

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE
IMPACTO ACÚSTICO EN EL ENTORNO DE
INSTALACIONES INDUSTRIALES SEGÚN
SU AAI**

**(Methodology for acoustic study impact on
industrial facilities environment and its
assessment following AAI)**

Para acceder al Título de

***Graduado en
Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación***

Autor: M^a Cristina Sánchez Pardo

Octubre - 2020

ÍNDICE

1. OBJETIVOS	6
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1 Gestión del ruido ambiental	7
2.2 Marco legislativo. Normativas de aplicación.....	8
2.2.1 Ámbito Comunitario	9
2.2.2 Ámbito Estatal	10
2.2.3 Ámbito Autonómico	12
2.2.4 Ámbito Local	13
2.3 RD 1367/2007 de 19 de octubre de 2007	13
2.3.1 Zonificación Acústica del territorio	14
2.3.2 Períodos del día	14
2.3.3 Parámetros de evaluación	15
2.3.4 Objetivos de Calidad Acústica (OCA)	16
2.4 Consideraciones generales sobre el ruido	19
1.1.1 ¿Qué es el sonido?.....	19
2.4.1 ¿Qué es el ruido?	20
2.4.2 Conceptos básicos	20
2.5 Software de gestión sonora integral de plantas industriales.....	31
2.5.1 Algoritmos utilizados.	32
2.5.2 Validación de los cálculos.	32
2.5.3 Tratamiento de las medidas.....	32
2.5.4 Tipologías de análisis soportadas.....	33
3. LA METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO ACÚSTICO	34
3.1 Metodología de trabajo.....	34
3.1.1 Estudio de la instalación a inspeccionar.....	34
3.1.2 Planificación de las campañas de medidas	38
3.1.3 Campaña de medidas. Registro y tratamiento de datos.....	43
4. EL ESTUDIO ACÚSTICO	50
4.1 Requisitos para la elaboración de un informe	50
4.1.1 Requisitos comunes para los informes (ensayo, calibración o muestreo). 50	
4.1.2 Requisitos específicos para los informes de ensayo.	51

4.1.3	Información de muestreo – requisitos específicos	51
4.1.4	Información sobre declaraciones de conformidad	51
4.2	Elaboración de un estudio acústico.....	52
4.2.1	Tapa y portada.....	52
4.2.2	El cuerpo del informe	52
4.2.3	Emisión de resultados	53
4.2.4	Anexos	54
5.	CONCLUSIONES.....	56
6.	BIBLIOGRAFÍA	57
7.	ANEXOS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de competencias del sistema normativo	9
Figura 2: Criterios de Comparación según RD1367/2007	16
Figura 3: Banda fina vs Banda 1/1 octava	21
Figura 4: Análisis de un mismo sonido en las diferentes bandas de octava.	22
Figura 5: Propagación direccional	24
Figura 6: Propagación omnidireccional	24
Figura 7: Presión sonora frente a NPS	26
Figura 8: Curvas isofónicas	27
Figura 9: Curvas de los filtros presentes en los equipos de medida	27
Figura 10: Ejemplo de cálculo de Leq de 24h	29
Figura 11: Distribución de los períodos día, tarde y noche.....	30
Figura 12: Ejemplo de LAeqT,i de una medida, visto en el software de análisis.....	33
Figura 13: Ejemplo de AAI	35
Figura 14: Plano usos del suelo ciudad de Santander	37
Figura 15: Ejemplo de Sonómetro	44
Figura 16: Ejemplo de pistófono	44
Figura 17: Ejemplo de calibrador acústico	44
Figura 18: Ejemplo de un mapa de puntos de control (entorno urbano EURx).....	45
Figura 19: Ejemplo de un mapa de puntos de control (entorno industrial PERx).....	46
Figura 20: Modelo de hoja de campo utilizada en el registro de medidas in situ	48
Figura 21: Casos establecidos por ENAC para emisión de resultados.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes.....	11
Tabla 2: Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias.....	12
Tabla 3: Valores de los índices de ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes en el exterior	17
Tabla 4: Valores de los índices de ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes en el interior	17
Tabla 5: Valores de los índices de ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes en el interior	18
Tabla 6: Valores de los índices de ruido CORREGIDOS aplicables a nuevas instalaciones	19
Tabla 7: Valores normalizados de bandas 1/1 octava y 1/3 octava	21
Tabla 8: Ejemplo de niveles de potencia sonora	25
Tabla 9: Ajuste de frecuencias según red de ponderación utilizada.....	28
Tabla 10: Índices de ruido para el criterio de Emisores/Nuevas actividades.....	41

1. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto será desarrollar un protocolo para el estudio del impacto acústico que las instalaciones industriales ejercen sobre su entorno, mediante la realización de medidas conforme a las normativas de aplicación en materia de ruido que rige a cada instalación.

La forma en la que se va a perseguir este objetivo será partiendo del estudio de la naturaleza de la instalación y su entorno, seguido de una planificación de trabajos a realizar, que conllevará desde la búsqueda de normativas de aplicación que rigen la instalación a inspeccionar en cuanto a ruido, la planificación de las campañas de medidas donde se realizarán las medidas in situ, así como el posterior tratamiento de los datos en el laboratorio, recogidos mediante la toma de medidas, los cuales tras ser analizados, nos permitirán emitir cumplimiento o incumplimiento de la instalación inspeccionada respecto a su normativa de aplicación.

A modo de ejemplo, para realizar el tratamiento de los datos obtenidos mediante las campañas de medidas in situ, se utilizará como herramienta un software de diseño propio Acoustic Office NA-NL, con el que se calcularán los parámetros necesarios para poder establecer comparativas entre la influencia sonora de la central a su entorno y los límites marcados por su normativa de aplicación en materia de ruido, mediante el análisis de las medidas tomadas in situ durante las campañas de medidas una a una.

Para ello, se van a revisar consideraciones generales sobre ruido donde se hablará sobre todos aquellos parámetros que se van a tener en cuenta más adelante en esta memoria, cuando se describa el proceso de análisis. Se hablará también de las diferentes normativas de aplicación y de las variantes de estas, que afectarán al criterio de comparación de los valores obtenidos para la emisión de resultados y se dedicará un apartado más adelante a explicar la forma en que se planifican las campañas de medidas para la toma de muestras y la forma en que se realizan para dar cumplimiento al criterio establecido de toma de medidas.

Por último, se explicará bajo qué criterios se podrá emitir una conclusión en la que se establezca si, la instalación objeto de estudio, cumple o no la normativa que le resulte de aplicación.

2. INTRODUCCIÓN

En este capítulo de la memoria se documentará sobre todo aquello que sea necesario saber antes de entrar en profundidad en temas técnicos del proyecto, normativas de aplicación en el caso de instalaciones industriales, al ser estas las que resultan de estudio en este trabajo, parámetros de caracterización de ruido, tipos de áreas acústicas, procedimiento de análisis, software de análisis... etc.

2.1 Gestión del ruido ambiental

La preocupación en Europa por la contaminación sonora aparece a mediados del siglo pasado. En el proceso de recuperación de los efectos de la II Guerra Mundial se incrementa el tráfico de personas y mercancías, apareciendo una red creciente de fuentes de ruido que se expande por todo el territorio, a la que hay que añadir otros focos ruidosos como es el incremento de la actividad industrial y de recreo. Desde entonces, más y más ciudadanos se han visto afectados por niveles sonoros cada vez más elevados. Aunque la contaminación sonora inicialmente se consideró una consecuencia no deseada del progreso, conforme ha ido aumentando la molestia sonora ha aumentado la sensibilidad ciudadana y la necesidad de su control.

Aunque previamente existieron intentos tímidos de control normativo sobre la contaminación sonora, es con el ingreso en la Comunidad Económica Europea cuando la necesidad de armonizar las normativas nacionales con los textos normativos comunitarios marca un punto de inflexión claro en nuestro país.

La molestia asociada con la contaminación sonora debe considerarse un fenómeno subjetivo, estando las valoraciones ciudadanas muy influenciadas por aspectos locales. En un esfuerzo por generalizar, históricamente la molestia sonora ha presentado una clasificación encabezada claramente por el ruido de los medios de transporte rodado, seguida a una distancia clara por el ruido asociado con el tráfico aeroportuario y de ferrocarriles, y en tercera posición por el ruido asociado con la actividad industrial.

En este proyecto nos vamos a centrar en la gestión del ruido ambiental asociado con la actividad industrial. La problemática asociada con el ruido ambiental de la actividad industrial no presenta una extensión geográfica extensa, como puede presentar el ruido ambiental asociado con el tráfico rodado, pero presenta un grado de intensidad en su molestia muy elevado. De forma similar a lo que ocurre en las inmediaciones de los aeropuertos, el ruido ambiental de origen industrial genera molestias muy elevadas en un entorno relativamente reducido.

Aunque posteriormente se ampliarán con más detalle las medidas de actuación contempladas por las diferentes normativas para solucionar las problemáticas asociadas con la contaminación sonora de origen industrial resulta fundamental contemplar los siguientes aspectos:

- Es necesario abordar el problema de la contaminación acústica desde un planteamiento global, realizando estudios basados, tanto en promedios de funcionamiento anuales como en situaciones puntuales máximas, y planificando actuaciones de mejora sobre las fuentes sonoras predominantes.
- En aquellos casos en los que se no se cumpla con valores razonables establecidos, deberá definirse un plan de acción que permita cumplir con valores razonables. Este plan incluirá la realización de modelos teóricos de funcionamiento y la simulación de mejoras encaminadas a la reducción sonora hasta valores aceptables.
- A la hora de evitar problemas futuros se manifiesta la obligación de incorporar la gestión del ruido a la planificación urbanística lo que debe ser tenido en cuenta para los nuevos desarrollos. La planificación de los usos del suelo se ha manifestado a lo largo de los años como la herramienta más útil en la reducción de la molestia sonora, aunque desgraciadamente es también la menos utilizada.

2.2 Marco legislativo. Normativas de aplicación

En este apartado se pretende exponer mediante un breve resumen, aquellas referencias legislativas existentes en materia de ruido ambiental, prestando especial atención en aquellos puntos que afecten más directamente a las administraciones locales, así como el papel a desarrollar por parte de cada comunidad autónoma.

Para explicarlo, se deben conocer las reglas estructurales del sistema normativo, que son:

- Principio de jerarquía normativa
- Principio de distribución de competencias y prevalencia
- Principio de procedimiento
- Principio de sucesión cronológica

En la Constitución Española, se garantiza la jerarquía normativa en su artículo 9.3 que ya estaba recogido en el código civil en que se dice que “Carecerán de validez las disposiciones que contradigan otra de rango superior”

En la actualidad las diferentes administraciones se encuentran en un proceso de regularización de sus normativas. Este proceso se inicia con la aparición de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre Evaluación y Gestión de Ruido Ambiental y la adecuación a esta directiva de las diferentes normativas de aplicación en los estados miembros.

En la década de los 90 las administraciones locales dieron el primer paso para afrontar los problemas de contaminación acústica mediante la promulgación de Ordenanzas Municipales. Este proceso provocó la aparición de un gran número de ordenanzas municipales con procedimientos de medida y evaluación dispares.

Para ordenar esta dispersión de normativas, las administraciones autonómicas promulgaron en un primer momento normativas en forma de Ordenanza Municipal Tipo, que los ayuntamientos podían asumir como propias.

Tras la aparición de la Directiva 2002/49/CE, y tras la indefinición de la Ley 37/2003 del 17 de noviembre de 2003 que transponía dicha Directiva al derecho interno, algunas administraciones autonómicas promulgaron normativas de obligado cumplimiento en su territorio. Estas normativas eran de mayor rango que las ordenanzas municipales, motivo este que obligaba a dichas ordenanzas a cumplir como mínimo lo descrito en las normativas autonómicas.

Esta situación normativa se ha mantenido hasta la aparición del Real Decreto RD1367/2007, del 19 de octubre de 2007. Este Real Decreto acaba con la indefinición que durante años ha afectado a las normativas que a nivel nacional abordaban las molestias por contaminación acústica.

En el RD 1367/2007 se definen índices de ruido y de vibraciones, sus aplicaciones, efectos y molestias sobre la población y su repercusión en el medio ambiente; se delimitan los distintos tipos de áreas y servidumbres acústicas definidas en el artículo 10 de la Ley 37/2003; se establecen los objetivos de calidad acústica para cada área, incluyéndose el espacio interior de determinadas edificaciones; se regulan los emisores acústicos fijándose valores límite de emisión o de inmisión así como los procedimientos y los métodos de evaluación de ruidos y vibraciones.

La aparición del RD 1367/2007 obliga al resto de normativas de menor rango, ya sean autonómicas o locales, a un proceso de regularización para ser consistentes con lo expuesto en dicho Real Decreto. Este proceso ya se ha llevado a cabo en algunas comunidades autónomas y ayuntamientos. Sin embargo, más de una década después de, en muchas administraciones el proceso sigue aún pendiente. Este hecho, que a en la mayoría de los casos no debe considerarse motivado por la desidia o por la lentitud burocrática, pone de manifiesto lo extremadamente delicado que es intentar regularizar los problemas asociados con

la contaminación sonora. Para entender este extremo, basta contemplar que la contaminación sonora es un subproducto no deseado del progreso económico.

En la actual situación normativa, los entes autonómicos y locales podrán legislar sobre los problemas relacionados con la Protección del Medio Ambiente contra ruidos y vibraciones, siempre y cuando los parámetros de medida, los procedimientos de evaluación, los periodos horarios de evaluación y las diferentes zonas en que se divide el uso del suelo no se vean modificados. En cuanto a los objetivos de calidad acústica, estas administraciones tienen libertad de fijar objetivos siempre que sean más estrictos que los establecidos en la normativa de ámbito nacional.

En materia de medio ambiente la distribución de competencias se muestra mediante la siguiente ilustración:



Figura 1: Distribución de competencias del sistema normativo

2.2.1 Ámbito Comunitario

En materia de ruido es necesario tener en cuenta que la Unión Europea ha hecho uso de sus competencias compartidas mediante la aprobación de la **Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental**.

El objetivo de esta Directiva a nivel europeo establece el primer movimiento con el fin de establecer un enfoque común para tomar en cuenta la problemática del ruido ambiental, dice lo siguiente en sus Artículos:

Artículo 1

Objetivos

1. La presente Directiva tiene por objeto establecer un enfoque común destinado a evitar, prevenir o reducir con carácter prioritario los efectos nocivos, incluyendo las molestias, de la exposición al ruido ambiental. Con este fin, se aplicarán progresivamente las medidas siguientes:

- a) la determinación de la exposición al ruido ambiental, mediante la elaboración de mapas de ruidos según métodos de evaluación comunes a los Estados miembros;
- b) poner a disposición de la población la información sobre el ruido ambiental y sus efectos;
- c) la adopción de planes de acción por los Estados miembros, tomando como base los resultados de los mapas de ruidos, con vistas a prevenir y reducir el ruido ambiental siempre que sea necesario y, en particular, cuando los niveles de exposición puedan tener efectos nocivos en la salud humana, y a mantener la calidad del entorno acústico cuando ésta sea satisfactoria.

