



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Sistemas, Planeación y  
Transporte

Ferrocarriles

*“Ruido Ferroviario”*

*Profesor: Dr. Jaime de Jesús Paredes Camacho*

*Grupo: 01*

*Alumna: Ramirez Cruz Frida Lizeth*

*Semestre: 2022-2*

*Ciudad Universitaria a 19 de mayo de 2022*

## Contenido

Introducción .....	3
¿Qué es la contaminación acústica? .....	4
Acústica, sonido y ruido: .....	4
▪ Definición del sonido .....	4
▪ Generación y propagación del sonido .....	4
▪ Presión sonora .....	5
▪ Nivel de presión sonora (SPL) .....	6
▪ Frecuencia del sonido (f) .....	6
▪ Longitud de onda: .....	7
▪ Espectro frecuencial .....	8
▪ Clasificación de los sonidos .....	8
▪ Velocidad de propagación del sonido .....	10
La medición del ruido ambiental .....	11
▪ Instrumentos de medición .....	11
▪ Unidades de medición .....	13
▪ Índices más utilizados para realizar la medición del ruido ambiental .....	15
Predicción de los niveles sonoros producidos por el tráfico rodado .....	16
Ruido producido por los ferrocarriles .....	17
▪ Ruido producido por el desplazamiento del tren .....	18
▪ Ruido producido por corrugación en ruedas .....	18
Fuentes sonoras presentes en los trenes .....	19
Efectos .....	20
Efectos sobre el ser humano .....	20
• Efectos Auditivos .....	21
• Efectos no auditivos .....	21
Efectos sobre el medio ambiente .....	23
Normatividad en México. Lineamientos en materia de emisiones de ruido y otros contaminantes atribuibles al tránsito ferroviario al interior de zonas urbanas o centros de población. ....	24
▪ Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación originada por la Emisión de Ruido .....	24
▪ Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEGEPA) .....	25
▪ NOM-081-SEMARNAT-1994 .....	26

▪ Lineamientos en materia de emisiones de ruido y otros contaminantes atribuibles al tránsito ferroviario al interior de zonas urbanas o centros de población .....	27
Normatividad Organización Mundial de la Salud.....	28
Medidas para reducir la contaminación acústica .....	28
▪ Control del ruido y la vibración en la fuente.....	28
Ruedas y Rieles Lisos.....	29
Sistemas de control de Spin-deslizante.....	30
Tratamientos al Vehículo .....	30
▪ Control de ruido y vibraciones en la transmisión .....	31
Barreras acústicas de altura completa .....	31
Barreras acústicas de baja altura .....	32
Conclusiones.....	35
Referencias .....	36

## Introducción

El ruido es un factor muy importante que se debe estudiar, ya que se ha catalogado mundialmente como un contaminante ambiental que afecta a las personas. El ruido en muchas ocasiones no es medido por sus efectos, pues no suelen manifestarse de forma inmediata ni tan evidente como los de otros contaminantes. Se considera que el ruido en niveles altos y tiempos prolongados es un problema de salud pública, ya que puede generar daños fisiológicos y psicológicos.

Hasta hace pocos años atrás el ruido era considerado únicamente como un subproducto accidental de la actividad humana, que en ocasiones podía ser perjudicial o molesto, pero fue hasta 1972 cuando la Organización Mundial de la Salud (OMS) catalogó el ruido como una forma más de contaminación, y actualmente es considerado como uno de los contaminantes ambientales más molestos y que más inciden sobre el bienestar de las personas, pero sigue siendo la contaminación menos regulada de todas las existentes.

Las sociedades modernas exigen a sus autoridades “calidad de vida” lo cual implica, entre otros aspectos, tener silencio en la mayoría de los espacios que se convierten en parte de nuestra vida cotidiana, ya sea en el hogar, trabajo, parques, etc. En México más que en otros países, debido al crecimiento caótico e imprudente de las ciudades, se ha generado un gran número de situaciones problemáticas desde el punto de vista del ruido.

Un caso bastante dramático es la construcción de casas habitación junto a las vías férreas, o viceversa, convirtiéndose los ferrocarriles en una gran fuente de contaminación acústica, la cual, para empeorar la situación no se encuentra correctamente reglamentada en nuestro país.

El ferrocarril implica varios mecanismos de generación de ruido: la locomotora, los frenos, el rodar del tren y los dispositivos de advertencia que incluyen cornetas, silbatos y campanas; es por ello que esta investigación tiene como objetivo principal mostrar las medidas de mitigación para reducir este fenómeno que la mayoría de las veces es inevitable.



Figura 1. Ferrocarril pasando por una zona habitacional en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey.<sup>[1]</sup>

## ¿Qué es la contaminación acústica?

La contaminación acústica es el **exceso de ruido generado por cualquier actividad humana** y que tiene efectos nocivos sobre la salud de los seres vivos. La OMS establece el límite superior deseable de ruido en los 70 dB (a) y por encima de este nivel se considera perjudicial para la salud.

Este tipo de contaminación indica la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente.

### Acústica, sonido y ruido:

#### ▪ Definición del sonido

El sonido es una onda mecánica, longitudinal y tridimensional.

El sonido se puede definir de formas muy diversas. De todas ellas, las más habituales son las siguientes:

- ✓ Vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva. De dicha definición se desprende que, a diferencia de la luz, el sonido no se propaga a través del vacío y, además, se asocia con el concepto de estímulo físico.
- ✓ Sensación auditiva producida por una vibración de carácter mecánico que se propaga a través de un medio elástico y denso.

El sonido es una onda mecánica, longitudinal y tridimensional.

#### ▪ Generación y propagación del sonido

El elemento generador del sonido se denomina fuente sonora (tambor, cuerda de un violín, cuerdas vocales, etc.). La generación del sonido tiene lugar cuando dicha fuente entra en vibración. Dicha vibración es transmitida a las partículas de aire adyacentes a la misma que, a su vez, la transmiten a nuevas partículas contiguas. Las partículas no se desplazan con la perturbación, sino que simplemente oscilan alrededor de su posición de equilibrio. La manera en que la perturbación se traslada de un lugar a otro se denomina propagación de la onda sonora.

La oscilación de las partículas tiene lugar en la misma dirección que la de propagación de la onda.

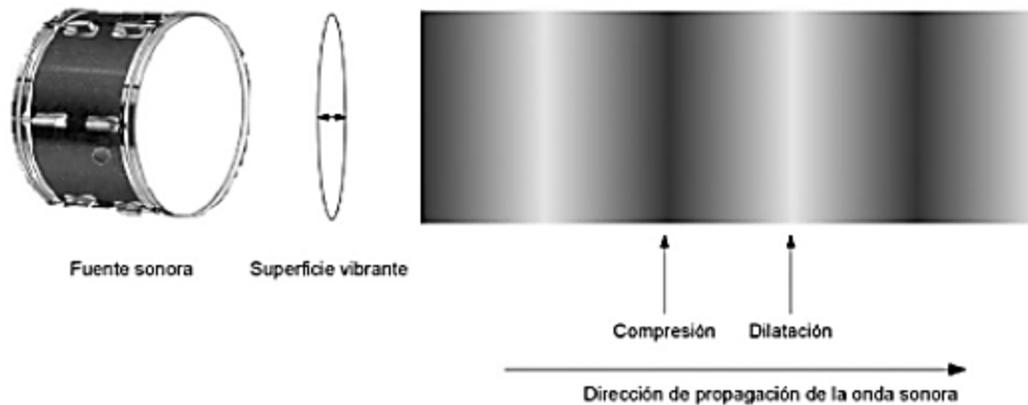


Figura 2. Zonas de compresión y dilatación de las partículas de aire en la propagación de una onda sonora.<sup>[2]</sup>

### ▪ Presión sonora

La manera más habitual de expresar cuantitativamente la magnitud de un campo sonoro es mediante la presión sonora, o fuerza que ejercen las partículas de aire por unidad de superficie.

En la figura 3 se observa la evolución de la presión  $P_T$ , en función del tiempo, dicha presión se obtiene como suma de la presión atmosférica estática  $P_0$  y la presión asociada a la onda sonora  $p$ .

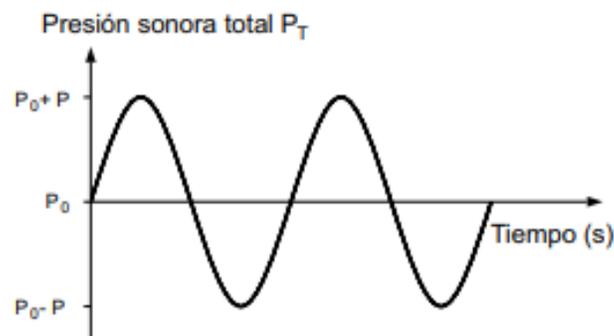


Figura 3. Evolución de la presión sonora total en función del tiempo en un punto cualquiera del espacio.<sup>[2]</sup>

Suele expresarse comúnmente en micro-pascales ( $\mu\text{Pa}$ ). La ecuación matemática para calcularla queda expresada de la siguiente manera:

$$P(T) = P_A + p(t)$$

Donde:

$P(T)$ : presión acústica

$P_A$ : presión atmosférica

$p(t)$ : presión debida al sonido

- **Nivel de presión sonora (SPL)**

La presión sonora constituye la manera más habitual de expresar la magnitud de un campo sonoro, La unidad de medida es el Newton/metro<sup>2</sup> ( $N/m^2$ ) o pascal (Pa).

