



Evaluación de los niveles de ruido generados en el interior de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo





El presente estudio fue elaborado conforme al artículo 5, fracción XXVII de la Ley Orgánica de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal (PAOT):

“Formular y difundir estudios, reportes e investigaciones respecto del cumplimiento y aplicación de las disposiciones jurídicas en materia ambiental y del ordenamiento territorial; así como de actos u omisiones, que generen o puedan producir desequilibrios ecológicos o daños a los ecosistemas del Distrito Federal o su elemento;

Se permite la reproducción total o parcial del documento, en cualquier forma o medio, con propósitos educativos y sin fines de lucro, sin que sea necesario obtener autorización especial por parte de la Procuraduría, siempre y cuando se cite debidamente la fuente. La PAOT apreciará se le envíe una copia o notifique de toda publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

Elaboración del Estudio:

Luis Javier Aguilar Montiel
Jaime Hurtado Gómez
Jorge Rivero Martínez
Julio Calderón Morales
Eduardo González Mondragón

PAOT, Agosto de 2013

PROCURADURÍA AMBIENTAL Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL DISTRITO FEDERAL

Medellín 202, Piso 3 Col. Roma Norte, C.P.
06700 Delegación Cuauhtémoc México, D.F.
Tel. de contacto: 52650780, ext. 12000, 12200,
12220

www.paot.org.mx



ÍNDICE

I. Antecedentes	3
II. Introducción	3
III. Objeto del estudio	4
IV. Metodología	4
V. Resultados	7
VI. Calidad Ambiental en el STC en materia de ruido	12
VI. Conclusiones y recomendaciones del estudio	18



I. Antecedentes

En fecha 26 de abril de 2013, un ciudadano que solicitó la confidencialidad de sus datos personales, presentó a través del portal de Internet de esta Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, la denuncia registrada con folio PAOT-7134, en la que expone los siguientes hechos:

En la Línea 12 del metro han tenido la ocurrencia de poner música tanto en vagones, como en pasillos y andenes. El ruido es insoportable. Además el volumen de la señal que anuncia el cierre de puertas y las grabaciones que mencionan la siguiente estación son también excesivos (Lo mismo ocurre en prácticamente todos los trenes del sistema). Existen normas internacionales que regulan el nivel de dB que deben tenerse en metros y sistemas similares. En EE.UU. está prohibido el uso de aparatos de música al interior de los trenes (Por algo será). Solicito se haga una inspección y se instruya al STC hacer instalaciones más silenciosas y no más ruidosas. El confort en el metro tiene más que ver con el silencio que con la absurda idea de poner música. Lo mismo para estaciones como: Balderas y otras tantas en las cuales han colocado pantallas para difundir propaganda. Niños, Mujeres embarazadas, adultos mayores son los más afectados, pero en general el ruido es un problema de salud que debe atenderse ya. Basta a la cultura de la promoción del ruido.

Mediante atenta nota con número de folio PAOT/500-312-2013, de fecha 13 de mayo de 2013, el Lic. Marco Antonio Esquivel López, Subprocurador de Asuntos Jurídicos de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, solicitó a la Biól. Mónica Viétnica Alegre González, Subprocuradora de Protección Ambiental del mismo Organismo, realizar un reconocimiento de hechos que arroje elementos para definir las acciones meritorias para atender el problema planteado en la denuncia ciudadana.

3

II. Introducción

Con cierta frecuencia en esta procuraduría se reciben quejas por los niveles de ruido que se generan en el interior del Sistema de Transporte Colectivo, conocido popularmente como “Metro”, principalmente por el ruido originado en los andenes de las estaciones de paso y de las estaciones de correspondencia de líneas, así como en el interior de los carros o vagones.

Las quejas hacen hincapié en los niveles de ruido provocados por los elevados volúmenes en que operan el circuito cerrado del sistema de información al público y de ambientación musical en andenes y vagones. Son motivo de queja también en diversas líneas del sistema de transporte, la presencia no autorizada de los llamados “vagoneros”, vendedores de copias ilegales de fonogramas que utilizan equipos de audio a elevados volúmenes para promoción de los productos.

Algunos medios de comunicación impresos y electrónicos también han mostrado interés sobre el tema, en particular por los constantes reclamos que reciben de la ciudadanía. Estos medios a su vez han solicitado a esta Procuraduría realizar algunas mediciones en el interior de los convoyes o



trenes, especialmente interesados en el tema del ruido provocado por los vendedores de “CD’s piratas”, al parecer motivo de la mayor molestia entre los usuarios del medio de transporte.

Con el propósito de atender las demandas referidas, esta Procuraduría realizó en el año 2009 un estudio de las inmisiones acústicas que prevalecen en las condiciones de operación regulares de las diferentes líneas del Sistema de Transporte Colectivo, lo que derivó en la elaboración del documento *Evaluación del Ruido Generado en la Red del Sistema de Transporte Colectivo Metro*.

La denuncia referida en el apartado *I. Antecedentes*, del presente documento, motivó una iniciativa de este Organismo para realizar un estudio específico en el interior de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo, conocida como “Línea Dorada”, misma que no existía cuando se realizó el estudio antedicho. De modo que este nuevo estudio complementa el ya citado.

III. Objeto del estudio

Primero. Determinar el nivel sonoro que prevalece en el ambiente interior de las estaciones de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo; específicamente en los andenes y vagones.

Segundo. Identificar las principales causas que determinan los niveles de inmisión¹ acústica a los que están expuestos los usuarios del sistema de transporte y emitir una opinión respecto de la calidad ambiental en materia de ruido.

Tercero. Formular las conclusiones y recomendaciones del estudio.

IV. Metodología

1. A efecto de realizar las mediciones acústicas se eligieron 12 de las 20 estaciones que integran la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo (60%), considerando la inclusión de estaciones de paso y estaciones de correspondencia. Asimismo, se seleccionaron tramos de la ruta que cubre un total de 26 km, considerando las tres modalidades del sistema: 1) túnel y cajón subterráneo, 2) elevado y 3) superficial.

Se integraron tres brigadas de medición asignando 4 (cuatro) estaciones a cada una con las características que se muestran en el Cuadro 1. Las estaciones incluidas en el estudio se señalan en la Imagen 1.