2. Asimismo, la presente Directiva tiene por objeto sentar unas bases que permitan elaborar medidas comunitarias para reducir los ruidos emitidos por las principales fuentes, en particular vehículos e infraestructuras de ferrocarril y carretera, aeronaves, equipamiento industrial y de uso al aire libre y máquinas móviles. Con este fin, la Comisión deberá presentar al Parlamento Europeo y al Consejo, a más tardar el 18 de julio de 2006 las propuestas legislativas oportunas. Dichas propuestas deberían tener en cuenta los resultados del informe a que se refiere el apartado 1 del artículo 10

Artículo 2

Ámbito de aplicación

1. *La presente Directiva se aplicará al ruido ambiental al que estén expuestos los seres humanos en particular en zonas urbanizadas, en parques públicos u otras zonas tranquilas en una aglomeración, en zonas tranquilas en campo abierto, en las proximidades de centros escolares y en los alrededores de hospitales, y en otros edificios y lugares vulnerables al ruido.*
2. *La presente Directiva no se aplicará al ruido producido por la propia persona expuesta, por las actividades domésticas, por los vecinos, en el lugar de trabajo ni en el interior de medios de transporte, así como tampoco a los ruidos debidos a las actividades militares en zonas militares.*

2.2.2 Ámbito Estatal

A nivel estatal, se ha efectuado la transposición de la Directiva 2002/49/CE mediante la Ley 37/2003 de 17 de noviembre del Ruido. Esta Ley ha sido desarrollada mediante la publicación de los RD 1513/2005 en lo referente a evaluación y gestión del ruido ambiental y RD 1367/2007 en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

1. **Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido**

Esta Ley configura la normativa marco sobre el ruido a nivel estatal y tiene por objeto prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, para evitar y reducir los daños en la salud que puedan derivarse de la misma. Esta Ley estatal, solo es aplicable a determinados emisores acústicos, como pueden ser por ejemplo las actividades comerciales, industriales o de servicio, sus instalaciones, carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos.

Según la Ley 37/2003 están sujetos a sus disposiciones todos los emisores acústicos, tanto de titularidad pública como privada además de las edificaciones como receptores acústicos, sin embargo, excluye las actividades domésticas o vecinales de su ámbito de aplicación, al igual que hace la Directiva 2002/49/CE. Distingue por lo tanto entre la contaminación acústica generada por las actividades sometidas a intervención de las administraciones públicas de la producida por las actividades domésticas o del comportamiento vecinal.

- a. Actividades sometidas a intervención de la administración pública: la Ley 37/2003 establece una nueva clasificación de las diferentes áreas acústicas, las cuales han de ser determinadas por cada Comunidad Autónoma, y los objetivos de calidad acústica aplicables a cada una de estas áreas. Se establecen medidas para la prevención y la corrección de la contaminación acústica.

Se han aprobado dos reales decretos que desarrollan la Ley 37/2003 del ruido para así facilitar su aplicación y completar la transposición hecha de la Directiva 2002/49/CE.

2. **Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre**

Este Real Decreto tiene como objeto desarrollar la Ley 37/2003 en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental estableciendo un marco básico destinado a evitar, prevenir o reducir con carácter prioritario los efectos nocivos, incluyendo las molestias de la exposición al ruido ambiental y completar la incorporación a nuestro ordenamiento jurídico de la Directiva 2002/49/CE.

Establece, por parte de las administraciones competentes, la obligatoriedad de realizar mapas estratégicos de ruido para cumplir con lo establecido en la Directiva 2002/49/CE, en un plazo que no superará la fecha del 30 de junio de 2010 y renovándose cada 5 años.

En el artículo 10, establece que las administraciones competentes deberán tener elaborados planes de acción dirigidos a solucionar en sus territorios cuestiones relativas al ruido y sus efectos, así como su reducción en los casos en los que así se requiera.

Más adelante, en el artículo 13 establece un plan de seguimiento mediante sistemas de control que aseguren la correcta aplicación de los métodos y procedimientos de evaluación que en este RD se establecen.

En sus anexos establece los índices de ruido que han de ser utilizados, los métodos de evaluación de estos índices, así como de los efectos nocivos de estos. También aparecen descritos los requisitos mínimos que han de tener conformar los planes de acción y la información que ha de comunicarse al Ministerio de Medio Ambiente.

3. **Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre**

Es con este Real Decreto con el que se comienza a abordar de forma clara y decidida el problema de la contaminación sonora ambiental en nuestro país. Es en este Real Decreto donde se desarrolla por completo la Ley 37/2003 del ruido en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Aborda el resto de los panoramas no contemplados en la ley del ruido.

Establece cuales son los índices para la evaluación del ruido y las vibraciones, en los diferentes períodos de evaluación de los objetivos de calidad acústica y los valores límite que los emisores acústicos deben cumplir.

Este Real Decreto, establece dos criterios diferenciados a la hora de evaluar los niveles sonoros existentes en un entorno debido a una instalación. Estos criterios hacen referencia a dos situaciones:

- **Situaciones Existentes:** Este criterio se define para evaluar las situaciones acústicas de instalaciones existentes antes de la fecha entrada en vigor⁶ de la normativa de aplicación. Es de aplicación para evaluar las situaciones de las áreas urbanizadas existentes. En estas situaciones se define un Criterio de Objetivos de calidad acústica aplicables a áreas acústicas.
- **Nuevas Actividades:** para evaluar las nuevas instalaciones se establece un criterio de evaluación específico para estas situaciones. La consideración de nueva actividad es aplicable a aquellas actividades que iniciaron la tramitación de las actuaciones de intervención administrativa contempladas en el artículo 18 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, con fecha posterior al 23 de octubre de 2007.

a) *Situaciones Existentes. Criterio de Objetivos de Calidad Acústica*

Aunque los Objetivos de calidad están pensados para evaluar las condiciones sonoras existentes en un emplazamiento, independientemente del emisor o emisores que contribuyan a dichos niveles, la falta de criterio para instalaciones o actividades existentes hace que este criterio se utilice para evaluaciones de actividades existentes (a través de Autorizaciones Ambientales Integradas). El periodo de evaluación es un periodo anual.

Aunque la aplicación de este criterio puede variar en función de las administraciones que lo apliquen, en estos casos se evalúa la instalación como emisor sonoro, considerando su contribución sonora individual al entorno. Los límites de emisión para la instalación vienen definidos por los objetivos de calidad en función del uso del suelo y el periodo de evaluación. La normativa de aplicación define para los diferentes usos y periodos los siguientes límites:

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L _d	L _e	L _n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	75	75	65
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1)	(2)	(2)	(2)

Tabla 1: *Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes*

(1) En estos sectores del territorio se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor

incidencia acústica de entre las mejoras técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a) del artículo 18.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

- (2) En el límite de estos sectores del territorio no se superarán los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de las áreas colindantes con ellos.

La normativa de aplicación determina que se considera el cumplimiento de los objetivos de calidad, en el periodo de un año, cuando:

- a) Ningún valor supera los valores fijados en la anterior tabla.
- b) El 97% de todos los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados en la anterior tabla.

b) Nuevas Actividades. Criterio de emisores / Actividades

Este criterio está definido para evaluar la contribución única de un emisor, en este caso actividad, en un determinado emplazamiento y periodo. Es importante resaltar que este criterio sólo puede aplicarse sobre actividades que tengan la consideración de nuevas por la normativa de aplicación. La normativa de aplicación define para los diferentes usos y periodos los siguientes límites:

	Tipo de área acústica	Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	55	55	45
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	60	60	50
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	65	65	55
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	68	68	58
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	70	70	60

Tabla 2: Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias

La normativa de aplicación determina que, a efectos de inspección de actividades en funcionamiento, se considera que se respetan los valores límite de inmisión de ruido cuando se cumple que:

- a) Ningún valor diario de cualquiera de los tres periodos (día, tarde o noche) supera en más de 3 dB(A) los valores de la tabla anterior.
- b) Ningún valor de las medidas tomadas, supera en 5dB(A) los valores de la tabla anterior.

2.2.3 Ámbito Autonómico

Las comunidades autónomas, partiendo de la Ley 37/2003 del ruido y los Reales Decretos que desarrollan esta Ley (RD1513/2005 y RD1367/2007) tienen la obligación de desarrollar sus propias Leyes Autonómicas en materia de control del ruido.

Las autonomías, a la hora de hacer sus propias leyes, deben respetar la Ley 37/2003 a nivel estatal, la cual resulta ser de obligado cumplimiento en todo el estado español, y sus valores límite, si bien pueden establecer valores límite más rigurosos, lo que significa que cada autonomía puede solicitar que los emisores acústicos que se encuentren bajo su competencia, debe cumplir al menos con los valores límite establecidos en el RD1367/2007 en su Anexo II, o valores más restrictivos si así lo considera necesario, lo que nunca podrá ser realizar una Ley Autonómica más permisiva que la Ley Estatal.

Las Autonomías, pueden redactar sus leyes autonómicas, tan solo asumiendo la Ley estatal, redactando una nueva basada en la Ley a nivel estatal con matices o algunos cambios o simplemente, basándose en la Ley 37/2003 redactar una Ley completamente diferente pero siempre más restrictiva que la Ley del ruido a nivel estatal.

En caso de que una comunidad autónoma, no tenga una ley adaptada a la Ley 37/2003, será esta Ley estatal la que resultará de aplicación, ya que, como se expone en su "**Disposición derogatoria única**,

Derogación normativa. Quedan derogadas cuantas disposiciones de igual o menos rango se opongan a lo dispuesto en esta ley”.

Las comunidades autónomas que han establecido una regulación de la contaminación acústica mediante ley y que están vigentes son las siguientes:

- **Galicia:** Ley 16/2015, de 9 de julio, sobre contaminación acústica en Galicia.
- **Illes Balears:** Ley 1/2007, de 16 de marzo, contra la contaminación acústica de las Illes Balears.
- **Aragón:** Ley 7/2010, de 18 de noviembre, de protección contra la contaminación acústica de Aragón.
- **Cataluña:** Ley 15/2002, de 28 de junio, desarrollada por el Decreto 176/2009, de 10 de noviembre, de protección contra la contaminación acústica.
- **Andalucía:** Decreto 6/2012 de 17 de enero, por el que se aprueba el reglamento de protección contra la contaminación acústica en Andalucía.
- **Castilla y León:** Ley 5/2009, de 4 de junio, del ruido de Castilla y León.
- **Comunidad de Madrid:** Decreto 55/2012, de 15 de marzo, del consejo de gobierno por el que se establece el régimen legal de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid.
- **Región de Murcia:** Ley 4/2009, de 14 de mayo, de protección ambiental integrada.
- **País Vasco:** Decreto 213/2012, de 16 de octubre, de contaminación acústica de la Comunidad Autónoma del País vasco.

2.2.4 Ámbito Local

En el ámbito local, resulta de aplicación la ordenanza Municipal (OM) a tal efecto redactada por el ayuntamiento en cuestión al que pertenece la ubicación geográfica en la que se encuentre la instalación que vaya a ser inspeccionada.

Una ordenanza municipal debe ceñirse a la legislación autonómica, si la hubiese, de modo que sus criterios sean o los mismos o más restrictivos. En caso de que un ayuntamiento decida desarrollar una ordenanza municipal en materia de ruido y no existiese ley autonómica al respecto, esta OM debería referirse a la ley de aplicación a nivel estatal Ley 37/2003 del Ruido y sus Reales Decretos, RD1513/2005 y RD1367/2007, o más restrictiva.

En caso de que exista una OM de aplicación, adaptada a la ley a nivel nacional vigente, en última instancia esta deberá ser la normativa de aplicación a la hora de inspeccionar una instalación en materia de ruido. Existen múltiples ayuntamientos dentro del territorio español que han desarrollado sus propias ordenanzas municipales en materia de ruido puesto que, cada vez, se le está dando a la contaminación acústica la importancia que esta merece y es por ello que los ayuntamientos endurecen y actualizan sus OM de modo que los ciudadanos que allí residan no se vean afectados por los efectos que esta contaminación acarrea sobre ellos.

2.3 RD 1367/2007 de 19 de octubre de 2007

Tras la publicación de la Directiva 2002/49/CE, la Ley 37/2003 del 17 de noviembre de 2003 incorpora parcialmente al derecho interno las previsiones de la citada Directiva. Esta ley regula la contaminación acústica con un alcance y un contenido más amplio que el de la propia Directiva, ya que, además de establecer los parámetros y las medidas para la evaluación y gestión del ruido ambiental, incluye el ruido y las vibraciones en el espacio interior de determinadas edificaciones.

Posteriormente, el Real Decreto RD 1513/2005 del 16 de diciembre de 2005, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, completó la transposición de la Directiva 2002/49/CE y precisó los conceptos de ruido ambiental y sus efectos sobre la población, junto una serie de medidas necesarias para la consecución de

los objetivos previstos, tales como la elaboración de los mapas estratégicos de ruido y los planes de acción o las obligaciones de suministro de información.

El RD 1513/2005 supuso el desarrollo parcial de la Ley 37/2003 que con el Real Decreto RD 1367/2007 del 19 de octubre de 2007 puede considerarse completamente desarrollada. En los anexos de normativas se incluye el texto completo del RD 1513/2005.

En el RD 1367/2007 se definen índices de ruido y de vibraciones, sus aplicaciones, efectos y molestias sobre la población y su repercusión en el medio ambiente; se delimitan los distintos tipos de áreas y servidumbres acústicas definidas en el artículo 10 de la Ley 37/2003; se establecen los objetivos de calidad acústica para cada área, incluyéndose el espacio interior de determinadas edificaciones; se regulan los emisores acústicos fijándose valores límite de emisión o de inmisión así como los procedimientos y los métodos de evaluación de ruidos y vibraciones.

En los anexos de normativas se incluye el texto completo del Real Decreto 1367/2007 pero a continuación se extraen los aspectos más relevantes de esta norma y que hacen referencia a:

- Zonificación acústica del territorio
- División de los períodos del día
- Parámetros de evaluación
- Objetivos de Calidad Acústica para cada período y uso del suelo
- Tratamiento diferenciado para situaciones existentes y futuras

2.3.1 Zonificación Acústica del territorio

En el *Capítulo III Zonificación acústica. Objetivos de calidad acústica (RD 1367/2007)* se definen las diferentes áreas acústicas y los objetivos de calidad acústica para cada una de estas áreas. El Real Decreto RD1367/2007 es fiel a la filosofía de definir objetivos de calidad acústica diferentes en función de los requerimientos acústicos de cada uso de suelo. Esto se traduce en limitaciones del nivel sonoro existente en cada zona en función del uso predominante del suelo. Este hecho lleva asociado la necesidad de definir los diferentes usos del suelo.

En la *SECCIÓN 1ª ZONIFICACIÓN ACÚSTICA* en su *Artículo 5. Delimitación de los distintos tipos de áreas acústicas (RD1367/2007)* se definen los diferentes usos del suelo. En este artículo se define que:

Las áreas acústicas se clasificarán, en atención al uso predominante del suelo, en los tipos que determinen las comunidades autónomas, las cuales deben prever, al menos, los siguientes:

- a. *Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.*
- b. *Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.*
- c. *Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.*
- d. *Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en el párrafo anterior.*
- e. *Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural, que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.*
- f. *Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen.*
- g. *Espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica.*

La delimitación territorial de las áreas acústicas y su clasificación se basará en los usos actuales o previstos del suelo.

2.3.2 Períodos del día

En el *Capítulo II Artículo 3 Índices acústicos (RD1367/2007)* se definen tres periodos de evaluación sonora. Estos periodos de evaluación ya venían definidos en el RD 1513/2005 y contemplan:

- 1) Periodo día (d): 12 horas comprendidas entre 7:00 a 19:00
- 2) Periodo tarde (e): 4 horas comprendidas entre 19:00 a 23:00
- 3) Periodo noche (n): 8 horas comprendidas entre 23:00 a 7:00

La administración competente podrá modificar la hora de comienzo del periodo día y, por consiguiente, cuando empiezan los periodos de tarde y noche. La decisión de modificación deberá aplicarse a todas las fuentes de ruido.

La administración competente podrá modificar las horas de inicio, pero la duración¹ de los periodos se debe mantener (12 horas, 4 horas y 8 horas para los periodos de día, tarde y noche respectivamente).

2.3.3 Parámetros de evaluación

En el *Capítulo II Artículo 3 Índices acústicos (RD1367/2007)* se definen los diferentes índices acústicos que deben utilizarse para evaluar el nivel sonoro en cada uno de los diferentes periodos de evaluación.

Los índices sonoros definidos como parámetros evaluadores para cada uno de estos tres periodos son el índice sonoro L_d , L_e y L_n para los periodos de mañana (07:00-19:00), tarde (19:00-23:00) y noche (23:00-07:00) respectivamente.

