

ACÚSTICA AMBIENTAL

Cuaderno 2

Instrumentos y mediciones



2017

MVOTMA

Ministra de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

Arq. Eneida de León

Director Nacional de Medio Ambiente

Ing. Qco. Alejandro Nario

Contraparte Técnica

Ing. Qca. Magdalena Hill

Universidad de la República

Rector

Dr. Roberto Markarian

Decana de Facultad de Ingeniería

Ing. María Simon

Este material ha sido preparado en el marco del convenio DINAMA-IMFIA

DIA bajo la responsabilidad de

Dra. Ing. Alice Elizabeth González

González, Alice Elizabeth

Acústica Ambiental. Instrumentos y mediciones. Cuaderno 2

Montevideo, Udelar – FI – IMFIA, 2017

ISBN: 978-9974-0-1533-3 Obra completa

ISBN: 978-9974-0-1536-4 Cuaderno 2

APUNTES SOBRE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

CUADERNO 2: INSTRUMENTOS Y MEDICIONES

CONTENIDOS

1	<u>INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN</u>	3
1.1	ASPECTOS GENERALES	3
1.2	INSTRUMENTOS INTEGRADORES	3
1.3	CLASES DE SONÓMETROS	3
2	<u>EL SONÓMETRO</u>	5
2.1	PRINCIPALES COMPONENTES DE UN SONÓMETRO	5
2.2	RESPUESTA TEMPORAL	6
2.3	REDES DE COMPENSACIÓN DE FRECUENCIA	9
3	<u>OTROS INSTRUMENTOS DE USO HABITUAL</u>	13
3.1	ANALIZADORES DE ESPECTRO	13
3.2	DOSÍMETROS	13
3.3	CALIBRADORES	14
4	<u>GENERALIDADES SOBRE MEDICIONES DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA</u>	15
4.1	EL ROL DEL OPERADOR.....	15
4.2	PRECAUCIONES GENERALES.....	15
4.3	EL INFORME DE MEDICIÓN	16
5	<u>ALGUNAS CORRECCIONES QUE PUEDEN SER DE APLICACIÓN</u>	19
5.1	CORRECCIÓN POR RUIDO DE FONDO	19
5.2	CORRECCIONES PARA EVALUAR MOLESTIA POR RUIDO	19
6	<u>GUÍA PROPUESTA POR DINAMA PARA LA MEDICIÓN DE NIVELES DE EMISIÓN SONORA EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES (22-12-2014)</u>	22
7	<u>GUÍA PROPUESTA POR DINAMA PARA LA MEDICIÓN DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN INMISIÓN (22-12-2014)</u>	28

8	PRUEBA ACÚSTICA DE LOCALES	40
8.1	EQUIPAMIENTO NECESARIO	40
8.2	MEDICIONES EN EL LOCAL EMISOR	40
8.3	MEDICIONES EN EL LOCAL RECEPTOR	41
8.4	DETERMINACIÓN DEL AISLAMIENTO ENTRE LOS DOS LOCALES COMO DIFERENCIA DE NIVELES	41
8.5	EJEMPLO DE APLICACIÓN	44
	BIBLIOGRAFÍA	49

1 Instrumentos de Medición

1.1 Aspectos generales

Los principales instrumentos de medición en materia de niveles sonoros se designan como sonómetros. Otros instrumentos de uso corriente son los analizadores de espectro y los dosímetros y, entre los instrumentos auxiliares, los calibradores.

1.2 Instrumentos integradores

Los instrumentos integradores son aquellos que no sólo brindan valores instantáneos sino que permiten obtener parámetros que dependen del tiempo, devuelvan o no las series de datos sobre las que los calculan. Por ejemplo, un sonómetro que permite obtener el nivel sonoro continuo equivalente L_{eq} es un instrumento integrador.

Otros instrumentos integradores por excelencia son los dosímetros, que se emplean para determinar la dosis porcentual de ruido recibida por un trabajador con respecto a la que resultaría de la exposición permanente a un cierto nivel sonoro continuo equivalente.

Algunos instrumentos permiten obtener también parámetros estadísticos (por ejemplo, varios niveles de permanencia) y parámetros para evaluar ruido comunitario, como los niveles L_{DN} y L_{DEN} (nivel sonoro promedio día-noche y día-tarde-noche respectivamente).

1.3 Clases de sonómetros

Los instrumentos se categorizan según su precisión de acuerdo con normas internacionales. Hay dos grandes líneas para calificar la precisión de sonómetros: la que marca el ANSI (Instituto Nacional de Estandarización de USA, American National Standards Institute) y se aplica principalmente en Estados Unidos, y la de la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional, International Electrotechnical Commission). Si se cumple con lo que establece una de ellas, en general no se cumple con los lineamientos de la otra.

En nuestro país se aplican las normas europeas, por lo que en equipos de medición de ruido corresponde considerar los siguientes estándares:

- UNE-EN IEC 61672:2013 "Electroacústica – Sonómetros"
- UNE-EN IEC 61252:1998/A2:2017 "Electroacústica - Especificaciones para medidores personales de exposición sonora"
- UNE-EN IEC 60942:2003 "Electroacústica - Calibradores acústicos"

La norma UNE-EN IEC 61672 unificó en 2002 las normas IEC 651/79 y 804/85 (homologadas respectivamente por las UNE-EN 60651 y UNE-EN 60804). Actualmente las funcionalidades y desempeño que debe tener un sonómetro están establecidas en la norma IEC 61672-1:2013.

La IEC 651/79 consideraba tres categorías de instrumentos, que designaba como *Tipos* 1, 2 y 3. En la norma IEC 61672 se conservan sólo dos categorías, que se designan como *Clases* (ver Tabla 1-1)

Los sonómetros de *Clase 1* son instrumentos de precisión ($\pm 0,7$ dB entre 100 Hz y 4 kHz) aptos para todo tipo de mediciones de campo, incluyendo las mediciones de certificación para la aplicación de legislaciones. Los de *Clase 2* son de menor precisión ($\pm 1,0$ dB entre 100 Hz y 1,25 kHz), y se utilizan en mediciones generales de comprobación, o cuando la fluctuación o falta de replicabilidad de un determinado ruido hace imposible una determinación precisa.

Tabla 1-1. Precisión de sonómetros de acuerdo con IEC 61672:2013

	Clase 1	Clase 2
Clase según Norma IEC 61672	$\pm 0,7$ dB	$\pm 1,0$ dB

Entre las modificaciones que introduce la edición 2013 de la UNE-EN IEC 61672, se debe señalar que **dejan de tener vigencia**:

- la respuesta temporal impulsiva como respuesta normalizada, dado que se entiende que tiene baja correlación con eventos reales de carácter impulsivo.
- las escalas de ponderación frecuencial B y D, por considerarlas obsoletas.

2 El sonómetro

Los instrumentos de medición que se emplean para cuantificar niveles sonoros reciben el nombre de **sonómetros**; también se los conoce como *decibelímetros*.

Su fiabilidad y los parámetros que son capaces de relevar dependen del tipo de instrumento de que se trate.

2.1 Principales componentes de un sonómetro

La electrónica de los instrumentos de medición de niveles sonoros es relativamente simple. En la Figura 2-1 se muestra el diagrama de bloques que esquematiza el funcionamiento interno de un sonómetro.

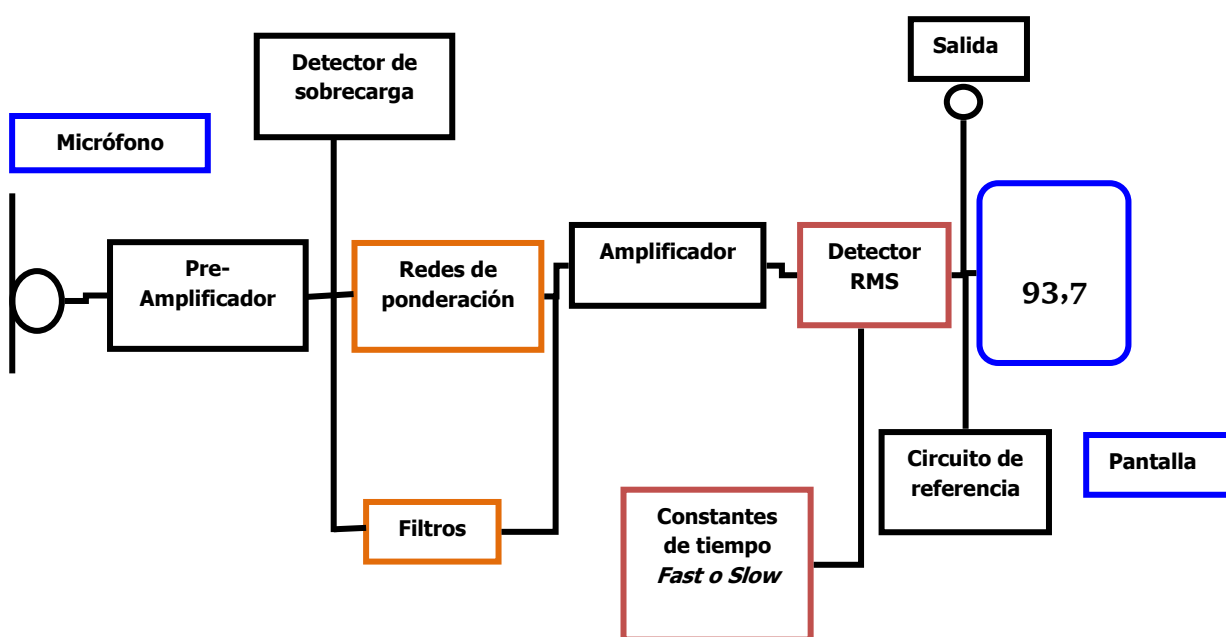


Figura 2-1. Diagrama de bloques de un medidor de nivel sonoro

El **micrófono** es, sin dudas, la parte más importante del sonómetro, ya que define la calidad del instrumento y, en consecuencia, la precisión de las mediciones.

Un micrófono es un transductor acústico-mecánico-eléctrico, es decir, un dispositivo que convierte una señal acústica en una señal eléctrica por medios mecánicos. Esta conversión debe efectuarse con la mayor precisión, de forma que la señal eléctrica obtenida sea un fiel reflejo de la señal acústica original. La *sensibilidad del micrófono* es uno de los parámetros más importantes a considerar. Se refiere a la diferencia de potencial eléctrico (usualmente expresada en mV) con que describe las diferencias de presión sonora que recibe. La sensibilidad se mide en mV/Pa y es un dato dado por el fabricante. A título orientativo, un valor de 50 mV/Pa es bastante bueno mientras que, por ejemplo, 3 mV/Pa resulta muy pobre, lo que se traduce en que el instrumento no logre diferenciar niveles de presión sonora pequeños.

También debe tenerse en cuenta el rango dinámico del micrófono, que es la diferencia entre los niveles máximo y mínimo que puede medir. Hoy día se tiende a que los micrófonos permitan efectuar mediciones en un rango dinámico lo más amplio posible (por ejemplo, de 20 dB a 130 dB).

Luego del micrófono, la etapa siguiente es el **preamplificador**. A pesar de su nombre, el preamplificador no suele proporcionar ganancia a la señal, sino que su misión principal es la de *adaptar impedancias*. Esta acción permitirá, por ejemplo, el uso de cables prolongadores de micrófono sin que se produzca una pérdida apreciable en la señal.

A continuación viene la etapa de **ponderación frecuencial**, que se refiere a la inclusión de por lo menos un filtro o curva de ponderación normalizada: la escala A. Algunos instrumentos tienen en esta etapa un analizador espectral, que puede trabajar en bandas de 1/1 octava o de 1/3 de octava, que a su vez puede trabajar en forma secuencial o en tiempo real. Cada vez es más usual que los instrumentos tengan analizadores en tiempo real a un razonable precio de mercado.

Seguidamente, pasando por el **amplificador** se llega al **detector**, que es el encargado de rectificar la señal, promediarla y obtener su valor eficaz o RMS. El proceso de promediado implícito en el cálculo del valor eficaz lleva asociado una determinada **constante de tiempo**, valor directamente relacionado con el período de integración o promediado de la señal, que producirá una respuesta del detector más o menos rápida a los cambios de nivel que la señal entrante pueda presentar.

El **indicador** es la última etapa de un sonómetro, que en general es una pantalla en que se despliegan en forma digital uno o varios parámetros que se actualizan segundo a segundo; dependiendo del fabricante y de las prestaciones del instrumento, también se pueden desplegar tablas de datos y diversos gráficos, que también suelen actualizarse en tiempo real.

2.2 Respuesta temporal

Cuando se miden niveles sonoros, los valores que arroja el sonómetro están afectados por el tiempo que media entre dos lecturas sucesivas del instrumento. Si bien habitualmente los sonómetros con despliegue digital muestran valores cada intervalos regulares –que en general suelen ser de 1 segundo-, el instrumento puede estar adquiriendo datos durante períodos de tiempo muy inferiores al que emplea la unidad de despliegue, y procesándolos (integrándolos) para obtener el valor que luego mostrará en la pantalla.

Cuanto mayor es el tiempo de integración, menos influencia tienen las fluctuaciones instantánea de la presión sobre el valor del nivel sonoro continuo equivalente en el intervalo considerado. En cambio, cuanto más corto es el período de integración, más influencia tienen los picos de presión (fluctuaciones instantáneas) sobre el valor global que se obtendrá.

Esto lleva a considerar la necesidad de establecer al menos dos tipos de respuesta, en función del tipo de fenómeno que se quiera evidenciar con la medición. Surgen así las denominadas *respuesta rápida* y *respuesta lenta*.

2.2.1 Respuesta lenta (Slow)

Un instrumento trabaja con respuesta lenta cuando la constante de tiempo del filtro pasabajos es de 1 segundo. Este tipo de respuesta tiene poca aplicación actualmente, pero por lo general se utilizaba para evaluar ruidos estables.

2.2.2 Respuesta rápida (Fast)

Un instrumento trabaja con respuesta rápida cuando emplea una constante de tiempo de filtro pasabajos de 125 ms (milisegundos), o sea de un octavo de segundo.

2.2.3 Presión sonora de pico (Peak)

El nivel de pico L_{Peak} no es un “nivel” tal como los obtiene el instrumento (o sea, *no es un valor de presión eficaz o RMS*): se define como el mayor valor instantáneo de presión sonora que ocurre en un intervalo de tiempo, expresado en dB. NO debe confundirse con un nivel máximo, que sí corresponde a un valor RMS de presión sonora. Para determinar el L_{Peak} no se pasa por ninguna escala de respuesta temporal; el instrumento toma los valores que lee cada intervalos que suelen estar comprendidos entre 50 y 100 microsegundos (0,05 a 0,1 milisegundo).

Si se trata de una emisión sonora estable de un tono puro, el nivel L_{Peak} es 3 dB superior al nivel máximo $L_{F,Máx}$, dado que la diferencia radica simplemente en que no se está tomando el valor medio. En otros casos no es posible inferir el valor de L_{Peak} a partir de $L_{Máx}$, ni viceversa.

En la Unión Europea, el uso de L_{Peak} es obligatorio para ambientes laborales; suele expresarse con ponderación C, aunque hasta hace algún tiempo se solía dar en escala Z o lineal. El valor máximo autorizado para L_{CPeak} es de 140 dB, que equivale a una presión de pico de 200 Pa.

2.2.4 Algunas recomendaciones

La elección de la ponderación de tiempo en una medición depende de la variabilidad de la señal a medir y de los requisitos de la norma, protocolo, reglamentación, etc. a seguir para realizar esa medición o ensayo. Algunas normas de medición especifican ponderación temporal lenta (*slow*) y otras, ponderación temporal rápida (*fast*).

Si la señal sonora varía en un intervalo de no más de 5 dB (es decir, es *estable*), el valor final obtenido no varía significativamente si se mide con cualquiera de ambas respuestas, *fast* o *slow*, es decir, resulta independiente de la constante de tiempo seleccionada. En cambio, si los niveles sonoros varían en un intervalo de más de 5 dB de amplitud (o sea, son niveles *variables*), se recomienda medir con constante de tiempo *fast* para evitar subestimaciones. Por lo tanto, cuando no se cuenta con una disposición explícita en este sentido, es aconsejable trabajar con respuesta temporal *fast* para no perder involuntariamente información significativa.

