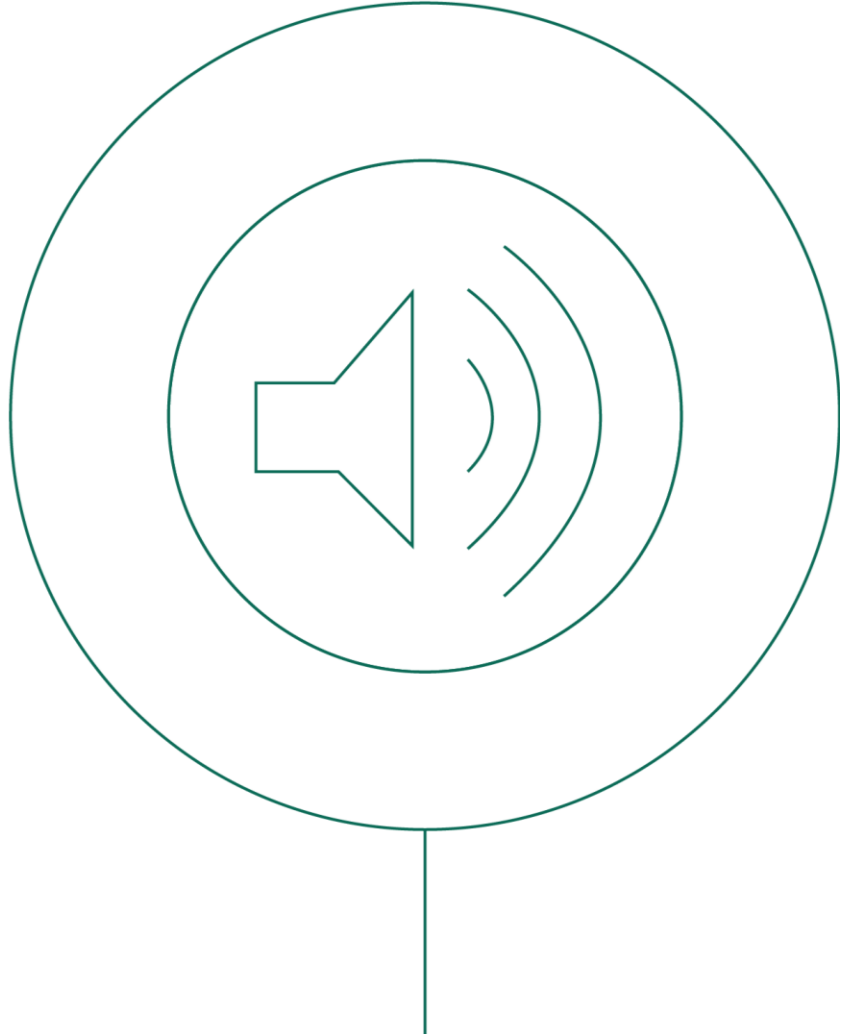




PERÚ

Ministerio
del Ambiente

PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL



PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL

Ministro del Ambiente
Dr. Manuel Gerardo Pedro Pulgar-Vidal Otálora

Viceministro de Gestión Ambiental
Dr. Jorge Mariano Guillermo Castro Sánchez- Moreno

Director General de Calidad Ambiental
Ing. Juan Narciso Chávez

Equipo de Gestión de la Calidad del Aire - DGCA
Ing. Eric Concepción Gamarra
Arq. Eduardo Jesus Tagle Argumanis
Lic. Fiorella Ortiz Rojas

Ministerio del Ambiente
Av. Javier Prado Oeste N° 1440 – San Isidro - Lima, Perú
Teléfono: (511) 611-6000
www.minam.gob.pe
Correo Electrónico: calidaddelaire@minam.gob.pe

Primera Edición
Octubre 2014

Hecho el Depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2014- 19171

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	OBJETIVOS.....	2
3.	PROPÓSITO.....	2
4.	LIMITACIONES.....	3
5.	RECOMENDACIONES BASICAS PARA LA EVALUACION DE ACUSTICA AMBIENTAL.....	3
6.	MARCO NORMATIVO.....	3
7.	INSTRUMENTACIÓN.....	4
7.1.	El sonómetro.....	4
7.2.	Accesorios.....	4
7.3.	Calibrador sonoro.....	4
7.4.	Calibración y certificación.....	5
8.	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA.....	5
8.1.	Verificación del instrumento antes de las mediciones.....	6
8.2.	Determinación de las posiciones de medición.....	7
8.3.	Medición del nivel sonoro del sonido residual.....	7
8.4.	Medición del nivel sonoro de la fuente específica.....	8
8.5.	Corrección por sonido residual.....	9
8.6.	Corrección por reflexiones.....	10
9.	INCERTIDUMBRES EN MEDICIONES DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA.....	10
9.1.	Medición de incertidumbres.....	10
10.	REPORTE TÉCNICO DE LOS RESULTADOS.....	16
11.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	18
	ANEXO A.....	20
A.1	Glosario de términos acústicos.....	20

PRESENTACIÓN

La contaminación sonora es un problema creciente que se presenta en las principales ciudades del país, siendo una variable que incide en la calidad de vida de la población, con efectos fisiológicos y psicológicos. Frente a esta situación, el Ministerio del Ambiente en su calidad de ente rector en temas ambientales y en aplicación de su rol promotor del control integrado de la contaminación, ha elaborado el *“Protocolo Nacional de Mediciones de Niveles de Presión Sonora Ambiental”* cuyo objetivo principal, es orientar el proceso de medición de los niveles de presión sonora en el país, este documento así mismo se constituye en una herramienta valiosa para el desarrollo e implementación de instrumentos de gestión en acústica ambiental.

Este protocolo proporciona métodos y procedimientos para realizar mediciones de nivel de presión sonora y establece las directrices generales a ser aplicadas en todo el territorio nacional. Las mediciones que se obtengan deberán ser contrastadas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y las normas sobre ruido vigentes, los cuales son un instrumento de gestión ambiental prioritario para prevenir y planificar el control de este tipo de contaminante, sobre la base de una estrategia destinada a proteger la salud, mejorar la competitividad del país y promover el desarrollo sostenible.