¹ **Inmisión.** f. *Der.* Agresión ambiental o concentración de la contaminación en un lugar y en un momento concretos. Diccionario de la Real Academia Española.

La **inmisión acústica** se puede definir como el efecto que las emisiones sonoras ejercen sobre el medio ambiente o las personas. **Nivel de inmisión acústica:** Nivel de presión sonora originado por una o varias fuentes en la posición del receptor expuesto, medido de conformidad con procedimientos normalizados.



Evaluación de los niveles de ruido generados en el interior de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo

Cuadro 1. Tramos de la Línea 12 del STC donde se realizaron las mediciones acústicas

Brigada	Estación	Tipo	Modalidad
1	Mixcoac	Terminal/Correspondencia Línea 7	Subterránea
	Insurgentes Sur	De paso	Subterránea
	Hospital 20 de Noviembre	De paso	Subterránea
	Zapata	Correspondencia Línea 3	Subterránea
2	Ermita	Correspondencia Línea 2	Subterránea
	Mexicaltzingo	De paso	Subterránea
	Atlalilco	Correspondencia Línea 8	Subterránea
	Culhuacán	De paso	Elevada
3	Nopalera	De paso	Elevada
	Zapotitlán	De paso	Elevada
	Tlaltenco	De paso	Superficial
	Tláhuac	Terminal	Superficial

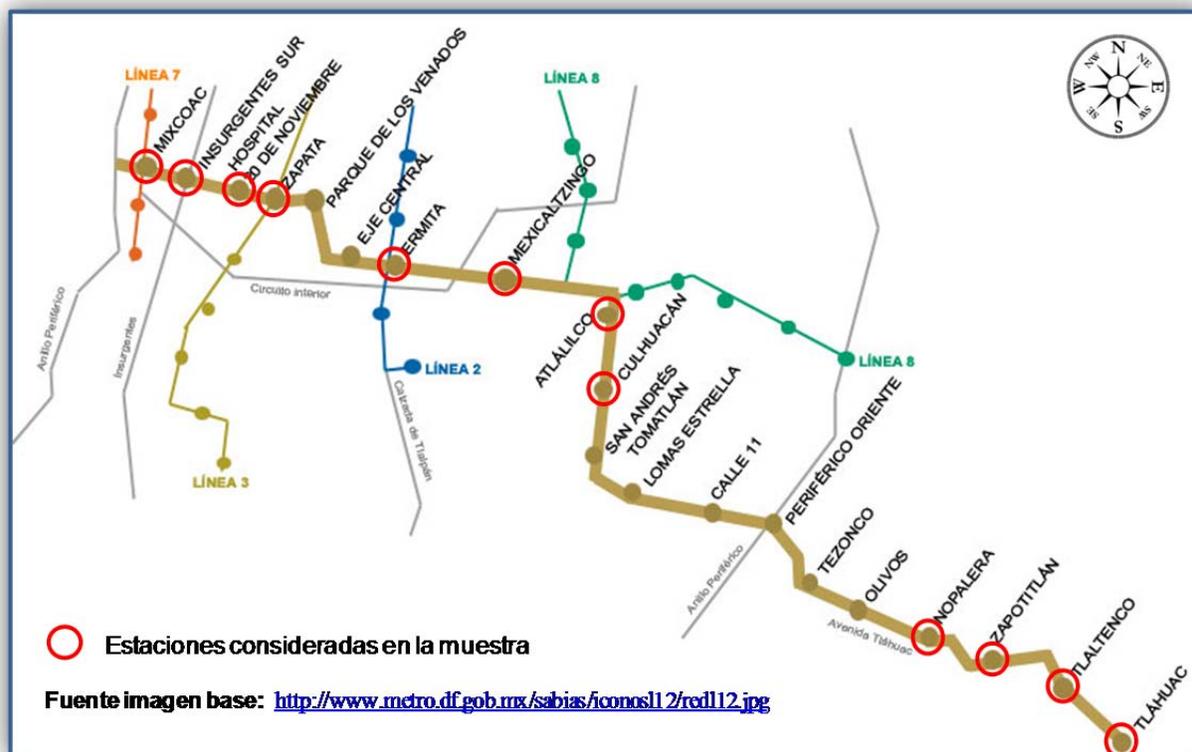


Imagen 1. Trazo y estaciones de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo



2. Los sitios de medición acústica en las estaciones de paso y de correspondencia se establecieron en un punto intermedio del andén, cuidando que el instrumento de medición (sonómetro) se colocara entre dos bocinas del circuito cerrado del sistema de información y ambientación musical, evitando la cercanía de personas que estuviesen conversando. Las mediciones en el interior del tren se realizaron en el punto de acoplamiento de vagones.
3. Con el propósito de que los resultados fueran lo más representativos posible, las mediciones acústicas se realizaron en un día laborable, que en este caso fue el miércoles 5 de junio de 2013. Las mediciones se realizaron en dos etapas de servicio del medio de transporte: 1) En horario pico: de 08:00 a 09:30 horas y, 2) En horario no pico: de 10:30 a 12:00 horas.
4. Las mediciones acústicas se realizaron mediante la obtención de lecturas del sonómetro, integrando la energía acústica durante un periodo de 5 minutos en cada punto de medición, considerando que se trata tan solo de una muestra. El parámetro acústico empleado para las mediciones fue el *Nivel Sonoro Continuo Equivalente*, también denominado *Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente*, empleando la ponderación frecuencial “A”, abreviado N_{eqA} (L_{eqA} en otras nomenclaturas). Se adoptó este parámetro, toda vez que es utilizado internacionalmente para mediciones de ruido ambiental y comunitario, siendo concordante con los criterios de la norma ISO 1996-9. Los valores de este parámetro se expresan en dB(A), leído *decibeles ponderados en “A”*. El filtro de ponderación “A” se emplea en virtud de la similitud con la respuesta del oído humano al sonido.

El N_{eqA} designa una medida del nivel de presión sonora que tiene un sonido constante con relación a un periodo de tiempo dado, cuya energía total corresponde al sonido fluctuante en el mismo intervalo de tiempo. El valor N_{eqA} corresponde al nivel de sonido RMS (raíz cuadrática media) en el que la duración de la medición es el tiempo en el cual se promedian los valores integrados; resultado que se obtiene con la aplicación de la siguiente expresión:

$$N_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] (dB)$$

N_{eq} : Nivel sonoro continuo equivalente

T : periodo de la medición (tiempo de duración de la medición).