El denominado índice de ruido día L_d es el índice de ruido asociado a la molestia durante el periodo día y se define como:

$$L_d = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{eq}^i}{10}} \right)$$

donde L_{eq}^i es el resultado de la i-sima medida realizada en la posición dentro del periodo día, y N es el número total de medidas realizadas en el periodo día.

El denominado índice de ruido tarde L_e es el índice de ruido asociado a la molestia durante el periodo vespertino, y se define como:

$$L_e = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{eq}^i}{10}} \right)$$

donde L_{eq}^i es el resultado de la i-sima medida realizada en la posición dentro del periodo tarde, y N es el número total de medidas realizadas en el periodo tarde.

Por último, el índice ruido noche L_n es el índice de ruido asociado a la molestia durante el periodo nocturno, y se define como:

$$L_n = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{eq}^i}{10}} \right)$$

donde L_{eq}^i es el resultado de la i-sima medida realizada en la posición dentro del periodo noche, y N es el número total de medidas realizadas en el periodo noche.

¹ Este criterio no se aplica en algunas normativas autonómicas, en algunos casos (p.ej. Normativa de Catalunya, Illes Balears) se contempla un período más reducido para caracterizar el período Tarde.

Estos índices son los parámetros evaluadores aplicables a:

- Áreas urbanizadas existentes
- Nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias

Para el estudio de Nuevas infraestructuras portuarias y actividades se utilizarán unos nuevos índices. Estos índices son los denominados Índices Sonoros Corregidos para los periodos de día, tarde y noche, $L_{K,d}$, $L_{K,e}$ y $L_{K,n}$ respectivamente.

Como ocurría con los índices sonoros L_d , L_e y L_n estos nuevos índices están calculados a partir de medidas de nivel sonoro equivalente medidos en periodos cortos de duración T , pero en esta ocasión estos valores están corregidos por presencia de tonos, bajas frecuencias y ruido impulsivo.

$$L_{K_{eq},T} = L_{A_{eq},T} + K_t + K_f + K_i$$

El termino corregido debe entenderse en realidad como “penalizado” por presencia de componentes tonales (K_t), impulsivos (K_i) y de bajas frecuencias (K_f). Estas correcciones se calcularán de acuerdo con el apartado 3. *Métodos y procedimientos de medición de ruido* definidos en el Anexo IV del RD1367/2007.

2.3.4 Objetivos de Calidad Acústica (OCA)

A la hora de definir los objetivos de calidad acústica, la normativa establece diferencias entre las situaciones ya existentes y las futuras.

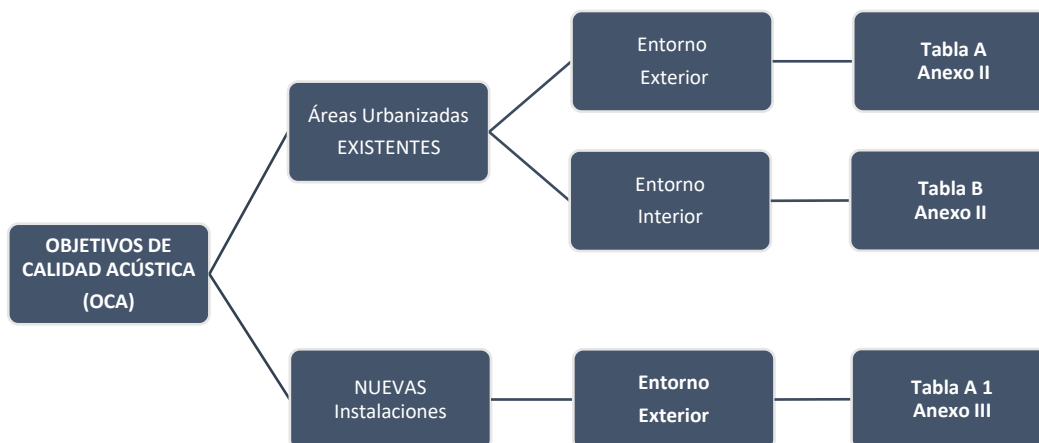


Figura 2: Criterios de Comparación según RD1367/2007

1. Situaciones Existentes

En la **SECCIÓN 2ª OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA (RD1367/2007)** se definen los diferentes objetivos de calidad acústica para los ambientes exteriores e interiores en función del periodo del día y del uso del suelo. Estos objetivos de calidad acústica se deben entender cómo, *un conjunto de requisitos que, en relación con la contaminación acústica, deben cumplirse en un momento dado en un espacio determinado, incluyendo los valores límite de inmisión o de emisión.*

En las siguientes tablas se muestran los límites establecidos para los ambientes exteriores e interiores.

ANEXO II

Objetivos de calidad acústica

Tabla A. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes

	Tipo de área acústica	Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	60	60	50
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	55
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	75	75	65
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1)	(2)	(2)	(2)

(1) En estos sectores del territorio se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a), del artículo 18.2 de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.

(2) En el límite perimetral de estos sectores del territorio no se superarán los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al resto de áreas acústicas colindantes con ellos.

Nota: Los objetivos de calidad aplicables a las áreas acústicas están referenciados a una altura de 4 m.

Tabla 3: Valores de los índices de ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes en el exterior

Tabla B. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales (1)

Uso del edificio	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
Vivienda o uso residencial	Estancias	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Hospitalario	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

(1) Los valores de la tabla B, se refieren a los valores del índice de inmisión resultantes del conjunto de emisores acústicos que inciden en el interior del recinto (instalaciones del propio edificio, actividades que se desarrollan en el propio edificio o colindantes, ruido ambiental transmitido al interior).

Nota: Los objetivos de calidad aplicables en el espacio interior están referenciados a una altura de entre 1,2 m y 1,5 m.

Tabla 4: Valores de los índices de ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes en el interior

- a) *Cumplimiento de los objetivos de calidad acústica para ruido, aplicables a áreas acústicas.*

Ambiente Exterior

En el Artículo 15. Cumplimiento de los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas acústicas se describen los criterios tanto para ambientes exteriores.

Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica establecidos en el artículo 14, cuando, para cada uno de los índices de inmisión de ruido, L_d , L_e , o L_n , los valores evaluados conforme los procedimientos establecidos en el anexo IV, cumplen, en el periodo de un año, que:

- Ningún valor supera los valores fijados en la correspondiente tabla A, del anexo II.

- El 97% de todos los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados en la correspondiente tabla A, del anexo II.

$$L_x^{anual} = 10 \log \left(\frac{1}{N_x} \sum_{i=1}^{N_x} 10^{\frac{L_{Aeq,T_i}}{10}} \right)$$

donde N_x es el número de muestras del periodo x a lo largo del año y L_{Aeq,T_i} es el nivel sonoro equivalente de la muestra i .

Ambiente Interior

En el Artículo 17. Cumplimiento de los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas acústicas se describen los criterios tanto para ambientes interiores.

Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica establecidos en el artículo 16, cuando, para cada uno de los índices de inmisión de ruido, L_d , L_e , o L_n , los valores evaluados conforme los procedimientos establecidos en el anexo IV, cumplen, en el periodo de un año, que:

- Ningún valor supera los valores fijados en la correspondiente tabla B, del anexo II.
- El 97% de todos los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados en la correspondiente tabla B, del anexo II.

2. Nuevas Instalaciones

El RD 1367/2007 establece diferencias entre las situaciones futuras en función de que se traten de nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias o aeroportuarias, o que se traten de nuevas infraestructuras portuarias o actividades.

Para el caso el caso de nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias o aeroportuarias se establecen dos criterios, uno que hace referencia a los índices promedio y otro que hace referencia a los índices máximos.

ANEXO III

Emisores acústicos. Valores límite de inmisión

Tabla A1. Valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	55	55	45
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	60	60	50
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	65	65	55
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	68	68	58
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	70	70	60

Tabla 5: Valores de los índices de ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes en el interior

Para el caso de nuevas infraestructuras portuarias y actividades (en este apartado se incluyen las nuevas instalaciones industriales) se establece el siguiente criterio para los índices corregidos ("penalizados").

Tabla B1. Valores límite de inmisión de ruido aplicables a infraestructuras portuarias y a actividades

	Tipo de área acústica	Índices de ruido		
		L_{Kd}	L_{Ke}	L_{Kn}
e	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	50	50	40
a	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	55	55	45
d	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c.	60	60	50
c	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	63	63	53
b	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	65	65	55

Tabla 6: Valores de los índices de ruido CORREGIDOS aplicables a nuevas instalaciones

a) Cumplimiento de los límites en nuevas actividades

En el Artículo 25. Cumplimiento de los valores límite de inmisión de ruido aplicable a los emisores acústicos se define que:

Se considera que se respetan los límites fijados para nuevas actividades cuando para cada índice $L_{K,x}$, se cumplen, en el periodo de un año, que:

- Ningún valor promedio del año supera los valores fijados en la tabla B1, del anexo III.
- Ningún valor diario supera en 3 dB los valores fijados en la tabla B1, del anexo III.
- Ningún valor medido del índice L_{K_{eq},T_i} supera en 5 dB los valores fijados en la tabla B1, del anexo III.

A efectos de inspección de actividades, a que se refiere el artículo 27 de la Ley 37/2007, se considera que una actividad en funcionamiento cumple los valores límite cuando los valores de los índices acústicos evaluados cumplen los puntos ii) y iii).

2.4 Consideraciones generales sobre el ruido

Lo que se pretende en este punto es explicar las principales características que se tendrán en cuenta a la hora de analizar una instalación.

Estos que se verán a continuación son los aspectos clave en el análisis que se realizará sobre las instalaciones inspeccionadas.

1.1.1 ¿Qué es el sonido?

Desde el punto de vista de la Física, el sonido puede describirse como una perturbación que se propaga a través de un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) con una velocidad determinada que es característica del medio en que se propaga.

En la atmósfera esta perturbación se manifiesta en forma de pequeñas fluctuaciones periódicas de presión por encima y por debajo de la presión atmosférica estática. Si suponemos que un valor normal de presión atmosférica estática es de unos 1000 milibares, variaciones del orden de 0.1 milibares producen sonidos muy intensos.

Una vez vista la definición física del sonido, podemos definir también el sonido como la sensación auditiva que genera esta perturbación física, y aquí se encuentra el principal motivo por el que debemos estudiar estas perturbaciones, la especie humana al igual que otras muchas especies animales dispone de un sentido muy desarrollado que reacciona a estas perturbaciones físicas.

2.4.1 ¿Qué es el ruido?

Cuando se habla de ruido, a menudo se piensa en una sensación sonora molesta o en caso extremo incluso dolorosa. Desde el punto de vista físico, un ruido es una mezcla compleja de sonidos de varias frecuencias y en general se distinguen: los ruidos estacionarios, que prácticamente no tienen fluctuaciones en función del tiempo, y los ruidos no estacionarios, que presentan fluctuaciones más o menos fuertes.

Un motor eléctrico, un ventilador o un compresor, que giran en régimen constante, emiten ruidos estacionarios. El ruido emitido por una prensa, o el debido a la caída de las piezas metálicas en un contenedor es, en cambio, de naturaleza no estacionaria. En los problemas de prevención contra el ruido, muy a menudo nos encontramos los dos tipos de ruido.

2.4.2 Conceptos básicos

A continuación, se caracterizará el ruido mediante una serie de parámetros clave que lo describan y nos permitan evaluar su efecto.

1. *Análisis espectral*

Se entiende como análisis espectral de un sonido (puro o complejo) la representación de la amplitud de sus componentes en función de la frecuencia. Es decir, cualquier sonido podemos obtenerlo mediante la suma de sonidos simples, analizar espectralmente un sonido es obtener los sonidos simples (caracterizados por una amplitud y frecuencia) cuya suma dan como resultado el sonido complejo. A esta serie de parejas de valores amplitud-frecuencia se le denomina **espectro del sonido**.

El análisis espectral será más o menos complejo dependiendo del tipo de sonido analizado. Así, para los sonidos simples bastará con conocer la amplitud y la frecuencia de este tono puro. En el caso de sonidos periódicos el espectro estará formado por una serie finita de valores amplitud-frecuencia, una pareja de valores para cada componente del sonido.

El hecho de que en el ruido estén presentes todas las frecuencias audibles, hace necesario para definir su espectro simplificar el problema dividiendo el campo de frecuencias en bandas continuas. El espectro vendrá definido por la amplitud asignada a cada una de estas bandas.

El primer paso es suponer unas bandas de ancho constante con mucha resolución. Si consideramos por ejemplo un ancho de banda constante de 10 Hz el análisis de un sonido en todo su rango audible serán necesarios 1998 valores (20 Hz a 20k Hz). A este tipo de análisis se le denomina análisis espectral en banda fina.

Posiblemente en la actualidad tratar esta cantidad de información es muy simple, pero años atrás era un problema insalvable para la instrumentación de que se disponía. Independientemente de que se pueda o no tratar tal cantidad de valores, la siguiente pregunta a realizarse es si todos los valores contienen información útil. La respuesta es clara, NO. Es por ello que se hace necesaria una segunda posibilidad de análisis en bandas más simple.

La siguiente posibilidad es considerar bandas de ancho variable. En principio puede parecer extraña esta elección, pero debemos considerar que el objetivo final es reproducir la sensación subjetiva del oído humano, y nuestro oído responde bastante bien a este concepto de bandas.

A este análisis en bandas de ancho variable es lo que se denomina análisis espectral en bandas.

Lo que caracteriza a las mencionadas bandas es su anchura. La anchura de una banda es proporcional a su frecuencia central. Los organismos internacionales recomiendan la utilización de bandas de octava en las cuales la relación entre la frecuencia superior e inferior es 2:1, designándose dicha banda por el valor de su frecuencia central. A este análisis se le denomina análisis en bandas de 1/1 octava. Existe la

posibilidad de utilizar bandas de tercio de octava en las que la relación entre frecuencias superior e inferior es de $2^{1/3}$. A este tipo de análisis se le denomina análisis en bandas de 1/3 de octava.

En la siguiente tabla se presentan los valores normalizados de las bandas de 1/1 octava y de 1/3 de octava con sus frecuencias superior, inferior y central.

1/1 Octava			1/3 Octava		
Frec. Inferior	Frec. Central	Frec. Superior	Frec. Inferior	Frec. Central	Frec. Superior
22	31.5	44	17.8	20	22.4
			22.4	25	28.2
			28.2	31.5	35.5
			35.5	40	44.7
44	63	88	44.7	50	56.2
			56.2	63	70.8
			70.8	80	89.1
			89.1	100	112
88	125	177	112	125	141
			141	160	178
			178	200	224
			224	250	282
177	250	355	282	315	355
			355	400	447
			447	500	562
			562	630	708
355	509	710	708	800	891
			891	1000	1122
			1122	1250	1413
			1413	1600	1778
710	1000	1420	1778	2000	2239
			2239	2500	2818
			2818	3150	3548
			3548	4000	4467
1420	2000	2840	4467	5000	5623
			5623	6300	7079
			7079	8000	8913
			8913	10000	11220
2840	4000	5680	11220	12500	14130
			14130	16000	17780
			17780	20000	22390
5680	8000	11360			
11360	16000	22720			

Tabla 7: Valores normalizados de bandas 1/1 octava y 1/3 octava

Con este tipo de análisis en bandas se reduce la cantidad de información obtenida en un análisis en banda fina a una serie razonable de valores. En la siguiente figura se muestra el concepto.