MINISTERIO DEL AMBIENTE

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a lo dispuesto en el artículo 133º de la Ley General del Ambiente, Ley Nº 28611, la importancia de manejar instrumentos de vigilancia y monitoreo eficientes radica en que la información obtenida permite adoptar medidas que aseguren el cumplimiento de los objetivos de la política y normativa ambiental. Por tal razón, la autoridad ambiental nacional será la encargada de establecer los criterios para el desarrollo de las acciones de vigilancia y monitoreo.

Mediante Decreto Supremo Nº 085-2003-PCM se aprobaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido, con el objetivo de establecer los límites de los niveles de presión sonora que no deben excederse en los ambientes exteriores a los recintos, para proteger la salud humana.

El presente protocolo está diseñado como una herramienta complementaria para la realización de mediciones de niveles de presión sonora de acuerdo a los Estándares nacionales e Internacionales más actualizados[1,2,3,4].

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este protocolo, es orientar en el proceso de medición de los niveles de presión sonora ambiental en el país, como una herramienta eficiente sencilla y muy fácil de comprender. Para lo cual se considera lo siguiente:

- (1) Establecer el procedimiento de medición de niveles de presión sonora que están presentes en un entorno ambiental específico para la evaluación del impacto sonoro.
- (2) Realizar la cuantificación en forma objetiva considerando el nivel de presión sonora, presencia de sonido tonal, impulsivo, reflexiones del sonido sobre una superficie y por el contenido espectral.
- (3) Considerar la información relevante que debe contener un Reporte Técnico de las mediciones.

3. PROPÓSITO

Teniendo en cuenta únicamente las mediciones, los propósitos de este protocolo pueden ser considerados para:

- (1) La planificación acústica, por parte de las instituciones públicas y privadas
- (2) La verificación del cumplimiento de los ECA y las normas sobre ruido antes y después de un proyecto (según sea el objetivo de la evaluación);
- (3) La evaluación del impacto sonoro presente dentro de un entorno ambiental específico;
- (4) La evaluación de la molestia causada por sonidos solo en términos cuantitativos.

4. LIMITACIONES

El presente documento no es una guía para todas las situaciones de medición de niveles sonoros, en estos casos consultar otros documentos [2,3,4]. En el caso de ser necesario utilizar metodologías de evaluación fuera del alcance de esta guía, se debe sustentar técnica y detalladamente la razón del uso de esa metodología.

En este protocolo se presentan criterios de evaluación del sonido para realizar una evaluación cuantitativa del ruido ambiental. Por lo tanto, no se considera la percepción subjetiva de las partes involucradas, ni la ambigüedad experimental del concepto de ruido. En este protocolo se prioriza la evaluación de las fuentes de ruido basado completamente en las mediciones, es decir en una evidencia totalmente cuantitativa[5].

5. RECOMENDACIONES BASICAS PARA LA EVALUACION DE ACUSTICA AMBIENTAL

Se recomienda que el personal de las instituciones públicas y privadas tenga una combinación de conocimientos técnicos, experiencia y habilidades, y ser capaces de demostrar como mínimo [6]:

- (1) Conocimiento del marco normativo.
- (2) Conocimiento conceptual sobre indicadores sonoros más importantes, que consideren como mínimo: $L_{Aeq,T}$, $L_{Ceq,T}$, L_{AFmax} , L_{AFmin} , L_{A1eq} , L_{90} , L_{50} y L_{10} .
- (3) Conocimiento teórico y experimental del análisis espectral por bandas de octava y 1/3 de octava, además de la capacidad de evaluar elementos que generen sonidos tonales e impulsivos.
- (4) Una comprensión clara respecto de las obligaciones en respuesta a una licencia o una queja respecto al ruido, ya que su evaluación y decisión podría generar controversias.
- (5) Familiaridad con los instrumentos de medición acústica.
- (6) Capacidad de analizar, interpretar y explicar los resultados.
- (7) La capacidad de reconocer cuando es necesario conocimientos más especializados[6].

6. MARCO NORMATIVO

Se incluye la legislación pertinente dentro del contexto del desarrollo en materia de acústica ambiental en el país (se incluye las ISO), pero también se deja abierta la posibilidad de la revisión de metodologías y estándares internacionales

- Ley General del Ambiente, Ley N° 28611
- Decreto supremo N° 085-2003-PCM
- ISO 1996-1:2003, NTP ISO 1996-1:2007
- ISO 1996-1:2007, NTPISO 1996-2:2008

7. INSTRUMENTACIÓN

7.1. El sonómetro

El sonómetro debe de cumplir con los requisitos especificados en el documento de Estándares electroacústicas, sobre sonómetros de la IEC vigente[7], En cuanto a los filtros por 1 octava y 1/3 de octava, deben de cumplir los requisitos de la ISO vigente[8].

Los sonómetros utilizados para mediciones de niveles de presión sonora ambiental deben ser de clase 1, principalmente debido a la precisión y exactitud.

7.2. Accesorios

Los principales accesorios deben ser una **pantalla anti viento y un calibrador sonoro**. Accesorios adicionales muy útiles a la hora de realizar las mediciones son:

- (1) Trípode;
- (2) Cable de extensión para micrófono¹;
- (3) Medidor portátil de velocidad de viento;
- (4) Medidor portátil de humedad y temperatura;
- (5) GPS;
- (6) Cámara fotográfica;
- (7) Baterías o pilas de reserva;
- (8) Linterna;
- (9) Cuaderno de notas para registrar datos acústicos y no acústicos².

7.3. Calibrador sonoro

Es un requisito importante un calibrador sonoro compatible con el sonómetro para realizar la calibración de campo. El calibrador sonoro debe estar conforme a la IEC 60942 u otro documento que lo reemplace[10]. Además el calibrador debe ser calibrado anualmente en un laboratorio acreditado y certificado, para realizar este tipo de calibraciones, considerar la recomendación de la sección 8.4.

¹ En las mediciones se requiere mayor precisión y menor incertidumbre debido al operador, el uso del cable de extensión entre el micrófono (incluye el preamplificador) con el cuerpo del sonómetro. De esta manera se puede tener control del equipo sin interferir en las mediciones.

² Los datos acústicos son los valores de los indicadores sonoros medidos y los no acústicos pueden ser, el tipo y número de fuentes, la geometría del entorno, etc.