- **Frecuencia del sonido (f)**

El número de oscilaciones por segundo de la presión sonora  $p$  se denomina frecuencia ( $f$ ) del sonido y se mide en hertzios (Hz) o ciclos por segundo (c/s). Lógicamente, la frecuencia del sonido coincide con la frecuencia de la vibración mecánica que lo ha generado.

En la figura 4 se observan dos ejemplos de presión sonora  $p$  asociada a oscilaciones de diferente frecuencia.

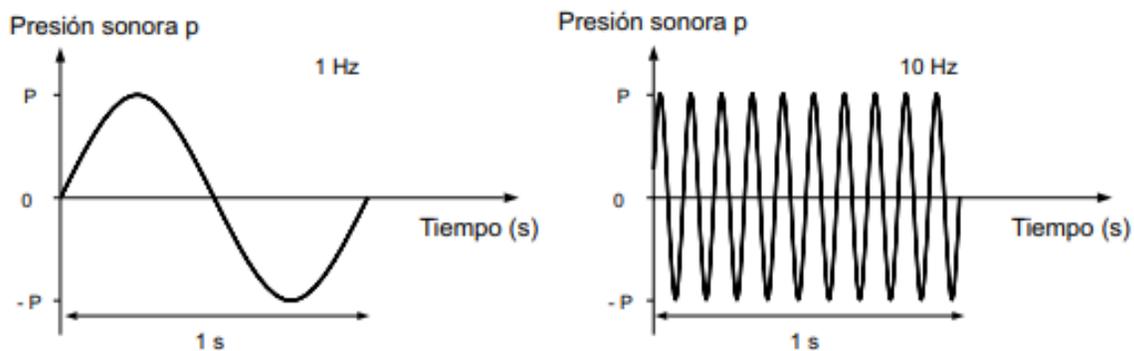


Figura 4. Ejemplos de oscilaciones de frecuencias 1 y 10 Hz.<sup>[2]</sup>

La frecuencia del sonido varía de acuerdo con el rango acústico en el que se encuentren las ondas sonoras. La clasificación generalmente admitida del rango audible se muestra en la siguiente figura:



Figura 5. Espectro audible.<sup>[3]</sup>

**Infrasonidos.** Son los sonidos con frecuencias menores a 20 Hz y no son percibidos por el oído humano, aunque es posible percibir las vibraciones en tejidos blandos del cuerpo.

**Espectro audible.** Estos sonidos son los que se encuentra en una frecuencia comprendida entre 20 Hz y 15000 Hz. En caso de la audición humana, la banda de frecuencias audibles para una persona joven y sana se extiende, aproximadamente, de 20 Hz a 20,000 Hz (o bien 20 kHz).

**Ultrasonido.** Estos sonidos tienen frecuencias mayores a 15 KHz y es comúnmente percibido por algunos animales como los perros. No existe algún límite superior de frecuencia, es por ello por lo que se designa ultrasonido.

- **Longitud de onda:**

Se puede decir que es la distancia recorrida por la onda sonora en un ciclo completo de vibración, es decir, el distanciamiento de una partícula con respecto a su posición de reposo. Esta longitud puede determinarse con la siguiente ecuación:

$$\lambda f = c$$

donde:

$\lambda$ : Longitud de onda

f: frecuencia

c: Velocidad del sonido

También se define como la distancia entre dos puntos consecutivos del campo sonoro que se hallan en el mismo estado de vibración en cualquier instante del tiempo. Por ejemplo, si en un instante dado se seleccionan dos puntos consecutivos del espacio donde los valores de presión son máximos, la longitud de onda es precisamente la distancia entre ambos puntos.

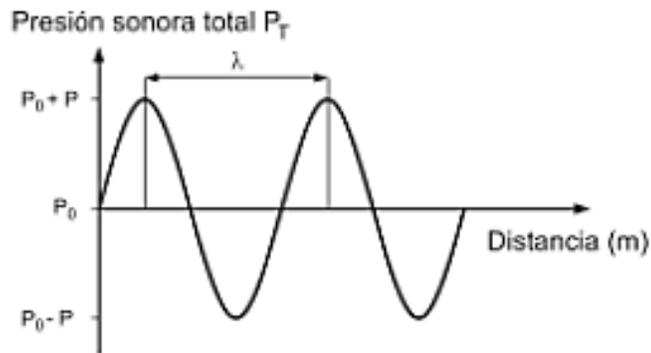


Figura 6. Longitud de onda del sonido.<sup>[2]</sup>

### ▪ Espectro frecuencial

La gran mayoría de los sonidos que percibimos no constan únicamente de una sola frecuencia, sino que están constituidos por múltiples frecuencias superpuestas.

Se puede conocer qué frecuencias componen un sonido observando el denominado espectro frecuencial (o simplemente espectro) del mismo, entendiéndose por tal la representación gráfica de las frecuencias que lo integran junto con su correspondiente nivel de presión sonora.

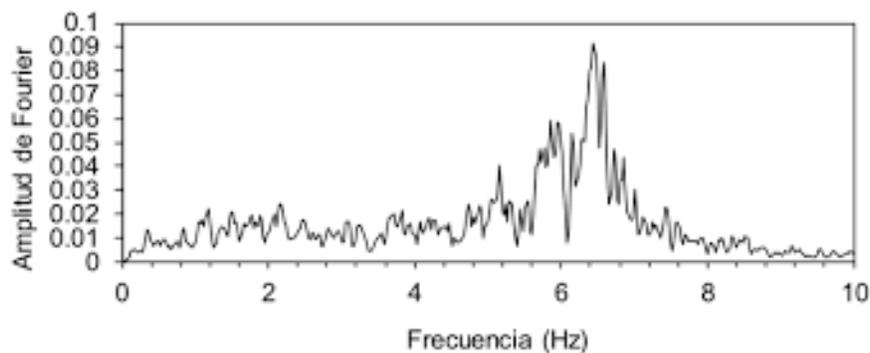


Figura 7. Espectro de frecuencias.<sup>[2]</sup>

### ▪ Clasificación de los sonidos

**Sonido periódico simple (tono puro):** El sonido o tono puro, es aquel que posee una sola frecuencia. Estos tipos de sonidos no existen en la naturaleza, solamente pueden ser creados de manera artificial, principalmente para realizar medidas acústicas.

Se compone de una única frecuencia  $f_0$  constante, por lo que su espectro está constituido por una sola raya.

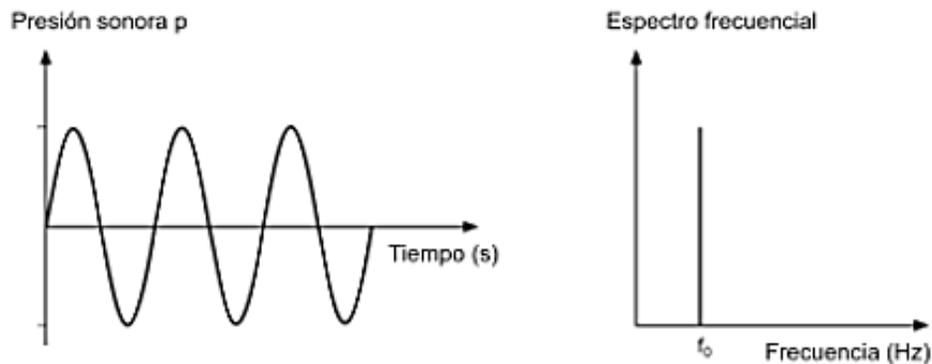


Figura 8. Tono puro y su espectro frecuencial.<sup>[2]</sup>

**Sonido periódico complejo.** Sonido caracterizado por una frecuencia origen, denominada fundamental o primer armónico, y un conjunto finito de frecuencias múltiplos de esta, denominados armónicos. La mayoría de los instrumentos musicales producen este tipo de sonidos.

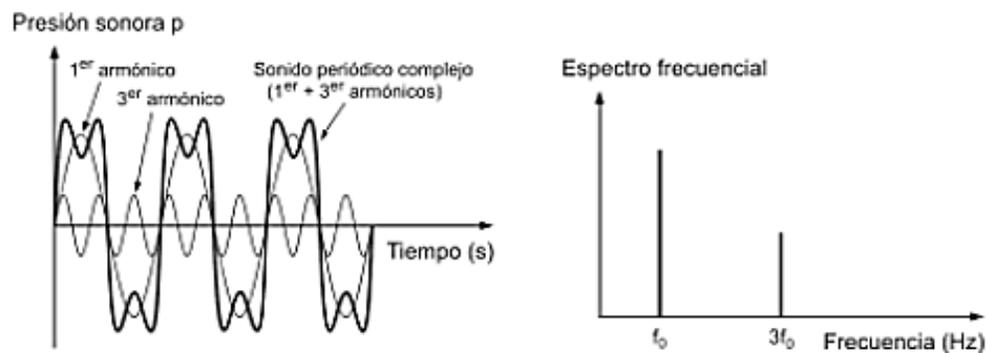


Figura 9. Sonido periódico complejo y su espectro frecuencial.<sup>[2]</sup>

**Sonido transitorio:** Sonido resultante de la brusca liberación de energía bajo la forma, por ejemplo, de explosiones o impactos. Es de aparición repentina y tiene una duración breve. A diferencia de los sonidos periódicos, contiene un gran número de componentes frecuenciales que no guardan una relación armónica entre sí, sino que forman un espectro continuo.