En la Figura 2-2 se muestra un ejemplo de medición de una misma señal con respuestas temporales diferentes: para el mismo caso se han empleado respuesta rápida (*fast*) y lenta (*slow*) y en el gráfico se muestran los valores máximo y mínimo obtenidos segundo a segundo en cada caso. Tal como se puede observar, las curvas correspondientes a respuesta lenta (amarillo y naranja) se ubican entre las correspondientes a respuesta rápida (gris y azul), es decir: los mínimos con respuesta lenta son mayores que los mínimos con respuesta rápida y los máximos

son menores que los máximos que se obtienen con respuesta rápida. Es decir, la respuesta rápida brinda una mejor descripción de los valores máximos y mínimos que la respuesta lenta, que tiende a suavizarlos.

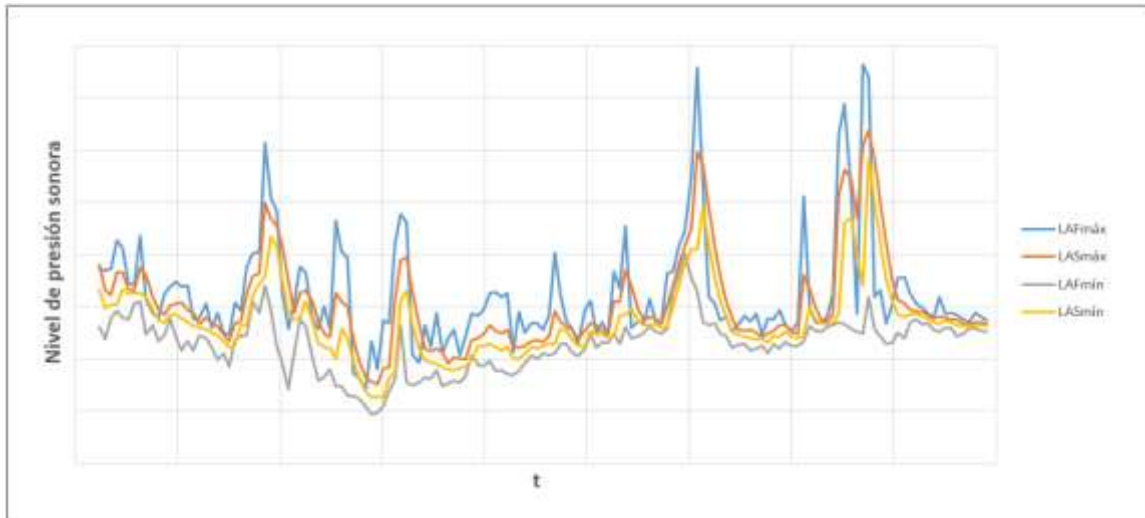


Figura 2-2. Respuestas temporales rápida (fast) máxima y mínima, y lenta (slow) máxima y mínima.

En la Figura 2-3 se presentan el nivel sonoro continuo equivalente medido en respuesta rápida (azul) y en respuesta impulsiva *impulse*⁽¹⁾ (naranja). Se observa que la señal impulsiva sube más rápidamente cuando los niveles sonoros crecen, pero baja en un intervalo de tiempo mayor. Si la señal a medir consiste en impulsos aislados, o contiene una proporción importante de ruidos de impacto, la velocidad de respuesta empleando la señal rápida conduce a valores menores. Es por esto que se solía recomendar emplear la respuesta impulsiva para medir en presencia de este tipo de señales, pero la Norma IEC 61672:2013 ya no incluye entre las respuestas temporales de los instrumentos de medición a la respuesta impulsiva (es decir, ha dejado de considerarla válida como tal).

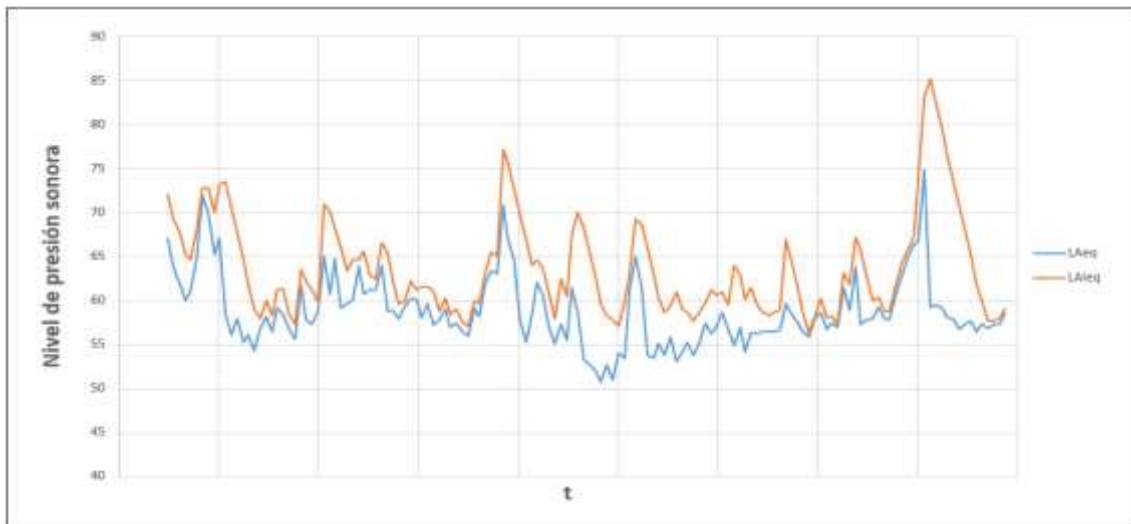


Figura 2-3. Respuestas temporales rápida (fast) e impulsiva.

⁽¹⁾ La *respuesta impulsiva* se definía con una constante de tiempo de 35 ms para señales de valor absoluto creciente en el tiempo y de 1,5 s para señales de valor absoluto decreciente, es decir: $\tau_{impulsiva \uparrow} = 35 \text{ ms}$; $\tau_{impulsiva \downarrow} = 1,5 \text{ s}$.

2.3 Redes de compensación de frecuencia

El campo auditivo del oído humano (o zona audible) no cubre exactamente la totalidad del rectángulo delimitado por las frecuencias 20 Hz y 20.000 Hz y por las presiones sonoras 2×10^{-5} Pa y 200 Pa. El oído tiene una respuesta no lineal en relación a la intensidad del estímulo, que hace que para lograr una duplicación de la sensación se necesite mucho más que duplicar el estímulo: multiplicarlo por 10. Cuando se comprobó que la percepción de la sonoridad era un fenómeno más complejo que lo que se creía (ya que, por ejemplo, la sensibilidad del oído dependía fuertemente de la frecuencia), se intentó lograr que los instrumentos de medición pudieran reflejar con una única cifra la sensación de sonoridad producida por un sonido cualquiera.

Para lograr eso, se propuso intercalar un filtro de ponderación de frecuencias con una curva de respuesta en frecuencia “simétrica” de las curvas de Fletcher y Munson (las *curvas isófonas*). El filtro que se proponía intercalar debía, entonces, imitar la respuesta del oído humano, acentuando las frecuencias en las que el oído es más sensible (entre 1000 Hz y 5000 Hz) y atenuando aquéllas en que es menos sensible (por debajo de 1000 Hz y por encima de 5000 Hz).

En la Figura 2-2 se presentan las curvas isófonas, que son aquellas sobre las que las personas registran igual sensación de sonoridad al modificarse la frecuencia y la intensidad de un conjunto de tonos puros que se les hace escuchar. El *nivel de sonoridad* se mide en **fones**, siendo que un tono puro de 40 dB a 1000 Hz corresponde a 40 fones. La envolvente inferior de las curvas isófonas marca el umbral de la percepción y la envolvente superior, indica el umbral del dolor.

Para poder reproducir razonablemente el comportamiento del oído en relación a las distintas frecuencias e intensidades, fue necesario definir varias curvas de ponderación frecuencial. De ellas, hoy quedan en uso las curvas A y C.

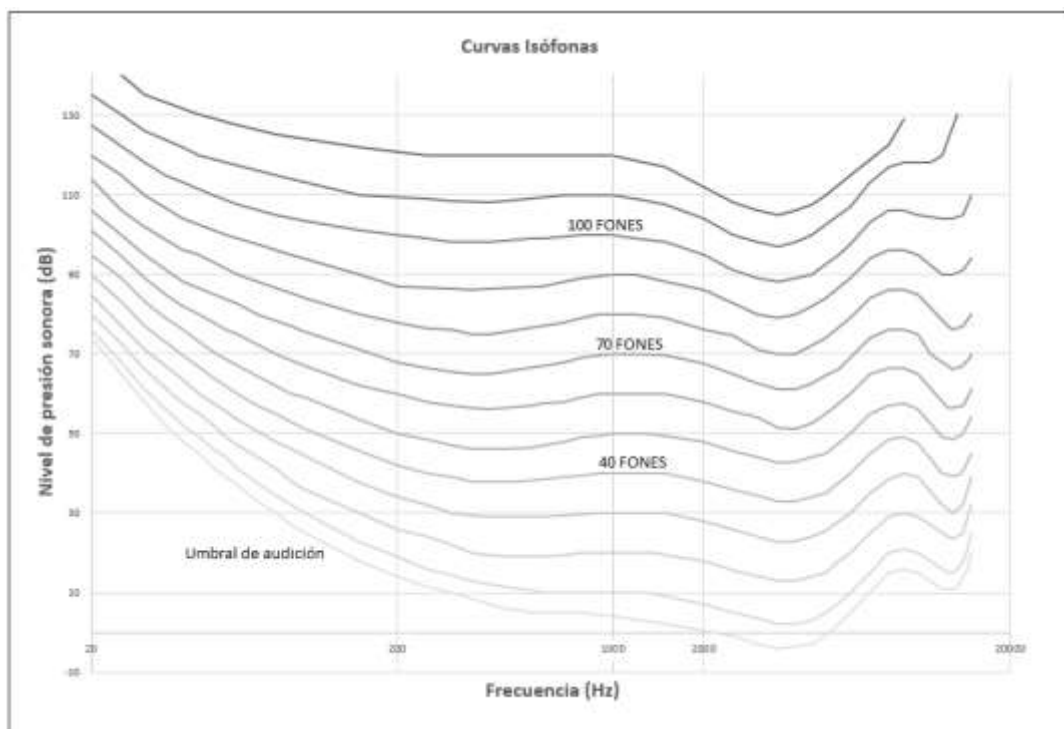


Figura 2-2. Curvas isófonas

La curva A fue creada procurando reproducir la curva de 40 fones, es decir, la que corresponde al nivel de sonoridad de un tono puro de 1.000 Hz y 40 dB de nivel de presión sonora, y se sigue usando porque, a posteriori, se observó que los valores medidos intercalando la curva de ponderación A -independientemente del rango de niveles sonoros en que se trabaje- están bien correlacionados con la molestia⁽²⁾ experimentada por las personas expuestas a ruidos intensos durante períodos considerables de tiempo, como suele ocurrir en los ambientes de trabajo industriales. También se correlacionan bastante bien con el potencial de afectación a la salud y con la interferencia a la palabra causadas por determinados ruidos. Por estos motivos no sólo se generalizó el uso de dicha curva, sino que además fue adoptada en la mayor parte de las normas técnicas y legislaciones. Las características más destacables de la escala de ponderación A son: la gran atenuación que produce sobre los sonidos de bajas frecuencias (graves); y la amplificación de los sonidos en el intervalo de 1000 Hz y 5000 Hz. La norma IEC 61672-1:2013 indica que todos los sonómetros deben tener incorporado el filtro de ponderación frecuencial A.

La curva C, que intenta reproducir la curva de nivel de sonoridad de 100 fones, se mantiene en uso pero más que por su aplicación en sí misma, por la diferencia entre los niveles de presión sonora que describen una misma señal, expresados con ponderación C y A. Dado que la curva A atenúa las bajas frecuencias y la curva C no, si las lecturas en ambas escalas son similares, es porque el contenido de la señal en bajas frecuencias no es importante. Si, en cambio, la lectura con ponderación C es mayor que la lectura con ponderación A y la resta aritmética de los niveles (C – A) toma un valor de 10 dB o más, es un indicador de que la señal tiene un elevado contenido energético en bajas frecuencias.

Los valores medidos intercalando las curvas de compensación mencionadas se designan respectivamente como *nivel de presión sonora ponderado en escala A* y *nivel de presión sonora ponderado en escala C*; se solían abreviar como dBA y dBC (o también como dB(A) y dB(C)). La notación actual de las normas ISO indica la escala de ponderación como un subíndice que acompaña a la letra L -del inglés *level*- (por ejemplo, $L_{p,A}$ o $L_{A,eq}$), usando siempre como unidad el dB. Así, un nivel sonoro con escala de ponderación A se anotará como L_A y se expresará en dB. De todos modos, la vieja usanza de anotar la ponderación junto a las unidades (por ejemplo, dBA) aún se mantiene vigente, especialmente en Latinoamérica.

$$L_{p,A} = 10 \cdot \log \frac{p_A^2}{p_0^2}$$

Cuando no se aplican ponderaciones frecuenciales se dice que se aplica la escala Z, antes llamada “escala lineal”; los valores así medidos se expresan en dBZ. Por defecto, cualquier valor en dB que no tiene una indicación explícita de tener ponderación frecuencial A o C, debe entenderse como un valor con ponderación Z.

⁽²⁾ Esto es, niveles sonoros elevados medidos en escala A, causaban mayor molestia, mientras que niveles sonoros bajos medidos en escala A, no. Hoy día, el recíproco ha dejado de ser válido, ya que hay muchos sonidos antrópicos que tienen un bajo nivel de presión sonora en escala A pero un gran potencial de resultar molestos o dañinos para la salud, como es el caso de los sonidos con alto contenido energético en bajas frecuencias.

En la Tabla 2-1 se presentan los valores que definen las curvas A, C y Z para las bandas de tercios de octava normalizadas (Norma IEC 61672). Los valores correspondientes a las bandas de octava normalizadas están resaltados en las filas sombreadas.

Tabla 2-1. Correcciones que definen las curvas de ponderación A, C y Z en bandas de octava y de tercio de octava

Frecuencia [Hz]	Curva A [dB]	Curva C [dB]	Curva Z [dB]
10	-70,4	-14,3	0
12,5	-63,4	-11,2	0
16	-56,7	-8,5	0
20	-50,5	-6,2	0
25	-44,7	-4,4	0
31,5	-39,4	-3,0	0
40	-34,6	-2,0	0
50	-30,2	-1,3	0
63	-26,2	-0,8	0
80	-22,5	-0,5	0
100	-19,1	-0,3	0
125	-16,1	-0,2	0
160	-13,4	-0,1	0
200	-10,9	0,0	0
250	-8,6	0,0	0
315	-6,6	0,0	0
400	-4,8	0,0	0
500	-3,2	0,0	0
630	-1,9	0,0	0
800	-0,8	0,0	0
1000	0,0	0,0	0
1250	0,6	0,0	0
1600	1,0	-0,1	0
2000	1,2	-0,2	0
2500	1,3	-0,3	0
3150	1,2	-0,5	0
4000	1,0	-0,8	0
5000	0,5	-1,3	0
6300	-0,1	-2,0	0
8000	-1,1	-3,0	0
10000	-2,5	-4,4	0
12500	-4,3	-6,2	0
16000	-6,6	-8,5	0
20000	-9,3	-11,2	0

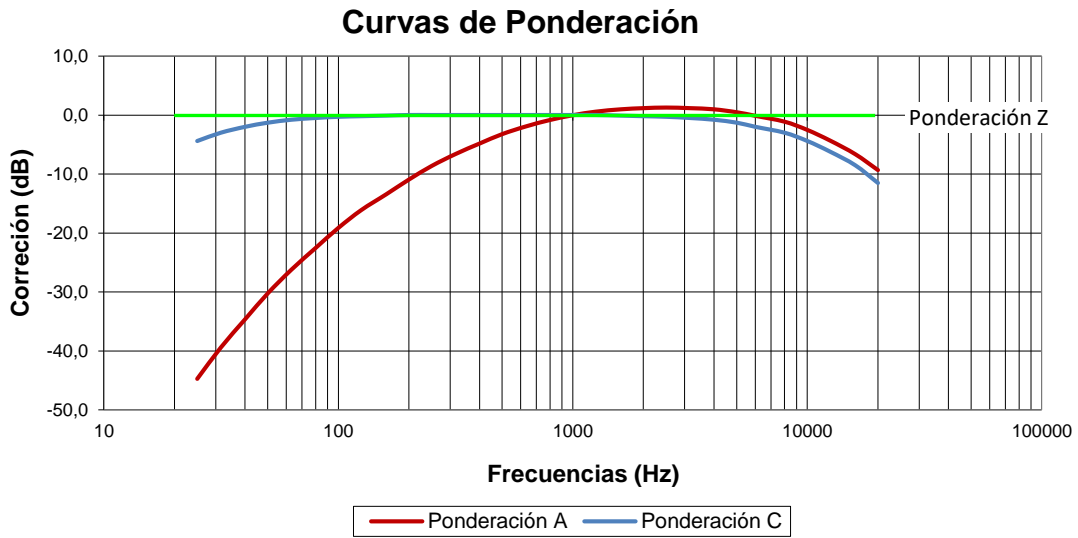


Figura 2.4. Curvas de ponderación A, C y Z. Para cada frecuencia, el valor de la ordenada representa la corrección aditiva a aplicar al nivel de presión sonora en esa frecuencia para obtener su nivel ponderado en la escala deseada. En 1.000 Hz, ambas curvas pasan por 0 dB.