7.4. Calibración y certificación

Todos los distribuidores acreditados de equipos de medición de sonido emiten un Certificado de Conformidad (COC, Certificate of Conformance) con cada instrumento. Éste establece que cada instrumento cumple con las especificaciones publicadas y las normas aplicables. Este certificado (COC) no es un certificado de calibración.

El certificado de calibración contiene todos los resultados de las pruebas, tales como información sobre la incertidumbre de la calibración, situación y condiciones de calibración y un informe de la trazabilidad [11]. Es importante que todas las mediciones tengan la trazabilidad adecuada, según los estándares internacionales, y que el laboratorio de calibración esté acreditado³.

La autoridad ambiental y el consultor acústico, conocen de antemano que el sonómetro y calibrador son inseparables. Pero para asegurar una precisión continuada, para su validez ante las autoridades correspondientes, se requieren comprobaciones y calibraciones externas más detalladas [11].

La calibración completa del sistema de medición incluyendo el sonómetro y el micrófono debe de ser realizados por un laboratorio acreditado, los cuales deben de ser sustentados con el certificado de calibración. La calibración trazable del sonómetro debe ser realizado al menos una vez cada dos años. La calibración trazable de calibrador sonoro debe ser realizado al menos una vez cada año (como recomienda ISO 1996).

8. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA

La metodología descrita en este documento es aplicable a la medición de los niveles de presión sonora solo en el ambiente exterior, los sonidos considerados dentro de la metodología de este protocolo, pueden ser generados por actividades industriales, actividades comerciales y por el flujo de tránsito vehicular.

La metodología de este protocolo no considera las mediciones individuales del sonido del motor y otros accesorios de vehículos, del sonido generado por las actividades de sobrevuelo de aviones, del sonido generado por actividades submarinas, ni de actividades ferroviarias.

³ El desconocimiento de ciertos requisitos metrológicos en instrumentación acústica, está generando actualmente un problema legal en la aplicación de los ECA y los LMP sobre ruido en perjuicio de los derechos de los administrados y también de los deberes de las autoridades correspondientes dado que pueden confiar en los datos obtenidos con estos equipos al momento de tomar decisiones.

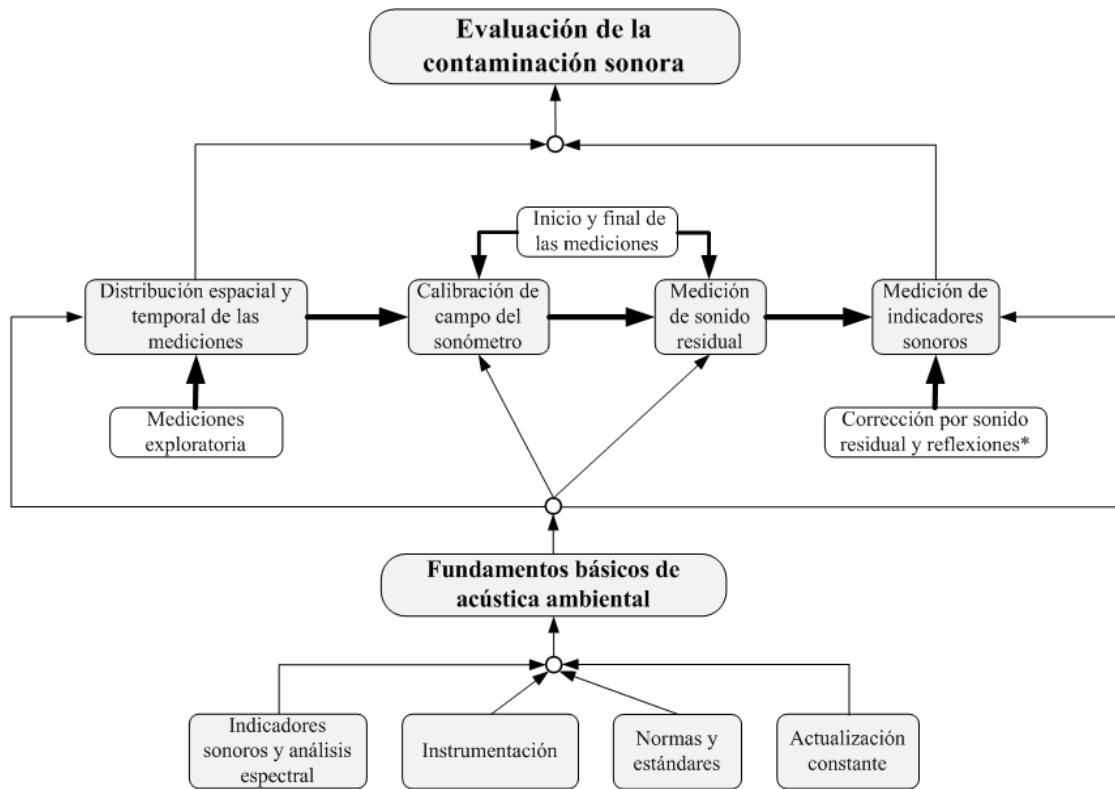


Figura 1. Diagrama de procedimientos de medición.

*Las correcciones se realizaran solo si proceden de acuerdo a los resultados.

El diagrama de procedimientos se debe entender como:

- El objetivo principal es la evaluación de la contaminación sonora;
- Los mecanismos que relacionan el objetivo principal con los conceptos fundamentales de acústica ambiental son: (1) la distribución temporal de las mediciones; (2) la calibración de campo; (3) medición del sonido residual y (4) la medición de los indicadores sonoros;
- Para dicho objetivo es importante tener fundamentos básicos de acústica ambiental. Los conocimientos de acústica ambiental están contruidos en base a conceptos fundamentales sobre: (1) indicadores sonoros y análisis espectral; (2) instrumentación; (3) conocimiento básico sobre estándares y normas, (4) además de una actualización constante:

8.1. Verificación del instrumento antes de las mediciones

El sonómetro debe estar en condiciones óptimas de operación antes de realizar mediciones sonoras. Para evaluar el estado de operatividad del equipo, se debe de seguir las siguientes recomendaciones:

- (1) Inspeccionar el instrumento para descartar posibles daños físicos, principalmente el micrófono;
- (2) Verificar la condición de la batería, tanto del sonómetro y del calibrador;
- (3) Verificar que los instrumentos estén dentro del periodo de calibración;
- (4) Poner en funcionamiento el equipo
- (5) Verificar que la fecha y la hora del sonómetro estén correctamente ajustadas
- (6) Realizar una verificación acústica con el calibrador sonoro
- (7) Operar el equipo en zonas de elevadas temperaturas y humedad (de acuerdo a las especificaciones del fabricante).