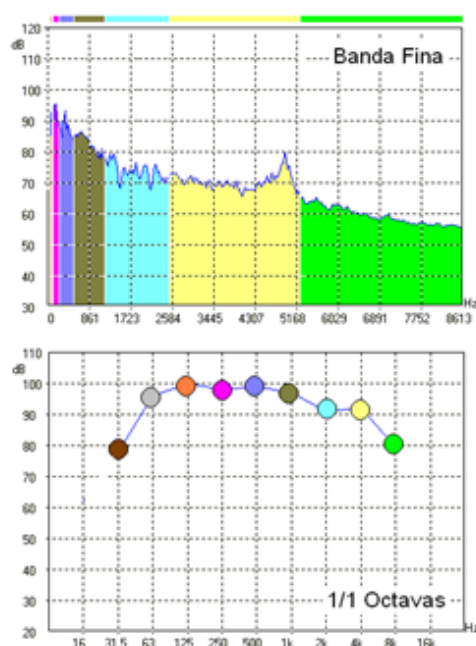


Figura 3: Banda fina vs Banda 1/1 octava

En la mayoría de situaciones prácticas, un análisis espectral en bandas de 1/1 octava es suficiente, si bien el utilizar un análisis en 1/3 de octava suministra mayor información. Existen casos en los que la única forma de evaluar la posible contribución de una fuente en una posición de medida es reconocer componentes frecuenciales de la fuente en la medida. Para realizar este tipo de análisis es recomendable (y en muchos casos imprescindible) utilizar análisis en banda fina para conseguir detectar estas componentes espectrales.

En la siguiente figura se muestra el análisis de un mismo sonido en 1/1 octavas, en 1/3 octavas, en 1/6 octavas, en 1/12 octavas y en 1/24 octavas. Se puede apreciar que aumentar la resolución del análisis aporta una mayor resolución, y en consecuencia una mayor precisión en la definición del ruido analizado.

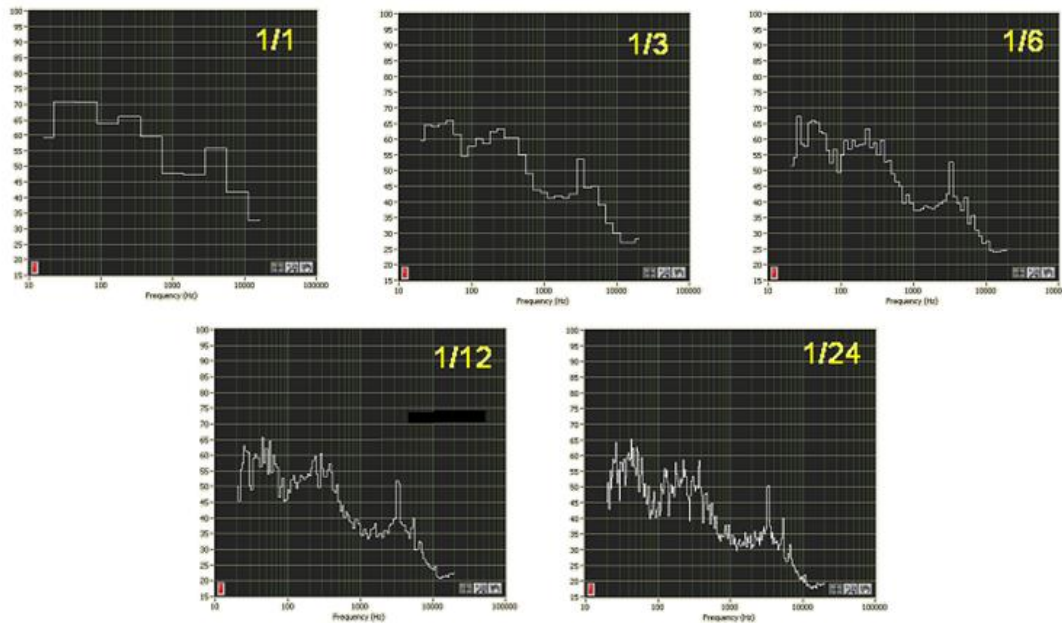


Figura 4: Análisis de un mismo sonido en las diferentes bandas de octava.

Como en cualquier otra área, si la información útil se puede concentrar en 10 valores no debemos utilizar 100, es por ello cada análisis debe realizarse con el procedimiento adecuado para no generar información redundante.

2. Potencia sonora

Para que una fuente sonora pueda generar una perturbación (sonido) en el medio que la rodea y que ésta se propague es necesario aplicar una cierta energía. Esto implica que las ondas sonoras asociadas con la fuente sonora poseen cierta energía, pudiéndose hablar de una potencia acústica de la fuente sonora que las origina.

Esta potencia sonora W es una magnitud característica de la fuente sonora independientemente de donde se encuentre esta fuente y en que medio se propagan sus ondas. Como cualquier potencia se expresa en vatios.

En las fuentes sonoras industriales, esta potencia acústica es muy pequeña comparada con la potencia mecánica que desarrollan. Esta relación se puede suponer del orden entre 10^{-4} y 10^{-5} .

3. Intensidad sonora

La energía sonora radiada en una determinada dirección por una fuente en una unidad de tiempo y que atraviesa una unidad de superficie situada en esta dirección de propagación es lo que se define como intensidad acústica I . Según esta definición la intensidad acústica I está relacionada con la potencia acústica W y la superficie S de la siguiente forma:

$$I = \frac{W}{S}$$

Por la propia definición, la intensidad acústica es una magnitud vectorial cuyo módulo se mide en W/m^2 . Si suponemos una fuente sonora puntual que radia igual energía en todas las direcciones (fuente omnidireccional) la intensidad acústica a una distancia r de la fuente será:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

siendo $4\pi r^2$ el área de la esfera centrada en la fuente de radio r . Según esta expresión al aumentar la distancia a la fuente, la intensidad disminuye en función de la inversa de la distancia al cuadrado ($1/r^2$).

4. Presión sonora

De forma simple podemos pensar que, al propagarse la onda sonora en todas las direcciones, la energía constante que sale de la fuente cada vez se debe repartir entre más puntos en el espacio. Esto hace que, a mayor distancia de la fuente, el área que se ve alimentada por la energía de la fuente es cada vez mayor, es decir, cada vez existen más puntos en el espacio que son alimentados por la misma energía y en consecuencia a cada punto le corresponde menos energía, o lo que es lo mismo menos intensidad sonora.

En el caso de las ondas planas el frente de ondas es un plano de iguales dimensiones independientemente de la distancia a la fuente sonora. Según el planteamiento anterior en estos casos la intensidad acústica es constante, no experimenta disminución alguna debido a que no existe aumento de superficie a alimentar al propagarse en la distancia. En estos casos la intensidad acústica está relacionada con la presión sonora mediante:

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

donde p es la presión acústica (N/m^2), ρ es la densidad del medio (kg/m^3) y c es la velocidad del sonido (m/s).

Esta relación es también válida para ondas esféricas en puntos muy alejados de la fuente, esto es cuando el radio del frente de ondas esférico es muy grande. En estas condiciones y a partir de las anteriores ecuaciones podemos obtener

$$p = \frac{\rho c W}{4\pi r^2}$$

siendo $4\pi r^2$ el área de la esfera centrada en la fuente de radio r . Según esta expresión al aumentar la distancia a la fuente la presión sonora disminuye en función de la inversa de la distancia al cuadrado ($1/r^2$).

5. Directividad

Si la fuente sonora no radia energía de forma omnidireccional, la intensidad en un determinado punto espacial depende de las características direccionales de la fuente (directividad de la fuente).

Una medida de la directividad de una fuente sonora es el factor de directividad Q_θ . Para entender el significado de este parámetro vamos a comparar la propagación del sonido de dos fuentes en campo libre, una no direccional y otra direccional.

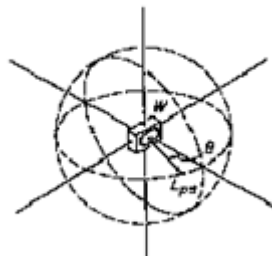


Figura 6: Propagación omnidireccional

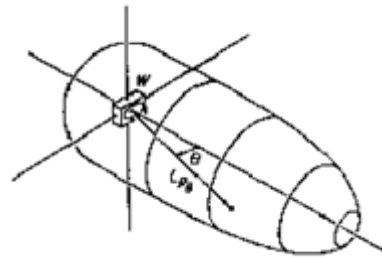


Figura 5: Propagación direccional

En la no direccional, el nivel de presión sonora es el mismo en cualquier punto equidistante a la fuente, mientras que en la direccional los valores del nivel de presión sonora son función del ángulo entre la dirección fuente-observador y unos ejes de referencia.

El factor de directividad Q_θ se define como la relación entre el cuadrado de la presión sonora medida a una distancia r y ángulo θ de una fuente sonora de potencia W y el cuadrado de la presión sonora medida para la misma distancia r de una fuente no-directiva radiando la misma potencia W . Esta definición la podemos reescribir como la relación entre la intensidad medida a una distancia r y ángulo θ de una fuente sonora de potencia W y la intensidad medida a la misma distancia para una fuente de igual potencia W y no direccional.

$$Q_0 = \frac{p_\theta^2}{p_s^2} = \frac{I_\theta}{I_s}$$

6. El Decibelio (dB)

El oído humano es capaz de detectar intensidades sonoras que varían en un amplio margen. Así entre el umbral de audición (mínimo sonido capaz de ser escuchado) y el umbral del dolor (sonido que genera dolor al ser escuchado) existe una relación en términos de intensidad de 1 a 10^{14} . Es necesario poder comprimir esta escala para que las magnitudes a manejar sean más manejables”.

Si en lugar de utilizar unidades lineales aplicamos logaritmos a estas unidades la razón 10^{14} a 1, podrá expresarse como $\log(10^{14}/1)$ o sea 14.

El decibelio es una unidad adimensional de medida, definida como diez veces el logaritmo decimal de la relación entre dos magnitudes, esto es:

$$N = 10 \log \left(\frac{M_1}{M_0} \right) \text{ dB}$$

donde N es el nivel en decibelios, M_1 y M_0 son dos magnitudes homogéneas (con las mismas dimensiones) y M_0 es la magnitud de referencia.

Es importante remarcar que:

- El concepto decibelio carece de significado físico a menos que se indique la magnitud de referencia ($\text{dB}_{\text{ref}}=M_0$).
- El concepto de decibelio va asociado al concepto nivel. Cualquier magnitud como nivel de intensidad, nivel de potencia, nivel de presión sonora vendrán expresados en decibelios relativos a un cierto valor de referencia.

7. Nivel de potencia sonora

El nivel de Potencia sonora se define como la relación logarítmica con respecto de una potencia de referencia:

$$NWS = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ dB}$$

donde W_0 es la potencia acústica de referencia y cuyo valor ha sido fijado en 10^{-12} w y W es la potencia de la fuente sonora.

En la siguiente tabla se muestran los niveles de potencia sonora emitidos por algunas fuentes sonoras.

Potencia (watt)	Nivel de Potencia (dB)	Fuente
40×10^5	196	Cohete Saturno
100000	170	Motor Turbo-Jet (tras quemador)
10000	160	Motor Turbo-Jet
100	140	Cuatrimotor
10	130	Orquesta con 75 músicos
1	120	Martillo neumático
0.1	110	Ventilador Centrífugo (22000m ³ /h)
0.01	100	Vehículo en autopista
0.001	90	Voz humana (grito)
0.00001	70	Voz humana (conversación)
0.000000001	30	Voz Humana (cuchicheo)

Tabla 8: Ejemplo de niveles de potencia sonora

8. Nivel de intensidad sonora

El nivel de Intensidad sonora se define como la relación logarítmica con respecto de una intensidad de referencia:

$$NIS = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ dB}$$

donde I_0 es la intensidad acústica de referencia y cuyo valor ha sido fijado en 10^{-12} w/m² y I es la intensidad sonora.

9. Nivel de presión sonora

El nivel de Presión sonora se define como la relación logarítmica con respecto de una presión de referencia:

$$NPS = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \text{ dB}$$

donde p_0 es la presión acústica de referencia y cuyo valor ha sido fijado en $2 \cdot 10^{-5}$ N/m² y p es la presión sonora en el punto espacial.

En la siguiente figura se muestran los niveles de presión sonora generados por diferentes tipos de fuentes.

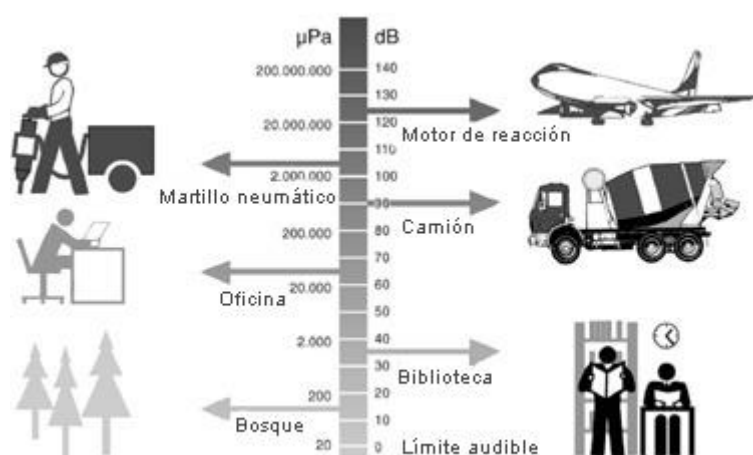


Figura 7: Presión sonora frente a NPS

Es necesario aclarar que, una cosa es hablar de Nivel de Potencia Sonora *NWS*, una magnitud que caracteriza la fuente sonora independientemente del medio en que éste, y otra muy diferente es hablar de Nivel de Intensidad Sonora *NIS* o Nivel de Presión Sonora *NPS*, magnitudes que dependen de las condiciones de propagación entre la fuente y el observador (campo libre, recintos abiertos, pero con obstáculos, recinto cerrado reverberante o semi-reverberante, etc..).

10. Curvas de ponderación. El decibelio A (dBA)

En cualquier faceta de la Acústica, la reacción humana es fundamental. Todos los campos de trabajo de la acústica, tanto arquitectónica como ambiental, están enfocados a estudiar y minimizar la molestia sonora que sobre el hombre o la comunidad provocan ciertas actuaciones. Estas consideraciones nos llevan a estudiar no sólo las magnitudes físicas sino las sensaciones subjetivas que estas generan en el hombre.

Un sonido puro puede caracterizarse físicamente por su espectro. En él encontramos dos magnitudes físicas, frecuencia y amplitud, que lo definen. La frecuencia de un sonido genera una sensación subjetiva que denominaremos tono o sensación de agudeza. De entre dos sonidos de igual nivel sonoro nos parecerá más agudo aquel que tenga una frecuencia mayor. La amplitud de un sonido genera una sensación a la que denominaremos sonoridad o sensación de intensidad. De entre dos sonidos de igual frecuencia nos parecerá más intenso aquel cuyas variaciones de presión presenten mayor amplitud.

Si estas sensaciones subjetivas dependieran tan sólo de un único parámetro físico, el tema de la correlación entre magnitud física y sensación sería mucho más sencillo de lo que en realidad es. El hecho de que, aunque en menor medida el tono de un sonido dependa también de la amplitud, y la sonoridad de un sonido dependa también de la frecuencia complica esta correlación.

De todo esto se obtiene una conclusión que la propia experiencia diaria nos confirma, el oído humano no funciona con la misma sensibilidad a todas las frecuencias.

Durante varias décadas, hasta aproximadamente los años 60, se procedió a realizar un gran número de experiencias encaminadas a conseguir una descripción isofónica del campo audible por el oído humano.

Las curvas isofónicas representan los estados de frecuencia y nivel de presión sonora que generan la misma sensación de sonoridad. Estas curvas se consiguen comparando dos tonos, uno de referencia de 1kHz y otro de cualquier otra frecuencia. Así un tono de 60 fon genera la misma sensación de sonoridad que un tono de 1kHz con un nivel de presión sonora de 60 dB.