En la siguiente figura se presenta un sonido transitorio denominado pulso rectangular, así como su espectro frecuencia.

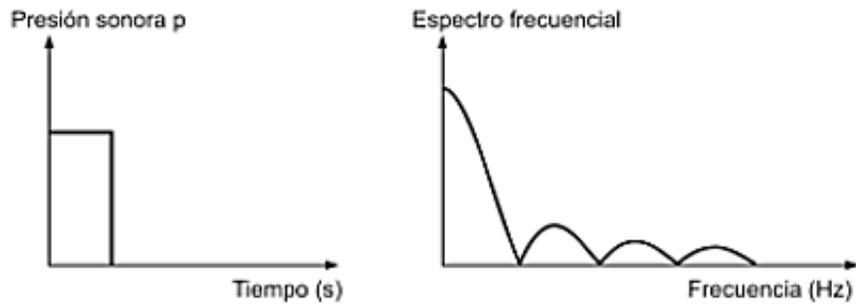


Figura 10. Pulso rectangular y su espectro frecuencial.<sup>[2]</sup>

### Sonidos aleatorios:

Los sonidos aleatorios están formados por muchas frecuencias de valor impredecible, Habitualmente reciben el nombre de ruidos (ruido= sonido no deseado).

En la siguiente figura se aprecia la evolución temporal de un sonido aleatorio y su correspondiente densidad espectral de potencia.

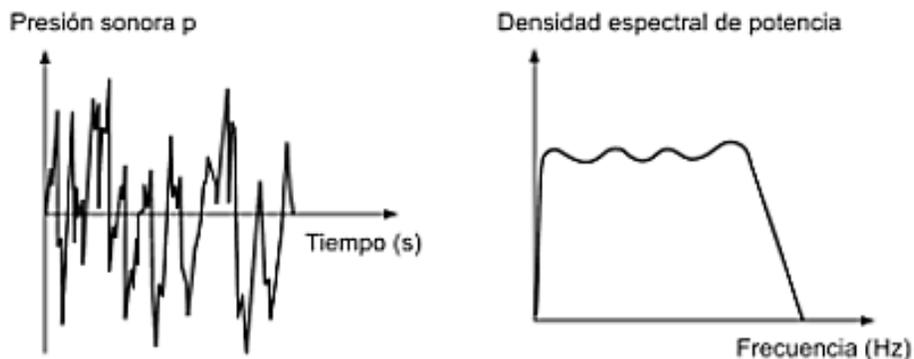


Figura 11. Sonido aleatorio y correspondiente densidad espectral de potencia.<sup>[2]</sup>

### ▪ Velocidad de propagación del sonido

La velocidad de propagación del sonido ( $c$ ) es función de la elasticidad y densidad del medio de propagación. Debido a que, en el aire, ambas magnitudes dependen de la presión atmosférica estática  $P_0$  y de la temperatura, resulta que, considerando las condiciones normales de 1 atmósfera de presión y 22 °C de temperatura, la velocidad de propagación del sonido es de, aproximadamente, 345 m/s.

La velocidad del sonido en el aire puede obtenerse mediante la siguiente ecuación:

$$c = 331 + 0.6 T_c$$

donde:

$T_c$ : temperatura en grados Celcius

c: Velocidad del aire en m/s

Cuanto más denso y menos elástico sea el medio, mayor será la velocidad del sonido a su través. Por ejemplo, la velocidad de propagación del sonido generado por un tren a través de los rieles es mucho mayor que a través del aire, por lo que la vibración del riel se percibirá mucho antes que el sonido aéreo debido a dicho tren.

## La medición del ruido ambiental

### ▪ Instrumentos de medición

#### Medición del sonido: el sonómetro

Debido a la complejidad del funcionamiento del oído humano, hasta la actualidad no ha sido posible diseñar un aparato de medida objetiva del sonido que sea capaz de dar unos resultados del todo equivalentes, para cualquier tipo de sonido. Sin embargo, resulta evidente la necesidad de disponer de un instrumento electrónico que permita medir sonidos bajo unas condiciones rigurosamente prefijadas. Dicho aparato recibe el nombre de sonómetro.

El sonómetro mide exclusivamente niveles de presión sonora.

A continuación, se mencionan los filtros de ponderación que suelen usarse regularmente:

- **Filtro de ponderación A.** Es utilizado para modelar la respuesta del oído humano a niveles de presión bajos. Actualmente la mayoría de las normas utilizan este filtro de ponderación para determinar los niveles de ruido aceptables. A esto niveles se les denomina decibelio A, dB(A).
- **Filtro de ponderación B.** Se utiliza para modelar la respuesta del oído a niveles de presión medios. Actualmente este filtro de ponderación está fuera de uso. A esto niveles se les denomina decibelio B, dB(B).
- **Filtro de ponderación C.** Se utiliza para modelar la respuesta del oído a niveles de presión altos. Se utiliza para evaluar ruidos ambientales, así como, sonidos de baja frecuencia en la frecuencia audible. A esto niveles se les denomina decibelio C, dB(C).

Las mediciones del nivel acústico se hacen apuntado el micrófono hacia la fuente de ruido y leyendo el instrumento que ya está calibrado en dB.



Figura 12. Sonómetro.<sup>[4]</sup>

### Dosímetro

El dosímetro es un instrumento utilizado para medir la exposición sonora de una persona. Como se sabe el ruido sobre el oído humano no está relacionado solamente con el nivel acústico, sino también con la duración de exposición.

Físicamente, el dosímetro consta de una caja de tamaño reducido que puede llevarse a cualquier lugar de una manera cómoda. Un cable extendido conecta al dosímetro al micrófono, que suele llevarse en el cuello de la camisa. De esta forma, el micrófono recoge señales similares a las del oído.



Figura 13. Dosímetro.<sup>[3]</sup>

- **Unidades de medición**

**Niveles y el decibel:**

La presión sonora del sonido más tenue que puede escuchar un individuo saludable ronda los 0.00002 Pa.  
 La presión sonora que genera el despegue de un cohete Saturno supera los 200 Pa.

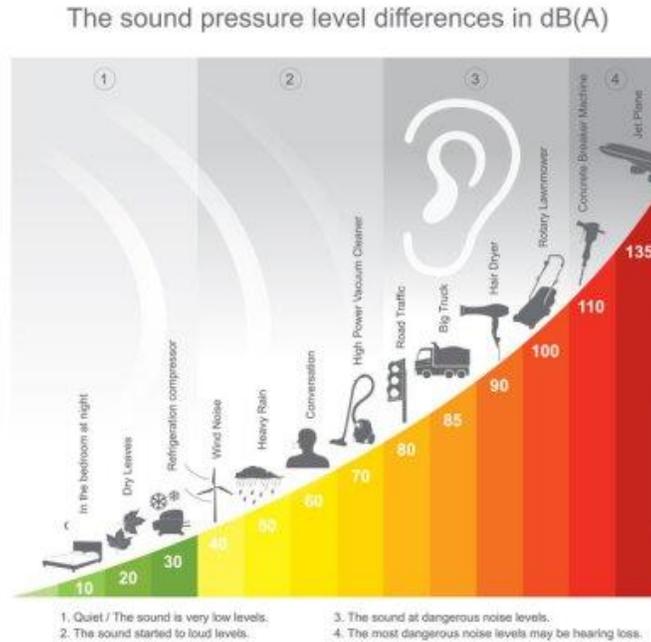


Figura 14. Intervalo astronómico.<sup>[3]</sup>

Se refiere a un intervalo de números que resulta “astronómico”, incluso para una notación científica. Esta situación se representa con una escala basada en el logaritmo de las proporciones de las cantidades medidas.

La unidad de las escalas de este tipo es el bel, denominado así en honor a Alexander Graham Bell.

$$L' = \log \frac{Q}{Q_0}$$

Donde:

L': nivel, en bels

Q: cantidad medida

Q<sub>0</sub>: cantidad de referencia

log: logaritmo base 10

Un bel resulta una unidad tan grande que, por conveniencia, se divide en 10 subunidades llamadas decibeles (dB): Los niveles en **decibeles** se calculan de la siguiente manera:

$$L = 10 \log \frac{Q}{Q_0}$$

El decibel no representa unidad física alguna. Solo señala que se ha realizado una transformación logarítmica.

La notación logarítmica, es una consecuencia de la ley de Weber-Fecher, la cual dice que la sensación es proporcional al algoritmo de la excitación para las frecuencias medias.

### Combinación de niveles de presión sonora:

Debido a su naturaleza logarítmica, los decibeles no se suman ni se restan como si fueran términos semejantes. Se debe de recordar que; sumar los logaritmos de los números equivale a multiplicarlos.