8.2. Determinación de las posiciones de medición

La distribución espacial de los puntos de medición, generalmente es realizada en el lugar de medición. Por lo tanto, no siempre es posible mantener las recomendaciones de la ISO 1996-2 (capítulo 8 y Anexo B), tampoco de un protocolo de medición extremadamente rígido. En caso de que no existan condiciones de campo libre para realizar las mediciones, la autoridad o el consultor acústico debe adecuarse a las prescripciones siguientes (principalmente en zonas urbanas):

- (1) **En el área de contaminación sonora.** Realizar mediciones exploratorias de corta duración, para determinar el número de puntos de medición necesarios para la caracterización acústica de la zona considerando las dimensiones del área y la variación espacial de los niveles sonoros.
- (2) **Verticalmente.** Si no es posible ubicar el micrófono a 4 metros de altura, se puede poner a una altura no menor de 1,5 metros.
- (3) **Horizontalmente.** Si no es posible ubicar el sonómetro a 3,0 m para minimizar la influencia de las reflexiones de una pared o barrera, se puede poner a menor distancia entre 0,5m y 2 m, luego se realizará la corrección por reflexiones.

8.3. Medición del nivel sonoro del sonido residual

Es muy importante medir el nivel del sonido residual, porque será el nivel de referencia contra el cual el nivel de sonido de una fuente específica deberá ser contrastado. En circunstancias normales el sonido residual varía con el tiempo durante el día, la tarde y la noche.

Es muy importante medir el nivel de sonido residual antes y después de medir el nivel de sonido de la fuente específica. Los pasos a considerar son:

- (1) Realizar la calibración de campo del equipo de medición.
- (2) Siempre que sea posible, el sistema de medición debe estar sobre una superficie reflectante.
- (3) Montar el equipo de medición en un trípode, si es posible utilizar un cable de extensión para separar el micrófono del cuerpo del sonómetro, el propósito es evitar que el ruido generado por el operador del equipo influya en los resultados⁴.

⁴Habrán pocos casos en que no sea posible utilizar un trípode. El operador del equipo de medición puede introducir hasta +1 dB(A) de incertidumbre en las mediciones.

- (4) El micrófono debe estar protegido con pantalla anti-viento. Así mismo, el micrófono debe estar orientado hacia la fuente sonora, formando un ángulo aproximado de 45° con la superficie horizontal.
- (5) Configurar el instrumento de medición con ponderación A (también C si es necesario) en el dominio de la frecuencia y Fast "F" o Slow "S" en el dominio del tiempo, según las características del ruido residual. Simultáneamente configurar todos los indicadores sonoros que necesita evaluar y si es necesario la medición espectral por 1/3 de octava.
- (6) Si una máquina o cualquier actividad es la fuente de sonido específica, solicitamos que deje de operar, los niveles sonoros medidos bajo estas condiciones corresponden al nivel del sonido residual. Es posible en este caso que el sonido residual este compuesto por el sonido proveniente del tráfico de vehículos y de otras actividades, es decir todo el sonido del ambiente estudiado, menos el sonido de la fuente que está causando la molestia.
- (7) Si el flujo de tránsito vehicular es la fuente específica, deberíamos cortar el flujo de tránsito vehicular temporalmente y podremos medir el sonido residual.
- (8) En caso de no poder medir el sonido residual, considerando fuentes fluctuantes, se puede utilizar el percentil L 90.

8.4. Medición del nivel sonoro de la fuente específica

Cuando se realiza mediciones, un objetivo es determinar el nivel de presión sonora de una fuente específica, es decir de una actividad que se percibe como ruido, esta fuente puede ser una máquina funcionando, las actividades de construcción, las actividades de ocio entretenimiento, las actividades comerciales y el flujo de tránsito vehicular, entre otros. Los pasos a considerar son:

- (1) Configurar el instrumento de medición con ponderación A (C si es necesario evaluar el contenido de frecuencias bajas de la fuente) en el dominio de la frecuencia y Fast(F)Slow (S) o Impulse (I) en el dominio del tiempo, según las características de la fuente sonora. Simultáneamente configurar todos los indicadores sonoros que se necesita evaluar y si es necesario la medición espectral por 1/3 de octava (los sonómetros de uso profesional pueden medir todos los indicadores y los espectros simultáneamente).
- (2) Realizar la calibración en el campo antes de empezar las mediciones, de ser necesario realizar los ajustes correspondientes.
- (3) Siempre que sea posible, el sistema de medición debe estar sobre una superficie reflectante.
- (4) Colocar la pantalla anti-viento adecuadamente, verificar que este bien ajustada al margen si la velocidad del viento no supere lo recomendado (3 m/s), la pantalla también protege al diafragma del micrófono del polvo. Así mismo, el micrófono debe estar orientado hacia la fuente sonora, formando un ángulo aproximado de 45° con la superficie horizontal.
- (5) El equipo de medición debe estar montado en un trípode, si es posible utilizar un cable de extensión para separar el micrófono del cuerpo del sonómetro, el propósito es evitar que el ruido generado por el operador del equipo influya en los resultados.
- (6) Proceder con la realización de las mediciones.
- (7) Presionar "pausa" en el sonómetro si percibe sonidos extraños diferentes a las fuentes sonoras evaluadas, si no es posible realizar "pausa" tome nota del tipo de ruido y la hora de ocurrencia del evento.
- (8) La medición sonora debe ser una representación correcta del aporte de la fuente sonora. Puede ser necesario medir entre 5 a 15 minutos para obtener una representación adecuada

de la fuente sonora, si esta fluctúa muy poco⁵. En algunos casos dependiendo del tipo de fuente y del periodo horario es necesario hasta 30 minutos⁶. Puede ser también, de acuerdo a las especificaciones de la autoridad ambiental correspondiente.