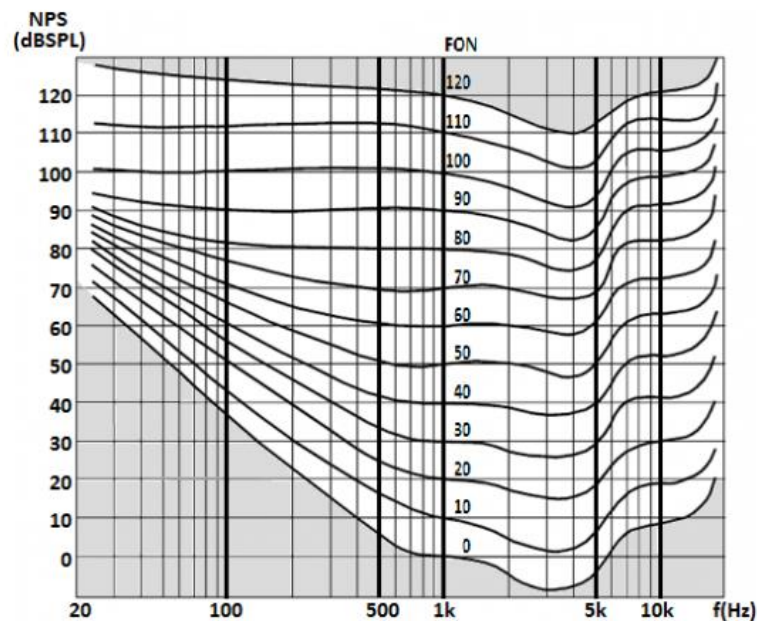


Figura 8: Curvas isofónicas

De esta gráfica podemos extraer la conclusión de que el oído humano responde peor a frecuencias bajas y muy altas que a frecuencias centrales, también llamadas frecuencias medias.

En la instrumentación de medida de los niveles sonoros se han implementado correcciones que pretenden contemplar la sensibilidad del oído humano. En los intentos por simular la respuesta del oído humano, la instrumentación de medida viene equipada con tres filtros de ponderación. Estos filtros eléctricos modifican la respuesta en frecuencia de los micrófonos intentando simular la respuesta en frecuencia del oído.

Los equipos de medida suelen presentar tres redes de ponderación (filtros):

- La ponderación A que sigue la curva de 40 fonios.
- La ponderación C que sigue la curva de 100 fonios.
- Sin ponderación. Respuesta plana.

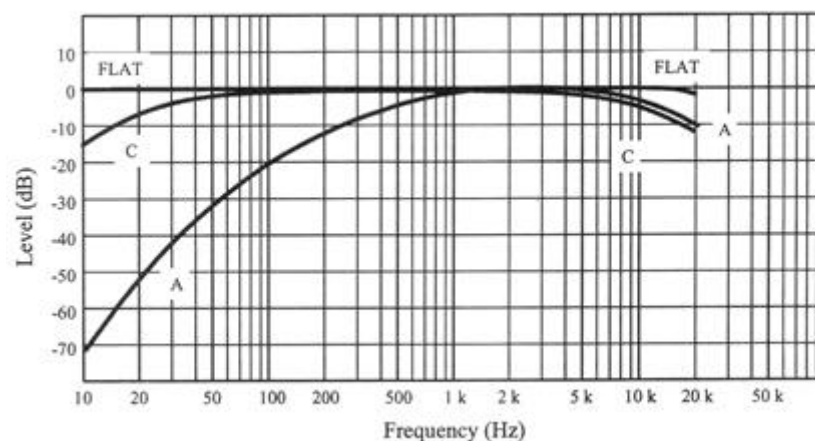


Figura 9: Curvas de los filtros presentes en los equipos de medida

El nivel de presión sonora medido con estas redes de ponderación, deja de denominarse decibelio dB y pasa a tener apellidos, dB(A), dB(C) o dB(lineal) según se hayan medido con la red de ponderación A, C o respuesta plana respectivamente. El dB (lineal) suele denominarse dB “a secas”.

Aunque en el caso de los equipos de medida el filtro A es un filtro de ponderación continuo, el nivel en dB(A) de un sonido complejo también puede obtenerse descomponiendo el sonido en bandas de frecuencias, corrigiendo según la red A y sumando de nuevo estos valores ya corregidos.

La ponderación A es con diferencia la más utilizada por su facilidad de medida y porque el uso de sistemas más complejos para la evaluación de la sonoridad no ofrece resultados más convincentes. Aunque no sea el parámetro único y definitivo, el dB(A) se ha convertido en el parámetro de más amplio uso.

Banda 1/1 Octava	Corrección en dB		
	Red A	Red B	Red C
31.5	-39	-17	-3
63	-26	-9	-3
125	-16	-4	0
250	-9	-1	0
500	-3	0	0
1000	0	0	0
2000	1	0	0
4000	1	-1	-1
8000	-1	-3	-3

Tabla 9: Ajuste de frecuencias según red de ponderación utilizada

11. Nivel sonoro equivalente

El ruido puede presentar diferentes características según la fuente que lo genere, pero en acústica ambiental la inmensa mayoría de fuentes presentan una característica común, la generación de ruido fluctuante (incluso cuando caracterizamos máquinas de funcionamiento continuado, es posible que estas máquinas no funcionen de forma continuada durante las 24 horas del día, sino que sufran paradas más o menos prolongadas a lo largo del día).

El ruido ambiental se caracteriza por su continua fluctuación con el tiempo siguiendo fielmente las fluctuaciones de la actividad comunitaria en la mayor parte de los casos. Esto significa que si medimos el nivel de presión sonora en un instante temporal dicha medida sólo nos sirve para conocer el ruido en ese preciso instante, pero no del siguiente.

Además de esta variación temporal debemos ser conscientes de que puede existir una variación idéntica en el espacio. El nivel sonoro será diferente en diferentes posiciones del entorno espacial.

Es por ello que si queremos caracterizar el ruido ambiental existente en un entorno se deberán hacer medidas en diferentes posiciones del entorno, y en cada una de ellas se deberá repetir el proceso de medida en diferentes instantes a lo largo del día.

Toda magnitud que varía aleatoriamente con el tiempo habrá que estudiarla y describirla mediante métodos estadísticos. Los parámetros que en un primer momento podemos pensar en utilizar son el valor medio y los valores máximos y mínimos registrados durante el periodo de medida, pero esta se ha mostrado como una información muy pobre para caracterizar el ruido ambiental.

Para una completa descripción del ruido ambiental es necesario disponer de una completa distribución estadística. Para ello definimos los niveles Percentiles L_n como el valor del nivel de presión sonora que ha sido superado durante el n% del tiempo de medida. Así el 10% del tiempo de medida los valores de nivel

de presión sonora habrán presentado valores mayores al parámetro L_{10} , mientras que durante el 90% del tiempo restante los niveles de presión sonora han sido inferiores a este valor L_{10} . El L_{10} es pues un parámetro que nos caracteriza los niveles elevados registrados durante la medida.

Por el contrario, el L_{90} representa el nivel de presión sonora que ha sido superado el 90% del tiempo de medida. Es pues un parámetro que nos caracteriza los niveles inferiores o ruido de fondo registrados durante la medida.

La diferencia $L_{10}-L_{90}$ nos caracteriza el denominado Clima de Ruido, es una medida de la separación entre los niveles máximos y de fondo registrados durante la medida. En los casos donde el ruido ambiental es debido al tráfico rodado, este valor será mayor en aquellas posiciones de medida donde el tráfico sea más discontinuo, pudiéndose ver muy afectado por la presencia de semáforos o de cualquier otro sistema regulador.

Estos parámetros son relativamente fáciles de medir, pero tiene el inconveniente de caracterizar el ruido ambiental con una serie de números. Para evitar esta desventaja, y aún a riesgo de perder información se definió un nuevo parámetro que integraba todas las fluctuaciones en un solo número. A este parámetro se le denomina Nivel Continuo Equivalente L_{eq} y se le define como el nivel de ruido constante que aporta la misma energía que el ruido fluctuante medido durante un periodo T . Matemáticamente

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right)$$

donde T es el periodo de medida, $L(t)$ es el nivel de presión sonora instantáneo.

La gran ventaja del Nivel Continuo Equivalente L_{eq} radica en el hecho de que con un solo número medimos la energía sonora total recibida durante la medida. Como este parámetro es una medida de energía, en el caso de existir diferentes fuentes sonoras independientes entre sí el L_{eq} permite sumar estas energías para obtener un nivel L_{eq} total. Estas sumas se realizan de la forma usual en la que se suman decibelios.

Ya la norma ISO-R1996 del año 1971 considera el L_{eq} en dB(A) como un criterio para evaluar la exposición de la comunidad al ruido. La inmensa mayoría de ordenanzas municipales lo toman como un indicador del grado de molestia ciudadana. En estas ordenanzas se hace referencia al nivel sonoro equivalente día y al nivel sonoro equivalente noche. Estos niveles sonoros equivalentes son el resultado de caracterizar 15 horas (7:00-22:00) durante el periodo diurno y 9 horas (22:00-7:00) durante el periodo nocturno (distribución horaria de antiguas normativas).

El nivel continuo equivalente se puede medir en un periodo corto (5 min) o en un periodo largo (24h). Evidentemente no es muy cómodo realizar medidas de 24 h continuas. Para resolver esta incomodidad el nivel continuo equivalente de un periodo largo se puede generar a partir de niveles continuos equivalentes de periodos cortos. Para que una medida de un periodo largo sea correcta se deben realizar medidas de periodo corto en cada uno de los diferentes estadios sonoros. En la siguiente figura se escenifica esta condición.

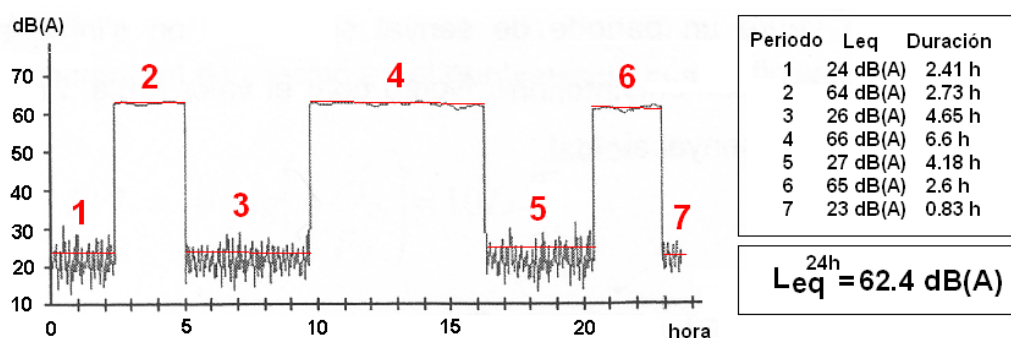


Figura 10: Ejemplo de cálculo de L_{eq} de 24h

Para evaluar el nivel continuo equivalente de un periodo de X horas no es necesario medir de forma continuada durante todo el periodo a caracterizar. Debemos caracterizar cada uno de los diferentes estadios sonoros que se producen a lo largo de estas X horas. Ello implica asociar un nivel continuo equivalente L_{Aeq, T_i} y un tiempo de duración T_i a cada uno de estos estadios i .

$$L_{Aeq, T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_i T_i 10^{\frac{L_{AT_i}}{10}} \right] \quad T = \sum_i T_i$$

12. Índices sonoros

Las normativas desde hace décadas pretenden caracterizar la molestia generada por el ruido ambiental con el nivel continuo equivalente de periodos largos. Inicialmente estos periodos eran dos y caracterizaban el día y la noche.

En la actualidad, y en concreto en la normativa de aplicación en el estado español RD 1367/2007, se utilizan tres periodos largos:

- Día (07:00-19:00)
- Tarde (19:00-23:00)
- Noche (23:00-07:00)

A los niveles continuos equivalentes que caracterizan estos periodos se le ha pasado a denominar Índices Sonoros. Un índice sonoro es por definición el nivel continuo equivalente que caracteriza un periodo largo. En función del tipo de periodo se habla de índice diurno (L_d), índice de tarde (L_e) e índice nocturno (L_n). En la siguiente figura se muestra como calcularlos.

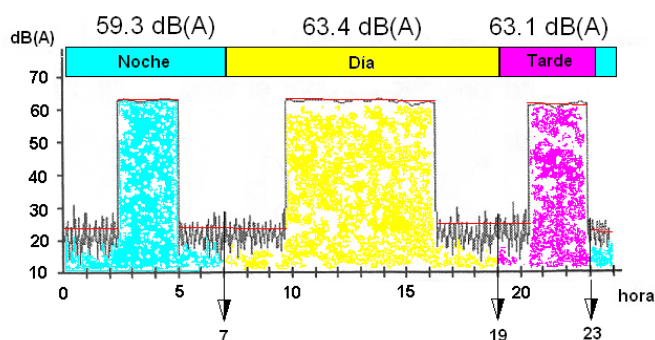


Figura 11: Distribución de los periodos día, tarde y noche

$$L_d = 10 \log \left[\frac{1}{12} \sum_i T_i 10^{\frac{L_{AT_i}}{10}} \right] \quad \sum_i T_i = 12 \text{ horas}$$

$$L_e = 10 \log \left[\frac{1}{4} \sum_i T_i 10^{\frac{L_{AT_i}}{10}} \right] \quad \sum_i T_i = 4 \text{ horas}$$

$$L_n = 10 \log \left[\frac{1}{8} \sum_i T_i 10^{\frac{L_{AT_i}}{10}} \right] \quad \sum_i T_i = 8 \text{ horas}$$

Aunque el tipo de ruido y los diferentes estadios que se generan son quien definen el número de muestras (o medidas) que se deben hacer para caracterizar el índice sonoro, a modo de ejemplo orientativo se puede pensar que en el caso de una posición urbana afectada por el ruido de tráfico bastarán con tres o cuatro medidas (5 min) durante el día, una o dos medidas (5 min) en periodo tarde y tres medidas (10 a 20 min) durante el periodo nocturno.

En el año 1972 la Agencia Americana de Protección del Medio Ambiente (EPA) propuso el parámetro Nivel Equivalente Día-Noche como método para evaluar la molestia ciudadana. Este parámetro se puede definir como el nivel equivalente a lo largo de las 24 horas, pero con la salvedad de suponer un peso diferente para los niveles diurnos y nocturnos.

$$L_{dn} = 10 \log \left(\frac{1}{24} \left(15 * 10^{\frac{L_d}{10}} + 9 * 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right)$$

donde L_d es el nivel equivalente diurno entre 7:00 y 22:00, L_n es el nivel equivalente nocturno entre 22:00 y 7:00. Se puede apreciar en esta ecuación que los niveles nocturnos son valorados con 10 dB más que los niveles diurnos.

En la actualidad este índice sonoro se ha transformado en el Índice de ruido día-tarde-noche e intenta recopilar en un único número la molestia sonora que percibe la comunidad en un día entero.

$$L_{den} = 10 \log \left(\frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right)$$

2.5 Software de gestión sonora integral de plantas industriales.

El análisis necesario para obtener los parámetros evaluables a partir de las medidas realizadas es simple, y básicamente consiste en promediar ciertas partes de las medidas realizadas para obtener el valor del Nivel Sonoro Equivalente de una medida. A partir de estos valores ya sean sin corregir $L_{AeqT,i}$ o corregidos $L_{KAeqT,i}$ se pueden calcular los índices sonoros diarios sin corregir L_x o corregidos $L_{K,x}$.

En la actualidad los paquetes de aplicaciones informáticas suministradas de forma gratuita por los fabricantes de sonómetros contemplan la mayoría de las herramientas necesarias para realizar los cálculos asociados con las metodologías de trabajo mostradas en este trabajo.

A continuación, se explicará brevemente la herramienta utilizada en este proyecto para el análisis de las medidas de ruido tomadas durante las campañas de medida para, posteriormente, evaluar el impacto ambiental que las plantas industriales suponen para su entorno. Esta herramienta es un software de análisis propio, y cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de análisis de señales acústicas en el campo de la acústica ambiental. La herramienta cuenta con diferentes opciones de cálculo y será el usuario el que decidirá, dependiendo de la normativa que resulte de aplicación en cada instalación, bajo qué criterios se analizarán los valores obtenidos en campaña de medida.