$p(t)$: presión sonora en función del tiempo.

p_0 : presión sonora de referencia ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$).

5. En general, la medición del *Nivel Sonoro Continuo Equivalente* o N_{eqA} , se puede realizar mediante la utilización de un sonómetro integrador promediador o un analizador de frecuencias en modo sonómetro, en ambos casos Clase I. En las mediciones para elaborar el presente estudio cada brigada utilizó un analizador de frecuencias de la marca CESVA, modelo SC310, Clase I.



6. Mediante el Oficio PAOT-05-300/100-69-2013 de fecha 28 de mayo de 2013, el Lic. Miguel Ángel Cancino Aguilar, Procurador Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, solicitó al Ing. Joel Ortega Cuevas, Director General del Sistema de Transporte Colectivo, brindar las facilidades al personal técnico para practicar las mediciones acústicas requeridas en la elaboración del estudio.

Como respuesta a lo anterior, mediante oficios: DG/PAM/034/13 y DG/PAM/036/13, ambos de fecha 4 de junio de 2013, la Biól. María del Carmen Ortega Ortiz, titular del área de Proyectos Ambientales del Sistema de Transporte Colectivo, solicitó al Gerente de Seguridad Institucional y al Director de Transportación el apoyo requerido.

V. Resultados

1. En el Cuadro 2 se presentan los resultados de las mediciones del “Nivel Sonoro Continuo Equivalente” o N_{eqA} , obtenidos en los andenes de las estaciones en el horario pico o de mayor afluencia de pasajeros como se indicó anteriormente, comprendido entre las 08:00 y las 09:30 horas. Se puede apreciar que los valores obtenidos varían de 71.9 dB(A) a 77.6 dB(A), con un promedio de 74.9 dB(A).

Cuadro 2. Resultado de las mediciones acústicas en andenes en “horario pico”

Estación	Tipo	Modalidad	N_{eqA} [dB(A)]
Mixcoac	Terminal/Correspondencia Línea 7	Subterránea	74.7
Insurgentes Sur	De paso	Subterránea	75.1
Hospital 20 de Noviembre	De paso	Subterránea	76.0
Zapata	Correspondencia Línea 3	Subterránea	74.0
Ermita	Correspondencia Línea 2	Subterránea	74.3
Mexicaltzingo	De paso	Subterránea	75.5
Atlalilco	Correspondencia Línea 8	Subterránea	77.6
Culhuacán	De paso	Elevada	75.1
Nopalera	De paso	Elevada	75.0
Zapotitlán	De paso	Elevada	77.0
Tlaltenco	De paso	Superficial	72.6
Tláhuac	Terminal	Superficial	71.9
Promedio			74.9

N_{eqA} : “Nivel Sonoro Continuo Equivalente” medido en *decibeles ponderados en “A”*.

2. Los resultados de las mediciones en el horario de menor afluencia de usuarios del servicio, para este estudio comprendido entre las 10:30 horas y las 12:00 horas, se consignan en el Cuadro 3, en donde se puede observar que los resultados oscilan entre los 70.3 dB(A) y 76.2 dB(A), con un valor



promedio de 74.2 dB(A).

Cuadro 3. Resultado de las mediciones acústicas en andenes en “horario no pico”

Estación	Tipo	Modalidad	N _{eqA} [dB(A)]
Mixcoac	Terminal/Correspondencia Línea 7	Subterránea	74.1
Insurgentes Sur	De paso	Subterránea	74.3
Hospital 20 de Noviembre	De paso	Subterránea	75.9
Zapata	Correspondencia Línea 3	Subterránea	73.3
Ermita	Correspondencia Línea 2	Subterránea	72.7
Mexicaltzingo	De paso	Subterránea	74.2
Atlalilco	Correspondencia Línea 8	Subterránea	75.4
Culhuacán	De paso	Elevada	73.7
Nopalera	De paso	Elevada	76.2
Zapotitlán	De paso	Elevada	75.5
Tlaltenco	De paso	Superficial	70.3
Tláhuac	Terminal	Superficial	75.2
Promedio			74.2

3. En el Cuadro 4 se presentan los resultados comparados entre los horarios pico y no pico:

8

Cuadro 4. Resultados en andenes comparados en “horario pico” y “horario no pico”

Estación	Modalidad	N _{eqA} Horas pico	N _{eqA} Horas no pico	Diferencia [dB(A)]
Mixcoac	Subterránea	74.7	74.1	0.6 ↓
Insurgentes Sur	Subterránea	75.1	74.3	0.8 ↓
Hospital 20 de Noviembre	Subterránea	76.0	75.9	0.1 ↓
Zapata	Subterránea	74.0	73.3	0.7 ↓
Ermita	Subterránea	74.3	72.7	1.6 ↓
Mexicaltzingo	Subterránea	75.5	74.2	1.3 ↓
Atlalilco	Subterránea	77.6	75.4	2.2 ↓
Culhuacán	Elevada	75.1	73.7	1.4 ↓
Nopalera	Elevada	75.0	76.2	1.2 ↑
Zapotitlán	Elevada	77.0	75.5	1.5 ↓
Tlaltenco	Superficial	72.6	70.3	2.3 ↓
Tláhuac	Superficial	71.9	75.2	3.3 ↑
Promedio		74.9	74.2	0.7 ↓



En general se puede distinguir una diferencia mínima entre los resultados obtenidos en horario pico y en horario no pico, apreciándose una disminución de 0.1 dB a 2.3 dB, con excepción de las estaciones Nopalera y Tláhuac en donde se registra un incremento de 1.2 dB y 3.3 dB, respectivamente. Estos resultados permiten concluir que los niveles sonoros ambientales en el interior de las estaciones de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo son más o menos constantes a lo largo del horario de servicio, con una variación menor entre las horas de máxima demanda y de menor demanda.

4. Los valores de N_{eqA} mostrados en los cuadros 2 y 3, representan el promedio de los valores integrados durante cinco minutos de medición; no obstante, el nivel sonoro real fluctúa entre valores máximos y mínimos, tal como se consigna en los cuadros 5 y 6 para el horario pico y para el horario no pico, respectivamente.