- (9) Los datos deben ser guardados en la memoria del sonómetro (todos los sonómetros ahora tienen esta prestación).
- (10) Vuelva a medir el sonido residual y promediar energéticamente con el sonido residual medido inicialmente si es que no hay mayor diferencia entre ambos, de lo contrario tomar el de menor valor.
- (11) verifique la calibración del sonómetro luego de las mediciones.

8.5. Corrección por sonido residual

Si el nivel sonoro de la fuente específica y el nivel sonoro residual difieren en 10 dB o más, no hay que aplicar correcciones. El valor medido es entonces valido[3].

Si el nivel sonoro de la fuente específica y el nivel sonoro residual difieren en 3 dB o menos no se permiten correcciones, porque la incertidumbre de la medición es grande. Sin embargo los niveles sonoros deben ser informados, declarando textualmente, en los gráficos, tablas y resultados que el valor medido no puede ser corregido para quitar el efecto del sonido residual[3].

Si el nivel sonoro de la fuente específica y el nivel sonoro residual difieren dentro del intervalo 3 dB a 10 dB (con ponderación A), la corrección se debe realizar empleando la siguiente ecuación general propuesta en la ISO 1996 [3].

$$L_{Corr} = 10 \log \left(10^{L_{(Fuente)}/10} - 10^{L_{(Residual)}/10} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

Dónde:

L_{Corr} Es el nivel de presión sonora corregido.

$L_{(Fuente)}$ Es el nivel de presión sonora medido de la fuente específica.

$L_{(Residual)}$ Es el nivel de presión sonora residual.

⁵Para el sonido constante de una fuente sonora como el de una unidad de aire acondicionado podría ser suficiente un registro de 5 minutos o menos, sin embargo para un sonido que varía regularmente con el tiempo podría ser necesario entre 10 a 15 minutos.

⁶Para un sonido que fluctúa demasiado con el tiempo (ejemplo: generado por el flujo de tráfico vehicular en el periodo noche), podría ser necesario entre 20 a 30 minutos, o en todo caso hasta que la lectura del sonómetro no fluctúe demasiado.

8.6. Corrección por reflexiones

Si las medidas fueron realizadas a menos de 2 m de la fachada de un edificio o una superficie vertical reflectante, se debe eliminar el efecto de reflexión aplicando una corrección de -3 dB(A).

9. INCERTIDUMBRES EN MEDICIONES DE NIVELES DE PRESIÓN SONORA

9.1. Medición de incertidumbres

Las incertidumbres determinadas para los niveles de presión sonora dependen de las fuentes sonoras, el intervalo temporal de las mediciones, la distancia a partir de la fuente al sonómetro, el método de medición y la instrumentación de acuerdo a los procedimientos de la GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM))[12,13]. Algunas directrices sobre como estimar las incertidumbres de las mediciones están puestas en Tabla 1, donde las incertidumbres de las mediciones son expresadas como incertidumbres expandidas basadas en una combinación de incertidumbres estandarizadas multiplicadas por un factor de cobertura⁷ (K) igual a 2, considerado así, para proveer una probabilidad de confianza aproximada de 95%[3,14,15].

Las incertidumbres en este documento están referidas solo para los niveles de presión sonora continua equivalente con ponderación "A". Pueden estimarse incertidumbres cuyos valores sean más elevados si se miden niveles de presión sonora máximos, niveles en bandas de frecuencia, y niveles con componentes de tonos puros.

Tabla 1. Resumen de las incertidumbres para L_{Aeq} [3].

Incertidumbre estándar (dB)				Incertidumbre estándar combinada σ_t (dB)	Incertidumbre expandida de la medición (dB)
Debido a la instrumentación (a)	Debido las condiciones de operación (b)	Debido al clima y las condiciones del suelo (c)	Debido al sonido residual (d)		
1,0	X	Y	Z	$\sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$	$\pm 2,0 \times \sigma_t$
(a) Solo para sonómetros de clase 1 que cumplen la IEC 61672-1:2002.					
(b) Debe ser determinado a partir de un mínimo de tres, y preferiblemente de 5 mediciones bajo condiciones de repetitividad (manteniendo el mismo procedimiento de medición, los mismos instrumentos, el mismo operador y el mismo lugar) y en una ubicación donde las condiciones meteorológicas tengan poca influencia en los resultados.					
(c) Los valores variarán dependiendo de la distancia de las mediciones, y las condiciones meteorológicas predominantes. Un método que utiliza una ventana meteorológica simplificada es provista en el Anexo A de la ISO 1996-2:2007 (en este caso $Y = \sigma_m$). Para mediciones en					

⁷En los informes de laboratorio, la probabilidad de cobertura deberá ser siempre declarada junto a la incertidumbre expandida.

periodos largos es necesario tratar con diferentes categorías meteorológicas por separado y luego combinarlas todas. Para mediciones en periodos cortos, las variaciones en las condiciones del suelo son pequeñas. Sin embargo, para mediciones en periodos largos, estas variaciones pueden incrementar considerablemente las incertidumbres de las mediciones.

(d) El valor variará dependiendo de la diferencia entre el valor total medido y el sonido residual [14,15].

Cuando se está midiendo el nivel de presión sonora de vehículos automotores, se debe de contar el flujo del mismo durante el intervalo de tiempo de medición. Es importante categorizar entre vehículos “pesados⁸” y “ligeros”. Para determinar si las condiciones de tráfico son representativas, se tiene que medir la velocidad promedio y observar el tipo de superficie de la vía.

El número de pasadas de vehículos necesarios para promediar la variación en la emisión de ruido vehicular depende de la exactitud requerida para el L_{eq} medido.

Si no se dispone de una mejor información, la incertidumbre estándar simbolizada por X en la Tabla 1 puede ser calculada por:

$$X \cong \frac{C}{n} \quad (2)$$

Dónde: n es el número vehículos por unidad de tiempo. Si el transito es mixto (pesados y ligeros) $C = 10$, si está compuesto solo por vehículos pesados (en mayor parte) $C = 5$ y para vehículos ligeros $C = 2,5$.

Cuando se calcule el L_{eq} para un intervalo de tiempo de referencia a partir de información de estadísticas de tráfico y de la medición de niveles equivalentes (LE) de sucesos aislados (vehículos que pasan en forma individual o fluctuante) el número de vehículos por categoría deberá ser 30.