Otras escalas que se mantienen en uso, aunque deben ser solicitadas expresamente si se desea que sean incluidas en un instrumento de medición, son la escala G, que se aplica para infrasonidos y frecuencias bajas y muy bajas, y la escala U, que se aplica para ultrasonidos, por encima del rango audible para el oído humano.

3 Otros instrumentos de uso habitual

3.1 Analizadores de espectro

Cuando se necesita conocer la distribución espectral de la energía acústica, no es suficiente con informar un valor (C – A): se debe recurrir a un **analizador de espectro**, que puede estar incorporado en la electrónica del sonómetro o acoplarse físicamente a él. Lo que cambia en presencia de un analizador de espectro es que, en vez de tener incorporado uno o más filtros de ponderación preestablecidos (como A y C, por ejemplo), ahora se tiene un conjunto de *filtros pasabanda*, es decir, filtros que permiten pasar las señales comprendidas en una banda relativamente estrecha de frecuencias y rechazan las restantes. Al ser estos filtros muy selectivos en frecuencia, permiten un análisis detallado del contenido espectral de la señal sonora de interés. Los conjuntos de filtros más usuales son los de Banda de Octava (BO) y de Banda de Tercio de Octava (BTO); en el primer caso, las bandas normalizadas que cubren el rango audible son 11, con frecuencias centrales entre 16 Hz y 16.000 Hz. En el caso de analizadores de BTO, se tienen 33 BTO en el rango audible, con frecuencias centrales comprendidas entre 12,5 Hz y 20.000 Hz.

Originalmente los análisis se realizaban en forma secuencial, es decir, recorriendo una a una las bandas para obtener los niveles de presión sonora y eventualmente otros parámetros de interés. Si se toma en cuenta que un barrido en serie midiendo 30 s en cada banda implica casi 6 minutos trabajando en BO y más de 17 minutos trabajando en BTO, la probabilidad de que la señal medida varíe mientras se efectúa el análisis espectral es muy alta.

El uso de analizadores de espectro en tiempo real ha significado un verdadero avance en materia de mediciones de niveles de presión sonora: no sólo se reduce sensiblemente el tiempo de trabajo de campo sino que también se tiene la seguridad de que el análisis se realiza sobre una misma muestra de ruido que se analiza simultáneamente en todas las bandas de interés.

Actualmente se tiene también la posibilidad de emplear *filtros de frecuencia de alta resolución*, más conocidos como *analizadores de banda estrecha* o *FFT*, que permiten llevar una señal de la representación de dominio del tiempo a una representación de dominio de frecuencia, midiendo todas las frecuencias a la vez. Este método se conoce como análisis de Transformada Rápida de Fourier (FFT por su sigla en inglés) y permite, por ejemplo, rastrear un tono particular asociado con un cierto emisor, en un punto de medición no necesariamente inmediato a la fuente.

3.2 Dosímetros

El **dosímetro** o **medidor de exposición personal** permite conocer la *dosis de ruido* a que está expuesto un individuo; se emplea en ambientes laborales. Los requerimientos que deben satisfacer estos medidores están especificados en la norma IEC 61252:1998.

La dosis de ruido es una medida de la exposición a ruido a que está sometida una persona; suele expresarse como un porcentaje de la exposición a ruido diaria máxima permisible, que por

definición se toma como 100 %. Ese nivel se programa en el equipo, ya que varía según la normativa o país que se considere.

En Uruguay, históricamente una dosis de 100 % correspondía a una exposición a 85 dB con ponderación A durante 8 horas. Desde que entró en vigencia el Decreto 143/012 y derogó las disposiciones entonces vigentes contenidas en el Decreto 406/988, cambió la filosofía de la norma: la exposición admisible se refiere a un nivel instantáneo de 80 dB con ponderación A, a partir del cual es obligatorio el uso de protección auditiva personal. De todos modos, se suele considerar ese nivel de 80 dB como la dosis admisible para 8 horas de trabajo $L_{A,exp.8h} = 80$ dB.



Figura 3.1. Dosímetro

3.3 Calibradores

Primero es necesario aclarar que los calibradores acústicos de campo **no permiten calibrar** los equipos de medición, sino simplemente para **verificar** o **comprobar** su ajuste. La **calibración** debe realizarse en un laboratorio especializado, respondiendo a un protocolo normalizado y con trazabilidad.

Los calibradores de campo suelen ser de tipo altavoz. Emiten una señal acústica sinusoidal (un tono puro) a una (o más) frecuencia(s) y nivel(es) sonoro(s) determinado(s) (cuando es un único nivel, se emplea 94 dB; cuando se tienen dos, el segundo es 114 dB). El nivel sonoro real producido por el calibrador ha de ser determinado mediante una calibración separada (o sea, periódicamente hay que **calibrar el calibrador**, también en un laboratorio especializado). Aplicada esta señal sobre el micrófono, se debe desplegar un cierto valor en el indicador. Entonces, el proceso de **calibración en campo** de un instrumento consiste en ajustar ligeramente la ganancia de su amplificador de entrada de modo de compensar posibles variaciones, si el nivel desplegado está fuera del intervalo que corresponde a la precisión (Clase) del instrumento. Este ajuste se realiza actuando sobre un potenciómetro, accesible desde afuera del equipo con un pequeño destornillador. Para hacerlo, se requiere personal calificado.

Si además del sonómetro se están empleando otros dispositivos, como por ejemplo aparatos de grabación, todos deben ser sometidos a una comprobación / verificación (calibración de campo) antes y después de cada medición; esto puede ser incluso un requisito legal. Sin una calibración válida de la sensibilidad del sistema de medición, los resultados del ensayo podrían ser cuestionados posteriormente.

4 Generalidades sobre mediciones de niveles de presión sonora

4.1 El rol del operador

Los equipos automáticos actuales pueden dejarse en campo para registrar datos de niveles ambientales de presión sonora, y enviar los informes a la oficina del operador. Ésta es la forma más económica y accesible de evaluar situaciones de ruido si se requieren mediciones simultáneas o de larga duración. Sin embargo, muchas veces es necesario que el operador esté presente en el lugar para:

- Cambiar o mejorar la configuración de medida.
- Asegurar mediciones representativas.
- Identificar y señalar fuentes de ruido específicas o ruidos intrusivos.
- Identificar características del ruido residual.
- Prevenir interferencias con el equipo o las mediciones.
- Mediar en conflictos incipientes o declarados.

4.2 Precauciones generales

Cuando se efectúa una medición de niveles de presión sonora, más allá de seguir al pie de la letra las recomendaciones y normativas –cuando las hay-, se debe aplicar el sentido común, de modo que el resultado de la medición refleje lo mejor posible la realidad acústica que se requiere describir.

Cuando no se cuenta con una norma de procedimiento suficientemente detallada para realizar mediciones de niveles de presión sonora, es recomendable adoptar por defecto las siguientes recomendaciones.

4.2.1 En previsión de posibles errores de medición

- Salvo que se especifique expresamente, emplear respuesta temporal rápida (fast).
- Contra el efecto pantalla: El observador se colocará en el plano normal al eje del micrófono, detrás de él, y lo más separado posible del mismo para poder efectuar una lectura correcta en el indicador del aparato de medida. Es recomendable que el instrumento de medición se sitúe sobre un trípode.
- Contra la distorsión direccional: Se cuidará la posición de la inclinación del micrófono para conseguir lecturas que no estén afectadas por la posición del mismo, de acuerdo con las indicaciones del fabricante. Esto carece de interés cuando el micrófono es de incidencia aleatoria.

- Contra el efecto del viento: Se empleará una pantalla anti-viento para efectuar las mediciones. Si la velocidad del viento fuera suficientemente elevada como para distorsionar las medidas (en general, superior a 5 m/s) y con ello los resultados, podrá desistir de efectuarlas, haciendo constar la causa en el informe.
- Condiciones ambientales: No se sobrepasarán los límites especificados por el fabricante. Asimismo, en cualquier caso en que el responsable de la medición considerara que éstas pueden afectar las mediciones, lo hará constar en el informe.

4.2.2 Acerca de los puntos de medición

- Los puntos de medición deben ubicarse alejados de obstáculos y de fachadas.
- Las mediciones no deben realizarse a menos de un metro de una superficie reflectante - como una pared, suelo o techo-, dado que las reflexiones del sonido sobre dicha superficie pueden influir significativamente sobre los valores medidos.
- Las mediciones deben realizarse a favor del viento (o viento abajo) de la fuente sonora.
- Los valores exigibles deberían cumplirse en las condiciones más desfavorables en cuanto a la posición de puertas y ventanas, lo que en general implica medir / considerar el caso con ventanas abiertas.
- En mediciones ambientales, el micrófono debe ubicarse a entre 1,2 y 1,5 m sobre el nivel del suelo, salvo que se especifique expresamente.
- En mediciones en lugares de reunión u otros espacios públicos, el micrófono debe ubicarse en posiciones típicas de los oyentes, a alturas de 1,6 m para oyente en pie o entre 1,2 m y 1,3 m para oyentes sentados, salvo que la altura de medición se especifique expresamente.
- En mediciones para evaluar un puesto de trabajo, el micrófono debe situarse a no más de 10 cm del oído de la persona expuesta, salvo que se especifique expresamente.
- El número de puntos de medición depende de la uniformidad del campo sonoro, es decir, de cuánto varía el campo sonoro con las distintas posiciones, y de la precisión necesaria en la descripción de la situación. Los sonidos de baja frecuencia varían más, tanto en el espacio como en el tiempo, y por lo tanto, se requiere de un tiempo de medición más largo y de más puntos de medición para lograr la misma precisión.

4.3 El informe de medición

4.3.1 Premisas generales a tener en cuenta

Uno de los aspectos a los que menos atención se presta en el proceso de evaluación de ruido es al informe de resultados de medición. Muchas veces se presentan unos cuantos valores expresados en dB como datos marginales, hasta sin mencionar a qué parámetro(s) corresponden.

Si falta información importante para que quien no estuvo presente en el lugar logre comprender el trabajo de medición realizado, esto puede conducir a interpretaciones erróneas de la información y, en consecuencia, a decisiones inapropiadas.

El operador debe ser consciente de su responsabilidad. Es preciso prestar gran atención cuando se están realizando las mediciones, para poder elaborar luego un buen informe, cuyo nivel de detalle debe ser acorde con el propósito del mismo. Debe contener la totalidad de la información recabada en campo.

Hay que tener presente que el informe de cualquier medición puede terminar en procedimientos administrativos o judiciales en caso de denuncias. Es por lo tanto **muy importante** que las condiciones en que se han efectuado las mediciones queden perfectamente reflejadas en los informes, tanto como que los datos sean tomados con el máximo cuidado y responsabilidad.

Los informes deben escribirse en un estilo claro, llano y fácil de entender. Dependiendo de a quién esté dirigido, el uso de gráficos, esquemas, fotografías, etc. suele ser de gran ayuda para explicar los datos.

Es necesario archivar cuidadosa y ordenadamente tanto los informes de medición como los archivos y anotaciones de campo, porque puede ser esencial cuando se necesite comparar datos anteriores con los actuales.

4.3.2 Algunos aspectos que deseablemente no deben omitirse

Introducción

- Entidad o persona física que solicita el estudio o mediciones.
- Motivo de las mediciones.
- Nombre de todos los técnicos que intervienen en las mediciones.
- Relación laboral de los técnicos con la entidad que realiza las mediciones.
- Otras personas presentes en el lugar durante la realización de las mediciones.

Referente a los equipos de medición

- Marca, modelo y número de serie de cada instrumento utilizado.
- Marca, modelo y número de serie del micrófono utilizado.
- Constancia de calibración vigente.
- Respuesta temporal utilizada en la medición.
- Red de ponderación frecuencial utilizada.
- Rango de niveles utilizado en la medición.

Referente a las condiciones ambientales en que se realiza la medición

- Lugar de la medición.
- Fecha y hora de inicio y de finalización de la medición.

-
- Localización del sonómetro. Realizar un esquema / croquis del lugar de la medición indicando los puntos donde se han efectuado las mediciones.
 - Descripción del entorno.
 - Condiciones atmosféricas. Deseablemente deben determinarse en campo por lo menos la temperatura, la humedad relativa ambiente y la velocidad y dirección del viento.

Fuentes de ruido identificadas

- Localización.
- Descripción de sus características:
 - Tráfico: tipo de vía, velocidad, vehículos por hora, tipo de vehículos, etc.
 - Vehículos aislados: tipo de vehículo, cilindrada, antigüedad, etc.
 - Actividades: tipo de actividad, tipo y ubicación de fuentes de ruido, etc.

Receptores

- Localización.
- Puntos de medición: exteriores o interiores; ventanas abiertas o cerradas.

Respecto de los resultados obtenidos

- Nivel de ruido ambiental antes y después de la medición.
- Descripción de los resultados obtenidos en la medición.
- Observaciones e incidentes.

Las tendencias internacionales indican que la estimación de la incertidumbre en las mediciones también debe ser informada, para lo que hay varios métodos de cálculo publicados, en particular en la edición 2016 de la Norma ISO 1996-1.

5 Algunas correcciones que pueden ser de aplicación

5.1 Corrección por ruido de fondo

De forma ideal, las medidas de las fuentes de ruido deben realizarse en ausencia de cualquier ruido de fondo significativo. Sin embargo, esto no siempre es posible. Cuando se tiene un nivel de ruido de fondo demasiado elevado como para ser ignorado, es necesario efectuar una corrección que tenga en cuenta su influencia en la medición.

El siguiente procedimiento sólo es válido si el ruido de fondo es estable entre las mediciones. Si cambia durante la medición, la corrección indicada no será válida. A su vez, las dos mediciones deben realizarse con la misma respuesta temporal. Si se está trabajando por bandas, las correcciones también se deben efectuar en cada banda.

1. Se mide el nivel de presión sonora combinado de la fuente de ruido y el ruido de fondo.
2. Se mide el ruido de fondo sin incidencia de la fuente, o bien desconectándola o esperando hasta que no esté presente el sonido que interfiere.
3. Se calcula la diferencia aritmética entre estos dos niveles.
4. Si la diferencia aritmética está comprendida entre 3 dB y 10 dB, ambos niveles sonoros se deben restar logarítmicamente. El nivel obtenido es el correspondiente al aporte de la fuente.
5. Si la diferencia aritmética supera los 10 dB, la corrección sería de menos de 0,5 dB y, en la mayoría de las mediciones de campo puede despreciarse. Se asume que el aporte de la fuente es el que corresponde a la medición que incluye el ruido de fondo.
6. Si la diferencia aritmética entre el ruido total (fuente más fondo) y el ruido de fondo es de menos de 3 dB, la fuente no influye significativamente en el aumento de los niveles sonoros. La fuente no altera significativamente el nivel de presión sonora total e incluso puede ser que la propia variabilidad del ruido ambiente sea mayor que el aporte de la fuente de interés. En estas condiciones, no es posible determinar en forma precisa el aporte de la fuente a los niveles sonoros generales.