En la práctica de las mediciones acústicas se observó que los valores máximos de nivel sonoro ocurren en los momentos de arribo y partida de los trenes en las estaciones, en ambos sentidos. La causa fundamental de este incremento acústico sustancial es el sonido generado por la rodadura de las ruedas metálicas sobre los rieles, toda vez que la Línea 12 es de tipo ferroviario; contribuyen también en alguna medida el “efecto pistón” de los trenes que desplazan volúmenes del aire contenido en el túnel o cajón subterráneo, así como el uso preventivo de las bocinas de los convoyes y la señal de cierre de puertas. Los N_{eqA} máx., corresponden a niveles sonoros que tienen una duración relativamente breve (algunos segundos) en comparación con el tiempo de medición de 5 minutos.

Cuadro 5. Variación del N_{eqA} en andenes en “horario pico”

Estación	N_{eqA} [dB(A)]	N_{eqA} máx. [dB(A)]	N_{eqA} mín. [dB(A)]
Mixcoac	74.7	85.0	62.4
Insurgentes Sur	75.1	97.8	60.3
Hospital 20 de Noviembre	76.0	92.7	65.6
Zapata	74.0	91.6	60.2
Ermita	74.3	86.2	61.4
Mexicaltzingo	75.5	91.4	64.8
Atlalilco	77.6	89.5	63.4
Culhuacán	75.1	90.2	62.0
Nopalera	75.0	92.7	59.1
Zapotitlán	77.0	89.1	63.0
Tlaltenco	72.6	84.1	51.3
Tláhuac	71.9	89.1	56.9
Promedio	74.9	89.9	60.9

Cuadro 6. Variación del N_{eqA} en andenes en “horario no pico”

Estación	N_{eqA} [dB(A)]	N_{eqA} máx. [dB(A)]	N_{eqA} mín. [dB(A)]
Mixcoac	74.1	92.7	52.0
Insurgentes Sur	74.3	83.6	63.4
Hospital 20 de Noviembre	75.9	86.0	58.8
Zapata	73.3	87.3	66.2
Ermita	72.7	93.4	69.0
Mexicaltzingo	74.2	86.3	57.9
Atlalilco	75.4	83.7	63.1
Culhuacán	73.7	84.1	62.7
Nopalera	76.2	85.5	61.5
Zapotitlán	75.5	82.2	51.2
Tlaltenco	70.3	92.3	65.0
Tláhuac	75.2	97.2	70.2
Promedio	74.2	87.9	61.7

Comparando los registros de los horarios pico y de los horarios no pico, se aprecia que no se registra una variación importante de los valores máximo y mínimo. En consecuencia, se puede decir que los niveles de inmisión acústica en el interior de las estaciones se mantienen más o menos constantes, fluctuando entre 61.3 dB(A) y 88.9 dB(A), con un promedio de 74.6 dB(A). Esto se ilustra gráficamente en la Imagen 2 a continuación.

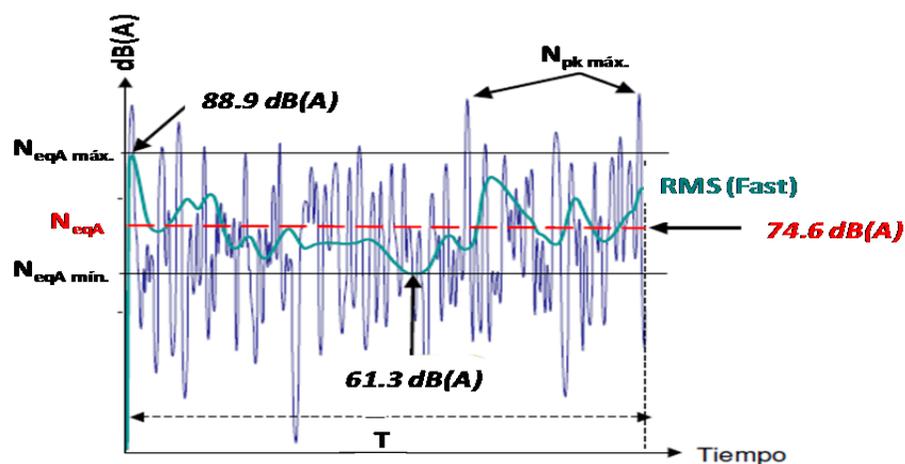


Imagen 2. Interpretación esquemática de resultados²

² Adaptada de la imagen tomada de: ÍNDICES ACÚSTICOS. MASTER EN INGENIERIA ACÚSTICA. Universidad de Cádiz. España. http://www.dipucadiz.es/opencms/export/sites/default/dipucadiz/areas/medioAmb_depor/medio_amb/Servicios/asist_mun/ruidos/doc_u_curso/INDICES_ACUSTICOS.pdf



Durante la práctica de las mediciones acústicas se apreció que los valores mínimos del nivel sonoro mostrados en la cuarta columna de los cuadros 5 y 6 (N_{eqA} mín.), están asociados con lapsos en los que no se reproduce música y lapsos de demora de los trenes. Los niveles mínimos se mantienen durante periodos más prolongados con respecto a los niveles máximos. Puede afirmarse entonces que los valores N_{eqA} mín., corresponden al nivel de ruido de fondo dentro de las estaciones. No se encontró alguna relación o asociación de los niveles sonoros resultantes (N_{eqA} , N_{eqA} máx. y N_{eqA} mín.) con el tipo y la modalidad de las estaciones.

5. El muestreo del nivel sonoro en el interior de los trenes arrojó los resultados que se muestran en el Cuadro 7. Las mediciones se realizaron durante el tiempo de traslado a lo largo de los tramos recorridos, e incluyen tiempo en movimiento y tiempo de parada en las estaciones.