Considerando otro tipo de fuentes sonoras, se debe utilizar información adicional [15].

Ejemplo de aplicación para el cálculo de la incertidumbre asociado a la medición de niveles sonoros:

En la tabla 1 se muestra los resultados de cinco (5) mediciones de nivel de presión sonora equivalente con ponderación A, correspondientes a un punto de evaluación de ruido ambiental (P1) bajo condiciones de repetitividad.

Durante las mediciones la temperatura promedio fue de 23°C, velocidad de viento promedio de 0,3 m/s y presión atmosférica de 1 bar. Siendo las condiciones meteorológicas favorables para la propagación del sonido.

Asimismo, se realizó el conteo de vehículos ligeros y pesados que transitaron por la vía.

⁸ Se considera vehículos pesados a aquellos que superan las 3,5 toneladas. Pueden haber subdivisiones de acuerdo a los objetivos del proyecto.

Se requiere estimar el nivel de presión sonora equivalente con ponderación A con su incertidumbre asociada.

Tabla 11: Resultados de las mediciones de nivel de presión sonora equivalente con ponderación A, en el punto de muestreo.

	LAeq, T (dBA)	Sonido residual – L90 (dBA)	Número de vehículos total
Medición 1	74,0	65,0	550
Medición 2	74,2	66,0	590
Medición 3	74,5	65,2	620
Medición 4	73,9	65,3	500
Medición 5	74,1	65,8	580

1. Determinación de la incertidumbre típica debido a la instrumentación.

Para la instrumentación clase 1 de la Norma IEC 61672-1_2002, la incertidumbre toma un valor de 1,0 dB

2. Determinación de la incertidumbre típica debido a las condiciones de funcionamiento

La incertidumbre típica viene dada por la siguiente expresión

$$X \cong \frac{C}{\sqrt{n}}$$

Para el tráfico vehicular compuesto por vehículos ligeros y pesados, C toma valor de 10.

n es el número total de vehículos que han pasado.

Para la medición 1, la incertidumbre típica debido a las condiciones de funcionamiento de la fuente es:

$$X \cong \frac{10}{\sqrt{550}} = 0,4 \text{ dB}$$

Siguiendo el mismo cálculo, en la tabla 2 se muestra la incertidumbre típica debido a las condiciones de funcionamiento de la fuente para cada una de las cinco (5) mediciones:

Tabla III. Incertidumbre asociada a al paso de vehículos por la vía.

	Número de vehículos total	Incertidumbre típica debido a las condiciones de funcionamiento de la fuente, X (dB)
Medición 1	550	0,4
Medición 2	590	0,4
Medición 3	620	0,4
Medición 4	500	0,4
Medición 5	580	0,4
\bar{X} (dB)	0,4	

Donde, \bar{X} representa la media de las incertidumbres típicas debido a las condiciones de funcionamiento de la fuente de las 5 mediciones.

3. Incertidumbre debido a las condiciones meteorológicas y del terreno (Y):

Para el cálculo de esta incertidumbre se analiza la influencia de las condiciones meteorológicas según la norma ISO 1996-2.

Los niveles de presión sonora varían en función de las condiciones meteorológicas, por lo que las mediciones se realizan en condiciones favorables, con el fin de comparar los resultados.

Para terrenos blandos esta variación es menor cuando se cumple la ecuación:

$$\frac{h_s+h_r}{r} \geq 0,1$$

h_s es la altura de la fuente,

h_r es la altura del receptor,

r es la distancia entre la fuente y el receptor.

Si el terreno es duro, se aceptan distancias mayores.

Como toda la superficie del terreno entre la fuente y la posición de medición es dura, la desviación típica inducida por las condiciones meteorológicas se puede omitir siempre y cuando no se forme ninguna sombra acústica, siendo el valor de esta incertidumbre, es decir, $Y = \sigma_m \cong 0,5 \text{ dB}$ hasta 25 m en situaciones "bajas" y hasta 50 m en "altas".

Donde una situación baja cumple las siguientes relaciones

$$h_s \geq 1,5 \text{ m y } h_r \geq 1,5 \text{ m o } h_s < 1,5 \text{ m y } h_r \geq 4 \text{ m}$$

Una situación baja cumple la siguiente relación:

$$h_s < 1,5 \text{ m y } h_r \leq 1,5 \text{ m}$$

4. Incertidumbre debido al sonido residual

La incertidumbre varía dependiendo de la diferencia entre los valores totales medidos y el sonido residual. Antes de comenzar a calcular el valor de la incertidumbre asociada, en primer lugar, se debe comprobar si la diferencia entre el nivel de presión sonora residual y el nivel de presión sonora medido está comprendida entre los 10 y 3 dB. De estar dentro de este rango se aplica la siguiente corrección:

$$L_{\text{corregido}} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{\text{total}}}{10}} - 10^{\frac{L_{\text{residual}}}{10}} \right)$$

Como ejemplo, para la primera medición el nivel corregido se calcula como sigue:

$$L_{\text{corregido}} = 10 \log \left(10^{\frac{74,0}{10}} - 10^{\frac{65,0}{10}} \right) = 73,4 \text{ dB}$$

La incertidumbre del nivel sonoro residual, Z se calcula en función de la incertidumbre del sonido corregido, σ_s y el nivel sonoro medido, σ_o

$$Z = \sqrt{\sigma_s^2 - \sigma_o^2}$$

Donde σ_s y σ_o son las desviaciones típicas del nivel de presión sonora corregido y el sonido residual. En la tabla 3 se muestra el cálculo de Z y $L_{\text{corregido}}$ para todas las mediciones del punto de evaluación.

Una vez conocido el valor de la incertidumbre del sonido residual Z , se obtiene la sensibilidad residual (C_r) de cada una de las mediciones mediante la siguiente expresión:

$$C_r = \frac{10^{L_{\text{residual}}/10}}{10^{L_{\text{corregido}}/10} - 10^{L_{\text{residual}}/10}}$$

Para la primera medición sería de la siguiente manera:

$$C_r = \frac{10^{65,0/10}}{10^{73,4/10} - 10^{65,0/10}} = 0,17$$

Luego de hallar la sensibilidad residual, se calcula el valor de Z para la primera medición:

$$S_r = Z \times C_{\text{residual}}$$

$$S_r = 0,14 \times 0,17 = 0,023$$

En la tabla 3 se muestra el cálculo de S_r para cada una de las mediciones.