Esta aplicación fue desarrollada de forma que los análisis que pudieran ejecutarse fueran lo más abiertos posibles, incluyendo tanto las opciones de análisis de los años iniciales de su programación, como las modificaciones que pudieran realizarse en un futuro.

En el campo de la acústica este software lo utilizamos para evaluar el impacto de las plantas industriales sobre su entorno basándonos en las medidas registradas en campo. Estas medidas, aunque inicialmente la aplicación fue pensada para un sonómetro concreto (RION NA-27) pueden realizarse con diferentes equipos sonométricos, siendo guardadas en una base de datos comercial (Office) con una estructura propia independiente del equipo de medida.

En estos trabajos es necesario conocer la geografía de la zona en la que se encuentra la planta industrial objeto de estudio, los diferentes usos del suelo tanto en el que se ubica la planta como de su entorno y

los puntos de control en coordenadas UTM. Para el manejo gráfico de las informaciones asociadas con el entorno de la Planta analizada existen en la actualidad aplicaciones de gestión de imágenes por satélites que permiten su tratamiento de forma muy sencilla.

2.5.1 Algoritmos utilizados.

La aplicación se basa en la toma de registros y en el análisis de los mismos, aplicando los algoritmos definidos en las diferentes normativas.

La toma de registros, inicialmente la realizaba la aplicación a través de un determinado sonómetro (RION NA-27), pero en la actualidad los equipos sonométricos disponen de aplicaciones que permiten la exportación de las medidas realizadas a diferentes formatos. Es por ello que, el único requisito a cumplir por el equipo sonométrico encargado de realizar las medidas, es cumplir con la normativa metrológica de aplicación en nuestro país (Orden Ministerial (ITC/255/2020 que deroga la ITC/2845/2007). Esta estructura permite poder aceptar los datos de cualquier equipo sonométrico, simplemente implementado una aplicación que transfiera la información de los ficheros propios del sonómetro a la base de datos propia de la aplicación.

Los cálculos que se realizan con estos registros sonoros están definidos en los procedimientos de medida y análisis definidos en las diferentes normativas de aplicación. Estos procedimientos básicamente son los cálculos promedios energéticos L_{eq} y las correcciones/penalizaciones por presencia de componentes tonales, componentes de baja frecuencia y componentes impulsivos.

Dado que las normativas pueden verse actualizadas con procedimientos de medida y/o correcciones, la aplicación permite exportar la información básica (promedio espectral de un intervalo temporal en bandas de 1/3 octava) en un formato comercial (Office). Esta opción permite asegurar siempre la posibilidad de nuevos procedimientos en base a las medidas iniciales realizadas.

2.5.2 Validación de los cálculos.

Como cualquier software de programación propia, cualquier nueva utilidad implementada debe ser validada antes de proceder a su uso. En su día se validaron los procedimientos de promediado energético (Nivel Sonoro Equivalente, y cálculo de correcciones), pero dado que las normativas de aplicación pueden contemplar diferentes procedimientos de cálculo y correcciones, la aplicación deberá evaluarse si se contemplan nuevos procedimientos.

2.5.3 Tratamiento de las medidas.

Una vez que las medidas están disponibles en la base de datos de la aplicación, ya sea por medida directa (sonómetro RION NA-27) o por transferencia a partir de sonómetros más actuales., el procedimiento de análisis contempla los siguientes pasos:

1. Localización de la medida a analizar (señal transitoria)
2. Determinación de los intervalos temporales de promediado. Para ello se puede reproducir la señal audio grabada. En este paso se procede a eliminar del intervalo a promediar cualquier instante en donde existan contribuciones sonoras ajenas a la instalación analizada.
3. Obtención del espectro promedio (Nivel Sonoro equivalente $L_{AeqT,i}$ de la medida).
4. En caso necesario, cálculo de las correcciones por tonos, baja frecuencia o componentes impulsivos.
5. Exportación del espectro promedio a formatos comerciales (Office, ficheros BMP)
6. Cálculos de incertidumbres de medidas e índices.
7. Comparativa con los límites establecidos en la normativa
8. Emisión de resultados

A modo de ejemplo en la siguiente figura se muestra el formulario en donde se realiza el cálculo del Nivel Sonoro equivalente $L_{AeqT,i}$ de una medida. En esta medida se puede apreciar un nivel sonoro constante durante todo el intervalo de medida con la presencia de 3 eventos temporales con niveles superiores. Estos tres eventos, si no son propios del ruido de la instalación se deberán eliminar del análisis.

Este mismo proceso deberá ser el mismo, tanto en el caso de medidas con actividad, como en el caso de medidas sin actividad (ruido de fondo).

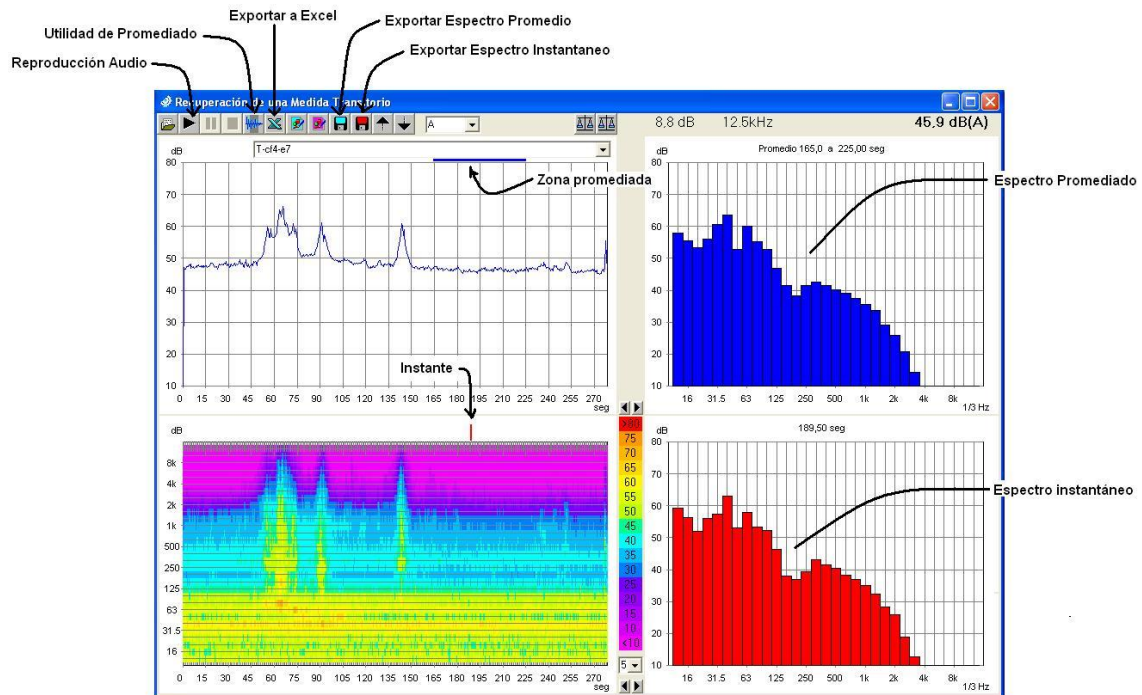


Figura 12: Ejemplo de $L_{AeqT,i}$ de una medida, visto en el software de análisis

2.5.4 Tipologías de análisis soportadas.

Los procedimientos técnicos de medida y análisis de muestras sonométricas, no han variado en décadas. Si bien es cierto que la evolución de la instrumentación de medida ha permitido mejorar la información recopilada “in situ” durante la medida, los parámetros de medida se han mantenido invariables en décadas, y posiblemente lo continuaran siendo en las próximas. Sin embargo, los procesos de legislativos de evaluación sí que pueden llegar a presentar una variabilidad elevada.

Resulta complejo establecer unos criterios únicos a la hora de aplicar correcciones. Así, por ejemplo, las correcciones debidas a los mismos conceptos (presencia de componentes tonales, de baja frecuencia e impulsivas) se calculan siguiendo diferentes procesos en normativas autonómicas (p.ej. en Catalunya y Euskadi). Evidentemente las desviaciones del proceso de cálculo de correcciones se basan más en la valoración de las mismas que en la medida y cálculo de los promediados.

Para resolver estas situaciones la aplicación permite exportar la información del análisis en formatos comerciales (p.ej. Excel) y disponer así de la versatilidad de aplicaciones ofimáticas a la hora de calcular futuras correcciones.

Al tratarse de un software propio, es una herramienta que se ha ido adaptando a las necesidades de los trabajos y a la aparición de nueva instrumentación y/o normativas legales.

3. LA METODOLOGÍA DE TRABAJO PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO ACÚSTICO

En este capítulo, se hablará sobre la metodología de trabajo que se desarrolla durante toda la fase del proyecto, desde el estudio de la planta, la planificación de las campañas, la realización de las medidas, el tratamiento de los datos, el análisis y los resultados.

Se mostrarán las diferentes formas de trabajo en función de la normativa de aplicación que se pueden dar en este trabajo de manera más habitual, estos son los trabajos realizados para instalaciones que deben cumplir con los objetivos de calidad acústica (OCA) y aquellos que deben cumplir con los emisores y nuevas actividades.

Finalmente se realizará un pequeño resumen, de forma que quede claro cuáles son las diferencias que supone realizar estos trabajos para dar cumplimiento a los criterios de OCA o Emisores.

3.1 Metodología de trabajo

En este apartado, definiremos la metodología de trabajo estándar que se debe seguir al realizar un estudio acústico de una planta industrial. Existen una serie de pasos, siempre iguales, que no dependen de la instalación en sí, si no que forman parte de la propia metodología de trabajo, para asegurarnos de contar con toda la información necesaria acerca de la instalación en cuestión antes de iniciar el trabajo de campo.

3.1.1 Estudio de la instalación a inspeccionar

Cuando recibimos una solicitud de estudio acústico en una instalación, lo primero que debemos hacer es estudiar en profundidad la naturaleza de la instalación. Para ello localizaremos localizamos geográficamente la planta, estudiaremos su naturaleza de trabajo, los diferentes usos del suelo en las zonas colindantes y un primer contacto con la planta.

Recopilaremos una serie de datos, que son de dominio público y que nos darán más datos sobre la instalación, estos son su Autorización Ambiental Integrada (AAI de ahora en adelante), la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), la normativa en materia de ruidos que resulte de aplicación en el ayuntamiento o comunidad autónoma en la que se encuentra ubicada la instalación, los diferentes usos del suelo tanto en el emplazamiento donde se ubica la instalación como el perímetro que la rodea.

1. *AAI: Autorización Ambiental Integrada*

La Autorización Ambiental Integrada, o AAI, es una figura de intervención administrativa que, para las instalaciones afectadas, sustituye el conjunto de autorizaciones ambientales existentes hasta la entrada en vigor de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, y que establece un condicionado ambiental para la explotación de las actividades e instalaciones contempladas en el anexo I de dicha ley. Esta autorización se otorga con carácter previo a cualquier otra autorización o licencia sustantiva exigible, y es de carácter vinculante para todo lo relativo al condicionado ambiental.

La AAI incluye todos los aspectos ambientales y aquellos otros relacionados que consideren las autoridades ambientales competentes, de acuerdo con la legislación básica estatal y las correspondientes autonómicas.

Antes de la aparición de la AAI existían diferentes autorizaciones que las empresas debían solicitar de forma individual y por separado:

- Autorización de actividad potencialmente contaminadora de la atmósfera.
- Autorización de producción y gestión de residuos.

- Autorización de vertidos a las aguas continentales.
- Autorización de vertidos desde tierra al mar.
- Otras exigencias contenidas en la legislación sectorial aplicables a distintos sectores industriales.

El Anexo 1 de la Ley 16/2002 contiene un listado en el que se definen los tipos de actividades y las capacidades mínimas de producción que hacen obligatorio solicitar una AAI. Las Instalaciones existentes debían solicitar la AAI antes del 1 de enero de 2007, para instalaciones nuevas es obligatorio solicitarla antes de su construcción, montaje, explotación o traslado. El órgano competente tiene un plazo de 10 meses para decidir sobre el otorgamiento. Las AAI de las instalaciones se publican en los Boletines Oficiales Provinciales (BOC, BOPA, BOIB, BOJA...etc.)

En la AAI, obtenemos la información sobre la obligación de la instalación en la realización de controles acústicos, periodicidad, requisitos sobre que tipo de organismo debe realizar estos controles y en algunas ocasiones incluso unos valores de cumplimiento en este ámbito.

A continuación, se muestra un extracto de una AAI, publicada en el Boletín Oficial de Cantabria, preservando la identidad de la empresa a la que se otorga.

Página 14450	Lunes, 27 de octubre de 2008	BOC - Número 207										
<p>El período de almacenamiento de estos residuos no podrá exceder de 2 años.</p> <p>Anualmente se comunicará a la Dirección General de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria las cantidades de envases y residuos de envases puestos en el mercado de acuerdo a lo establecido en la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases, y normativa de desarrollo.</p> <p>Se presentará un plan empresarial de prevención para aquellos materiales que superen las cantidades establecidas en el Real Decreto 782/98, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/97, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases, en los plazos establecidos por la citada legislación y modificaciones posteriores.</p> <p>E.- Protección contra el ruido.</p> <p>Los objetivos de calidad acústica para el sector donde se ubican las instalaciones objeto de la autorización ambiental integrada son los que se indican en el cuadro siguiente. A estos efectos, no podrán transmitirse al medio ambiente exterior niveles de ruido superiores a los indicados, medidos en el interior del recinto industrial a un metro de distancia del cierre exterior que delimita la parcela industrial.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Tipo de área acústica</th> <th colspan="2">Índices de ruido</th> </tr> <tr> <th>día</th> <th>noche</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b.- Sector del territorio con predominio de suelo industrial</td> <td>75 LAeq,d</td> <td>65 LAeq,n</td> </tr> </tbody> </table> <p>Los objetivos de calidad están referenciados a una altura de 4 metros. Se considera como período diurno el comprendido entre las ocho y las veintidós horas, y como período nocturno el comprendido entre las veintidós y las ocho horas. Los índices de ruido son los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderado A, en decibelios, determinado sobre un intervalo temporal de T segundos, definido en la norma ISO 1996-1: 1987.</p> <p>Para el cumplimiento de estos índices de ruido se adoptarán las medidas adecuadas de prevención de la contaminación acústica, en particular mediante la aplicación de las tecnologías de menor incidencia acústica de entre las mejores técnicas disponibles, de acuerdo con el apartado a), del artículo 18.2 de la Ley 37/2003 de noviembre.</p> <p>Deberá realizar un estudio inicial de ruido por una empresa externa acreditada o un técnico titulado competente a los dos meses de la fecha de otorgamiento de la autorización ambiental integrada y posteriormente cada dos años. El estudio inicial de ruido deberá remitirse a esta Dirección General de Medio Ambiente antes de la firma del Acta de Conformidad Ambiental.</p>	OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA			Tipo de área acústica	Índices de ruido		día	noche	b.- Sector del territorio con predominio de suelo industrial	75 LAeq,d	65 LAeq,n	<p>continuo con registrador de históricos. Los resultados de dichos análisis deberán ser correctamente registrados y custodiados por espacio de al menos tres años.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La frecuencia de control del efluente será semanal trimestral, salvo pH y caudal, en continuo. - Serán muestras no conformes las tomadas en condiciones normales de funcionamiento que muestren una desviación de los valores paramétricos en más del 50%, excepto para sólidos en suspensión, que podrán mostrar desviaciones de hasta un 100%. - Se permite un número determinado de muestras no conformes anuales, que estará en función del número total de muestras para cada parámetro: <ul style="list-style-type: none"> • Entre 4 y 7 muestras/año: 1 máximo de no permitidas. • Entre 8 y 16 muestras/año: 2 máximo de no permitidas. • Entre 17 y 28 muestras/año: 3 máximo de no permitidas. • Entre 29 y 40 muestras/año: 4 máximo de no permitidas. • Para un mayor número de muestras se aplicará criterio proporcional. - Deberá remitirse a la Dirección General de Medio Ambiente un informe anual en el que conste los resultados del control del efluente de vertido. - En el caso de incidencia en el cumplimiento del condicionado de la presente autorización, el titular del vertido deberá notificarlo con carácter inmediato a su conocimiento, sin esperar a la realización del Informe anual. - A través de personal autorizado para las labores de inspección, la administración competente realizará los controles que estime oportunos al objeto de contrastar los resultados obtenidos y aportados por el titular de esta A.A.I. - Si como resultado de los controles mediante laboratorio acreditado realizados durante el primer año de vigencia de la presente autorización, los valores obtenidos para los parámetros de control son igual o menores de los valores fijados, dichos controles podrán pasar a realizarse con otra periodicidad a propuesta del titular, previa autorización escrita de la administración competente. - El incumplimiento de los límites de vertidos en los términos establecidos en la presente autorización implicará el retorno a periodicidad semanal, salvo que la administración competente, establezca otros periodos mas adecuados. <p>Control del medio receptor del vertido a dominio público marítimo terrestre:</p> <p>Anualmente, la Junta de Usuarios ya mencionada deberá justificar ante la Dirección General de Medio Ambiente la no afección del vertido al medio receptor.</p> <p>Conexión al colector de aguas industriales:</p>
OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA												
Tipo de área acústica	Índices de ruido											
	día	noche										
b.- Sector del territorio con predominio de suelo industrial	75 LAeq,d	65 LAeq,n										
BOC - Número 207	Lunes, 27 de octubre de 2008	Página 14451										
<p>VERTIDOS PROHIBIDOS</p> <p>a) Materias sólidas o viscosas en cantidades o tamaños tales que, por sí solas o por integración con otras, produzcan obstrucciones o sedimentos que impidan el correcto funcionamiento del sistema o dificulten los trabajos de su conservación o mantenimiento.</p> <p>b) Disolventes o líquidos orgánicos no miscibles en agua, combustibles o inflamables.</p> <p>c) Aceites y grasas flotantes sólidas o semisólidas.</p>	<p>d) Control de las emisiones acústicas.</p> <p>Deberá realizarse estudios del nivel de ruido emitido al ambiente exterior por una empresa externa acreditada o un técnico titulado competente, a los dos meses del otorgamiento de la autorización ambiental integrada y posteriormente cada dos años, con el fin de verificar si se cumplen los límites de ruido recogidos en el apartado F de esta Resolución. Los estudios de ruido deberán remitirse a la Dirección General de Medio Ambiente.</p>											