Cuadro 7. Resultado de las mediciones acústicas en el interior de los vagones en “horario pico” y en “horario no pico” en condiciones dinámicas

Tramo	Modalidad	N_{eqA} Horas pico	N_{eqA} Horas no pico	Diferencia [dB(A)]
Mixcoac – Zapata	Subterránea	75.4	77.8	2.4 ↑
Ermita – Culhuacán	Subterránea y elevada	78.4	83.7	5.3 ↑
Nopalera – Tláhuac	Elevada y superficial	81.3	80.6	0.7 ↓
Promedio		78.4	80.7	2.3 ↑

En el Cuadro 7 se puede observar que el promedio de los N_{eqA} en el horario pico es de 78.4 dB(A) y el correspondiente al horario no pico es de 80.7 dB(A), lo que representa un incremento de 2.3 dB. De manera específica, en el tramo comprendido de las estaciones Mixcoac a Zapata, se presentó un incremento de 2.4 dB; el mayor incremento se registró en el tramo Ermita a Culhuacán con 5.3 dB, mientras que en el tramo Nopalera a Tláhuac tuvo lugar un decremento mínimo de 0.7 dB. La media de los N_{eqA} en horario pico y en horario no pico es de 79.6 dB(A).

6. La comparación de los valores resultantes de las mediciones del “Nivel Sonoro Continuo Equivalente” o N_{eqA} en los andenes y en los vagones, solo tiene algún significado si se consideran los valores promedio. En tal sentido, se puede ver que existe un leve incremento en los vagones con respecto a los andenes: en las horas pico este incremento es de 3.5 dB, mientras que en las horas no pico es de 6.5 dB. El incremento se puede explicar por la elevación de los niveles sonoros instantáneos observada durante el desplazamiento del convoy, provocada básicamente por la fricción de las ruedas metálicas sobre los rieles, la transmisión estructural del sonido (vía ruedas-chasis-carcasa del vagón), la fricción del tren con el aire, y la turbulencia del viento al penetrar por las ventanas de los vagones. Se trata entonces de ruido implícito en el funcionamiento del medio de transporte.

Una contribución adicional en la generación del nivel sonoro global en el interior de los vagones, fue el funcionamiento de los equipos de extracción de aire y de la música ambiental e información a



pasajeros, aunque el funcionamiento de estos equipos en algunos casos no era continuo y en otros inclusive, estaban apagados; es decir, el nivel de volumen de la música ambiental e información a pasajeros era variable de tren a tren. Es de resaltar que en los trenes de la Línea 12 no se observaron los llamados “vagoneros” o vendedores ambulantes de copias ilegales de CD’s.

Los niveles sonoros registrados en los vagones en los tramos de modalidad elevada y superficial del medio de transporte (Ermita–Culhuacán y Nopalera–Tláhuac), son un poco más altos que los registrados en el tramo subterráneo (Mixcoac–Zapata). Esto puede deberse a una contribución del ruido de fondo del ambiente exterior, principalmente el generado por el tránsito vehicular.

VI. Calidad Ambiental en el Sistema de Transporte Colectivo en materia de ruido

1. La calidad ambiental está referida a los efectos sobre la salud y el confort de las personas que habitan u ocupan un espacio, un recinto o cualquier ambiente interior o exterior. En el caso específico del ruido, la calidad ambiental está asociada con criterios de calidad relativos a niveles sonoros admisibles; en otras palabras, a niveles de inmisión acústica adecuados que no causen molestia y estrés en las personas.

La publicación *Guías para el Ruido Urbano*³ de la Organización Mundial de la Salud, refiere que «...la molestia en las personas varía no sólo con las características del ruido, incluida la fuente del ruido, sino que depende en gran medida de muchos factores no acústicos de naturaleza social, psicológica o económica». Asimismo, menciona que «La capacidad de un ruido para provocar molestia depende de sus características físicas, incluido el nivel de presión sonora, espectro y variaciones de esas propiedades con el tiempo».

No existe una definición de molestia provocada por el ruido, pero se puede determinar como la actitud de las personas frente a las fuentes generadoras de ruido. Es un proceso mental determinado por factores acústicos (componente física) y no acústicos asociado con influencias psicológicas y emocionales (componente subjetiva). Por ejemplo, cuando por alguna razón una persona está a disgusto, el sonido podrá ser percibido como ruido muy molesto.

«Dentro de los factores que influyen en la molestia inducida por el ruido, existen factores acústicos tales como el nivel absoluto, la duración y distribución espectral de la energía sonora, así como sus fluctuaciones. Los factores no acústicos incluyen la adaptación (habitación o sensibilización), grado de implicaciones en las actividades que se realizan en el momento de la exposición al ruido, actitudes hacia las fuentes de ruido y sus operadores entre otras cosas»⁴.

«La subjetividad inherente a la molestia provocada por el ruido introduce una gran complejidad en su evaluación aunque no por ello entra en conflicto con el análisis científico si se tienen en cuenta

³ *Guías para el Ruido Urbano* (documento basado en *Community Noise*). Organización Mundial de la Salud. Editado por Birgitta Berglund, Thomas Lindvall Dietrich H. Schwela. Ginebra, Suiza. 1999.

⁴ *El ruido en la planificación territorial Comuna de Providencia*. Tesis para optar al grado de Licenciado en Acústica y al Título Profesional de Ingeniero Acústico. Roberto Claudio Quezada Barrera. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 2002.



los factores que influyen en ella y se cuantifican usando determinados índices de medida»⁵.

2. Una vez expuesto lo anterior, es importante establecer que la calidad ambiental por ruido en el interior de las estaciones y trenes del Sistema de Transporte Colectivo, está determinada por las condiciones de confort que prevalezcan. Si estas condiciones son las apropiadas disminuirá la molestia. No obstante, las causas de molestia estarán relacionadas con diversos factores concurrentes de los que dependerá la sensación de confort a nivel colectivo y a nivel individual. Entre otros, los factores que influyen principalmente en la molestia son los siguientes:

- 1) La intensidad de la energía sonora, medida con el parámetro *Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente*, ya analizado.
- 2) El tiempo de exposición a los niveles sonoros, dado que entre más prolongado sea el tiempo de exposición, mayor será la molestia.
- 3) Las características de los sonidos. Presencia de sonidos continuos, intermitentes, impulsivos, de baja frecuencia, tonales emergentes, fluctuaciones, etc.
- 4) La sensibilidad individual del receptor, determinada por la percepción de las personas frente al mismo fenómeno acústico, que depende a su vez de las condiciones de salud, psicológicas, sociales y culturales.

3. ¿Qué tan confortable es el ambiente en las estaciones y trenes de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo? Para tratar de dar una respuesta, se analizan los primeros tres factores anteriores. El factor “sensibilidad individual del receptor” al sonido, es un tema subjetivo de explicación compleja que depende como ya se dijo, de factores no acústicos, por lo que en el presente estudio se omite su análisis.