Tabla 3: Cálculo de la incertidumbre debido al sonido residual.

	L _{Aeq, T} (dBA)	Sonido residual – L ₉₀ (dBA)	Diferencia entre el sonido total menos el sonido residual (dB)	L _{corregido} (dB)	Sensibilidad residual (C _r)	Incertidumbre del sonido residual $S_r = ZC_r$
M 1	74,0	65,0	9	73,4	0,17	0,023
M 2	74,2	66,0	8,2	73,5	0,22	0,029
M 3	74,5	65,2	9,3	74,0	0,15	0,021
M 4	73,9	65,3	8,6	73,3	0,19	0,026
M 5	74,1	65,8	8,3	73,4	0,21	0,028
σ_s	0,23	σ_o	0,27		$S_{r,promedio}$	0,025
Z	0,14					
Promedio L _{Aeq, T}	74,1					

5. Cálculo de la incertidumbre de la medición

Una vez halladas todas las incertidumbres típicas asociadas, se realiza el cálculo de la incertidumbre típica combinada mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_t = \sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$$

$$\sigma_t = \sqrt{1,0^2 + 0,4^2 + 0,5^2 + 0,025^2} = 1,2 \text{ dB}$$

Luego de calcular la incertidumbre típica combinada, se procede a calcular la incertidumbre expandida (U) para un 95% nivel de confianza.

$$U = \pm 2,0\sigma_t$$

$$U = \pm 2,0(1,2) = 2,4 \text{ dB}$$

En la tabla 4 se muestra el resumen de los resultados del cálculo de la incertidumbre de la medición.

Tabla 4. Cálculo de la incertidumbre expandida de la medición

Punto de muestreo	Incertidumbre típica				Incertidumbre típica combinada	Incertidumbre expandida
	Debida a la instrumentación (dB)	Debida a las condiciones de funcionamiento - X (dB)	Debido a las condiciones meteorológicas y del terreno -Y (dB)	Debido al sonido residual - Z (dB)	$\sigma_t = \sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2}$	$\pm 2,0\sigma_t$
P1	1	0,4	0,5	0,025	1,2	2,4

Se tiene que la incertidumbre expandida es de $\pm 2,4$ dB.

Por lo tanto, el resultado de la medición con su incertidumbre asociada es **74,1 \pm 2,4 dB**.

10. REPORTE TÉCNICO DE LOS RESULTADOS

La siguiente información debe de ser incluida dentro del Reporte Técnico de la evaluación, la misma que debe ser entregado a la autoridad o al solicitante del servicio.

- (1) La dirección y ubicación de los puntos de medición (fotografías en cada punto de medición);
- (2) El nombre de la persona encargada de realizar las mediciones;
- (3) La fecha y la hora de las mediciones;
- (4) La hora de inicio, la hora de finalización y duración de las mediciones;
- (5) El nombre del fabricante, el modelo, la clase, el número de serie, la fecha más reciente de calibración de laboratorio (no de campo), del instrumento utilizado para realizar mediciones sonoras:
- (6) Una descripción de la posición del sonómetro;
- (7) Condiciones meteorológicas existentes en el momento de haber realizado las mediciones, incluyendo la temperatura y la velocidad del viento;
- (8) Tipo de sonido que ha sido medido y las características del sonido;
- (9) Indicadores medidos, particularmente: $L_{Aeq,T}$, $L_{eq,T}$, $L_{Ceq,T}$, $L_{AF\max}$, $L_{AF\min}$, L_{Cpeak} , L_{Aeq} , L_{90} , L_{50} y L_{10} o solo aquellos necesarios para sustentar el objetivo de la evaluación. Es importante también medir el espectro por 1/3 de octava para evaluar la presencia de componentes de sonido en frecuencias bajas (con filtro de ponderación C y lineal Z) y el contenido tonal que deben ser reportados (es posible que el análisis espectral no sea necesario en zonas no urbanas);
- (10) Ponderación en el dominio de la frecuencia utilizada en cada medición;
- (11) Ponderación en el dominio del tiempo utilizada en cada medición;
- (12) Naturaleza y duración de cualquier sonido extraño presente dentro del periodo de medición;
- (13) Cualquier otro dato que considere apropiado.

- (14) Adjuntar una copia del certificado de calibración, solo si está autorizado por el laboratorio de calibración, o de lo contrario puede mostrar los certificados originales a la autoridad ambiental correspondiente.

11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- |
- [1] Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, *Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido*.
 - [2] ISO 1996-1:2003, *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures*.
 - [3] ISO 1996-2:2007, *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels*.
 - [4] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, *Sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*.
 - [5] Department of Environment Ministry of Natural Resources and Environment Malaysia, *The planning guidelines for environmental noise and control*. Kuala Lumpur, Malaysia, 2007.
 - [6] Environmental Protection Agency (EPA), *Environmental Noise Survey Guidance Document*. Dublin, Ireland, 2003.
 - [7] IEC 61672-1:2002, *Electroacoustics - Sound Level Meters - Part 1: specifications*.
 - [8] IEC 61260:1995, *Electroacoustics - Octave-band and fractiona -l octave band filters*.
 - [9] Environment Division Department of Environment, Parks, Heritage and the Arts, *Noise Measurement Procedures Manual*. Tasmania, Australia, 2008.
 - [10] IEC 60942:2003, *Electroacoustics - Sound calibrators*.
 - [11] Brüel & Kjær, *Environmental noise*, 1st ed., Brüel & Kjær, Ed. Copenhagen, Denmark, 2001.
 - [12] Richard Payne, "Uncertainties associated with the use of a sound level meter," National Physical Laboratory, Queens Road, Teddington, Middlesex, UK, TW11 0LW, Technical NPL Report DQL-AC 002, 2004.
 - [13] Mar Pérez Hernández, "Estimación de incertidumbres. Guía GUM," *Revista Española de Metrología*, vol. 1, pp. 113-130, Diciembre 2012.
 - [14] Douglas Manvell, Erik Aflalo, "Uncertainties in Environmental Noise Assessments-ISO 1996, Effects of Instrument Class and Residual Sound," in *ForumAcusticum*, Budapest, 2005.
 - [15] Momir Prašćević, Dragan Cvetković, Darko Mihajlov, "THE UNCERTAINTY SOURCES IN ENVIRONMENTAL NOISE MEASUREMENTS AND THE UNCERTAINTY ESTIMATION," *Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 183-192, 2011.
 - [16] Patrick Elias and Michel Villot, *Review of existing standars, regulations and guidelines, as well as laboratory and field studies concerning human exposure to vibration*. RIVAS Project, 2012.