5.2 Correcciones para evaluar molestia por ruido

Las correcciones para representar cuán molestos pueden ser algunos tipos de ruido están contempladas en muchas normativas; también las ha incorporado la ISO en su norma 1996-1 sobre ruido ambiental. En la edición de 2016 de esta Norma, se presenta una tabla en se especifican las correcciones más usualmente consideradas; sus principales contenidos se transcriben en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Correcciones usuales según fuente y horario

Tipo de corrección	Especificación	Ajuste a considerar (en dB)
Según la fuente emisora	Tránsito rodado	0
	Aeropuertos y tráfico aéreo	+5 a +8
	Ferroviario	-3 a -6
	Industrial	0
Según el carácter del ruido	Impulsivo	+5
	Altamente impulsivo*	+12
	Impulsivo de alta energía**	La Norma propone una corrección lineal para niveles de exposición de hasta 100 dB y otra para valores mayores. En 100 dB, ambas valen +7 dB.
	Tonos prominentes	+3 a +6
Según el horario	Tardecita	+5
	Noche	+10
	Fin de semana (de día)	+15

* Se considera altamente intrusivo cuando se trata de una fuente con características altamente impulsivas y un alto grado de intrusividad (por ejemplo, disparos de pequeñas armas de fuego, martillar / clavar sobre metal o madera, pistolas de clavos, piloteras, forja, punzonadoras, martillos neumáticos, rotura de pavimentos, impactos metálicos en maniobras en patios ferroviarios).

** En esta categoría se incluyen fuentes como voladuras en canteras, demoliciones, bombas, industrias que involucran explosiones industriales, artillería militar.

Más allá de variantes, los componentes que se suelen considerar para aplicar términos de corrección son: la presencia de componentes impulsivos; la presencia de elevado contenido energético en bajas frecuencias; y la ocurrencia de tonos puros. En lo que sigue se indica una de las posibles formas para calcular cada una de tales correcciones: la que se presenta en el Anexo IV del Real Decreto 1367 del Reino de España, sancionado en octubre de 2007.

5.2.1 Corrección por componentes impulsivos

La evaluación de la presencia de ruidos impulsivos durante un cierto período de tiempo *T*, se realiza mediante el siguiente procedimiento:

1. Se mide el nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A y con respuestas temporales *Fast* e *Impulse* durante el tiempo *T* ($L_{AFeq,T}$ y $L_{Aleg,T}$).
2. Se calcula la diferencia aritmética ($L_{Aleg} - L_{AFeq}$).
3. Si ($L_{Aleg} - L_{AFeq}$) vale entre 10 dB y 15 dB, la penalización a aplicar será de 3 dB. Esto quiere decir que el valor a informar como equivalente de molestia será ($L_{AFeq} + 3$) dB.
4. Si ($L_{Aleg} - L_{AFeq}$) vale 15 dB o más, la penalización a aplicar será de 6 dB. Esto quiere decir que el valor a informar como equivalente de molestia será ($L_{AFeq} + 6$) dB.

Cabe señalar que, ante la reciente remoción de la respuesta temporal *Impulse* del cuerpo de la norma UNE-EN IEC 61672:2013, es esperable que aparezcan nuevas recomendaciones para realizar esta corrección, deseablemente sin recurrir a los valores medidos con respuesta *I*.

5.2.2 Corrección por bajas frecuencias

Para conocer si se tiene presencia de elevado contenido energético en bajas frecuencias, se efectúa el siguiente procedimiento:

1. Se mide el nivel sonoro continuo equivalente con ponderación frecuencial A y C, con respuesta temporal *Fast* ($L_{AFeq,T}$ y $L_{CFeq,T}$).
2. Se calcula la diferencia aritmética ($L_{CFeq} - L_{AFeq}$).
3. Si ($L_{CFeq} - L_{AFeq}$) vale entre 10 dB y 15 dB, la penalización a aplicar será de 3 dB. Esto quiere decir que el valor a informar como equivalente de molestia será ($L_{AFeq} + 3$) dB.
4. Si ($L_{CFeq} - L_{AFeq}$) vale 15 dB o más, la penalización a aplicar será de 6 dB. Esto quiere decir que el valor a informar como equivalente de molestia será ($L_{AFeq} + 6$) dB.

5.2.3 Corrección por tonos puros

La determinación de la existencia de tonos audibles que ameriten efectuar correcciones en cuanto a su potencial de generar molestia se realiza en base al siguiente procedimiento:

1. Se mide el nivel sonoro continuo equivalente en bandas de tercio de octava entre 16 Hz y 20.000 Hz con ponderación frecuencial Z y respuesta temporal *Fast* ($L_{ZFeq,i}$).
2. Se identifican las bandas de tercio de octava en las que el nivel de presión sonora $L_{ZFeq,i}$ supera al nivel en sus dos bandas adyacentes (las que se sitúan inmediatamente por encima [$L_{ZFeq,(i+1)}$] y por debajo [$L_{ZFeq,(i-1)}$] de la banda que sobresale).
3. En cada uno de esos casos se calcula la diferencia aritmética entre el nivel en la banda que sobresale y el promedio de sus dos bandas adyacentes:

$$L_{Zdif,i} = L_{ZFeq,i} - [L_{ZFeq,(i-1)} + L_{ZFeq,(i+1)}]$$

4. Las diferencias aritméticas $L_{Zdif,i}$ calculadas se buscan en la Tabla 5-2 para determinar el valor de las correcciones aditivas a aplicar para representar la molestia ocasionada por el tono en cuestión. En el caso de que se obtenga más de una corrección con valor distinto de cero, se adicionará únicamente el mayor de tales valores.

Tabla 5-2. Correcciones a aplicar para representar molestia por tonos puros

Frecuencia central de la BTO (Hz)	Informar L_{AFeq} si:	Informar ($L_{AFeq}+3$) si:	Informar ($L_{AFeq}+6$) si:
De 20 Hz a 125 Hz	$L_{Zdif,i} < 8$	$8 \leq L_{Zdif,i} \leq 12$	$12 < L_{Zdif,i}$
De 160 Hz a 400 Hz	$L_{Zdif,i} < 5$	$5 \leq L_{Zdif,i} \leq 8$	$8 < L_{Zdif,i}$
De 500 Hz a 20.000 Hz	$L_{Zdif,i} < 3$	$3 \leq L_{Zdif,i} \leq 5$	$5 < L_{Zdif,i}$

6 Guía propuesta por DINAMA para la Medición de Niveles de Emisión Sonora en Vehículos Automotores (22-12-2014)

Documento elaborado en el marco del Convenio entre MVOTMA y UdelaR en Junio de 2013

1 Instrumentación

1.1 Instrumentación para las mediciones acústicas

1.1.1 Características generales

Los instrumentos de medición a emplear serán de clase 1 de acuerdo con la Norma ISO-IEC 61672.

Su funcionamiento deberá verificarse antes y después de cada medición, mediante el uso de un calibrador acústico, también de clase 1 de acuerdo con la Norma IEC 60942:2003. Sin ningún ajuste adicional, la diferencia entre dos lecturas consecutivas debe ser menor o igual que 0,5 dB. Si este valor se excede, los resultados de las mediciones obtenidas después de la última comprobación satisfactoria deben ser descartados.

1.1.2 Calibración

Los instrumentos deben ser calibrados periódicamente. En tanto no exista en el territorio nacional una entidad que efectúe calibración de instrumentos de medición de niveles de presión sonora de acuerdo con normas internacionales y con trazabilidad también internacional, se admitirá que las calibraciones se realicen cada dos (2) años. A partir de que las calibraciones puedan realizarse en el país, el período máximo entre calibraciones sucesivas será de un (1) año.

1.2 Instrumentación para medir la velocidad del motor

La velocidad rotacional del motor debe medirse con un instrumento que tenga límites especificados de por lo menos $\pm 2\%$ o mejores para las velocidades del motor requeridas para realizar las mediciones.

2 Condiciones generales

2.1 Condiciones meteorológicas

Las condiciones de uso del equipo de medición deben estar incluidas dentro de las especificaciones brindadas por el fabricante, en particular en lo referente a temperatura ambiente y humedad.

Las mediciones se deben efectuar en tiempo seco; no debe haber lluvias, lloviznas o caída de granizo. Los pavimentos y superficies sobre las que se efectúen las mediciones deben estar secos.

Si la velocidad del viento es inferior a 5 m/s, el micrófono se protegerá con una pantalla antiviento provista por el fabricante del equipo. Si la velocidad del viento, incluyendo ráfagas, supera los 5 m/s, se desistirá de la medición.

2.2 Lugar de ensayo

El ensayo debe realizarse en un lugar abierto, sobre una plataforma de hormigón, asfalto denso u otra superficie plana de material duro, libre de pasto, tierra suelta, cenizas u otro material fonoabsorbente.

El lugar debe estar libre de grandes superficies reflectantes como vehículos estacionados, edificios, carteles, árboles, arbustos, paredes paralelas, gente, etc., en un radio de por lo menos 3 m desde la posición del micrófono y de cualquier punto el vehículo.

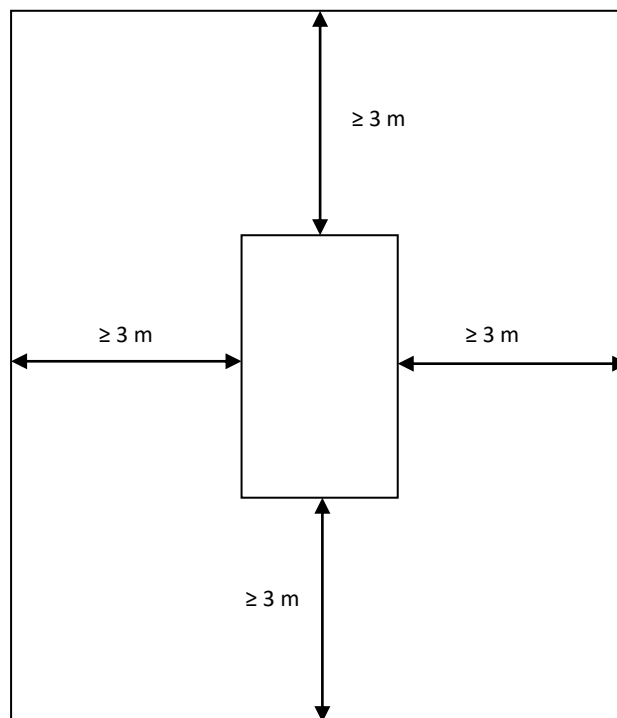


Figura 1. Distancia mínima a obstáculos y superficies reflectantes

2.3 Ruido de fondo

Las lecturas producidas por el ruido ambiente y el viento en los instrumentos de medición deben estar por lo menos 10 dB por debajo del nivel de presión sonora en escala A a ser medido.

2.4 Expresión de los resultados de medición

Los niveles de presión sonora se medirán con ponderación frecuencial “A” y respuesta temporal rápida (F). Para todas las mediciones y cálculos, la presión sonora de referencia es 20 μPa .

En todos los casos, los valores se deben informar con números enteros de acuerdo con los procedimientos usuales de redondeo.

3 Procedimiento del ensayo

3.1 Posicionamiento y preparación del vehículo

La transmisión del vehículo debe estar en posición neutra y el embrague accionado, o en posición de estacionar para transmisiones automáticas, y el freno de mano accionado por seguridad.

El capó del motor debe estar cerrado.

Si el vehículo tiene aire acondicionado, debe estar apagado.

Si el vehículo está equipado con ventiladores de encendido automático, este sistema no debe ponerse en funcionamiento durante la medición.

Antes de cada serie de mediciones, el motor debe llevarse a su temperatura normal de funcionamiento de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

En el caso de birrodados que no tengan posición de punto muerto, las mediciones deben realizarse con la rueda trasera levantada del piso para que pueda rotar libremente. Si es necesario levantar la rueda trasera para hacer la medición, la posición del micrófono debe ajustarse para ponerlo a la distancia especificada desde el punto de referencia del caño de escape para realizar la medición.

3.2 Posición del micrófono

El micrófono debe ubicarse a una distancia de $0,5 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ del punto de referencia del caño de escape definido en la figura 2 y formando un ángulo de $45^\circ \pm 5^\circ$ con un plano vertical que contenga el eje del flujo a la salida del caño.

El micrófono debe estar a la altura del punto de referencia, pero a no menos de $0,2 \text{ m}$ de altura en relación a la superficie del terreno. El eje de referencia del micrófono debe quedar en un plano paralelo a la superficie del piso y debe estar dirigido hacia el punto de referencia a la salida del caño de escape.

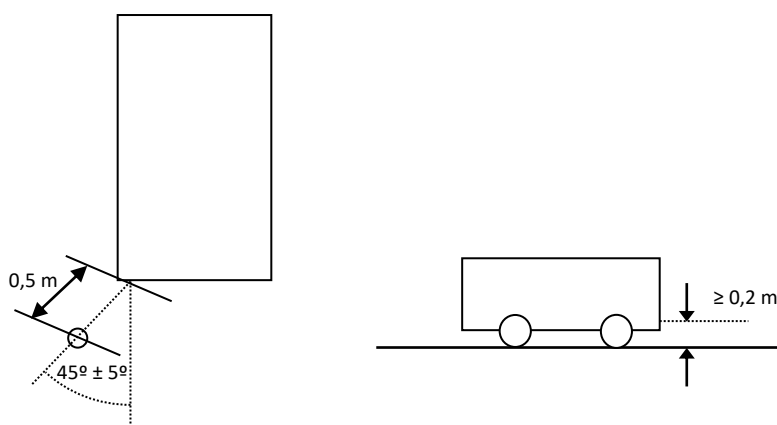


Figura 2. Ubicación del sonómetro en relación al caño de escape (caso general)

Si hay dos posiciones posibles para el micrófono, debe usarse la que esté lateralmente más alejada del eje longitudinal del vehículo.

Si el flujo de salida del escape se da a 90 ° del eje longitudinal del vehículo, el micrófono debe ubicarse en el punto que esté más alejado del motor.

Si un vehículo tiene dos o más bocas de escape separadas menos de 0,3 m y conectadas a un único silenciador, se debe hacer una única medición. El micrófono debe ubicarse en relación a la boca más alejada del eje longitudinal del vehículo y, si no la hubiera, de la que se ubique más alto en relación al piso.

Para vehículos con escape con varias salidas espaciadas entre sí más de 0,3 m o con más de un silenciador, se debe hacer una medición por cada salida como si fuera la única que existiera, y el valor que debe tomarse en cuenta es el más elevado de los valores obtenidos.

Para vehículos con escape vertical (por ejemplo, vehículos comerciales), el micrófono debe ubicarse a la altura de la descarga del escape. Su eje debe ser vertical y orientado hacia arriba. Debe ubicarse a una distancia de 0,5 m \pm 0,01 m del punto de referencia del caño de escape definido como en la figura 2, pero nunca a menos de 0,2 m del lado del vehículo más próximo al escape.

Para vehículos cuyo punto de referencia en el caño de escape no está accesible o se ubica bajo el cuerpo del vehículo, debido a la presencia de obstáculos que forman parte del vehículo (por ejemplo, rueda auxiliar, tanque de combustible, compartimento de la batería), el micrófono se debe ubicar al menos a 0,2 m del obstáculo más cercano, incluyendo el cuerpo del vehículo, y su eje de máxima sensibilidad debe encontrarse con la salida del caño de escape desde la posición menos oculta por los obstáculos mencionados.

En caso de implementarse controles en la vía pública, el punto de referencia debe moverse hacia la superficie exterior del cuerpo del vehículo.