La “intensidad de la energía sonora” fue ampliamente explicada en el *Apartado V. Resultados* del presente estudio. Se concluyó que el nivel sonoro global en los andenes de las estaciones fluctúa entre 61.3 dB(A) y 88.9 dB(A), con un promedio de 74.6 dB(A) referido al parámetro *Nivel Sonoro Continuo Equivalente* con ponderación frecuencial “A” (N_{eqA}).

En las *Guías para el Ruido Urbano* de la Organización Mundial de la Salud, se identifican valores guía para diferentes ambientes específicos que suponen riesgos adversos sobre la salud para un tiempo de exposición determinado. Aun cuando los valores guía establecen límites específicos con base en el nivel más bajo que puede provocar un efecto negativo en la salud del receptor más expuesto (efecto individual), dichos valores se pueden aplicar en la valoración de un ambiente de confort que evite molestias a la población en general.

Siendo así, y de conformidad con los valores guía de la OMS, el ambiente específico que mejor se asemeja al ambiente interior de los andenes y vagones del Sistema de Transporte Colectivo es el

⁵ *Ruido y Salud*. Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía. Junta de Andalucía. Unión Europea. 2011.



enunciado como: *Áreas industriales, comerciales y de tránsito, interiores y exteriores*, para el cual se establece un valor límite del N_{eqA} de 70 dB(A) con un tiempo de exposición de 24 horas.

El valor promedio de 74.6 dB(A) obtenido con las mediciones practicadas para este estudio excede en 4.6 dB el valor límite de 70 dB(A) recomendado por la OMS. Se asume que este excedente implica un riesgo para la salud del receptor, siempre y cuando esté expuesto crónicamente 24 horas continuas a un nivel sonoro de 74.6 dB(A) o mayor. Para efectos de confort, parecería un nivel de inmisión acústica en general, apropiado para los usuarios del medio de transporte, pero relativo, en función de la sensibilidad del receptor individual.

Las características de los sonidos es otro factor determinante de un ambiente acústico molesto. El ambiente interior de los andenes y de los convoyes es el definido por la presencia de sonidos continuos, si está referido a la música ambiental de forma precisamente continuada. Los sonidos intermitentes son los ocasionados por el arribo y paso de los trenes. Los sonidos impulsivos solamente son originados por el uso de las bocinas preventivas y la señal de cierre de puertas. Es probable que existan sonidos de baja frecuencia y tonales emergentes que requerirían estudios profundos. Las fluctuaciones representativas de los sonidos en el ambiente analizado de la Línea 12 están referidas por los valores mínimos y máximos del *Nivel sonoro continuo equivalente*, que ya se analizó ampliamente en el apartado de resultados.

Existen algunos estudios de mediciones en el interior de medios de transporte similares (metros) a los del Sistema de Transporte Colectivo de la Ciudad de México que permitieron hacer comparaciones con los resultados del presente estudio. A continuación se refieren algunos de ellos.

4. En un artículo publicado en la *Revista de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello*⁶, se encontró la siguiente referencia respecto a los niveles de ruido en el “Metro” de la Ciudad de Santiago de Chile:

«Dentro de las mediciones efectuadas al transporte público de Santiago, el Metro fue el que tuvo los niveles de ruido más altos: para un viaje dentro del vagón de línea 1 se obtuvo un valor promedio de 87,1 dB(A) y para mediciones en el andén de las estaciones, el nivel de ruido fluctuaba entre 80-85 dB(A)».

En la DISCUSIÓN del estudio se resalta que «Dentro del transporte público, el Metro es quien tiene los niveles de ruido más altos [...]. Si comparáramos esta medición, con un estudio realizado en 1981 por la USACH (Tabla 3), vemos que los niveles se han mantenido en general estables en los últimos 25 años. Ya en ese entonces, se concluía que los niveles encontrados sobrepasaban todos los límites recomendados, pese a lo cual no ha habido cambios [...]».

Tabla 3: Comparación de mediciones de ruido efectuadas al metro [de

⁶ PLATZER M, Usbeth; INIGUEZ C, Rodrigo; CEVO E, Jimena y AYALA R, Fernanda. *Medición de los niveles de ruido ambiental en la ciudad de Santiago de Chile*. Rev. Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello [online]. 2007, vol.67, n.2 [citado 2013-07-23], pp. 122-128. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-48162007000200005&lng=es&nrm=iso. ISSN 0718-4816. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-48162007000200005>



Santiago de Chile en año 1981 y 2006

Metro	1981	2006
Línea 1 (anden)	86.2 dB (A)	87.1 dB (A)
Ruido de fondo	70 dB(A)	68 dB (A)

Si los niveles sonoros de la Tabla 3 de la publicación aludida corresponden al N_{eqA} , es decir, al nivel RMS (promedio de los valores integrados en el tiempo de medición), y se comparan los valores 86.2 dB(A) y 87.1 dB(A) de los años 1981 y 2006, contra el valor promedio combinado de andenes y vagones en horarios pico y no pico de 77.1 dB(A) del presente estudio, puede apreciarse entonces que los niveles sonoros en el “Metro” de la Ciudad de Santiago son más elevados que los obtenidos en la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México.

5. Relacionado con el tema, también se encontró un artículo de la American Public Health Association⁷, titulado *Noise Levels Associated with New York City's Mass Transit Systems* (Niveles de Ruido Asociados con los Sistemas de Transporte Masivo de la Ciudad de Nueva York), que tuvo por objeto medir los niveles sonoros asociados con las diversas formas de transporte público y comparar sus resultados con las pautas de exposición recomendadas para proteger contra la pérdida de audición inducida por el ruido. De la Tabla 1 de este artículo se extrajo la información relativa al parámetro “Nivel Sonoro Continuo Equivalente” (N_{eqA}) en los andenes y vehículos (vagones), así como el valor combinado, de las mediciones realizadas en dos líneas del metro y tres líneas de tren suburbano, información que se muestra en el siguiente cuadro:

Niveles sonoros promedio N_{eqA} , medidos en diferentes medios de transporte de la Ciudad de Nueva York: junio-julio de 2007

Sistema de transporte	N_{eqA} andenes de estaciones	N_{eqA} interior del vehículo	N_{eqA} combinado
Metro:			
Metropolitan Transportation Authority	81.1	79.3	80.4
Port Authority Trans-Hudson	79.5	79.2	79.4
Tren Suburbano:			
Long Island Railroad	76.6	71.4	74.9
Staten Island Railroad	77.2	76.5	76.7
Metro-North Railroad	77.0	71.9	75.1
Promedio*	78.3	75.7	77.3

* Los valores promedio no pertenecen al cuadro original.