[17] Möller H., Pendersen C.S., "Hearing at low and infrasonic frequencies.," *Noise & Health*, vol. 6, pp. 37-57, 2004.

[18] Małgorzata Pawlaczyk-Luszczyńska , Adam dudarewicz , Małgorzata Waszkowska , Wiesław Szymczak and Mariola Śliwińska-Kowalska, "The impact of low frequency noise on human mental performance," *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, vol. 18, no. 2, pp. 185-198, 2005.

[19] Birgitta Berglund, Peter Hassmén and R. F. Soames Job, "Sources and effects of low-frequency noise," *J. Acoust. Soc. Am*, vol. 99, no. 5, pp. 2885-3002, May 1996.

[20] Geoff Leventhall, *A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects*, Food and Rural Affairs Published by the Department for Environment, Ed. London, England: Defra, 2003.

ANEXO A

A.1 Glosario de términos acústicos

A efectos de aplicar los procedimientos de este protocolo, se definen los siguientes términos técnicos.

Acústica. Ciencia que estudia la formación, propagación, recepción y propiedades del sonido.

Calibrador acústico. Es el instrumento normalizado utilizado para verificar la exactitud de la respuesta acústica de los instrumentos de medición (sonómetro).

Contaminación sonora. La contaminación sonora se define como la presencia en el ambiente de sonidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente.

Decibel A (dBA). Unidad adimensional del nivel de presión sonora medido con el filtro de ponderación A, que permite registrar dicho nivel de acuerdo al comportamiento de la audición humana.

Descriptor de ruido. Índice cuantitativo utilizado para identificar una medición específica del nivel de presión sonora.

Emisor acústico. Cualquier actividad, infraestructura, equipo, maquinaria o comportamiento que genere contaminación acústica.

Estándar de calidad ambiental (ECA). (Ley 28611 General del Ambiente) Es la medida que establece el nivel de concentración⁹ o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Es decir, el objetivo de calidad ambiental de los cuerpos receptores¹⁰.

Evaluar. Según el Diccionario de la Real Academia Española (RAE), es dar valor, señalar o calcular el valor de algo. Por lo tanto una evaluación acústica es una acción valorativa sobre un fenómeno acústico considerado.

Límite máximo permisible (LMP). (Ley 28611 General del Ambiente) Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano

⁹ En otras palabras los ECA nos dice “que tan limpio está” nuestro ambiente.

¹⁰ Los ECA pueden ser utilizados de varias formas con el fin de proteger el medio ambiente y la salud humana: (1) para determinar si un lugar está contaminado; (2) para determinar si un ambiente ha sido adecuadamente limpiado o controlado; (3) para controlar la reubicación de actividades así evitar la contaminación de otros lugares; y (4) para ayudar a identificar los riesgos potenciales en la seguridad y la salud tal como la contaminación sonora.

y al ambiente (cuerpo receptor¹¹) se obtiene midiendo directamente de la fuente contaminadora. Su cumplimiento es exigible legalmente por la autoridad competente¹².

Medir. La mejor definición de acuerdo Diccionario de la Real Academia Española (RAE), es comparar algo no material con otra cosa. Por lo tanto medir es obtener datos sin realizar ninguna valoración.

Ruido. Es todo sonido inarticulado y desagradable que suele causar una sensación de molestia, debido a la carga subjetiva de las personas, el concepto de ruido no depende de la amplitud ni de la frecuencia.

Sonido. Es un movimiento vibratorio generado por la perturbación de un sistema, se transmite, a través de un medio material elástico, generalmente el aire, por medio de ondas mecánicas longitudinales, percibido por el sentido del oído. La captación del sonido depende de la frecuencia de la vibración.

Sonido de frecuencia baja. Sus principales componentes están contenidos dentro del rango de frecuencias bajas.

Sonido específico. Es el componente del sonido total que puede ser identificado específicamente y que está asociado con una fuente sonora específica.

Sonido fluctuante: Es el sonido continuo, en el cual el nivel de presión sonora varía significativamente, pero no de una manera impulsiva, durante el periodo de observación.

Sonido intermitente: Son los sonidos que están presentes en la ubicación del observador solo durante ciertos periodos de tiempo que ocurren a intervalos de tiempo regulares o irregulares, y son tales que la duración de cada una de estas ocurrencias es más que 5 s.

Sonido impulsivo: Es el sonido caracterizado por pulsos individuales de corta duración de presión sonora.

Sonido residual: Es el sonido total que permanece en una posición y situación dada, cuando los sonidos específicos bajo consideración son suprimidos.

Sonido tonal. Es el sonido caracterizado por una sola componente de frecuencia o componente de banda estrecha que se destaca audiblemente del sonido total.

Sonómetro. Instrumento que es utilizado para la medición del nivel de la presión sonora, con ponderación en el dominio de la frecuencia y ponderación temporal exponencial promedio estandarizada, de acuerdo a las Normas IEC 61672 (todas sus partes) o aquellas que la sustituyan.

Trazabilidad. Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

¹¹ Como se indica textualmente “cuerpo receptor” es aquel entorno (agua, aire o suelo) que recibe una emisión de ruido proveniente de una actividad determinada.

¹² La diferencia legal establecida entre LMP y ECA es, que mientras que los LMP son de exigencia a toda actividad productiva o no que genere ruido, en cambio los ECA no lo son, a menos que se demuestre que existe causalidad una persona jurídica (el causante de la contaminación) y la transgresión de dichos estándares (el efecto, revítese los artículos 31.4 y 32 de la ley 28611).



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



PROGRESO
PARA TODOS