49.5	43.3	39.3	26.3	23.0	16.5

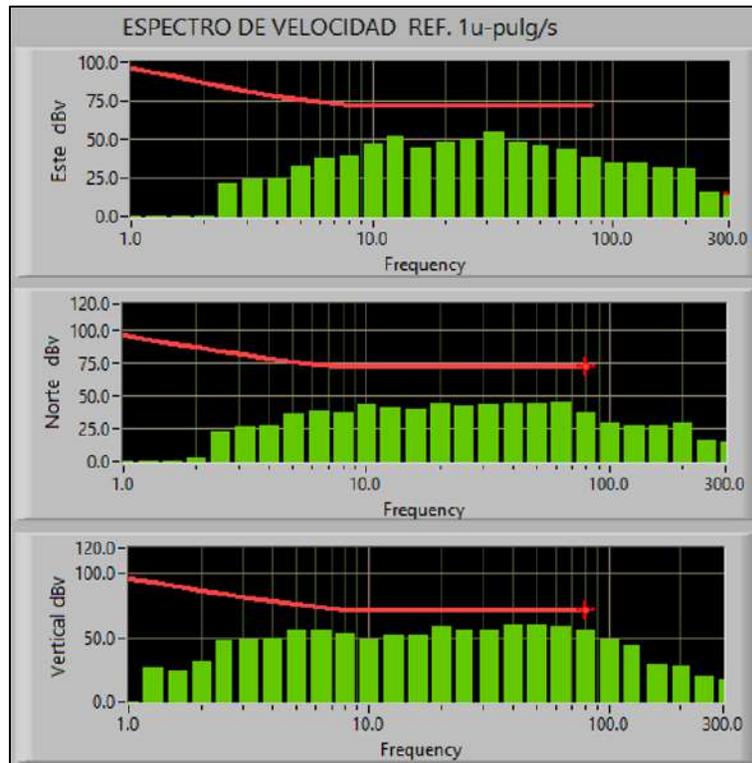
- Horario Nocturno

Circulación 7



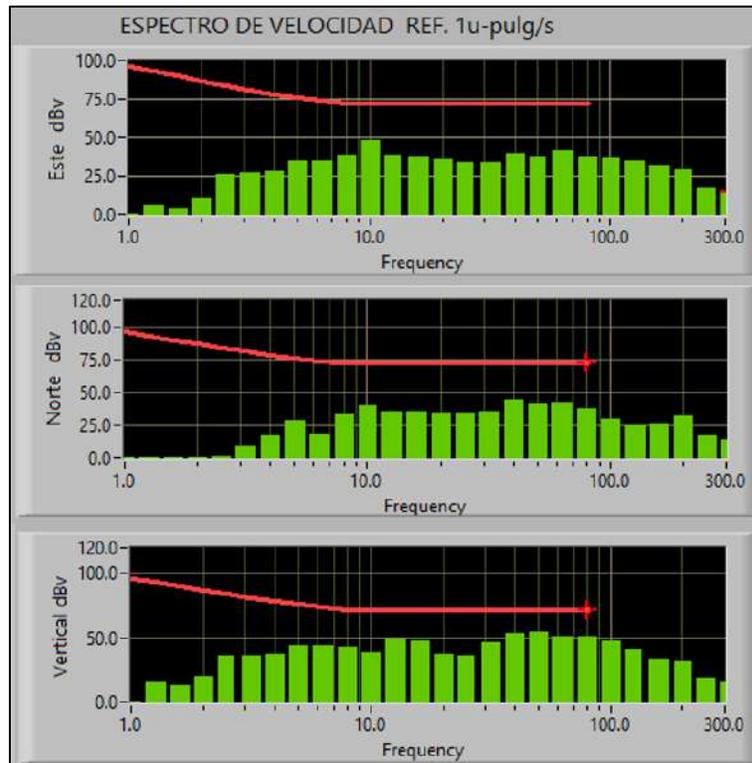
Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	50.0	36.0	33.0	32.7	42.4	42.8	43.4	42.9	40.1	32.5	31.6	30.1	28.5	15.5
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	51.9	32.8	32.0	34.3	44.3	47.2	46.4	43.2	35.9	29.1	24.9	26.6	27.0	15.7
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	64.5	46.8	50.9	51.5	50.3	55.6	58.5	57.3	58.0	50.5	42.8	30.7	29.6	19.5

Circulación 16



Descripción	RMS 1 seg. (dBv)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	57.8	44.5	47.6	49.7	54.5	47.7	46.6	43.1	38.6	34.6	34.6	31.8	30.3	15.3
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	54.3	41.6	44.2	43.8	48.3	47.4	45.9	45.0	39.4	32.2	25.8	28.2	29.2	16.2
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	68.5	49.2	52.7	59.7	61.7	62.5	62.1	57.3	54.8	49.0	43.7	31.2	31.1	18.6

Circulación 17



Descripción	RMS 1 seg. (dBV)	Frecuencia (Hz)												
		16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Espectro de vibración eje Este-Oeste (dBV) medido	49.4	41.1	36.6	35.0	39.3	37.9	40.4	43.8	39.1	34.8	34.2	31.5	29.3	16.3
Espectro de vibración eje Norte-Sur (dBV) medido	48.6	35.0	34.0	33.8	34.8	44.0	40.2	42.0	37.7	29.5	24.9	26.6	32.1	16.7
Espectro de vibración eje Vertical (dBV) medido	59.4	47.7	37.3	36.0	46.2	53.0	54.1	50.6	50.8	46.9	40.6	33.0	31.2	17.9

11 EQUIPO DE TRABAJO

Aldo Campos Pérez – Ing. en Control de Ruido y Ruido (U. Austral de Chile); Mg. Ing. Estructural y Geotecnia (P.U.C.):

- Análisis y procesamiento de datos.
- Evaluación normativa.
- Validación de documento.

Francisco Gutiérrez Alvarado – Ing. en Sonido y Acústica (U.D.L.A.):

- Análisis y procesamiento de datos.
- Evaluación normativa.

Adolfo Salgado Zapata – Ing. en Sonido (Santo Tomás):

- Mediciones en Terreno.
- Análisis y procesamiento de datos.
- Evaluación normativa.

Edgar Céspedes Silva – Ing. en Sonido (A.I.E.P.):

- Análisis y procesamiento de datos.