⁷ Richard Neitzel, Robyn R. M. Gershon, Marina Zeltser, Allison Canton, Muhammad Akram. *Noise Levels Associated With New York City's Mass Transit Systems*. American Journal of Public Health: August 2009, Vol. 99, No. 8, pp. 1393–1399. doi: 10.2105/AJPH.2008.138297. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2707461/>



Si se considera el valor promedio del N_{eqA} combinado de andenes e interior del vehículo del cuadro anterior [77.3 dB(A)] y lo comparamos con el valor promedio de andenes y vagones en horarios pico y no pico de 77.1 dB(A) del estudio de la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México, se puede inferir un nivel de inmisión acústica semejante en el ambiente de ambos casos. Matizando ambas situaciones, en el caso de las líneas de transporte de la Ciudad de Nueva York, se aprecia que el N_{eqA} en los andenes oscila entre 76.6 dB(A) y 81.1 dB(A), mientras que en los andenes de la Línea 12 (Cuadro 4 del presente estudio) los valores N_{eqA} varían entre 70.3 dB(A) y 77.6 dB(A). En el interior de vehículos se aprecian variaciones de 71.4 dB(A) a 79.3 dB(A) en los metros de la Ciudad de Nueva York y de 75.4 dB(A) a 83.7 dB(A) en la Línea 12 de la Ciudad de México.

6. En el primer sistema de tren subterráneo de la Ciudad de Calcutta, India, se realizó una evaluación básica de los niveles de ruido⁸ para analizar si el rango de los niveles de ruido podría poner en riesgo la sensibilidad auditiva de los trabajadores del medio de transporte. El estudio se efectuó en andenes de las estaciones Esplanade, Kalighat y Tollygunge y los resultados indicaron que el nivel sonoro continuo equivalente (N_{eqA}) promedio de las tres estaciones se encontraba en el rango de 84 dB(A) a 87 dB(A) y en los vagones del tren en movimiento los valores N_{eqA} oscilaban entre 92 dB(A) y 99 dB(A).

7. Merece atención el artículo publicado en Wiley Online Library⁹: *Multisensory Assessment of Acoustic Comfort Aboard Metros: a Virtual Reality Study* (Evaluación Multisensorial del Confort Acústico en Metros: un Estudio de Realidad Virtual), en el que se presenta un caso de estudio realizado para evaluar el confort acústico de pasajeros en viajes audiovisuales simulados a bordo de diferentes metros del mundo real. De la Tabla 1 de este artículo se extrae únicamente la información relativa a los niveles sonoros N_{eqA} , medidos en líneas del metro de diversas ciudades, cuyos sonidos fueron grabados en la banda sonora de la simulación.

Metro	N_{eqA}	Metro	N_{eqA}
Berlín S3	65.7	Nueva York MQ	81.2
Berlín U2	75.8	París L1	71.9
Milán L1	82.2	Roma LA	76.2
Milán L3	86.2	Turín L1	74.0
Nápoles L1	80.6	Promedio*	77.1

* El valor promedio no pertenece al cuadro original.

⁸ Bhattacharya SK, Bandyopadhyay P, Kashyap SK. National Institute of Occupational Health, Meghani Nager, Ahmedabad, India. *Calcutta Metro: is it safe from noise pollution hazards?* NCBI. PubMed. US National Library of Medicine. National Institute of Health. Industrial Health. 1996, 34(1), pp. 45-50. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8707621/>

⁹ Iachini, T., Maffei, L., Ruotolo, F., Senese, V. P., Ruggiero, G., Masullo, M. and Alekseeva, N. (2012), *Multisensory Assessment of Acoustic Comfort Aboard Metros: a Virtual Reality Study*. Appl. Cognit. Psychol., 26: 757–767. doi: 10.1002/acp.2856. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/acp.2856/abstract>



En el cuadro anterior se puede apreciar que los valores del nivel sonoro continuo equivalente N_{eqA} , de las líneas del metro consideradas en el estudio varían desde 65.7 a 86.2 dB(A), con un promedio de 77.1 dB(A). Este último valor es coincidente con el valor promedio de andenes y vagones de 77.1 dB(A) en el estudio de la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México.

8. Aun cuando el propósito del apartado VI del presente estudio es determinar la calidad ambiental o confort por ruido en la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo, se da la siguiente referencia en cuanto al riesgo de pérdida de la audición inducida por el ruido, contenida en el artículo de la American Journal of Public Health, ya citado:

«En un estudio piloto sobre niveles sonoros en trenes subterráneos, hemos observado niveles que potencialmente exceden los límites de exposición de la población recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de EU (EPA) en 1974¹⁰ y convalidados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1998¹¹. Tanto la OMS como la EPA recomiendan los siguientes tiempos de exposición diaria para los niveles sonoros indicados: 24 horas a 70 dB(A), 8 horas a 75 dB(A), 2.7 horas a 80 dB(A), 0.9 horas a 85 dB(A) y 0.3 horas a 90 dB(A). Se considera que la exposición crónica que supere las combinaciones de duración y nivel sonoro señaladas, podrían provocar pérdida de la audición en algunos miembros de la población expuesta.»

La pérdida de la audición previsible como resultado de la exposición a niveles de ruido específicos se puede predecir a través de un modelo publicado por la Organización Internacional de Normalización [ISO]¹². Este modelo permite a los usuarios calcular la cantidad de pérdida de la audición esperada como resultado de una exposición crónica a niveles de ruido continuo equivalente (N_{eq}) de 8 horas entre 75 y 100 dB(A) o exposiciones de 24 horas entre 70 y 95 dB(A). [...] Según las recomendaciones de la OMS y la EPA, se puede esperar que la exposición crónica a 80.3 dB(A) durante más de 160 minutos por día, pueda provocar pérdida de la audición en algunas personas expuestas, y a 90.2 dB(A) en tan sólo 18 minutos de la exposición diaria.»