3.3 Velocidad objetivo del motor

3.3.1 Vehículos de categoría L (menos de 4 ruedas)

La velocidad objetivo del motor, con una tolerancia de \pm 5 %, debe ser:

- El 75 % de la velocidad nominal del motor, S , para vehículos con $S \leq 5.000 \text{ min}^{-1}$
- El 50 % de la velocidad nominal del motor, S , para vehículos con $S > 5.000 \text{ min}^{-1}$

3.3.2 Vehículos de categoría M, N (por lo menos 4 ruedas)

La velocidad objetivo del motor, con una tolerancia de \pm 5 %, debe ser en cada caso:

- El 75 % de la velocidad nominal del motor, S , para vehículos con $S \leq 5.000 \text{ min}^{-1}$
- 3750 min^{-1} para vehículos con velocidad nominal del motor comprendida entre $5.000 < S < 7.500 \text{ min}^{-1}$
- El 50 % de la velocidad nominal del motor, S , para vehículos con $S \geq 7.500 \text{ min}^{-1}$

Siendo S la velocidad nominal del motor (o frecuencia rotacional nominal del motor), o sea, la velocidad a la que éste desarrolla su máxima potencia nominal neta de acuerdo con las

especificaciones del fabricante. Si esto ocurre para más de una velocidad del motor, tomar la más alta de ellas.

Si el vehículo no alcanza la velocidad del motor que se establece precedentemente según el caso, la velocidad objetivo del motor debe tomarse un 5 % por debajo de la máxima velocidad posible del motor.

3.4 Condiciones operativas del motor

La velocidad del motor se debe incrementar gradualmente desde el ralentí a la velocidad objetivo, sin exceder las tolerancias mencionadas en 3.3.1 y 3.3.2, y permanecer constante. Luego se debe soltar rápidamente el acelerador y el motor debe volver a ralentí. El nivel de presión sonora se debe medir durante por lo menos un período de 1 s con el motor a velocidad constante y durante todo el período de desaceleración. El máximo nivel de presión sonora leído es el que debe tomarse como resultado del ensayo.

La medición se tomará como válida si el ensayo de velocidad del motor no tiene una desviación en relación a la velocidad objetivo que supere las tolerancias dadas en 3.3.1 y 3.3.2 durante por lo menos 1 s.

3.5 Sistemas de escape multi-modo

Los vehículos equipados con un sistema de escape multi-modo y un control de escape de modo manual se deben ensayar en todas las posiciones del selector de modo.

4 Mediciones

El máximo nivel de presión sonora ponderado en escala A obtenido durante la medición es el que debe informarse, redondeado al valor entero correspondiente (por ejemplo, 92,4 se debe redondear como 92 en tanto 92,5 debe redondearse como 93).

El ensayo se debe repetir hasta que tres mediciones consecutivas difieran en no más de 2 dB entre sí en cada boca de escape.

El resultado para una salida dada es el promedio aritmético de las tres mediciones válidas redondeadas según lo indicado y deben reportarse como el nivel de presión sonora $L_{A,rep}$, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$L_{A,rep} = \frac{1}{3} (L_{A,med1} + L_{A,med2} + L_{A,med3})$$

Para vehículos equipados con múltiples bocas de escape, el nivel de presión sonora a reportar $L_{A,rep}$, será el que corresponda a la boca que tenga un mayor nivel promedio de presión sonora.

5 Informe del ensayo

El informe del ensayo debe incluir la siguiente información:

- Sitio en que se realizó, condiciones del pavimento y condiciones del tiempo
- Tipo de equipo de medición, incluyendo la pantalla antiviento
- Nivel de presión sonora en escala A representativo del ruido de fondo
- Identificación del vehículo, de su motor y de su sistema de transmisión
- Descripción general de la ubicación del motor y de la descarga del caño de escape
- Ubicación y orientación del micrófono
- Velocidad operativa del motor empleada en el ensayo
- Nivel de presión sonora en escala A L_{Arep} determinada en el ensayo

7 Guía propuesta por DINAMA para la Medición de niveles de presión sonora en inmisión (22-12-2014)

Documento elaborado en el marco del Convenio entre MVOTMA y Udelar en Junio de 2013

1 Instrumentos de medición

1.1 Características generales

Los instrumentos de medición a emplear serán de clase 2 o superior calidad (precisión ± 1 dB) de acuerdo con la Norma ISO-IEC 61672. Deberán contar como mínimo con respuesta temporal rápida y con escala A. El umbral inferior de medición debe ser de 35 dBA o menor.

Su funcionamiento deberá verificarse antes y después de cada medición, mediante el uso de un calibrador acústico, también de clase 2 o superior calidad de acuerdo con la Norma IEC 60942:2003.

1.2 Calibración

Los instrumentos deben ser calibrados periódicamente. En tanto no exista en el territorio nacional una entidad que efectúe calibración de instrumentos de medición de niveles de presión sonora de acuerdo con normas internacionales y con trazabilidad también internacional, se admitirá que las calibraciones se realicen cada dos (2) años. A partir de que las calibraciones puedan realizarse en el país, el período máximo entre calibraciones sucesivas será de un (1) año.

1.3 Respuesta temporal del instrumento

Salvo en casos particulares en que se desee determinar niveles de presión sonora de eventos impulsivos, las mediciones se realizarán aplicando la respuesta temporal rápida (F, fast) del instrumento.

La medición de eventos impulsivos se realizará con respuesta temporal impulsiva (I, impulse).

2 Condiciones generales

2.1 Condiciones meteorológicas

Las condiciones de uso del equipo de medición deben estar incluidas dentro de las especificaciones brindadas por el fabricante, en particular en lo referente a temperatura ambiente y humedad.

Las mediciones se deben efectuar en tiempo seco; no debe haber lluvias, lloviznas o caída de granizo. En caso de precipitaciones, se desistirá de la medición. No se tomarán en consideración las medidas efectuadas con lluvia o granizo. Salvo aclaración expresa, los pavimentos y superficies sobre las que se efectúen las mediciones deben estar secos.

Cuando se mide en exteriores, es necesario medir la velocidad del viento a la misma altura a la que está ubicado el micrófono y en el mismo momento y lugar en que se llevan a cabo las mediciones de niveles de presión sonora.

Si la velocidad del viento es inferior a 5 m/s, el micrófono se protegerá con una pantalla antiviento provista por el fabricante del equipo.

Si la velocidad del viento supera los 5 m/s se desistirá de la medición, salvo que la condición sea de particular interés, caso en el que se deberá emplear una pantalla especial de protección antiviento.

2.2 Condiciones de funcionamiento de la fuente

Toda medición con fines de constatación y eventual sanción se llevará a cabo en los momentos, lugares y condiciones más exigentes para el generador del sonido, en que las molestias sean más acusadas o, en su defecto, en que la emisión sonora sea máxima, con el objetivo de proteger los derechos a la salud y el descanso del receptor.

2.3 Rol del operador

Cuando se realizan mediciones de niveles de presión sonora, el operador debe ser consciente de su responsabilidad. No sólo debe conocer el funcionamiento del instrumento, sino que debe registrar en campo la mayor cantidad posible de información descriptiva del lugar y evento, incluyendo en lo posible croquis del sitio; eventos sonoros ocurridos durante la medición, indicando su momento de ocurrencia y, de ser posible, su procedencia; condiciones meteorológicas; si es del caso, volumen de tráfico vehicular clasificado que ocurre durante el período de medición; comentarios acerca de su percepción acerca del paisaje sonoro que se registra durante la medición; y toda otra información que considere oportuno asentar en el registro de campo.

2.4 Precauciones generales

A menos de indicación expresa, el sonómetro se ubicará sobre un trípode u otro tipo de soporte, de modo que el micrófono quede ubicado a una altura de entre 1,20 m y 1,50 m sobre el nivel de piso y que no existan obstáculos entre el micrófono y el emisor o situación que se evalúa.

El micrófono se orientará hacia el punto de interés, de modo que su eje resulte ortogonal al eje de interés de la fuente y su inclinación sea de entre 0° y 45° con el plano horizontal.

En el sitio de medición, en lo posible, únicamente debe estar el operador del instrumento. Para minimizar el efecto pantalla, el operador se situará en un plano normal al eje del micrófono y en dirección opuesta a este último, lo más separado del mismo que resulte compatible con la correcta lectura del indicador que despliega el instrumento.

Si hay otras personas cerca del instrumento durante la medición, deben guardar silencio y evitar generar cualquier tipo de ruido, ubicarse lo más separadas del sonómetro y detrás del mismo para evitar el apantallamiento del micrófono. La separación que debe haber entre el técnico (y las demás personas, si las hubiera en el momento de la medición) y el sonómetro debe ser de 0,50 m como mínimo.

2.5 Expresión de los resultados de medición

Los niveles de presión sonora se expresan en decibeles (dB), indicando el filtro de ponderación frecuencial utilizado (A, C o Z) y la respuesta temporal del instrumento, *F* o *I* según sea rápida o impulsiva. Para todas las mediciones y cálculos, la presión sonora de referencia es 20 μ Pa.

La notación a emplear será tal que, a continuación de la letra *L* (nivel), se colocarán tres subíndices que indicarán ordenadamente la ponderación frecuencial, la respuesta temporal del instrumento y el parámetro que se expresa. Por ejemplo:

- $L_{A,F,eq}$ corresponde al nivel de presión sonora continuo equivalente expresado en escala de ponderación frecuencial A y medido con respuesta temporal rápida.
- $L_{C,F,Máx}$ corresponde al nivel de presión sonora máximo expresado en escala de ponderación frecuencial C y medido con respuesta temporal rápida.

Podrá agregarse un cuarto subíndice que indique el período de tiempo a que corresponde el parámetro que se informa. Por ejemplo:

- $L_{A,I,eq,3min}$ corresponde al nivel de presión sonora continuo equivalente de un intervalo de tiempo de 3 minutos, expresado en escala de ponderación frecuencial A y medido con respuesta temporal impulsiva.
- $L_{Z,F,eq,1h}$ corresponde al nivel de presión sonora continuo equivalente de un intervalo de tiempo de 1 hora de duración, expresado en escala de ponderación frecuencial Z y medido con respuesta temporal rápida.

Si se respeta esta notación, la unidad de medida se puede indicar simplemente como dB; se interpretará que se trata de dB medidos en la escala de ponderación frecuencial que indica el primer subíndice.

Si en los subíndices no se especifica la escala de ponderación frecuencial empleada, ésta debe indicarse explícitamente a continuación de la abreviatura de dB (por ejemplo, dBA, dBC, dBZ). Por defecto se interpretará que la abreviatura “dB” corresponde a dBZ.

En todos los casos, los valores se deben informar con números enteros seguidos a lo sumo por una cifra decimal.

2.6 Limitaciones

Esta Guía no es aplicable a mediciones con el objetivo de obtener una línea de base, para lo que será necesario ajustar tanto la duración de las mediciones como la selección de los puntos de medición.

El ruido de aeropuertos, de tránsito aéreo y de ferrocarriles, trenes o vehículos similares tampoco deben evaluarse por los métodos reseñados en esta Guía, sino que deben aplicarse procedimientos de medición específicos para este tipo de fuentes.

Cuando se conoce de antemano las características de las fuentes de interés a los efectos de la medición, se podrán ajustar los procedimientos que se especifican en estas Guías con el objetivo

de maximizar el aprovechamiento del trabajo de campo. En ese caso, en el informe de medición se debe describir detalladamente el procedimiento de medición que se ha aplicado.

3 Medición de niveles de inmisión sonora en espacios abiertos

3.1 Selección del (o de los) punto(s) de medición

El aporte de una fuente emisora a los niveles sonoros ambientales se determinará a partir de los niveles de presión sonora en el límite de propiedad o de parcela en que se ubica la fuente, frente al punto en que se registren quejas o denuncias y frente al punto en que se registre el mayor nivel de presión sonora, en caso de que no sea el mismo.

Para seleccionar el o los puntos de medición, se realizará inicialmente una recorrida por el perímetro del predio o parcela en que se encuentra la fuente emisora, con el sonómetro funcionando con respuesta temporal rápida y con filtro de ponderación frecuencial A.

Se identificarán así los puntos de mayor interés o más comprometidos, considerando como tales aquellos en los que ocurren los niveles de presión sonora más elevados, que son en los que se deben realizar las mediciones.

Una vez seleccionados los puntos de medición, se recomienda referenciarlos geográficamente y describirlos físicamente, para luego poder localizarlos, reconocerlos, identificarlos y ubicarlos con precisión ya sea para interpretar los resultados de las mediciones realizadas o para efectuar otras mediciones en ese punto.

Cuando en el punto seleccionado sobre el límite de propiedad no exista un paramento u otro obstáculo similar, la medición se realizará a la menor distancia posible de dicho límite. Cuando en el punto de interés exista un paramento, muro u otro obstáculo, la medición se realizará a aproximadamente 2 m de éste.

Cuando no sea posible, el micrófono se ubicará a la máxima distancia horizontal posible inferior a la estipulada, y se efectuará la respectiva anotación y las causas que originan dicha situación. Si tampoco esto es posible, el sonómetro se ubicará a una distancia a la que sea viable realizar la medición y de ser necesario, a mayor altura que la indicada en este Decreto; sólo excepcionalmente, y agotadas todas las posibilidades, se medirá a una altura menor. Esto debe quedar claramente consignado en el informe de medición y ser tenido en cuenta en la valoración de los resultados de las mediciones. En el informe de resultados se debe especificar claramente la distancia horizontal a la fuente a la que se han realizado las mediciones, de tal manera que permitan la repetibilidad de las mismas a futuro.

En cualquier caso, se deberá evitar la existencia de obstáculos entre el micrófono y el paramento o muro en cuestión.

Si la fuente de emisión de ruido bajo estudio limita con otra(s) fuente(s) y el procedimiento anterior da como resultado ubicar el sitio de medición en el límite entre las dos fuentes, se escogerá como punto de medición aquel que se encuentra alejado 1,50 m del límite entre las dos fuentes y del lado de la fuente bajo estudio.

Cuando se considera que la principal fuente de emisión que incide en los niveles de ruido ambiental es el tráfico vehicular, se recomienda que los puntos de medición correspondientes estén aproximadamente equidistantes a las intersecciones de la vía de interés con las calles transversales más próximas; en todo caso, salvo indicación expresa en contrario, no deben elegirse en o próximo a dichas intersecciones.

3.2 Selección de la altura de medición

La altura de medición deberá seleccionarse dependiendo del caso particular. Por defecto, las mediciones de niveles sonoros se realizarán a una altura de entre 1,20 m y 1,50 m sobre la superficie del suelo.

Si la fuente de emisión de ruido está compuesta de varios niveles (plantas o pisos) y es viable seleccionar la altura a la que se realizará la medición, se realizará inicialmente un barrido vertical rápido del nivel de presión sonora instantáneo con filtro de ponderación frecuencial A y respuesta temporal rápida, con el objetivo de determinar la altura más comprometida para efectuar la medición.

En caso de que las fuentes de ruido estén situadas en azoteas de edificaciones, la medición se realizará situando el micrófono a entre 1,20 m y 1,50 m por encima del nivel de la azotea y, si existe pretil o antepecho, a la altura referida tomada por encima del mismo.

3.3 Duración de las mediciones

Para que las mediciones sean representativas se debe asegurar que su duración sea por lo menos igual al tiempo de estabilización de los niveles de presión sonora.

Para determinar el tiempo de estabilización se debe observar la evolución del nivel $L_{A,F,eq}$ en la pantalla del sonómetro. Debe tenerse la precaución de verificar que el parámetro que se está leyendo sea efectivamente el $L_{A,F,eq}$ y no el $L_{A,F}$ instantáneo (SPL).

- A) Si el valor de $L_{A,F,eq}$ varía en un intervalo de amplitud no mayor que 2 dB durante los primeros 3 minutos de medición, se puede asumir entonces que el tiempo de estabilización es no superior a 3 minutos.
 - A1) Si el nivel de presión sonora instantáneo desplegado por el instrumento en esos 3 minutos ha fluctuado en un intervalo de amplitud no mayor que 5 dB (ruido estable), la duración de las mediciones será de por lo menos 10 minutos.
 - A2) Si se alcanzó el tiempo de estabilización en los primeros 3 minutos pero el nivel de presión sonora instantáneo ha fluctuado en un intervalo de más de 5 dB de amplitud (ruido fluctuante), la duración de las mediciones será de por lo menos 15 minutos.
- B) Si no se alcanzó el tiempo de estabilización en los primeros 3 minutos, se debe continuar la medición hasta que transcurra un tiempo total de por lo menos 15 minutos.
 - B1) Si el tiempo de estabilización se alcanza durante los primeros 15 minutos de medición, es decir, si el valor de $L_{A,F,eq}$ varía en un intervalo de amplitud no mayor que 2 dB durante

por lo menos los últimos 3 minutos de medición considerados, la duración de las mediciones será de por lo menos 15 minutos.