Ejemplo: ¿Qué nivel de potencia de sonido resulta de la combinación de los siguientes niveles: 68 dB, 79 dB y 75 dB?

$$L_p = 10 \log \sum 10^{\left(\frac{68}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{75}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{79}{10}\right)}$$

$$L_p = 10 \log(1117,365,173)$$

$$L_p = 80.7 \text{ dB}$$

### Niveles promedio de la presión sonora:

Debido a la naturaleza logarítmica del decibel, el valor promedio de una serie de las mediciones del nivel de presión sonora no puede calcularse de manera normal. En su lugar se debe emplear la siguiente ecuación:

$$\bar{L}_p = 20 \log \sum_{j=1}^N 10^{\left(\frac{L_j}{20}\right)}$$

Donde:

$\bar{L}_p$ : nivel promedio de presión sonora (en dB ref 20  $\mu$ Pa)

N: Numero de mediciones

$L_j$ : los j – esimos niveles de presión sonora (en dB ref 20  $\mu$ Pa)

j: 1,2,3, ... N

Ejemplo:

Calcule el nivel sonoro medio de las cuatro siguientes lecturas (todas en decibeles): 38, 51, 68 y 78

Solución: Primero se calcula la suma:

$$\sum_{j=1}^4 = 10^{\left(\frac{38}{20}\right)} + 10^{\left(\frac{51}{20}\right)} + 10^{\left(\frac{68}{20}\right)} + 10^{\left(\frac{78}{20}\right)}$$

$$= 1.09 \times 10^4$$

Ahora se completa el cálculo:

$$\bar{L}_p = 20 \log \frac{1.09 \times 10^4}{4}$$

$$\bar{L}_p = 68.7 \text{ dBA}$$

### ▪ Índices más utilizados para realizar la medición del ruido ambiental

Los índices más utilizados para evaluar el ruido ambiental en las proximidades de una vía férrea son los niveles equivalentes referidos a periodos diurno, nocturno, vespertino y de 24 horas. Tratándose de ruido ferroviario estos niveles están directamente condicionados por la frecuencia de las circulaciones, las velocidades que se desarrollen y el tipo de trenes, siendo evidentemente más ruidosos los de mercancías y los trenes con tracción diésel. De la misma manera la velocidad influirá de forma proporcional siendo más ruidosos los trenes a medida que su velocidad aumenta. Por último, cuanto mayor sea la frecuencia de las circulaciones mayor valor adoptaran los niveles equivalentes.

#### Nivel acústico equivalente de 1 hora

El nivel acústico equivalente de 1 hora es un nivel acústico continuo equivalente para un tiempo de 1 hora. Este tiempo de medición puede empezarse y terminarse en cualquiera hora y día. Es preferible indicar la referencia del intervalo de tiempo mediante la hora de inicio y la hora final. El nivel acústico de 1 hora es el promedio temporal del cuadrado de la presión sonora con ponderación A, medido en decibeles, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$L_{1h} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\frac{1}{3600} \int_0^{3,600} P_A^2(t) dt}{P_o^2} \right\}$$

#### Nivel acústico equivalente de 8 horas

El nivel acústico equivalente de 8 horas, es aquel que se mide en un intervalo de 8 horas, comúnmente en lugares de trabajo, pues la mayoría de estas jornadas son de 8 horas al día, sus unidades son los decibelios y se determina con la siguiente ecuación:

$$L_{8h} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{\frac{1}{28,800} \int_0^{28,800} P_A^2(t) dt}{P_o^2} \right\}$$

### Nivel acústico diurno

El nivel acústico diurno se mide en decibelios o decibeles y se define como nivel acústico continuo equivalente medido para las primeras 15 horas diurnas del día, entre las 7:00 y las 22:00 horas. Este puede medirse directamente con intervalos de 12 horas o a partir de los niveles acústicos de 1 hora, mediante la siguiente ecuación:

$$L_d = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{15} \sum_{800}^{2,200} 10^{0.1 L_{1h}(i)} \right\}$$

### Nivel acústico vespertino

El nivel acústico vespertino es medido en decibelios se define como el nivel acústico continuo equivalente medido para tres horas vespertinas, entre las 19:00 y 22:00 horas. Este nivel se determina por medio de niveles acústicos de 1 hora, de acuerdo a la ecuación

$$L_{ev} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{3} \sum_{2,000}^{2,200} 10^{0.1 L_{1h}(i)} \right\}$$

### Nivel acústico nocturno

El nivel acústico nocturno es medido en decibelios y se divide en 2 turnos, uno que está entre las 0:00 y 7:00y el siguiente que es de las 22:00 a las 24:00 horas. Este nivel puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$L_n = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{9} \sum_{i=0100}^{0700} 10^{0.1 L_{1h}(i)} + \sum_{i=2300}^{2400} 10^{0.1 L_{1h}(i)} \right\}$$

## Predicción de los niveles sonoros producidos por el tráfico rodado

### Cálculo de nivel equivalente $L_{eq}$ del paso del tren

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{t_e}{T} 10^{\frac{L_{max}}{10}} \right]$$

Donde:

$t_e$ : Es el tiempo de exposición en segundos

T: Es el tiempo durante el que estamos evaluando el nivel equivalente  $L_{eq}$

$L_{max}$ : Es el nivel máximo del paso de un tren

### Determinación del nivel equivalente $L_{eq}$ del tráfico de trenes

Para calcular el Nivel Equivalente  $L_{eq}$  del tráfico de una vía ferroviaria, hay que conocer el número de categorías de trenes diferentes que circularán por dicha vía, y el número de trenes que circularán de cada una de estas categorías.

A partir de estos datos es muy sencillo calcular el nivel equivalente  $L_{eq}$  de cada una de las categorías. El nivel equivalente  $L_{eq}$  del tráfico ferroviario se calculará como la suma de las contribuciones de todas las categorías  $K$ , mediante la expresión:

$$L_{eq}^k(n \text{ trenes}) = L_{eq}^k(1 \text{ tren}) + 10 \log(n)$$

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \sum_{k=1}^{N_k} 10^{\frac{L_{eq}^k(n \text{ trenes})}{10}} \right]$$

### Ruido producido por los ferrocarriles

El ruido, originado por el tráfico ferroviario, se caracteriza por ser un ruido discontinuo en el tiempo, ya que obedece a fenómenos discretos con una determinada frecuencia. Las fuentes de este ruido varían en función de la velocidad del tren: para velocidades bajas predominan el ruido motor, en locomotoras diesel, y el ruido de contacto rueda-carril. A medida que se incrementa la velocidad tiene mayor importancia el ruido aerodinámico, predominante en las circulaciones a alta velocidad.

Otras fuentes de ruido surgen como consecuencia del resto de las actividades ferroviarias, como, por ejemplo: operaciones de mantenimiento, limpieza de trenes, operaciones de frenado y puesta en marcha en estaciones, entre otras.



Figura 15. Silbato en trenes.<sup>[5]</sup>

Los fenómenos mas comunes que generan el ruido en los ferrocarriles se mencionan a continuación:

- **Ruido producido por el desplazamiento del tren**

De forma general podemos pensar que el ruido se produce por la vibración de la rueda y el riel, al rodar una sobre otra. El tren al no disponer de sistemas de dirección es dirigido por acción de las pestañas de las ruedas, de manera que, si bien en línea recta no aparecen en principio ruidos, es en las curvas donde el rozamiento de la pestaña con la parte interna del riel genera el conocido “squeal noise” o ruido de ululación. Además de los fenómenos de rozamiento de las ruedas con la vía, las imperfecciones o irregularidades en ésta favorecen la aparición de excentricidades de las ruedas. Los fenómenos de rozamiento ocasionan un desgaste bastante irregular de las vías y ruedas, y en consecuencia la aparición de ruido y vibraciones

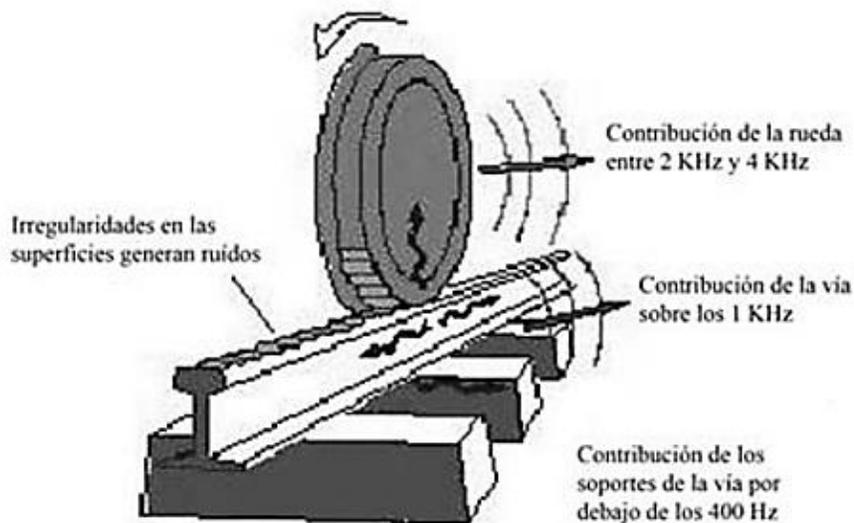


Figura 16. Generación del ruido de rodadura en un tren.<sup>[6]</sup>

- **Ruido producido por corrugación en ruedas**

El sistema de frenado de algunos trenes se basa en la colocación de zapatas situadas de forma diametral, que cuando se accionan hacen contacto sobre la superficie de rodadura de la rueda, presionando ésta y reduciendo así su velocidad. El roce entre la zapata de freno y la rueda genera una gran cantidad de calor que puede llegar a deformar la rueda.