9. De acuerdo con lo expuesto en el numeral anterior, los niveles de inmisión acústica resultantes de las mediciones acústicas en la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo, en correlación con el tiempo de exposición de las personas que utilizan este medio de transporte, propician condiciones de bajo riesgo por cuanto a la pérdida de audición se refiere. No obstante, el nivel sonoro promedio (horario pico y horario no pico) de 74.6 dB(A) en andenes y de 79.6 dB(A) en vagones, exceden el valor límite de 70 dB(A) recomendado por la OMS y de acuerdo con estos valores, las personas expuestas más sensibles podrán experimentar sensaciones de molestia o incomodidad, dependiendo del factor sensibilidad individual del receptor al sonido.

¹⁰ US Environmental Protection Agency Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety. Washington, DC: Environmental Protection Agency; 1974. Report 550/9-74-004.

¹¹ Op. cit. (ref. 2).

¹² International Organization for Standardization Acoustics—Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment (ISO 1999:1990). Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 1990.



VII. Conclusiones y recomendaciones del estudio

Conclusiones:

1. Los niveles sonoros medidos en los andenes de 12 estaciones de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo en los horarios de máxima demanda del servicio, oscilan entre 71.9 y 77.6 dB(A), con un promedio de 74.9 dB(A). Los niveles sonoros en horarios de menor demanda varían entre 70.3 dB(A) y 76.2 dB(A), con un valor promedio de 74.2 dB(A). La variación entre ambas condiciones es mínima: de 0.2 a 2.3 dB(A); por lo que los niveles de inmisión acústica se consideran más o menos constantes.
2. Los niveles sonoros fluctúan entre valores promedio mínimos y máximos de 61.7 a 87.9 dB(A), con un promedio de 74.8 dB(A).
3. No se encontró relación o asociación de los niveles sonoros resultantes de las mediciones acústicas con el tipo y la modalidad de las estaciones. Es decir, no se encontró una asociación concluyente entre los resultados y las características de funcionamiento y constructivas de las estaciones de la Línea 12 (terminal, de paso, correspondencia, subterránea, superficial, elevada).
4. Los niveles sonoros en el interior de los vagones de los trenes en condiciones dinámicas (tren en movimiento) varían entre 75.4 y 81.3 dB(A) para el horario de máxima demanda del servicio, y entre 77.8 y 83.7 dB(A) para el horario de menor demanda, con un promedio de ambas condiciones de 79.6 dB(A).
5. Los mayores niveles sonoros se registran en el interior de los trenes con relación a los registrados en los andenes de las estaciones.
6. La inmisión acústica en los andenes es provocada por el sistema de ambientación musical y avisos al público, el rodamiento de los trenes sobre los rieles metálicos durante su arribo y partida de las estaciones, las bocinas de los convoyes y la señal de cierre de puertas.
7. La inmisión acústica en el interior de los convoyes es provocada principalmente por la fricción de las ruedas metálicas sobre los rieles, la transmisión estructural del sonido, la fricción del tren con el aire, el funcionamiento del sistema de música ambiental e información y los equipos de extracción de aire.
8. Los niveles sonoros registrados en los vagones en los tramos de modalidad elevada y superficial del medio de transporte, son un poco más elevados que los del tramo subterráneo, debido a una contribución del ruido de fondo del ambiente exterior, principalmente generado por los vehículos en circulación.
9. Durante las mediciones acústicas no se observaron en los trenes de la Línea 12 del Sistema de



Transporte Colectivo, “vagoneros” o vendedores de copias ilegales de fonogramas en disco compacto.

10. La calidad ambiental por ruido en el interior de las estaciones y trenes del Sistema de Transporte Colectivo, está determinada por las condiciones de confort existentes, las cuales dependen de diversos factores como la intensidad de la energía sonora, el tiempo de exposición, las características de los sonidos y la sensibilidad individual del receptor.

11. Los niveles sonoros promedio de 74.2 dB(A) en andenes y de 79.6 dB(A) en los vagones, exceden el valor límite de confort de 70 dB(A), recomendado por la Organización Mundial de la Salud; por lo que las personas expuestas podrán experimentar sensaciones de molestia e incomodidad, dependiendo del factor sensibilidad individual.

12. Los niveles de inmisión acústica en andenes y convoyes de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo, no representan condiciones de riesgo de pérdida de la audición, a menos que de manera crónica las personas expuestas excedan los niveles sonoros y tiempos de exposición recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de EU y la Organización Mundial de la Salud.

13. Los niveles sonoros registrados en el interior de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo, son semejantes a los reportados en diversos estudios similares realizados en metros, trenes subterráneos y trenes suburbanos de distintos países; e inclusive, en diversos casos son menores.

Recomendaciones:

1. Recomendar a la Dirección del Sistema de Transporte Colectivo, reducir y controlar el nivel de volumen del sistema de información al público y ambientación musical para propiciar un ambiente más confortable en andenes y trenes.

2. Realizar estudios acústicos de mayor profundidad en la red del Sistema de Transporte Colectivo que incluya el análisis de frecuencias, aspecto fundamental en la identificación de las componentes que puedan provocar molestia e incomodidad a los usuarios y empleados.

3. Desarrollar índices de confort o comodidad acústica con base en estudios de opinión de los grupos de personas vulnerables, a efecto de valorar el porcentaje de individuos a los que incomoda el ambiente acústico de andenes y trenes del Sistema de Transporte Colectivo.

4. Promover la investigación y el desarrollo tecnológico para reducir la inmisión acústica de este medio de transporte.

5. Realizar con el apoyo de las autoridades en materia de salud pública, estudios audiométricos y diagnóstico de los grupos vulnerables que de manera crónica están expuestos a niveles sonoros y



tiempos de exposición mayores a los recomendados para la prevención de la pérdida de capacidad auditiva.

6. Realizar estudios clínicos a través de las autoridades sanitarias que demuestren la relación entre los niveles de inmisión acústica de andenes y vagones y los riesgos a la salud de los individuos y grupos de población vulnerables.

7. Mantener una vigilancia estricta para evitar que ingresen “vagoneros” que pudieran contribuir al incremento de los niveles de ruido que atenten contra el confort de los usuarios de este medio de transporte.