B2) Si no se alcanza el tiempo de estabilización en los primeros 15 minutos de medición, se debe continuar la medición hasta que transcurra un tiempo total de por lo menos 30 minutos.

B2.1) Si el tiempo de estabilización se alcanza en esos 30 minutos de medición, la duración de las mediciones será de por lo menos 30 minutos.

B2.2) Si no se ha alcanzado el tiempo de estabilización en 30 minutos, la medición se debe continuar hasta que transcurra un tiempo total de 60 minutos.

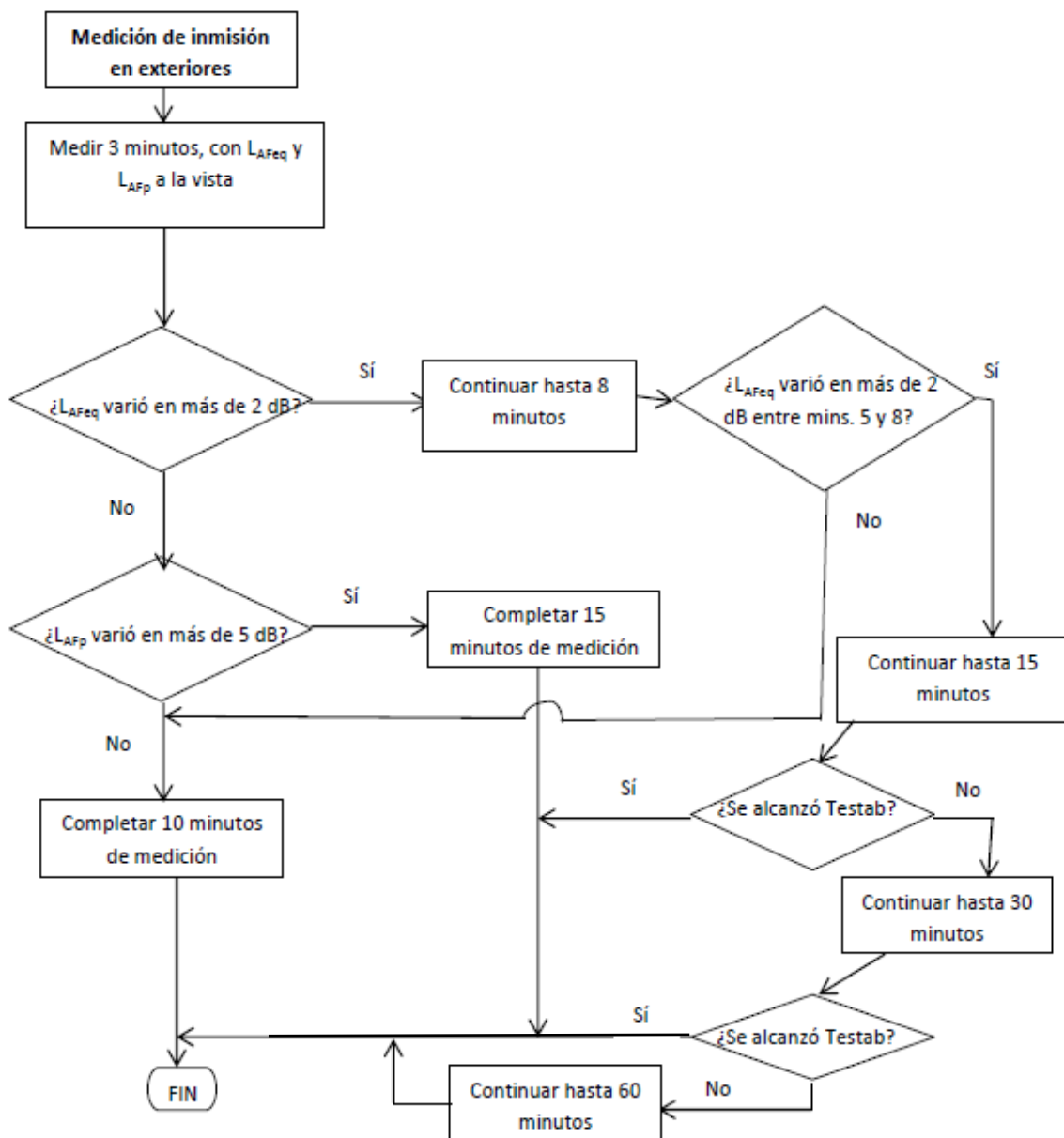


Figura 3. Diagrama de flujo: selección del tiempo de muestreo en mediciones de niveles de inmisión sonora en espacios abiertos

Deseablemente siempre debe tomarse más de un registro de medición, en tanto sea posible, seguro y las condiciones en que se realicen se conserven razonablemente y se correspondan con las que interesan a los efectos de la medición. Los minutos de medición empleados para analizar el tiempo de estabilización, pueden formar parte de una de las mediciones de duración t_i que se informarán.

Para cada medición realizada se debe informar:

- Duración, hora de inicio y de finalización
- Tiempo de estabilización de la medición
- Los valores de $L_{A,F,eq}$, $L_{A,F,10}$ y $L_{A,F,90}$

Siempre que se realice más de una medición para describir una cierta situación, se deberá informar además, como mínimo:

- Los valores máximo y mínimo obtenidos para $L_{A,F,10}$ y $L_{A,F,90}$
- El nivel sonoro continuo equivalente resultante de componer los valores de $L_{A,F,eq,i}$ de las distintas mediciones de duración t_i realizadas:

$$L_{A,F,eq} = 10 \log \left[\frac{\sum_i \left(t_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right)}{\sum_i t_i} \right]$$

Si los niveles de presión sonora varían en forma cíclica, el tiempo de medición deberá contener un número entero de ciclos. Si no se puede hacer mediciones continuas durante ese período, deberán escogerse intervalos de tiempo de medición de modo que cada uno represente una parte del ciclo y para que, juntos, representen el ciclo completo. Si los ciclos de operación son razonablemente cortos, se podrá captar un mayor número de ciclos en el tiempo de medición previsto, lo que mejorará la calidad de la información.

Cuando la principal fuente sonora de interés sea el tráfico rodado, la duración de la medición deberá ser no inferior a treinta (30) minutos en horario diurno. En este caso, se recomienda obtener los valores de $L_{A,F,eq}$ y de los niveles de permanencia $L_{A,F,10}$ y $L_{A,F,90}$.

Cuando se deba descontar la incidencia del tráfico rodado para valorar los niveles sonoros ambientales en cierto punto o situación en relación a otra(s) fuente(s), una vez realizadas las mediciones los datos de campo se deberán procesar en gabinete para eliminar la incidencia de las huellas sonoras y, de ser de interés, la de otras fuentes interferentes como ladridos, voces, golpes, entre otros.

Si no es posible efectuar las mediciones con las duraciones mínimas mencionadas, éstas se deben efectuar en el tiempo que sea viable, dejando constancia y fundamentando el tiempo escogido en el respectivo informe técnico.

3.4 Ruido de fondo

Si durante la realización de las mediciones se observara la incidencia de otras fuentes sonoras que pudieran tener un aporte significativo en el punto de medición seleccionado, se debe descontar el ruido ocasionado por todas las fuentes que no son el objeto de estudio en el punto de interés, en ausencia del ruido de la fuente que se evalúa. A este ruido se lo designará como “ruido de fondo”. Para ser considerado como tal en la práctica, es necesario que su nivel de presión sonora sea por lo menos 3 dB inferior al nivel de presión sonora del ruido de interés.

La medición del ruido de fondo se deberá efectuar siempre en el mismo lugar y en un momento próximo a aquél en el que la molestia es más acusada, pero estando inactivo(s) el emisor o emisores de ruido objeto de evaluación. Una vez efectuada la medición del ruido de fondo, se comparará con el nivel de presión sonora obtenido con la(s) fuente(s) de interés en funcionamiento y se procederá de la siguiente manera:

- Si la diferencia entre ambos niveles es superior a 10 dBA, no es necesario efectuar corrección por ruido de fondo. Luego, el nivel de presión sonora representativo del aporte de la(s) fuente(s) en consideración es el nivel $L_{A,F,eq}$ obtenido en la medición correspondiente.
- Si la diferencia entre ambos niveles está comprendida entre 3 dBA y 10 dBA, el aporte de la(s) fuente(s) en estudio viene dado por el que resulta de sustraer logarítmicamente el nivel de ruido de fondo al nivel de presión sonora medido con la(s) fuente(s) en operación:

$$L_{A,F,eq} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{total}}{10}} - 10^{\frac{L_{fondo}}{10}} \right)$$

- Si la diferencia entre ambos niveles es inferior o igual a 3 dBA, no es posible distinguir el aporte de la(s) fuente(s) de interés por sobre el nivel de ruido de fondo.
- Si el nivel determinado supera en 3 dBA o más dicho límite, se recomienda desestimar la medición y repetirla en condiciones con menor nivel de ruido de fondo. En este caso, el técnico responsable de las mediciones podrá proponer fundamentadamente otra forma de representar el ruido de fondo.

4 Medición de niveles de inmisión sonora en espacios interiores

4.1 Condiciones generales

Las mediciones de niveles de presión sonora en recintos deben ser realizadas en condiciones normales de utilización de ventanas y puertas (abiertas o cerradas). Si no hay una condición claramente preferencial, se realizarán en la condición más exigente, entre las que sean razonables, desde el punto de vista de la protección de los derechos a la salud y el descanso del receptor.

En el caso de mediciones en el interior de viviendas, éstas se realizarán en las habitaciones destinadas a descanso y a relacionamiento.

4.2 Selección del (de los) punto(s) de medición

Las mediciones se realizarán deseablemente a no menos de 1 m de distancia de las paredes, puertas y ventanas que tenga el recinto. Si las dimensiones de éste no permiten cumplir con lo anterior, las mediciones se realizarán en el centro geométrico de la habitación.

El micrófono se orientará apuntando hacia el paramento más comprometido de acuerdo con las posibles fuentes de ruido exteriores al local y frente a la mayor de las aberturas existentes en ese paramento, si las hubiera.

4.3 Tiempo de medición

Al igual que en el caso anterior, la representatividad de las mediciones está relacionada con su duración, que debe ser por lo menos igual al tiempo de estabilización de los niveles de presión sonora, definido éste como se expresó en el apartado 3.3 de esta Guía.

Para determinar el tiempo de estabilización se debe observar la evolución del nivel $L_{A,F,eq}$ en la pantalla del sonómetro. Debe tenerse la precaución de verificar que el parámetro que se está leyendo sea efectivamente el $L_{A,F,eq}$ y no el $L_{A,F}$ instantáneo (SPL).

- A) Si el valor de $L_{A,F,eq}$ varía en un intervalo de amplitud no mayor que 2 dB durante los primeros 3 minutos de medición, se puede asumir entonces que el tiempo de estabilización es no superior a 3 minutos.
 - A1) Si el nivel de presión sonora instantáneo desplegado por el instrumento en esos 3 minutos ha fluctuado en un intervalo de amplitud no mayor que 5 dB (ruido estable), la duración de las mediciones será de por lo menos 5 minutos y se deberá tomar por lo menos 3 registros.
 - A2) Si se alcanzó el tiempo de estabilización en los primeros 3 minutos pero el nivel de presión sonora instantáneo ha fluctuado en un intervalo de más de 5 dB de amplitud (ruido fluctuante), la duración de las mediciones será de por lo menos 10 minutos.
- B) Si no se alcanzó el tiempo de estabilización en los primeros 3 minutos, se debe continuar la medición hasta que transcurra un tiempo total de por lo menos 8 minutos.
 - B1) Si el tiempo de estabilización se alcanza durante los primeros 8 minutos de medición, es decir, si el valor de $L_{A,F,eq}$ varía en un intervalo de amplitud no mayor que 2 dB durante por lo menos los últimos 3 minutos de medición considerados, la duración de las mediciones será de por lo menos 10 minutos.
 - B2) Si no se alcanza el tiempo de estabilización en los primeros 8 minutos de medición, se debe continuar la medición hasta que transcurra un tiempo total de por lo menos 15 minutos.
 - B2.1) Si el tiempo de estabilización se alcanza en esos 15 minutos de medición, la duración de las mediciones será de por lo menos 15 minutos.

B2.2) Si no se ha alcanzado el tiempo de estabilización en 15 minutos, la medición se debe continuar hasta que transcurra un tiempo total de 30 minutos.

Deseablemente siempre debe tomarse más de un registro de medición, en tanto sea posible, seguro y las condiciones en que se realicen se conserven razonablemente y se correspondan con las que interesan a los efectos de la medición. Los minutos de medición empleados para analizar el tiempo de estabilización pueden formar parte de una de las mediciones de duración t_i que se informarán.

Para cada medición realizada se debe informar:

- Duración, hora de inicio y de finalización
- Tiempo de estabilización de la medición
- Los valores de $L_{A,F,eq}$, $L_{A,F,10}$ y $L_{A,F,90}$

Siempre que se realice más de una medición para describir una cierta situación, se deberá informar además, como mínimo:

- Los valores máximo y mínimo obtenidos para $L_{A,F,10}$ y $L_{A,F,90}$
- El nivel sonoro continuo equivalente resultante de componer los valores de $L_{A,F,eq,i}$ de las distintas mediciones de duración t_i realizadas:

$$L_{A,F,eq} = 10 \log \left[\frac{\sum_i \left(t_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right)}{\sum_i t_i} \right]$$

Si los niveles de presión sonora varían en forma cíclica, el tiempo de medición deberá contener un número entero de ciclos. Si no se puede hacer mediciones continuas durante ese período, deberán escogerse intervalos de tiempo de medición de modo que cada uno represente una parte del ciclo y para que, juntos, representen el ciclo completo. Si los ciclos de operación son razonablemente cortos, se podrá captar un mayor número de ciclos en el tiempo de medición previsto, lo que mejorará la calidad de la información.

Cuando se deba descontar la incidencia del tráfico rodado para valorar los niveles sonoros ambientales en cierto punto o situación en relación a otra(s) fuente(s), una vez realizadas las mediciones los datos de campo se deberán procesar en gabinete para eliminar la incidencia de las huellas sonoras y, de ser de interés, la de otras fuentes interferentes como ladridos, voces, golpes, entre otros.

Si no es posible efectuar las mediciones con las duraciones mínimas mencionadas, éstas se deben efectuar en el tiempo que sea viable, dejando constancia y fundamentando el tiempo escogido en el respectivo informe técnico.