Una rueda con pequeñas deformaciones al girar sobre la vía genera a su vez más imperfecciones y el proceso se traduce finalmente en un incremento paulatino de las vibraciones.

Estas irregularidades presentan ondulaciones longitudinales con picos espaciados cada 50 mm o más y con una profundidad de varias décimas de milímetros. Para evitar este fenómeno deben mantenerse en perfecto estado las ruedas de los trenes.

## Fuentes sonoras presentes en los trenes

Para comprender mejor la metodología de predicción y mejora del impacto sonoro, es fundamental conocer cuáles son las fuentes sonoras presentes en un tren y su orden de importancia dentro del ruido generado.

Las principales fuentes de ruido de tren son:

- a) **Ruido de tracción:** Se considera ruido de tracción, a aquel procedente de la maquina tractora. Estos utilizan diferentes propulsores, el más utilizado es el motor diésel, pero también hay eléctricos, a vapor y con levitación magnética. Para las maquinas con motor diésel la principal fuente de ruido son las salidas de escape de los gases del motor y también las vibraciones generadas por este. Las maquinas eléctricas son mucho más silenciosas. En estas la principal fuente de ruido procede generalmente del control eléctrico del motor, del propio motor, y de los ventiladores auxiliares.
- b) **Ruido de rodadura:** Este ruido se produce por el contacto entre las ruedas del tren y las vías. Los pequeños desajustes y el desgaste irregular de la rueda y la vía causan la aparición de vibraciones que a su vez incrementan los desajustes y vibraciones, siendo necesario un mantenimiento que asegure la plenitud de la vía y la circunferencia de las ruedas. Los movimientos de la vía suelen ser motivo de la aparición de ruidos al paso de un convoy.
- c) **Ruido de equipamiento auxiliar.** Formado por ventiladores, compresores y los sistemas de frenado. También se incluye los correspondientes a los sistemas de ventilación del pasaje. La componente principal suele estar formada por los compresores tanto de la parte de climatización como los sistemas de frenado.
- d) **Ruido aerodinámico:** Producido por el paso del tren en contacto con el aire. Este ruido es importante para altas velocidades.

Los factores que condicionan el ruido emitido por el ferrocarril se generan debido a componentes como:

- ✓ Irregularidades tanto de la rueda como del riel.
- ✓ Aparición de impulsos verticales por discontinuidades en el riel o cambios de agujas
- ✓ Existencia de desplazamientos tangenciales y adherencias (que provocan chirridos de altas frecuencias cuando el tren circula a baja velocidad y sobre curvas cerradas).



Figura 2.5. Ruido de rodadura. Interacción entre la rueda y el riel.

Figura 17. Ruido de rodadura, interacción entre la rueda y el riel.<sup>[6]</sup>

## Efectos

### Efectos sobre el ser humano

El nivel acústico (dBA) del ruido es el factor determinante de las molestias y el nivel admisible será siempre relativo a las características del individuo y a la actividad realizada.

También la variación en el tiempo de los niveles acústicos agrava la sensación de molestia, como los ruidos impulsivos o repetitivos (golpes o traqueteos), al igual que la variación de las frecuencias, como los chirridos o las sirenas.

En otras ocasiones, las molestias son producidas por la interpretación de los ruidos, ya que estos serán más molestos cuanto mayor sea el contenido de información no deseada.

Experimentos psicofísicos sobre la relación entre el estímulo físico y la sensación fisiológica han determinado que cada vez que se incrementa el nivel sonoro en 10 dBA se duplica la sensación fisiológica, de manera que un incremento de 20 dBA la multiplica por 4, y así sucesivamente.

Las consecuencias sobre la salud de las personas pueden ser muy variadas; pueden dividirse en efectos auditivos y en efectos no auditivos

- **Efectos Auditivos**

Los auditivos como su propio nombre lo indica se refieren a los problemas que pueden tener las personas que están expuestas al ruido la mayor parte de día. Esto es lo que a muchas personas les sucede, ya que al estar expuestas demasiado tiempo al ruido pierden paulatinamente la capacidad auditiva.

A pesar de que la principal consecuencia de los efectos auditivo es la pérdida paulatina de la audición, resulta importante mencionar que esto también contrae efectos secundarios que tienen igual o mayor seriedad, ya que al momento de que una persona comienza a escuchar menos, evita mantener conversaciones y en ocasiones cambia su personalidad. Esto conlleva a desarrollar problemas psicológicos que a su vez pueden originar problemas sociales, económicos y de rendimiento.

### **Desplazamiento temporal del umbral**

Como ya se había mencionado cuando una persona está expuesta a ruidos intensos su sensibilidad auditiva disminuye, por lo cual es necesario un mayor nivel de presión acústica para lograr oír.

Es importante mencionar que la pérdida temporal de la audición no es algo inmediato ni irreversible en un inicio.

Con el ruido sucede casi lo mismo, al salir de un sitio ruidoso se tiene la sensación de tener los oídos tapados y estar aturdido. Después de unas horas o días, dependiendo mucho de la persona, la sensibilidad auditiva se recupera. Esto fisiológicamente se trata de una fatiga de células ciliares, que necesitan reponerse para regresar a su estado natural.

### **Desplazamiento permanente del umbral**

Si una persona se expone a un ruido intenso frecuentemente sin dejar que su oído se haya recuperado, las células ciliares se debilitan y mueren.

Está comprobado que la pérdida de la audición producida por el ruido depende de la combinación de los niveles sonoros y de la duración a la exposición.

- **Efectos no auditivos**

Los efectos no auditivos son más difíciles de entender, ya que no se conoce demasiado de estos. Esto es porque los efectos son de carácter más personal, ya que entran en juego factores como la costumbre, la situación económica, el equilibrio nervioso, etc.

### **Malestar**

Este es uno de los efectos más comunes ocasionados por el ruido sobre las personas y la causa inmediata de la mayor parte de las quejas.

Las personas afectadas hablan de intranquilidad, inquietud, desasosiego, depresión, ansiedad o rabia.

### **Trauma psíquico**

La pérdida de la audición afecta en el equilibrio psíquico de una persona. Esto es porque la persona al no oír bien se esfuerza por mantener las conversaciones, este esfuerzo es mayor a medida que existen más sonidos en el ambiente, lo cual muchas veces lo obliga a abandonar las conversaciones y alejarse de éstas, generando un cambio en la actitud del individuo.

### **Perdida de concentración y rendimiento**

La pérdida de la concentración puede producirse cuando alguien se encuentra realizando una actividad y es afectado por el ruido de fondo o por algún ruido repentino. Esto puede bajar el rendimiento en la tarea, especialmente en aquello que requiera concentración máxima.

Se sabe que algunos casos las consecuencias serán duraderas, por ejemplo, los niños sometidos a altos niveles de ruido durante su edad escolar no sólo aprenden a leer con mayor dificultad, sino que también tienden a alcanzar grados inferiores en el dominio de la lectura.

### **Trastornos del sueño**

Los efectos que ocasiona el ruido en el sueño pueden clasificarse de tres formas distintas, según su momento de aparición:

- ✓ **Alteraciones primarias.** Son aquellas que causan dificultad para iniciar el sueño, alteraciones del patrón o intensidad del sueño e interrupciones del mismo. Otros efectos primarios que pueden presentarse durante el sueño con exposición al ruido son: el aumento de la presión arterial, aumento del ritmo cardiaco, arritmia cardiaca, vasoconstricción, cambios en la frecuencia respiratoria y movimientos corporales.
- ✓ **Alteraciones secundarias.** Son aquellos efectos que aparecen durante la mañana o el día después de la exposición al ruido durante el sueño. Esto ocasiona una reducción en la calidad percibida del sueño, fatiga, modificaciones del carácter y alteración en el bienestar.
- ✓ **Alteraciones terciarias.** Estos son los efectos que se ocasionan a largo plazo después de una exposición prolongada al ruido durante el sueño. Esto puede dar lugar gradualmente a la aparición de enfermedades funcionales, que con el tiempo pueden llegar a ser enfermedades orgánicas progresivas e irreversibles.

### **El estrés**

Como se sabe el estrés es una reacción inespecífica ante factores agresivos del entorno físico, psíquico y social. En primera instancia puede considerarse como una respuesta fisiológica normal del organismo para defenderse de posibles amenazas. Sin embargo, si esta reacción se repite en varias ocasiones, resulta

sistemáticamente inefectiva, ya que podría llegar a agotar los mecanismos normales, produciendo un desequilibrio en los mismos que, con el tiempo, pueden manifestarse en diferentes alteraciones a la salud.

Cabe señalar que se ha relacionado al estrés con otras enfermedades como lo son: enfermedades cardiovasculares, alteraciones en el aparato digestivo, alteraciones en el sistema inmunitario de defensa o el sistema de reproducción, por citar algunos ejemplos.

Se ha estimado que los trabajadores expuestos permanentemente a niveles de ruido elevados (mayores a 85 dB(A)), presentan un mayor riesgo de padecer afecciones cardiovasculares que los no expuestos. Una exposición a niveles menores (menores a 65 dB(A)), en determinadas condiciones, puede ocasionar reacciones de estrés, aunque los efectos a largo plazo de estos efectos son menos conocidos.