Figura 13: Ejemplo de AAI

2. Normativa de aplicación.

Una vez recopilados los datos acerca de la AAI y la EMAS de la instalación objeto de inspección, el siguiente paso es, corroborar que los datos que ahí se manifiestan en referencia a normativa de aplicación siguen en vigor.

Para ello, se deberá buscar en la página web del ayuntamiento que corresponde, según ubicación de la instalación, si existe alguna ordenanza municipal (OM de ahora en adelante) en materia de medioambiente para el control de ruido, y en caso afirmativo la revisamos. Esta normativa puede existir o no existir. En caso de que exista OM del municipio en el que se ubique la instalación a inspeccionar, se revisa y se coteja con los datos ya obtenidos para ver quien resulta de aplicación. Se pueden dar distintos escenarios posibles:

- Existe OM actualizada: En este caso, se coteja si lo especificado en la OM es una transcripción del RD1367/2007 directamente o si el ayuntamiento ha especificado medidas más restrictivas. En este caso, resultará de aplicación lo estipulado en la OM.
- No existe OM o si existe está obsoleta: En este caso, será necesario buscar en el órgano inmediatamente superior, la comunidad autónoma, la existencia de medidas de control de ruido en materia de medioambiente, esto aparecerá en formato de Ley o Decreto.
 - Existe normativa a nivel autonómico actualizada: En este caso, resultará de aplicación la normativa a nivel autonómico en materia de medioambiente para el control de ruido. Esta normativa cumplirá como mínimo con el RD1367/2007 o podrá ser más restrictiva, nunca menos.
 - No existe normativa a nivel autonómico o está si existe está obsoleta: En este caso, resultará de aplicación lo estipulado en la AAI que será, como mínimo, el RD 1367/2007.

Una vez clarificado, cual es la normativa de aplicación en materia de medioambiente para el control de ruido ya disponemos de los límites establecidos para el cumplimiento de la instalación, así como los criterios a la hora de planificar las campañas de medida, que también dependerán de la normativa de aplicación, así como la forma en la que se toman las medidas en campo ya que los valores que registrar pueden ser diferentes. El siguiente paso será conocer la zona en la que se ubica la instalación para conocer los distintos usos del suelo para poder aplicar los límites definidos para los diferentes tipos que existen.

3. Usos del suelo

Para establecer que uso del suelo se le da tanto a la ubicación en la que se encuentra la instalación a inspeccionar como las zonas colindantes, acudimos de nuevo a la web del ayuntamiento en cuestión, busquemos si existe un mapa de zonificación acústica del municipio y en caso negativo, nos ponemos en contacto con el departamento de urbanismo del Ayuntamiento para clarificar el tema.

Suelen existir estos mapas de zonificación acústica, a continuación, pondremos un par de ejemplos de diferentes ciudades.

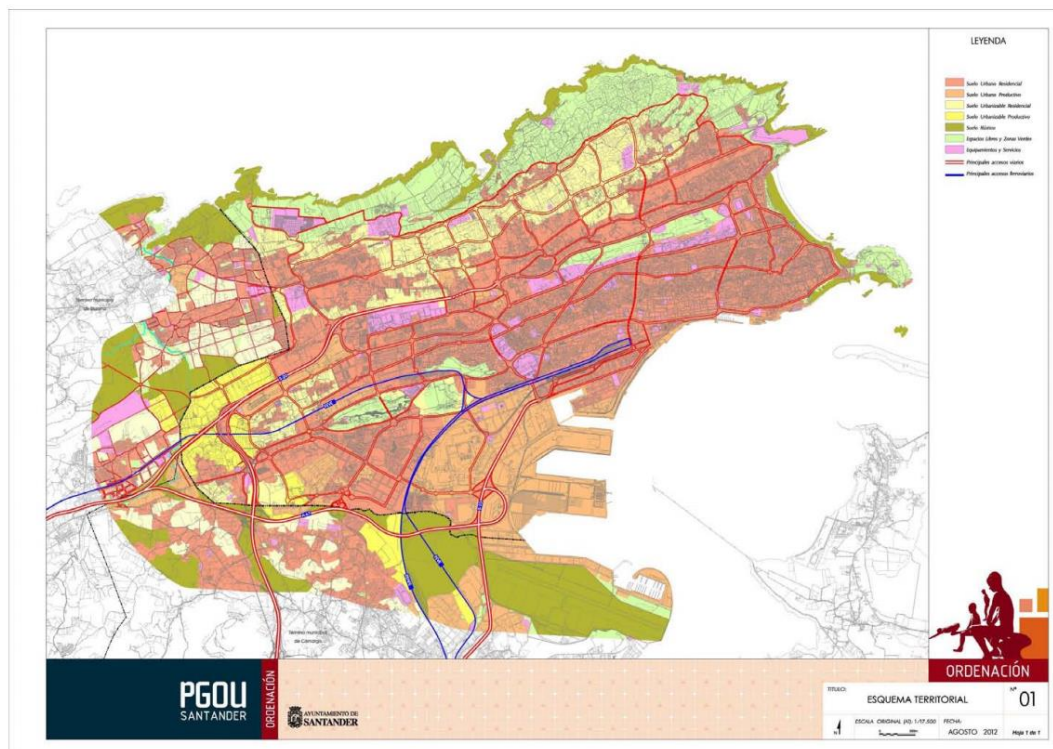


Figura 14: Plano usos del suelo ciudad de Santander

La ciudad de Santander establece en su *Informe de Impacto Ambiental. 3.-Análisis ambiental del medio* página 27, apartado 3.2.1.1.3.2.- *Zonificación Acústica* lo siguiente:

“[...] La zonificación acústica del territorio queda regulada a nivel nacional por el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

De acuerdo con lo establecido en dicho Real Decreto, el PGOU incluye una zonificación acústica del municipio según lo establecido en el Artículo 5 del mismo. Las áreas acústicas vienen definidas por el uso predominante del suelo, ya sea actual o previsto, atendiendo a los siguientes usos:

- a) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.*
- b) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.*
- c) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.*
- d) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en el párrafo anterior.*
- e) Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera de especial protección contra la contaminación acústica.*
- f) Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen.*
- g) Espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica.*

La delimitación territorial de las áreas acústicas y su clasificación se basará en los usos actuales o previstos del suelo, según los criterios del Anexo V del Real Decreto 1367/2007. Por tanto, la zonificación acústica de un término municipal únicamente afectará, excepto en lo referente a las áreas acústicas de los tipos f) y g), a las áreas urbanizadas y a los nuevos desarrollos urbanísticos. En este sentido, el Real Decreto 1367/2007 define el área urbanizada como la superficie del territorio que reúna los requisitos establecidos en la legislación urbanística aplicable para ser clasificada como suelo urbano urbanizado y siempre que se

encuentre ya integrada, de manera legal y efectiva, en la red de dotaciones y servicio propios de los núcleos de población. [...]"

Es importante remarcar que, aunque exista un mapa de zonificación acústica del territorio, siempre es necesario analizar cada caso objeto de estudio en particular. Esto se debe a que, a pesar de existir un uso del suelo específico a nivel urbanístico, muchas veces en la práctica, el uso real de este suelo no se corresponde con el uso estipulado en el plan urbanístico.

De esta forma, es importante recalcar que, una vez en campo, siempre se deberá realizar un reconocimiento de la zona e investigar si realmente el uso del suelo que hemos visto en el mapa de zonificación acústica, hoy en día, se corresponde con el uso real del terreno. De no ser así, caso que se ha dado a menudo, se deberá reflejar en el informe esta casuística y reflejar la comparativa de niveles obtenidos con las dos opciones, supongamos que un suelo establecido como suelo industrial en el mapa de zonificación acústica, a día de hoy tiene un uso claramente residencial, en este caso reflejaríamos esta realidad y realizaríamos la comparativa de los valores obtenidos con ambos niveles (industrial y residencial) de forma que con esos valores, la administración pueda ver el estado de esos puntos de control en ambos casos.

Como se puede observar en los párrafos anteriores, en la figura X.X Aparece el plano de zonificación acústica de la ciudad de Santander, sin embargo, en el informe de impacto ambiental, pág. 27 del PGOU Santander, cita textualmente “[...] las áreas acústicas vienen definidas por el uso predominante del suelo, ya sea actual o previsto [...]”.

3.1.2 Planificación de las campañas de medidas

En este apartado, desarrollaremos la forma en la que se deben planificar las campañas de medidas, dependiendo de la normativa de aplicación de la instalación objeto de estudio. Distinguiremos dos casos, que son aquellas campañas de medidas que se realizan para dar cumplimiento a los objetivos de calidad acústica (OCA) y las campañas de medidas realizadas para dar cumplimiento a el criterio de emisores o nuevas actividades (EMISORES).

1. El ruido de fondo (RF)

Cuando estamos estudiando una fuente de ruido, el ruido de fondo está compuesto por el resto de las fuentes. El ruido total, es decir el ruido medible por el sonómetro, lo determinan el ruido específico más el ruido de fondo. Normalmente estudiamos tanto el ruido específico, como el ruido de fondo y el ruido total para determinar cuánto influye el ruido específico en un punto. Si el ruido específico es mucho más alto que el ruido de fondo, el ruido total lo determinará el ruido específico.

Para ver la importancia del ruido de fondo, bastará con entender que cuando se realizan las medidas de evaluación de una actividad industrial, esta está en funcionamiento, pero, de igual forma que la medida experimental recoge la contribución sonora de dicha actividad, en esta misma medida está recogida la contribución sonora del resto de focos ajenos a la instalación. En los procedimientos de evaluación de instalaciones, se debe valorar únicamente los niveles transmitidos al entorno por el funcionamiento de dichas instalaciones. Ello obliga a caracterizar el ruido de fondo asociado a las contribuciones de focos ajenos al funcionamiento de la instalación analizada. Conociendo este ruido de fondo, se debe analizar la posibilidad de corrección de los valores globales medidos con el ruido de fondo obtenido. El objeto de este análisis es la determinación a partir de las medidas iniciales (Contribución de la instalación + Contribución del ruido de fondo) de la contribución única de la instalación.

Para medir el ruido que produce una fuente de ruido, se debería poder eliminar el ruido que producen todas las otras fuentes de ruido en ese mismo punto de medida. Si no lo hacemos, la medida estará contaminada por el ruido de fondo. Lamentablemente, aunque apaguemos todas las fuentes de ruido que carecen de interés para nosotros, no podemos garantizar que una parte de nuestra medida esté afectada por el ruido de fondo, y por lo tanto, esta medida puede estar sobreestimada. Para corregir esto, debemos realizar otra medida con nuestra fuente de estudio parada. Esta medición es una estimación del ruido de fondo, que utilizaremos para corregir el valor de nuestra medida.

Es importante aclarar que el ruido de fondo estricto no es posible de medir, ya que el ruido de fondo se produce estricto es aquel que se produce mientras se está registrando la medida con actividad. Lo que hacemos es evaluar su valor mediante una medición. Esta medición debe realizarse en las mismas circunstancias en las que medimos el ruido con actividad, pero debe entenderse que este puede no ser exactamente el mismo ruido de fondo que se estaba produciendo mientras se registraba el ruido con actividad, ni, aunque se tomase inmediatamente después de la medida con actividad.

Tal y como se explica, resulta complejo obtener en la mayoría de los casos una medida precisa del ruido de fondo. Solo seríamos capaces de acercarnos si tan solo unos instantes antes o después del registro de los niveles con actividad, pudiésemos tomar registro de estos niveles con la actividad parada. En caso contrario disponemos de diferentes métodos alternativos algunos son, por ejemplo:

- Elección de una posición alternativa cumpliendo ciertos requisitos geográficos y sonoros
- Mediante una evaluación teórica simple o compleja del ruido de fondo

La forma de trabajo de las grandes industrias hace que, debida su naturaleza, suelen tener un funcionamiento 24/7 y los procesos de trabajo no pueden pararse a demanda. Un claro ejemplo sería una planta de generación eléctrica, resulta imposible solicitar a la instalación que, tras cada registro con actividad de 10' de duración, se realice una parada de la planta, lo que conlleva una parada de la producción para la realización de otra medida de 10' con la única finalidad de registrar el ruido de fondo. Esto hace que, en la mayoría de las ocasiones, en la campaña de medidas de caracterización sonora de una industria no pueda ser caracterizado el ruido de fondo.

En las industrias cuyo régimen de funcionamiento sea 24/7, los 365 días del año, situación que se deberá ser demostrada y donde no se puedan aplicar los procesos alternativos de definición del ruido de fondo, no será posible caracterizar el ruido de fondo. En estos casos se utilizarán los resultados obtenidos como el máximo valor registrado en cada punto, siendo este el resultante del ruido formado por el ruido de la actividad más el ruido de fondo.

De esta forma el valor equivalente en el punto, de haberse podido registrar el ruido de fondo, producido por la actividad sería como máximo el valor registrado durante la medida o menor, pero nunca podría ser mayor.

En el caso de que la actividad, tenga un funcionamiento irregular o períodos sin funcionamiento, los pasos serán otros. En el caso de una industria en la que se pudiesen realizar las medidas tal y como se recoge en el RD1367/2007, o lo que es lo mismo, tomando una medida del ruido de fondo tras cada registro medido con actividad o, se realizará de esta forma.