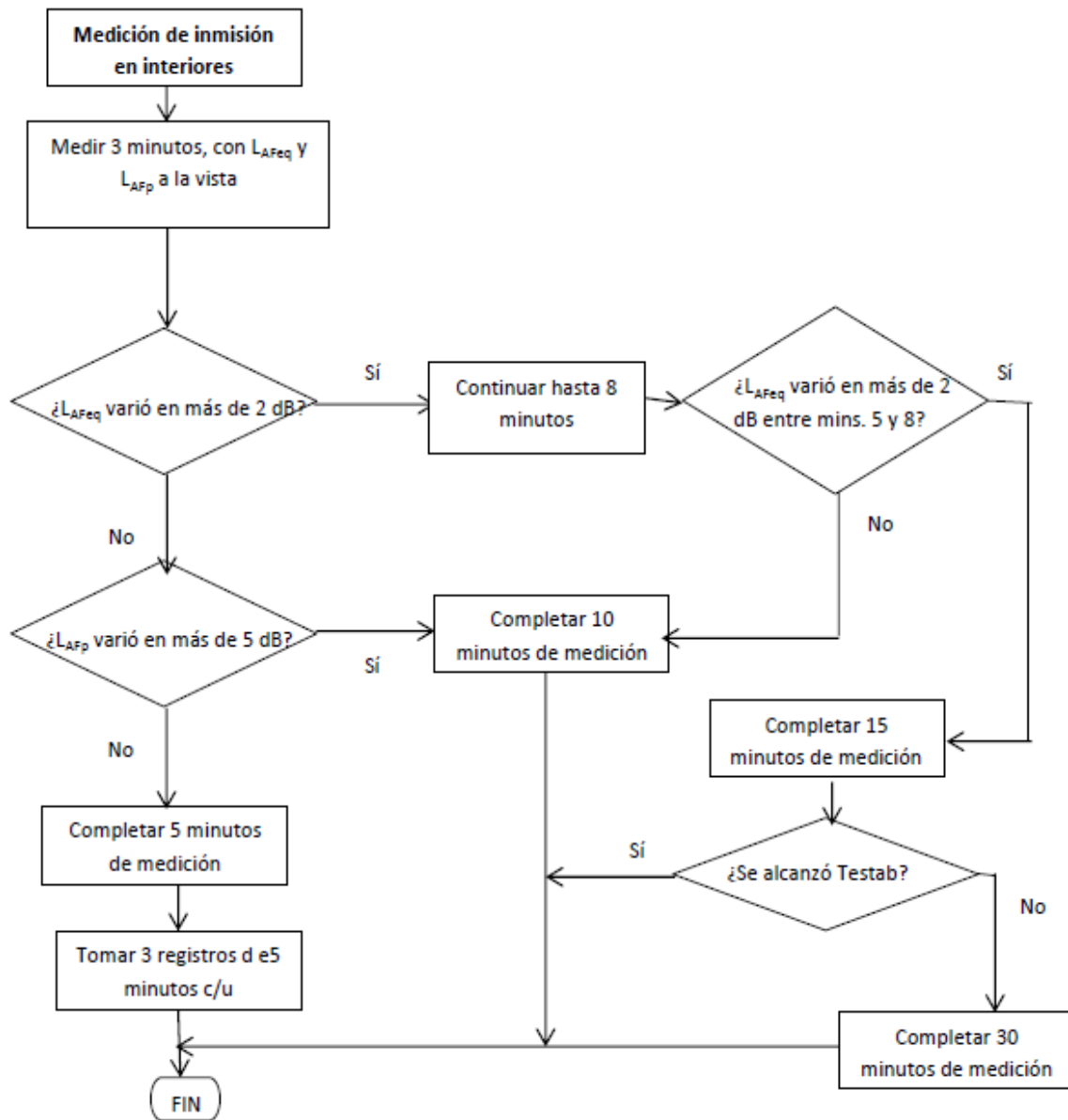


Figura 4. Diagrama de flujo: selección del tiempo de muestreo en mediciones de niveles de inmisión sonora en interiores

4.4 Ruido de fondo

Al igual que en el caso anterior, si durante la realización de las mediciones se observara la incidencia de otras fuentes sonoras que pudieran tener un aporte significativo en el punto de medición seleccionado, se debe descontar este aporte que se designará como “ruido de fondo”. Para ser considerado como tal en la práctica, es necesario que su nivel de presión sonora sea por lo menos 3 dB inferior al nivel de presión sonora del ruido de interés.

La medición del ruido de fondo se deberá efectuar siempre en el mismo lugar y en un momento próximo a aquél en el que la molestia es más acusada, pero estando inactivo(s) el emisor o emisores de ruido objeto de evaluación. Una vez efectuada la medición del ruido de fondo, se

comparará con el nivel de presión sonora obtenido con la(s) fuente(s) de interés en funcionamiento y se procederá de igual modo que en el apartado 3.3 de esta Guía:

- Si la diferencia entre ambos niveles es superior a 10 dBA se considerará que el nivel de presión sonora representativo del aporte de la(s) fuente(s) en consideración es el nivel $L_{A,F,eq}$ obtenido en la medición correspondiente.
- Si la diferencia entre ambos niveles está comprendida entre 3 dBA y 10 dBA, el aporte de la(s) fuente(s) en estudio viene dado por el que resulta de sustraer logarítmicamente el nivel de ruido de fondo al nivel de presión sonora medido con la(s) fuente(s) en operación.
- Si la diferencia entre ambos niveles es inferior o igual a 3 dBA, no es posible distinguir el aporte de la(s) fuente(s) de interés por sobre el nivel de ruido de fondo.
- Si el nivel determinado supera en 3 dBA o más dicho límite, se recomienda desestimar la medición y repetirla en condiciones con menor nivel de ruido de fondo. En este caso, el técnico responsable de las mediciones podrá proponer fundamentadamente otra forma de representar el ruido de fondo.

5 Información a presentar

Además de la que en cada caso corresponda, al informar una medición de niveles de presión sonora se deberá presentar:

- ubicación precisa de los puntos de medición sobre planimetría a escala adecuada
- día y hora de inicio y fin de la medición
- serie temporal de niveles de presión sonora obtenidos durante cada medición
- parámetros representativos de cada medición
- parámetros representativos del conjunto de mediciones tomadas para describir una misma situación, si fuera el caso.

8 Prueba Acústica de Locales

Muchas veces en la gestión municipal es necesario realizar una verificación in situ del aislamiento acústico que tiene un paramento. Aunque en Uruguay no es frecuente realizar estas determinaciones *antes* de autorizar el funcionamiento de un emprendimiento industrial o de recreación, en otros lugares (España, por ejemplo) es *conditio sine qua non* para que un local pueda entrar en funcionamiento, casi para cualquier uso que se desee realizar de él.

La determinación del aislamiento acústico de un paramento no se reduce a una simple medición de niveles sonoros a uno y otro lado del mismo. Es necesario realizar una prueba acústica normalizada. En este capítulo se presenta el procedimiento para realizar esta prueba, así como la forma de expresar sus resultados.

8.1 Equipamiento necesario

El equipamiento mínimo necesario para realizar una prueba acústica normalizada es el siguiente:

- Un equipo de audio con ecualizador cuyos parlantes deben estar apoyados de modo de evitar la transmisión por vía sólida
- Una grabación de ruido rosa que será emitida desde dicho equipo
- Un sonómetro integrador Clase 1 con analizador espectral en bandas de tercio de octava o a lo sumo en bandas de octava, calibrado antes del inicio del ensayo
- Un trípode para el sonómetro.

8.2 Mediciones en el local emisor

La primera tarea a realizar consiste en ecualizar la emisión. Se emite ruido rosa desde la fuente y se verifica que el valor del nivel de presión sonora L_p en cada banda de octava o de tercio de octava sea el mismo; para lograrlo, se ajusta con el ecualizador. El nivel sonoro que se emplea para realizar el ensayo suele ser de entre 100 dB y 106 dB en cada banda.

Deseablemente debe medirse en más de un punto en cada local (si es posible, en 3). Los puntos de medición deben ubicarse a por lo menos 1,5 m de las paredes o de cualquier otro obstáculo reflectante, de modo que la medida corresponda siempre a la zona de campo difuso. Se debe medir por lo menos 3 veces en cada punto seleccionado. El valor a informar en cada punto es el promedio energético de los niveles L_i obtenidos en las N lecturas realizadas en cada punto (siendo $N \geq 3$), que se obtiene con la expresión:

$$\bar{L} = 10 \times \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} 10^{L_i/10} \right)$$

De este modo, se tienen los valores de nivel de presión sonora a considerar en el local emisor.

8.3 Mediciones en el local receptor

Siempre con la fuente funcionando y sin alterar ni su ecualización ni su nivel de emisión, se miden los niveles sonoros en bandas de octava o de tercio de octava (según se haya trabajado en el local emisor) en el local receptor. Las mediciones se realizan con el mismo criterio que en el local emisor (puntos alejados de las paredes, deseablemente 3 puntos de medición, 3 repeticiones de la medición en cada punto, informar el promedio energético de los niveles medidos en cada punto, etc.).

Pero como los niveles sonoros en el local receptor serán mucho más bajos que en el local emisor, es necesario verificar que el nivel sonoro que se genera en él a causa de la fuente es siempre al menos 10 dB mayor que el ruido de fondo, tanto cuando se expresa como valor único en dB con ponderación A como cuando se da un nivel en dB en cada una de las bandas de frecuencia consideradas. Si esta condición no se cumple, entonces es necesario corregir los valores L_{Ri} medidos en cada banda en el local receptor descontando el ruido de fondo L_{Fi} medido en la misma banda, restando logarítmicamente sus valores:

$$L_p = 10 \times \log \left(10^{L_R/10} - 10^{L_F/10} \right)$$

Siendo: L_{Ri} el valor medido en el local receptor

L_{Fi} el nivel de ruido de fondo

L_{pi} el nivel sonoro aportado por la fuente situada en el local emisor

La expresión vale tanto para niveles sonoros en dB con ponderación A como para los niveles en dB correspondientes a cada banda de frecuencias.

Si L_p y L_F difieren en menos de 3 dB, no es posible realizar la medición del aislamiento del paramento en estas condiciones: o el ruido de fondo es demasiado alto y hay que esperar un momento más tranquilo, o se necesitan parlantes más potentes en el local emisor para que el nivel de presión sonora en el local receptor se diferencie claramente por encima del ruido de fondo.

También es necesario medir el tiempo de reverberación en el local receptor o, en su defecto, calcularlo considerando sus dimensiones y los coeficientes de absorción de los materiales y elementos allí presentes.

8.4 Determinación del aislamiento entre los dos locales como diferencia de niveles

A esta altura se tiene un conjunto de valores L_{Ei} medidos en el local emisor en las diferentes bandas de octava o de tercio de octava, y otro conjunto L_{pi} que resulta de los medidos en el local receptor, a menos de la corrección por ruido de fondo de haber sido necesaria. Todos los valores han sido obtenidos en escala lineal y en consecuencia están expresados en dB.

Se pasan a escala A sumando aritméticamente la corrección normalizada que define dicha escala en cada banda considerada. Ahora se suman logarítmicamente estos valores en escala A, y se obtienen los niveles de $L_{E,A}$ y $L_{p,A}$ expresados como sendos valores únicos con ponderación A.

La diferencia de niveles entre ambos locales, que coincide con el valor del índice de reducción acústica R o aislamiento del muro divisorio, se calcula simplemente como:

$$R = L_{E,A} - L_{p,A} \text{ [dB]}$$

8.4.1 Determinación del aislamiento entre los dos locales como diferencia de niveles estandarizada

Este valor implica tener en cuenta el tiempo de reverberación del local receptor. Debe medirse en cada banda de octava, y entonces en cada banda se puede escribir:

$$R_{n,T} = R + 10 \times \log \frac{T}{T_0} \text{ [dB]}$$

siendo:

R la diferencia de niveles medidos

T el tiempo de reverberación en el local receptor

T₀ el tiempo de reverberación de referencia para uso habitacional, que vale 0,5 segundos.

8.4.2 Determinación del aislamiento entre los dos locales como diferencia de niveles normalizada

Este valor implica tener en cuenta la absorción del local receptor. En cada banda de octava se puede escribir:

$$R_n = R - 10 \times \log \frac{A}{A_0} \text{ [dB]}$$

siendo:

R la diferencia de niveles medidos

A la absorción equivalente en el local receptor, en Sb o m²

A₀ la absorción de referencia para uso habitacional, que vale 10 m².

Nótese que el término relativo a absorción se resta, en tanto que el que tiene que ver con el tiempo de reverberación en el caso anterior, se suma. Esto tiene que ver con la calidad del local receptor de ser más absorbente o más reverberante que lo que implican los valores de referencia para uso habitacional (absorción de 10 m², tiempo de reverberación de 0,5 s).

8.4.3 Expresión del aislamiento entre dos locales como un número único

Para poder expresar el aislamiento entre dos locales como un número único R_n debe seguirse el procedimiento de cálculo que especifica la Norma ISO 717, que se reseña esquemáticamente a continuación.

Se parte de los valores de la diferencia de niveles normalizada R_n o de la diferencia de niveles estandarizada $R_{n,T}$ para cada banda, de acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo con ruido rosa. Luego, el cálculo se puede hacer tanto en bandas de octava como de tercio de octava.

En lo que sigue se aplicará el procedimiento para valores medidos en bandas de octava normalizadas. Si se trabajara en bandas de tercio de octava, sería necesario tomar de la Norma ISO 717 información adicional⁽³⁾ que aquí no se ha incluido.

Cuando se trabaja en bandas de octava, sólo es necesario realizar mediciones en cinco bandas: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, y 2000 Hz. La Norma presenta, para esas bandas, una curva o contorno de referencia definido por los siguientes valores (Tabla 8-1):

Tabla 8-1: Espectro de referencia para expresar el aislamiento con un número único

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000
Valor de referencia (dB)	36	45	52	55	56

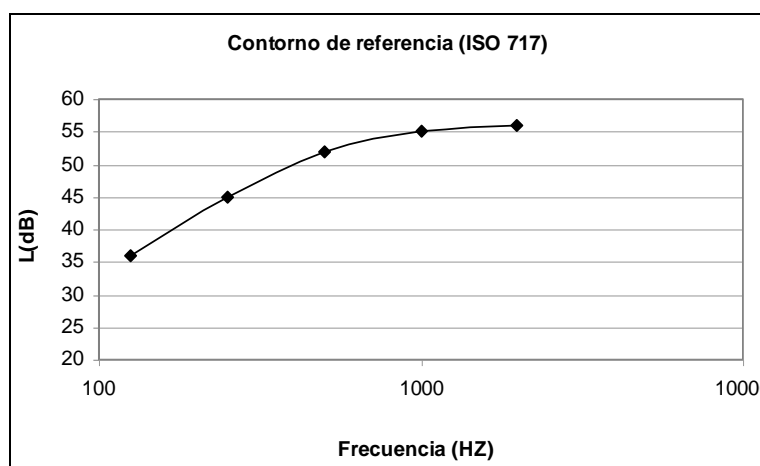


Figura 8-1. Contorno de referencia en Bandas de Octava normalizadas (redibujado de ISO 717)

Para calcular el aislamiento como un número único, se comienza por dibujar en papel semilogarítmico esta curva y la curva definida por las diferencias en cada banda obtenidas en el ensayo (local emisor menos local receptor).

La curva del ensayo se va desplazando hacia arriba en forma vertical de a 1 dB, y en cada paso se calculan las diferencias o *desviaciones* en cada banda entre la curva de referencia y la curva del ensayo desplazada n dB.

Una desviación se considera desfavorable cuando el resultado de la medición es menor que el valor de referencia en esa banda, es decir, cuando en la banda considerada la curva de diferencias medidas –que ya ha sido desplazada convenientemente– está por debajo de la curva de referencia

⁽³⁾ Concretamente, la curva o contorno de referencia es diferente, y el valor que acota la suma de diferencias desfavorables a determinar ya no es de 10 dB.

que presenta la Norma. Si siempre se resta la curva de diferencias medidas menos la curva de referencia, entonces las desviaciones desfavorables son justamente las que dan valor negativo.

Al ir desplazando la curva considerada de a 1 dB, se busca encontrar el caso en que se obtiene el máximo valor posible para la suma de las desviaciones desfavorables, pero sin superar el valor de 10,0 dB. *Sólo se consideran* en la suma las *desviaciones desfavorables* (negativas) es decir, no se restan los valores de las desviaciones favorables (positivas).

El valor que se considera representativo del aislamiento del paramento expresado como número único, R_n o $R_{n,T}$ según sea el punto de partida escogido, es el obtenido en la frecuencia de 500 Hz después de trasladar la curva, expresado sin cifras decimales.

8.5 Ejemplo de aplicación

En la tabla a continuación se presentan dos conjuntos de valores obtenidos como promedios de tres lecturas realizadas en dos locales, emisor y receptor respectivamente, durante una prueba acústica. En la última fila de la misma tabla se presentan los tiempos de reverberación medidos en el local receptor.

En todos los casos el nivel de ruido de fondo en el local receptor se situó más de 10 dB por debajo de los valores medidos tanto en cada banda de octava como en escala A.

Expresar con un número único la diferencia de niveles estandarizada del paramento que separa ambos locales.