### **Problema económico**

Este problema se presenta principalmente en las empresas donde sus trabajadores tienen largos periodos de trabajo con ruidos, ya que, al estar expuestos constantemente a estos sonidos, comienzan a tener un cansancio por lo cual su rendimiento se reduce considerablemente. Debido a lo anterior, la empresa pierde horas de trabajo y calidad en los trabajos que se entregan, por lo cual las ganancias disminuye.

## **Efectos sobre el medio ambiente**

En el medio ambiente los animales que se encuentran cerca de la fuente sonora son los que más daños pueden presentar debido a la perturbación de su hábitat. Algunos ejemplos que se pueden mencionar son:

- **Cambios de comportamiento y hábitos en animales.** Se ha visto que diversas especies cambian sus patrones tanto de caza y alimentación, como de cría.
- **Reducción de productividad.** Disminuye la actividad polinizadora y la capacidad de dispersión de las semillas en vegetales. En el caso de animales se ha demostrado que animales de granja como vacas y gallinas disminuyen de manera considerable su capacidad de producir leche y huevos si están sometidas a ruido; lo mismo ocurre con animales salvajes.

Otro aspecto que puede ser perjudicado debido al ruido es el suelo, ya que, las ondas pueden repercutir en suelos, favoreciendo su compactación e incluso desestabilizando zonas que se encuentran en un equilibrio bastante delicado.

## Normatividad en México. Lineamientos en materia de emisiones de ruido y otros contaminantes atribuibles al tránsito ferroviario al interior de zonas urbanas o centros de población.

Las normatividades son las que nos ayudan y asesoran en el momento de determinar el sitio de estudio, los puntos, los horarios, el equipo a utilizar, la manera de hacer nuestras mediciones y los límites que deben cumplirse de acuerdo a lo que se mide y se estudia.

### ▪ Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación originada por la Emisión de Ruido

Este reglamento fue publicado en 1982 en el Diario Oficial de la Federación y fue el primer reglamento que se hizo para solucionar y regular los problemas de ruido que comenzaban a tenerse en la ciudad.

En el Reglamento para la protección de Ambiente contra la contaminación establece que; existen dos fuentes artificiales de contaminación ambiental, las cuales son:

**I.- Fijas.** Abarca a todos los tipos de industria, máquinas con motores de combustión, terminales y bases de autobuses y ferrocarriles, aeropuertos, clubes cinegéticos y polígonos de tiro; ferias, tianguis, circos y otras semejantes;

En las fuentes fijas se podrán usar silbatos, campanas, magnavoces, amplificadores de sonido, timbres y dispositivos para advertir el peligro en situaciones de emergencia, aun cuando se rebasen los niveles máximos permitidos de emisión de ruido correspondiente, durante el tiempo y con la intensidad estrictamente necesaria para la advertencia.

**II.- Móviles.** Aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses integrales, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinaria con motores de combustión y similares.

El nivel de ruido máximo permisible en las fuentes fijas estaba establecido de acuerdo a como se muestra en la siguiente tabla. Cabe mencionar que estos niveles eran determinados al igual que en la actualidad por dos intervalos de horarios al día.

Tabla 1. Ruido máximo permisible. Reglamento para la protección del Ambiente contra la contaminación originada por la emisión de ruido. Elaboración propia.

Horario	Límites máximos permisibles dB (A)
6:00 a 22:00	68
22:00 a 6:00	65

Los artículos del presente Reglamento que abarcan los temas ferroviarios se enuncian a continuación;

**Artículo 25.**-Para prevenir y controlar la contaminación ambiental originada por la emisión de ruido, los organismos y empresas que presten servicios de transporte ferroviario deberán cuidar del correcto mantenimiento de los rieles, ruedas durmientes, balasto y, en general del sistema de rodamiento y de enganches, así como de que las maniobras de carga y descarga y las operaciones de patio se realicen en los términos que establecen las normas correspondientes.

**Artículo 26.**-Las nuevas instalaciones ferroviarias, incluyendo las vías y las estaciones dentro de las poblaciones, se ubicarán de conformidad con lo que señale la autoridad urbanística competente, en la población de que se trate u de acuerdo con el plano regulador, en su caso, en la inteligencia de que en la construcción de andenes, salas de espera y demás servicios auxiliares, deberán aplicarse las normas técnicas de arquitectura y de ingeniería que resulten convenientes para abatir y controlar el ruido.

#### ▪ **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEGEPA)**

Esta ley fue publicada el 28 de enero de 1988 y fue reformada por última vez el 5 de noviembre del 2013. Esta ley no solamente toca el tema ruido, sino que regula aspectos en general para el cuidado y conservación del medio ambiente (suelo, agua y aire).

Para cumplir con todos los artículos dispuestos en la ley se regula en conjunto con la Secretaría de Salud (SSA) y la Secretaría de Trabajo y Prevención Social.

A continuación, se muestran los artículos que se relacionan con el ruido de acuerdo a la LEEGEPA

**Artículo 5°.** Son facultades de la federación, la regulación de la prevención de la contaminación ambiental originada por ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica, radiaciones electromagnéticas y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente.

**Artículo 7°.** Corresponde a los Estados, la prevención y el control de la contaminación generada por la emisión de ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica, radiaciones electromagnéticas y olores perjudiciales al equilibrio ecológico o al ambiente, proveniente de fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, así como, en su caso, de fuentes móviles que conforme a lo establecido en esta Ley no sean de competencia Federal.

**Artículo 8°.**Corresponde a los Municipios la aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de la contaminación por ruido, vibraciones, energía térmica, radiaciones electromagnéticas y lumínica y olores perjudiciales para el equilibrio ecológico y el ambiente, proveniente de fuentes fijas que funcionen como establecimientos mercantiles o de servicios, así como la vigilancia del cumplimiento de las disposiciones que, en su caso, resulten aplicables a las fuentes móviles excepto las que conforme a esta Ley sean consideradas de jurisdicción federal.

**Artículo 155.** Quedan prohibidas las emisiones de ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica y la generación de contaminación visual, en cuanto rebasen los límites máximos establecidos en las normas oficiales mexicanas que para ese efecto expida la Secretaría, considerando los valores de concentración máxima permisibles para el ser humano de contaminantes en el ambiente que determine la Secretaría de Salud. Las autoridades federales o locales, según su esfera de competencia, adoptarán las medidas para impedir que se transgredan dichos límites y en su caso, aplicarán las sanciones correspondiente.

**Artículo 156.** Las normas oficiales mexicanas, establecerán los procedimientos a fin de prevenir y controlar la contaminación por ruido, vibraciones, energía térmica, lumínica, radiaciones electromagnéticas y olores, y fijarán los límites de emisión respectivos.

La Secretaría de Salud realizará los análisis, estudios, investigaciones y vigilancia necesarias con el objeto de localizar el origen o procedencia, naturaleza, grado, magnitud y frecuencia de las emisiones para determinar cuándo se producen daños a la salud.

#### ▪ **NOM-081-SEMARNAT-1994**

El objetivo de esta Norma Oficial Mexicana es establecer los límites máximos permisibles de emisión de ruido que genera el funcionamiento de las fuentes fijas y el método de medición por el cual se determinará los niveles de ruido emitidos hacia el ambiente.

Fue aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental el 10 de noviembre de 1994, siendo vigente desde ese año y reformada el 23 de abril de 2003.

Esta norma es aplicable en la pequeña, mediana y gran industria, comercios establecidos, servicios públicos y actividades en la vía pública

Es conveniente señalar que esta norma es aplicable en fuentes fijas. Una fuente fija de acuerdo a la norma, es una instalación establecida en un solo lugar que tiene como fin desarrollar actividades industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen emisiones contaminantes a la atmósfera. Ésta debe considerarse como un elemento o conjunto de elementos capaces de producir ruidos que es emitido hacia el exterior a través de las colindancias del predio por medio del aire y/o suelo.

Las especificaciones que se establecen en la norma para obtener los niveles de ruido de una fuente fija, son las siguientes:

1. La medición de ruido que generan las fuentes fijas se mide obteniendo su nivel acústico en ponderación “A” (dB (A)).
2. Se elegirá un equipo de medición que cumple con los requisitos de la norma presente.
3. Para obtener el nivel acústico de una fuente fija se debe aplicar el procedimiento de actividades siguientes:
  - Reconocimiento inicial del lugar
  - Medición de campo
  - Procesamiento de datos

- Elaboración de un informe de medición

Los límites máximos permisibles del nivel acústico en ponderación A que establece la norma son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. NOM-081-SEMARNAT-1994. Elaboración propia.

Horario	Límites máximos permisibles dB (A)
6:00 a 22:00	68
22:00 a 6:00	65

Como se observa estos niveles no han cambiado de acuerdo con los establecidos en el Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación originada por la Emisión de Ruido.

▪ **Lineamientos en materia de emisiones de ruido y otros contaminantes atribuibles al tránsito ferroviario al interior de zonas urbanas o centros de población**

Los Lineamientos en materia de emisiones de Ruido y Otros contaminantes atribuibles al Tránsito Ferroviario al interior de Zonas Urbanas o Centros de Población, tienen por objeto establecer los principios a los que deberán sujetarse los concesionarios, permisionarios y asignatarios del Sistema Ferroviario para la preservación, restauración del equilibrio ecológico, así como la protección y el mejoramiento del ambiente, en materia de ruido y otros contaminantes atribuibles al tránsito ferroviario.

Dentro del Capítulo tercero se establecen las “Obligaciones de los concesionarios, permisionarios y asignatarios en materia de emisión de ruido y otros contaminantes en las zonas urbanas y centros de población”, en los que se destacan los siguientes puntos:

- ✓ Es obligación de los concesionarios, permisionarios y asignatarios someter al Equipo Tractivo a inspecciones y verificaciones periódicas, las cuales deberán ser realizadas por las Personas acreditadas en temas de contaminantes y ruido.
- ✓ Los concesionarios, permisionarios y asignatarios estarán obligados a respetar los límites a la emisión de contaminantes previstos en las disposiciones aplicables en la materia, durante toda la vida útil del Equipo Tractivo y durante la vigencia de su concesión, permiso o asignación, según corresponda.

Con el fin de procurar el bienestar de la población, los municipios y las demarcaciones territoriales, podrán solicitar a la Agencia que se prohíba el uso del silbato dentro de determinados cruces en las zonas de población que ellos evalúen.

## Normatividad Organización Mundial de la Salud

Para una exposición media al ruido, se recomienda reducir los niveles de ruido producidos por el tráfico ferroviario por debajo de **54 dB**  $L_{den}$ , ya que el ruido ferroviario por encima de este nivel se asocia con efectos adversos para la salud.

Para la exposición al ruido nocturno, se recomienda reducir los niveles de ruido producidos por el tráfico ferroviario durante la noche por debajo de **44 dB**  $L_{night}$ , ya que el ruido ferroviario por encima de este nivel es asociado con efectos adversos sobre el sueño.

Para reducir los efectos sobre la salud, se recomienda encarecidamente que los responsables de la formulación de políticas implementen medidas adecuadas para reducir la exposición al ruido del ferrocarril en la población expuesta a niveles por encima de los valores de referencia para la exposición al ruido medio y nocturno. Sin embargo, hay evidencia insuficiente para recomendar un tipo de intervención sobre otro.

## Medidas para reducir la contaminación acústica

### Tipos de medidas de mitigación

Las medidas para reducir los impactos de ruido y vibraciones de las operaciones ferroviarias siguen tres estrategias de control principales:

- reduciendo el ruido y la vibración en la fuente
  - en la transmisión al receptor
  - en el receptor.
- 
- **Control del ruido y la vibración en la fuente**

Para los nuevos desarrollos de líneas ferroviarias, es importante que la ruta se seleccione cuidadosamente para evitar generar impactos de ruido. Se debe prestar especial atención a la ubicación de la línea ferroviaria propuesta en relación con las áreas residenciales existentes y planificadas, y la posibilidad de utilizar las características topográficas existentes para mitigar el ruido.

Mantener los vehículos ferroviarios y las vías en buen estado es importante y se le debe dar alta prioridad en cualquier estrategia de mitigación.

Otro tipo de fuentes a las que se debe dar alta prioridad son aquellas con características. Estos incluyen el chirrido de las ruedas, el chirrido de los frenos y el ruido de las juntas de las vías y los desvíos, ya que generalmente provocan una fuerte reacción de la comunidad.

Ejemplos de medidas de mitigación para el ruido y la vibración en la fuente incluyen:

- **Medidas de vías:** minimizar las curvas pronunciadas para reducir el chirrido de las ruedas, el rechinar de los rieles; la soldadura para suavizar las discontinuidades, la lubricación, el uso de almohadillas blandas para los rieles, entre otros.
- **Medidas relativas al material rodante:** silenciamiento eficaz del ruido de escape de las locomotoras diésel, alineación de las ruedas, lubricación de las ruedas a bordo, uso de frenos de disco, uso de ruedas elásticas, amortiguadores de vibraciones de las ruedas, zapatas de freno de bajo chirrido y uso de material rodante que cumplan con los requisitos de límite de ruido en las licencias de protección ambiental.

Idealmente, el material rodante debe incluir locomotoras que operen de acuerdo con las mejores prácticas.

La aplicación de las mejores prácticas incluye:

- ✓ Programar operaciones ruidosas en los momentos menos sensibles.
- ✓ Uso selectivo de ciertas pistas.
- ✓ Mantener el equipo en buen estado.
- ✓ Ubicar operaciones ruidosas detrás de estructuras.
- ✓ Emplear prácticas "silenciosas" al operar el equipo
- ✓ Llevar a cabo programas de educación del personal sobre la necesidad de evitar ruidos innecesarios.

A continuación, se explica más a fondo algunas de las medidas abordadas anteriormente:

### Ruedas y Rieles Lisos

Actualmente las ruedas con frenos de bloques de acero fundido generan mayores niveles de ruido de rodadura que los frenos de disco, siendo la diferencia típicamente de 10 dB. La razón de esta diferencia es el desarrollo de corrugación en la rueda con una longitud de onda entre 4 y 8 cm en la superficie de rodadura de la banda de rodamiento con el freno y las ruedas



Figura 18. Ruido de rodadura, interacción entre la rueda y el riel.<sup>[7]</sup>

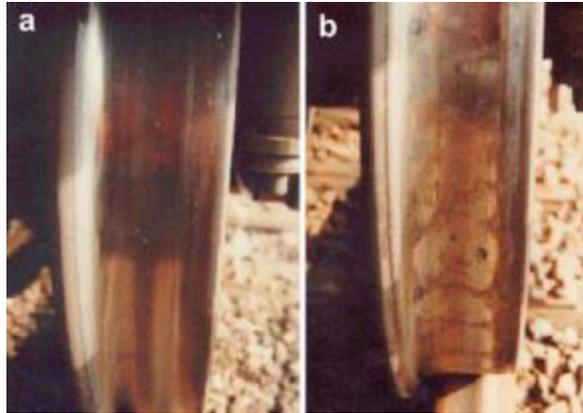


Figura 19. Superficie de rodadura de la rueda a)frenos de disco, b)frenos de bloques de hierro fundido.<sup>[6]</sup>

### **Sistemas de control de Spin-deslizante**

Similar a los sistemas de frenos antibloqueo en los automóviles, reducen la incidencia de pisos de ruedas, un importante contribuyente de ruido de impacto. Los trenes con bandas de rodadura de las ruedas lisas pueden ser de hasta 20 dB más silencioso que los que tienen pisos de ruedas. Para ser eficaz, la función de antibloqueo debe estar en funcionamiento durante todas las fases de frenado, incluyendo el frenado de emergencia.

### **Tratamientos al Vehículo**

Medidas de mitigación de ruido de vehículos se aplican a los diferentes sistemas mecánicos asociados a la propulsión, ventilación y comodidad de los pasajeros; éstas incluyen:

- Motores de tracción eléctricos y motores de turbina de combustibles fósiles. El ruido del sistema de propulsión depende del tipo de unidad y el nivel de la mitigación del ruido está incorporado en el diseño.
- Requisitos de ventilación para los sistemas del vehículo están relacionados con el ruido generado por un vehículo.

Dado que tanto las vías como los factores del material rodante contribuyen al ruido de rodadura, la mitigación debe abordar ambos para que sea eficaz. Por ejemplo, el control del ruido que se logra simplemente aplicando medidas de mitigación en la vía es tan efectivo como la condición del material rodante que está utilizando la vía.

## ▪ Control de ruido y vibraciones en la transmisión

Esto implica restringir la propagación del ruido y/o la vibración. Tales medidas incluyen el uso de barreras contra el ruido, la instalación de placas de base resistentes y placas de lastre.

Las barreras deben usarse selectivamente. Son un enfoque de alto costo y su efectividad para controlar los impactos dependerá de la situación. Las barreras son más efectivas si están cerca de la fuente o del receptor. Su eficacia también está determinada por su altura, el material utilizado (absorbente o reflectante) y su densidad.

Las barreras pueden adoptar diversas formas, como muros independientes, montículos o terraplenes de hierba o tierra, y zanjas o cortes dentro de los cuales se ubican las fuentes de ruido.

### **Barreras acústicas de altura completa**

Son las barreras de más de 1,0 m de altura. Estas barreras se instalan no más cerca de la vía que de los postes de señales, postes de electrificación, etc., y son una de las formas más comunes de la mitigación del ruido utilizado en los ferrocarriles.

Las barreras acústicas reducen el nivel de ruido al receptor al obstruir la transmisión directa del sonido emanado por la fuente (en este caso el ruido del ferrocarril). Las ondas de sonido son reflejadas, absorbidas, transmitidas o difractada sobre la arista de la barrera.



Figura 20. Ejemplos de barreras acústicas de altura completa.<sup>[6]</sup>

Los beneficios de las barreras de ruido de altura completa se pueden resumir como sigue:

- El diseño, la aplicación y ejecución de este tipo de mitigación está bien establecida para el uso de los ferrocarriles;
- Pueden ser utilizadas solo o en combinación con otras medidas de mitigación.

Las desventajas de las barreras acústicas de altura completa se pueden resumir de la siguiente manera:

- Para proporcionar mitigación del ruido aerodinámico de los trenes de alta velocidad, las barreras tendrán que ser de al menos 4 m de alto.
- Impacto visual adverso para residentes y la pérdida de luz.
- Restricción/prohibición de salidas de emergencia.
- Vandalismo y mantenimiento.
- Puede haber efectos sobre el movimiento de la vida silvestre.