Frecuencia central de la banda de octava (Hz)	125	250	500	1000	2000
L emisor (dB)	102,2	101,7	102,6	102,1	101,9
L receptor (dB)	79,4	73,6	68,2	62,5	58,1
T_R (s)	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5

A título ilustrativo, los niveles de presión sonora en cada local expresados como valores únicos en dB son:

$$L_{A,emisor} = 106,8 \text{ dB}$$

$$L_{A,receptor} = 70,5 \text{ dB}$$

Resolución

Cálculo de la diferencia de niveles estandarizada $R_{n,i}$

En primer lugar se calcula, para cada banda de octava, el valor de la diferencia aritmética de los niveles R_i y de la diferencia de niveles estandarizada $R_{n,i}$.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000
L emisor (dB)	102,2	101,7	102,6	102,1	101,9
L receptor (dB)	79,4	73,6	68,2	62,5	58,1
Diferencia de niveles R_i (dB)	22,8	28,1	34,4	39,6	43,8
$10 \times \log (T_R/0,5)$ (s)	2,6	1,5	0,8	0,8	0,0
Diferencia de niveles estandarizada $R_{nT,i}$ (dB)	25,4	29,6	35,2	40,4	43,8

La diferencia de niveles estandarizada se puede expresar también en dB o en dB con ponderación A, simplemente componiendo los valores obtenidos en cada banda. Ése **no** es el valor del aislamiento expresado como número único, sino simplemente la diferencia de niveles de presión sonora entre ambos locales.

A continuación se calcula la diferencia de niveles estandarizada en escala Z:

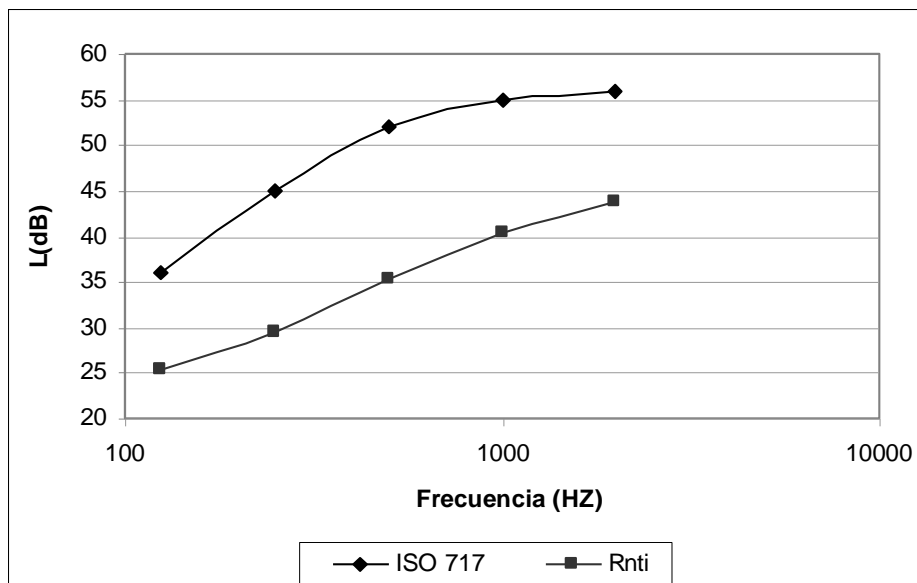
$$R_{n,T}[\text{dB}] = 10 \times \log (10^{2,54} + 10^{2,96} + 10^{3,52} + 10^{4,04} + 10^{4,38}) = \mathbf{46,0 \text{ dB}}$$

Si los valores obtenidos en cada banda de octava se pasan a escala A y se componen, entonces el valor de la diferencia de niveles estandarizada resultará expresado en dB con ponderación A:

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000
$R_{nT,i}$ (dB)	25,4	29,6	35,2	40,4	43,8
Escala A	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2
$R_{nTA,i}$ (dB)	9,3	21,0	32,0	40,4	45,0

$$R_{n,T,A} [\text{dB}] = 10 \times \log (10^{0,93} + 10^{2,10} + 10^{3,20} + 10^{4,04} + 10^{4,50}) = \mathbf{46,3 \text{ dB}}$$

Si bien en este ejemplo han dado valores muy próximos, debe tenerse en cuenta que no es lo mismo expresar las diferencias de niveles estandarizada o normalizada en escala A o en dBZ (lineales o sin ponderación).



Cálculo de la expresión del aislamiento como número único $R_{n,T}$

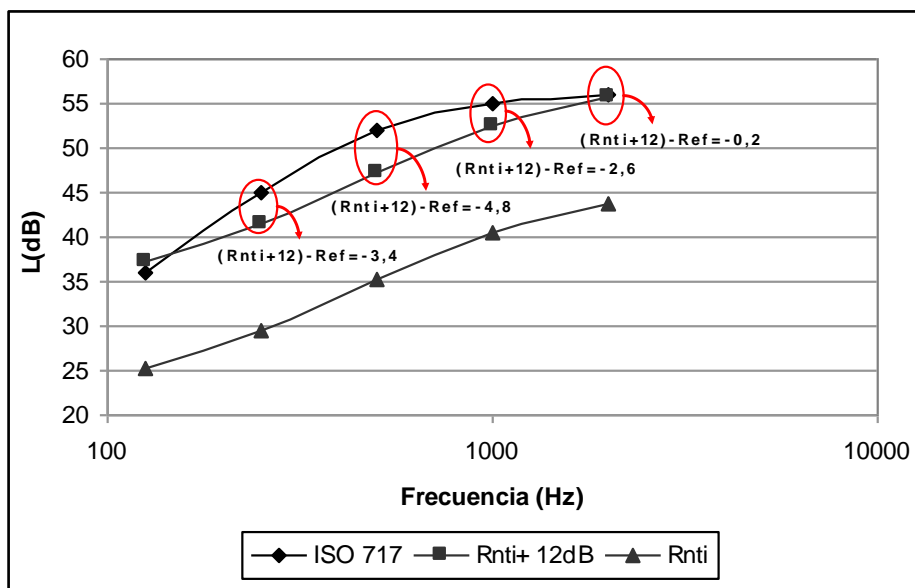
Para obtener el número único $R_{n,T}$ que describe el valor del aislamiento debe graficarse la curva dada por los puntos de la figura precedente conjuntamente con la curva dada por los puntos de la diferencia de niveles estandarizada $R_{n,T,i}$ en papel semilogarítmico, que es lo que se hace a continuación.

Seguidamente debe empezarse a desplazarse la curva del ensayo subiéndola de a 1 dB hasta lograr la condición en las desviaciones negativas que prescribe el método de cálculo: obtener el máximo

valor posible para la suma de las desviaciones desfavorables pero sin superar los 10,0 dB. Hay que recordar que una desviación se considera “desfavorable” cuando el resultado de las medidas es menor que el valor de referencia en esa frecuencia, o sea cuando la curva del ensayo está, en esa frecuencia, por debajo de la de referencia.

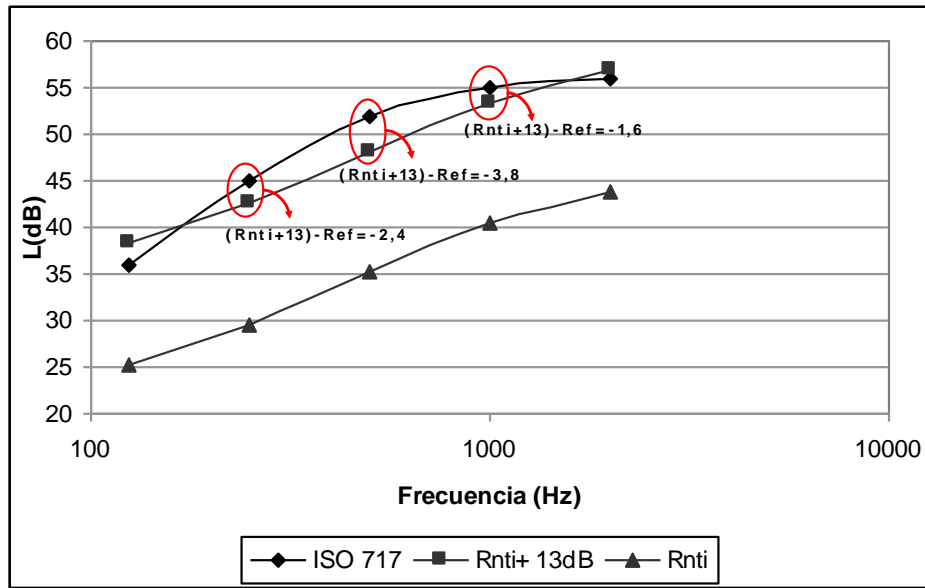
Al iniciar el proceso todas las diferencias son desfavorables, pero su suma es mucho mayor que 10 dB. Los casos de interés se dan a partir de que ambas curvas comienzan a cruzarse. Esto sucede a partir de que la curva medida se ha subido 12 dB. Para ese caso, la suma de las desviaciones desfavorables (negativas) es de 11,0 dB.

f (Hz)	ISO 717	$R_{n,T,i}$	$R_{n,T,i} + 12$	Desv.
125	36	25,4	37,4	1,4
250	45	29,6	41,6	-3,4
500	52	35,2	47,2	-4,8
1000	55	40,4	52,4	-2,6
2000	56	43,8	55,8	-0,2
Suma de desviaciones desfavorables				-11,0



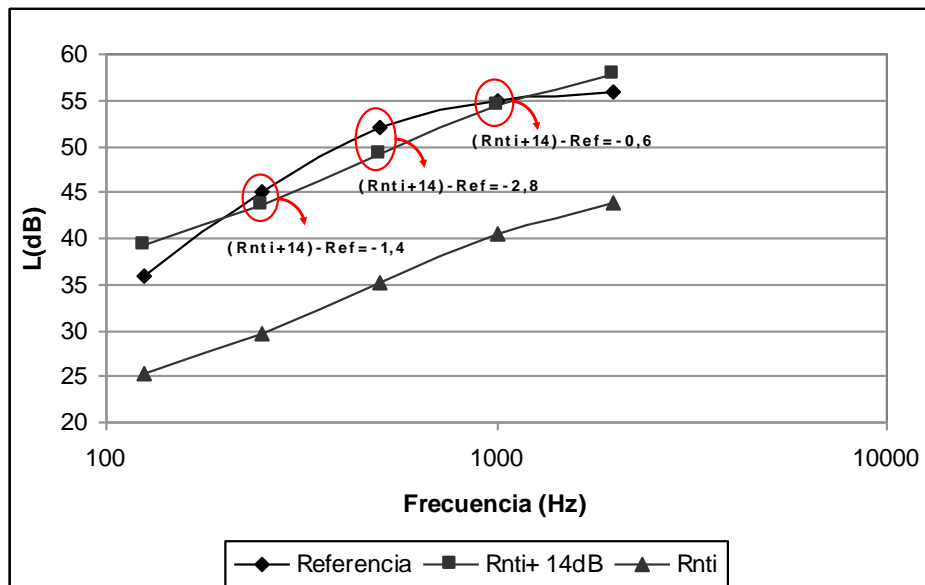
Se sube un decibel más, llegando a 13 dB, y se recalcula la suma de las desviaciones desfavorables, que ahora resulta ser de 7,8 dB:

f (Hz)	ISO 717	$R_{n,T,i}$	$R_{n,T,i} + 13$	Desv.
125	36	25,4	38,4	2,4
250	45	29,6	42,6	-2,4
500	52	35,2	48,2	-3,8
1000	55	40,4	53,4	-1,6
2000	56	43,8	56,8	0,8
Suma de desviaciones desfavorables				-7,8

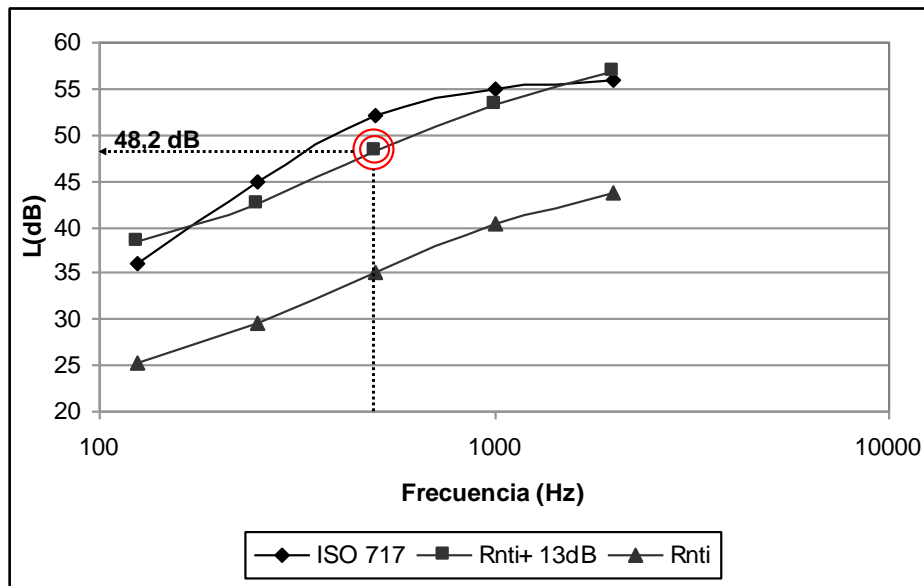


Éste es el máximo valor que no supera los 10,0 dB para las desviaciones desfavorables. De todos modos, en la tabla que sigue se muestra explícitamente que si se sumara 1 dB más (en total, 14 dB), la suma de las desviaciones desfavorables sería menor que la obtenida en el caso anterior:

f (Hz)	ISO 717	$R_{n,T,i}$	$R_{n,T,i} + 14$	Desv.
125	36	25,4	39,4	3,4
250	45	29,6	43,6	-1,4
500	52	35,2	49,2	-2,8
1000	55	40,4	54,4	-0,6
2000	56	43,8	57,8	1,8
Suma de desviaciones desfavorables				-4,8



El corrimiento buscado resultó ser de 13 dB. El valor de $R_{n,T}$ es la parte entera del valor que corresponde a la frecuencia de 500 Hz en la curva trasladada que dio la mayor suma de diferencias desfavorables (la que resultó de sumar 13 dB); este valor es de 48,2 dB.



Entonces, el aislamiento expresado como número único resulta ser entonces de $R_{n,T} = 48$ dB.

Bibliografía

- Boletín del Estado Español. BOE núm. 254, martes 23 de octubre de 2007. Real Decreto 1367/2007 por el que se desarrolla la Ley 37/2003, del Ruido, pp. 42952-42973. España, 2007.
- Brüel & Kjaer. Ruido Ambiental. Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, pp. 68, 2000.
- DINAMA (2014). Guía propuesta por DINAMA para la Medición de niveles de presión sonora en inmisión (versión 22-12-2014)
- Gaja Díaz, Esteban. Ingeniería Acústica Ambiental. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, pp. 251, 1996.
- Gaja Díaz, Esteban. Iniciación a las técnicas de medición del ruido. Universidad Politécnica de Valencia, pp. 54.
- Giménez de Paz, Juan Cruz. Ruido: para los posgrados en higiene y seguridad industrial. Editorial Nobuko. 176 pp. 2007.
- González, A.E.; Acústica Urbana Módulo I, Convenio MVOTMA-UdelaR, 99 pp. 2008.
- González, A.E.; Indarte Bonifacino, E.; Lisboa, M.R. Acústica Urbana Módulo II, Convenio MVOTMA-UdelaR, 119 pp. 2008. ISBN: 978-9974-7610-3-2
- Harris, Cyril M. Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido (Volúmenes I y II). Tercera Edición, McGraw-Hill, 1995.
- International Organization for Standardization (2016). *ISO 1996-1:2016. Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise*. Genève, 2016.
- International Organization for Standardization (2017). *ISO 1996-2:2017. Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise*. Genève, 2017.
- Méndez, A.M.; Stornini, A.J.; Salazar, E.B.; Giuliano, H.G.; Velis, A.G.; Amarilla, B.C. Acústica Arquitectónica. Universidad del Museo Social Argentino. 238 pp. 1994.
- Miyara, Federico. Control de Ruido. Ed. Propia, 1999.
- Portal divulgativo de Acústica y Sonido. Consultado en 2017 en: <http://acusticaysonido.com>