### **Barreras acústicas de baja altura**

Son las barreras de menos de 1 metro de altura. Cuando se utilizan, se localizan muy cerca de los extremos de las vías y ofrece una alternativa a las barreras de altura completa, proporcionando reducción del ruido en estrecha proximidad a la fuente.

Es una alternativa eficaz y reductora del ruido cuando no se pueden utilizar barreras acústicas de gran altura, por ejemplo, por razones de protección de monumentos, de urbanismo o por razones estéticas.

Cubre ambos sentidos de circulación y en tramos complejos (rasantes, curvas, dobles vías, espacio reducido, etc.), donde no se pueden instalar soluciones convencionales.



Figura 21. Protección acústica.<sup>[8]</sup>



Figura 22. Barrera acústica baja.<sup>[9]</sup>

Algunos ejemplos de barreras acústicas de baja altura son:

- ✓ Un diseño de hormigón armado que incorpora elementos de absorción de sonido en la forma de una estera fina de caucho finamente granulado combinado con bolsas de aire. La barrera requiere solo cimientos muy básicos.
- ✓ Gaviones de piedra: Además de gaviones convencionales, se puede utilizar un perfil cilíndrico con tres cámaras, las cámaras exteriores se llenan con las rocas y la cámara de centro consta de un núcleo de hormigón y una estera de absorción de sonido.
- ✓ Perfiles de aluminio prefabricados.



Concreto Reforzado



Gaviones de Piedra



Perfiles de Aluminio

Figura 23. Ejemplos de barreras acústicas de baja altura.<sup>[6]</sup>

Algunos beneficios de las barreras de baja de altura son:

- Tienen una huella física más pequeña en comparación con otras medidas de mitigación.
- Los costes son propensos a ser menores que para las barreras de altura convencional. También son menos propensos al vandalismo.
- Los elementos de la barrera se pueden quitar fácilmente cuando se requiere trabajar en la línea de ferrocarril.
- Pueden integrarse más fácilmente en entornos naturales.

Las desventajas de las barreras acústicas de baja altura son:

- No proporcionan atenuación al ruido aerodinámico de trenes que viajan a velocidades superiores a 340 km/h.
- El rendimiento de estas barreras con el tiempo no se ha analizado suficientemente.

### **Control de ruido y vibraciones en el receptor**

Las líneas ferroviarias son una parte esencial de nuestra infraestructura urbana. Incluso después de implementar medidas de mitigación viables y razonables para gestionar el ruido en su origen, a veces puede ser necesaria una gestión complementaria en el punto de impacto. Esto puede deberse a la cercanía de las instalaciones afectadas o a limitaciones físicas, operativas y económicas.

La mitigación en el receptor se incluye entre las medidas de mitigación factibles y razonables.

Cuando se planea que ocurra un nuevo desarrollo residencial alrededor de una línea férrea, se deben aplicar técnicas apropiadas de diseño, diseño y construcción de edificios. Esto es para minimizar la intrusión de ruido y garantizar que las áreas para dormir estén adecuadamente protegidas de los altos niveles de ruido.

Cuando un desarrollo ferroviario propuesto afectará un desarrollo existente o aprobado, el tratamiento de los edificios en la propiedad (por ejemplo, aislamiento, vidriado de ventanas para reducir el ruido, mejora de la construcción) se puede considerar como una opción para mitigar el ruido.

La propagación del sonido depende de:

- la distancia entre los dos puntos
- la topografía: valles, cerros, agua, etc.
- la presencia o ausencia de obstáculos naturales o artificiales
- las condiciones climáticas.

## NOISE ABATEMENT MEASURES ALONG RAILWAY TRACK



Figura 24. Medidas para reducir el ruido ferroviario.<sup>[6]</sup>

## Conclusiones

La importancia de estudiar y conocer los impactos del ruido ferroviario radica en que actualmente es una de las contaminaciones ambientales menos reguladas y estudiadas en nuestro país.

Las sociedades que se encuentran asentadas cerca de vías ferroviarias generalmente sufren afectaciones, las que van desde quejas hasta problemas de salud; pero muchas veces estos problemas son ignorados y no se les da la importancia que merecen.

El ferrocarril por su naturaleza es un transporte que genera ruido, ya sea por su sistema de frenado, el rodar del tren, los carros, etc; es por ello que implementar medidas para reducir el ruido marca la diferencia entre un proyecto “planeado” y uno que es ejecutado sin pensar en las consecuencias que puede tener el ruido. Un ejemplo de este tipo de problemas es la construcción del tren maya, solo por mencionar un ejemplo, ya que el tren junto con las obras conexas generara un aumento del ruido en diversos municipios de la Península de Yucatán. De acuerdo con información en la red, el estado mexicano no cuenta con información suficiente relacionada con el ruido que causara el proyecto. Se estima que el ruido de este proyecto puede afectar la salud humana y causar impactos en la cueva “el volcán de los murciélagos”, la cual es una de las colonias más grandes de murciélagos que existen en el sureste de México.

Los efectos que puede tener la mala planeación de un desarrollo ferroviario pueden generar problemas reversibles e irreversibles en el ser humano, como se mencionó, el más importante y severo es el desplazamiento permanente del umbral auditivo, este se genera a la constante exposición del ruido ferroviario. Además de este problema se puede presentar traumas psicológicos, pérdida de concentración, disminución de rendimiento, trastornos de sueño, estrés, entre otros. Es evidente que este tipo de efectos dependerá de la persona que perciba el ruido y de su sensibilidad auditiva.

Actualmente si se cuenta con normatividad en México, la cual nos establece los límites máximos de ruido permitido y las sanciones que se pueden tener si se opera con límites de ruido máximos, pero considero que no es un tema prioritario del estado mexicano, es por ello que se debe de proponer que exista una mayor regulación en este tema.

El alcance para aplicar medidas de mitigación factibles y razonables a los corredores ferroviarios existentes es generalmente más limitado y potencialmente más costoso que para los nuevos desarrollos ferroviarios en áreas verdes. La implementación de estrategias efectivas de gestión del ruido es una parte integral de la fase de planificación de los proyectos ferroviarios y es potencialmente un enfoque de ahorro de costos en comparación con la mitigación retrospectiva.

## Referencias

[1] Eliendo, Fernando, “Ruido producido por silbatos de trenes”, Laboratorio de Acústica de la FIME-UANNL. Ingenierías, Vol. V, No. 14, enero-marzo de 2002, <https://core.ac.uk/download/pdf/76600499.pdf>

[2] <https://books.google.com.mx/books?id=YvpoBQAAQBAJ&pg=SA1->

[3] Hernández, Alan, “Estudio de niveles de presión acústica en los alrededores del aeropuerto internacional de la ciudad de México”, Facultad de Ingeniería. Ingenierías, mayo de 2014, <http://132.248.9.195/ptd2014/mayo/0712468/Index.html>

[4] Llorente, Álvaro, “CA 1310 Sonómetro integrador Clase 2”, instrumentacionhoy.com, junio de 2021, recuperado 18 de mayo de 2022, de <https://www.instrumentacionhoy.com/ca-1310-sonometro-integrador-clase-2/>.

[5] Tinoco, Karla. (2017, 15 enero). Silbato del tren; un ruido que lleva a la «locura» a habitantes de la colonia Panteones. [vanguardia.com.mx](http://vanguardia.com.mx). Recuperado 18 de mayo de 2022, de <https://vanguardia.com.mx/coahuila/saltillo/saltillenses-ya-no-soportan-el-silbato-del-tren-FNVG3279851>

[6] Albino, Israel, “Monitoreo y mitigación acústica en aeropuertos y vías férreas”, Universidad Autónoma de chihuahua. Facultad de Ingeniería, diciembre de 2015, <http://132.248.9.195/ptd2014/mayo/0712468/Index.html>

[7] Los límites del ferrocarril. (2019, 26 agosto). Cuaderno de Cultura Científica. Recuperado 18 de mayo de 2022, de <https://culturacientifica.com/2019/08/26/los-limites-del-ferrocarril/>

[8] Protección acústica / aislamiento acústico de las infraestructuras. (s. f.). HERING. Recuperado 18 de mayo de 2022, de <https://www.heringinternational.com/es/productos-servicios/proteccion-acustica/>

[9] Barreras acústicas bajas. (s. f.). HERING. Recuperado 18 de mayo de 2022, de <https://www.heringinternational.com/es/productos-servicios/proteccion-acustica/barreras-acusticas-bajas/>

Hernández, L. (2020, 9 noviembre). Contaminación acústica y ferrocarril. Trenvista. Recuperado 3 de marzo de 2022, de <https://www.trenvista.net/a-fondo/contaminacion-acustica-y-ferrocarril/>

Contaminación acústica. (s. f.). Gobierno de España. Recuperado 18 de mayo de 2022, de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/contaminacion-acustica/>

Segues, Fernando, “Ruido de tráfico: Ferrocarriles”, Escuela de negocios eoi, 2007-2008. Recuperado 18 de mayo de 2022, de [file:///C:/Users/frida/Downloads/componente45754%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/frida/Downloads/componente45754%20(1).pdf)

EPA, “Rail Infrastructure Noise GuideLine”, Environment Protection Authority, Mayo 2013. Recuperado 18 de mayo de 2022, de <https://www.epa.nsw.gov.au/~media/EPA/Corporate%20Site/resources/noise/20130018eparings.ashx>