En caso de que la industria no permita el registro del ruido de fondo tras cada medida con actividad, que es el caso más habitual, la mejor aproximación posible es, realizar una segunda campaña de medidas para registrar únicamente el ruido de fondo, las condiciones de ruido de fondo deberán serlo más parecidas posibles a cuando se tomaron las medidas con actividad, por ejemplo, realizando las medidas de ruido de fondo en la misma época del año en la que se tomaron las muestras con actividad, tomar las medidas de RF en cada punto en el mismo horario en el que se registraron las medidas con actividad...etc

Cuando se da este caso, que suele ser el más habitual, se busca una solución alternativa, algunas de estas soluciones son:

- Conocer si la instalación tiene períodos con producción 0.
- Conocer las paradas programadas para mantenimientos/revisiones de equipos y realizar una campaña de medidas en dichas fechas.
- Ver si es posible planificar una parada de la planta, con suficiente antelación, para poder realizar una campaña de medidas del ruido de fondo.

Hacer que todos estos criterios se den en unas situaciones de ruido de fondo similares es una utopía ya que, el ruido de fondo que hay en un instante probablemente minutos más tarde ya no sea el mismo, por lo que esto tan solo es una aproximación del método, mediante una desviación. Es cierto que este tipo de desviaciones pueden ser mínimas y cuantificables, simplemente reproduciendo en varios días estas medidas.

Incluso haciéndolo, siguiendo todos estos pasos, existen ocasiones en las ni así es posible caracterizar el RF de todos los períodos día, tarde y noche.

La problemática asociada a la caracterización del RF es extremadamente compleja y variada. En estos casos se deberá documentar los motivos y los procedimientos realizados para su mejor caracterización.

2. Criterio de Objetivos de calidad acústica (OCA). Situaciones existentes

Aunque los Objetivos de calidad están pensados para evaluar las condiciones sonoras existentes en un emplazamiento, independientemente del emisor o emisores que contribuyan a dichos niveles, la falta de criterio para instalaciones o actividades existentes hace que este criterio se utilice para evaluaciones de actividades existentes. El periodo de evaluación es un periodo anual.

El criterio de objetivos de calidad acústica valora si en cada punto de control, se cumplen los valores para afirmar que en dicho punto existe calidad acústica. La principal característica de este criterio es, que evalúa cada punto durante un período anual y no cada medida como una medida aislada en un momento determinado. Este criterio resulta de aplicación en aquellas instalaciones que son anteriores a la entrada en vigor del RD 1367/2007 y cuyas normativas autonómicas y/u ordenanzas municipales así lo respetan.

Para dar cumplimiento a este criterio, se deben realizar una serie de medidas mediante las cuales, podamos asegurar que los registros de medidas realizados hacen referencia a una situación de funcionamiento que pueda suponerse representativa del funcionamiento anual de la instalación.

El objetivo de estas medidas es obtener un índice sonoro diario (día, tarde y noche) lo más próximo al que se obtendría si se realizasen medidas continuadas de 24 horas los 365 días del año que está siendo evaluado.

Es por ello importante, tener un conocimiento extenso del funcionamiento anual de la instalación a analizar. Se deberá conocer si el funcionamiento de la instalación presenta diferentes regímenes de funcionamiento en función de los días (laborales/festivos), en función de los meses (p.ej. estacionales), o en función de cualquier otra característica. Este conocimiento debe poder basarse, y ser justificado, preferiblemente en documentos independientes de la actividad.

Sabido esto, procedemos a planificar las diferentes campañas de medidas de las que se compondrá el estudio de una instalación cuya normativa de aplicación sean los objetivos de calidad.

Ya que resulta poco realista la toma de medidas los 365 días del año, se puede establecer un procedimiento alternativo basado en la realización de una serie de campañas de medidas, repartidas a lo largo del año en los períodos de funcionamiento más representativos, de forma que unidas, reflejen un escenario que pueda comprarse con el funcionamiento anual real de esta instalación.

Es decir, igual que no se realizan medidas continuas de 24 horas para caracterizar los niveles diarios, sino que se realizan medidas puntuales que caracterizan las diferentes fases sonoras en un día, se procederá a la caracterización de los diferentes periodos de funcionamiento a lo largo de un periodo anual.

a) Las campañas de medidas

Las campañas de medidas que realizamos para dar cumplimiento al criterio de OCA, pasan por la realización de campañas de medidas, distribuidas a lo largo del año, en función de las características de la instalación objeto de estudio.

- Toma de suficientes medidas en cada período del día para caracterizar correctamente las diferentes fases sonoras de la actividad analizada.
- Duración mínima de la medida para poder caracterizar correctamente el funcionamiento de la actividad durante el periodo de evaluación puntual. Normativamente no existe una duración mínima ya que la casuística del ruido analizado es muy amplia. Normalmente la duración puede oscilar entre 5 minutos a 20 minutos.
- Es un requisito definido por la normativa (RD1367/2007) la monitorización de la actividad analizada. Instalación de una estación de monitorizado para la Toma medidas de ruido desde al menos 24h antes del comienzo de la campaña.

Es importante comentar que, a pesar de realizar una planificación de los trabajos con la suficiente antelación, esta no siempre se podrá cumplir debido a que, para la realización de estos trabajos, contamos con la influencia de una serie de factores que no podemos controlar, como por ejemplo la climatología, ciertos trabajos de mantenimiento que son incompatibles con la toma de medidas acústicas in situ... por lo que esta planificación a veces puede resultar difícil de respetar.

Tengamos en cuenta que, para cumplir con el requisito normativo de OCA, se deben tomar medidas de control bajo los siguientes criterios:

- Altura del micrófono preferiblemente a 4m de altura
- Velocidad del viento menos de 5m/s
- No exista lluvia

En el supuesto caso de que alguno de los criterios anteriores no pudiera cumplirse, se aplazarán dichas medidas para otro momento en el que pueda asegurarse su cumplimiento.

3. Criterio de Emisores. Nuevas actividades

Este criterio está definido para evaluar la contribución única de un emisor, en este caso actividad, en un determinado emplazamiento y periodo. La normativa de aplicación define para los diferentes usos y periodos los siguientes límites:

Tipo de área acústica		Índices de ruido		
		$L_{k,d}$	$L_{k,e}$	$L_{k,n}$
a	Residencial	55	55	45
b	Industrial	65	65	55
c	Recreativa y de espectáculos	63	63	53
d	De uso terciario diferente al contemplado en c)	60	60	50
e	Sanitario, docente y cultural	50	50	40

Tabla 10: Índices de ruido para el criterio de Emisores/Nuevas actividades

En este criterio el parámetro evaluador son los índices sonoros $L_{k,d}$, $L_{k,e}$ y $L_{k,n}$. Estos índices se calculan promediando previa corrección/penalización de los valores medidos.

$$L_{k_{eq},T_i} = L_{A_{eq},T_i} + K_t + K_f + K_i$$

$$L_{K,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i 10^{\frac{L_{k_{eq},T_i}}{10}} \right]$$

Al valor medido L_{A_{eq},T_i} cabe la posibilidad de tener que sumarle las penalizaciones por presencia de componentes tonales (K_t), componentes de baja frecuencia (K_f) y componentes impulsivos (K_i).

Estas penalizaciones sólo pueden tener valores de 0, 3 o 6 en función del grado de presencia de los componentes. La suma de estas penalizaciones no puede superar el valor de 9 para el total ($K_t+K_f+K_i$).

La normativa de aplicación determina que, a efectos de inspección de actividades en funcionamiento, se considera que se respetan los valores límite de inmisión de ruido cuando se cumple que:

- Ningún valor diario $L_{K,x}$ de cualquiera de los tres periodos ($L_{K,d}$ =día, $L_{K,e}$ =tarde y $L_{K,n}$ =noche), supera en más de 3 dB(A) los valores de la anterior tabla.
- Ningún valor de L_{k_{eq},T_i} de cualquier medida supera en 5 dB(A) los valores de la anterior tabla.

a) Las campañas de medidas

La principal diferencia de este criterio frente al criterio de objetivos de calidad es que, el criterio de emisores evalúa la molestia en un punto de control en el período de máxima molestia, es decir, en un determinado momento donde la molestia es máxima y no a lo largo de un período anual. Esto, por lo tanto, marca la diferencia a la hora de planificar las campañas de medidas.

Se debe evaluar la posibilidad de alcanzar las condiciones de máxima molestia de forma forzada, es decir, si la instalación analizada puede forzarse a generar la máxima molestia la definición de la campaña de medida será simple, bastará con provocar la máxima molestia en cada periodo y medirla. Este criterio de evaluación está pensado para nuevas instalaciones, y en consecuencia es simple pensar que antes de la entrada en servicio de la instalación es simple medir la instalación funcionando a máximo régimen y parada.

El problema radica cuando no se puede forzar de forma razonable la máxima molestia. En estos casos se deberá intentar prever cuando dicha máxima molestia, y planificar una campaña de medidas en dichas condiciones. En estos casos se deberá contemplar la realización de un número suficientes de medidas dentro del periodo de evaluación (día, tarde y/o noche) que permita determinar tanto la medida de máxima molestia como el valor del índice sonora en el día de máxima molestia.

Es importante comentar que, a pesar de realizar una planificación de los trabajos con la suficiente antelación, esta no siempre se cumple debido a que, para la realización de estos trabajos, contamos con una serie de factores que no podemos controlar, como por ejemplo la climatología, las festividades locales, ciertos trabajos de mantenimiento que son incompatibles con la toma de medidas acústicas in situ... por lo que esta planificación a veces resulta difícil de respetar.

Tengamos en cuenta que, para cumplir con el requisito de emisores, se deben tomar medidas de control bajo los siguientes criterios:

- Altura del micrófono a no menos de 1,5m de altura
- Velocidad del viento menos de 5m/s
- No exista lluvia

En el supuesto caso de que alguno de los criterios anteriores no pudiera cumplirse, se aplazarán dichas medidas para otro momento en el que pueda asegurarse su cumplimiento.

3.1.3 Campaña de medidas. Registro y tratamiento de datos

En este apartado se describe el posible tratamiento de los registros y los datos recogidos durante las campañas de medidas realizadas en campo.

El procedimiento de medición y cálculo de correcciones por presencia de componentes tonales, componentes impulsivas y componentes de baja frecuencia es el definido en el punto 3. *Métodos y procedimientos de medición de ruido*, definidos en el Apartado A del Anexo IV del RD1367/2007,

El estudio acústico de una planta industrial conlleva el manejo de un número altísimo de datos, compuesto tanto por medidas ambientales, hojas de campo, datos de meteorología, posiciones en coordenadas UTM... etc

Para llevar a cabo todo el postprocesamiento de los datos sin la posibilidad de cometer errores, se debe desarrollar una forma de trabajo que permita realizar este trabajo en un entorno controlado.

1. *Instrumentación de medida*

Los elementos que utilizamos en las campañas de medida para el registro de los datos, los diferenciamos en dos tipos.

- Instrumentación acústica
- Instrumentación no acústica

a) *Instrumentación acústica.*

Estos equipos son aquellos que se utilizan exclusivamente para las medidas acústicas. La principal característica de estos equipos es que, para su utilización dentro del estado español, deben cumplir con una serie de requisitos normativos. Estos requisitos vienen definidos en la Orden Ministerial ITC/2845/2007, recientemente derogada por la Ministerial ITC/155/2020. Estos equipos deben ser verificados por un laboratorio acreditado que certifique la idoneidad de estos.

Estos equipos están formados por:

- Sonómetros (formados por Preamplificador + Micrófono)
- Calibrador o Pistófono



Figura 15: Ejemplo de Sonómetro



Figura 16: Ejemplo de pistófono



Figura 17: Ejemplo de calibrador acústico

b) Instrumentación no acústica

La instrumentación no acústica es toda aquella que se utiliza en las campañas de medidas con una finalidad distinta a la anterior. Con estos instrumentos no tomamos medidas de ruido, si no que controlamos otros parámetros como la temperatura y humedad relativas, la velocidad del viento o la localización de los puntos. Estos equipos no presentan la necesidad de verificación normativa, pero se utilizan para determinar la idoneidad de las condiciones en que se realizan las medidas, y en consecuencia su correcto funcionamiento compromete la precisión de los trabajos de medida de ruido. Lo recomendable es proceder a la verificación de su precisión mediante calibrado en laboratorios acreditados.

También incluimos aquí otra serie de elementos como los trípodes, los cables, los kit de intemperie, aparatos para la medida de las condiciones climatológicas (termohigrómetros, anemómetros...) ...etc.

2. La selección de los puntos de control

Para la realización de un estudio acústico, es necesario que el técnico que realice dicho estudio seleccione, en base a las necesidades del estudio y su criterio razonado, aquellos puntos de control que considere representativos en materia de ruido a lo largo del perímetro de la instalación.

Para ello, antes de comenzar las medidas deberemos decidir cuáles son aquellos puntos donde la influencia de la instalación resulta representativa (aquellos puntos donde la incidencia promedio o puntual es máxima) y por lo tanto definiremos que ese y no otro debe ser uno de los puntos de control.

Para ello, se debe realizar un reconocimiento a lo largo de la zona de influencia sonora de la instalación objeto de estudio y confirmar mediante medidas de control simples las sensaciones subjetivas, comprobando así cuales son las posiciones en las que decidiremos realizar medidas de control. Para ello,

nos acompañamos de una hoja de ruta en la que se encuentra el plano de la zona, las diferentes áreas que lo rodean con sus usos del suelo y los valores que vamos midiendo a lo largo de nuestro recorrido.

Una vez realizado esto, procesados dichos datos y comprobamos que efectivamente, aquellos puntos que para nosotros han resultado representativos, lo son. Este procedimiento se deberá realizar en todos los usos del suelo diferenciados que existen en el entorno de afectación sonora de la instalación.

Para ello se establecen diferentes tipos de puntos de control, en función del uso del suelo, los usos del suelo pueden ser:

- Punto de control cuyo uso del suelo es residencial → Pej: EURx
- Punto de control cuyo uso del suelo es industrial → Pej: PERx

Una vez realizado esto, ya tendremos el mapa de posiciones de control con el que desarrollaremos las distintas campañas de medidas, tanto de ruido de actividad como de ruido de fondo.



Figura 18: Ejemplo de un mapa de puntos de control (entorno urbano EURx)



Figura 19: Ejemplo de un mapa de puntos de control (entorno industrial PERx)

Durante la campaña de medidas se debe confirmar que en todas las condiciones con las que ha definido la instalación y planificado la campaña se han cumplido. Si se detectasen desviaciones, se tendrá que modificar la campaña de medida mediante la realización de más medidas o añadiendo nuevas posiciones de medida. No se puede dar por concluida una campaña sin estar totalmente seguro de haber logrado caracterizar correctamente la instalación.

3. El registro de los datos en campo

Cuando se inicia una campaña de medidas ambientales de ruido podemos suponer que el volumen de datos que vamos a recoger son un número muy elevado, es por ello que la organización y el archivado de estos resulta fundamental para su posterior tratamiento con éxito.

Se trata de un volumen de datos de una instalación promedio puede rondar las 100 medidas en una campaña al uso, a lo que deberemos sumarle los datos que recojamos en campañas posibles campañas adicionales. Para este trabajo, resulta fundamental realizar un registro pormenorizado de cada dato, dotándolo de toda la información necesaria para poder saber en cada momento, información crítica a la hora de su tratamiento. Este registro de datos debe realizarse acompañándolo de hojas de campo, son unas hojas en las que se anota cada dato relativo a la medida de forma que lo haga único para poder asegurar la exactitud de los datos procesados.

De igual forma, el instrumental acústico que utilizado para la toma de medidas guarda cada medida con un nombre de archivo y audio únicos, de forma que no es posible confundir las medidas entre si. En la actualidad existen equipos con tecnología WELLMEC que impide la manipulación de fechas y horas.

Los datos que deben registrarse en las hojas de campo deben contemplar la siguiente información:

- Número de medida
- Fecha de la medida
- Coordenadas GPS del punto de control
- Hora de la medida
- Número de fichero de registro del sonómetro
- Nombre del punto de control
- Número de fichero de audio ~~del sonómetro~~
- El valor equivalente subjetivo de la medida
- Temperatura
- Humedad
- Viento
- Eventos transitorios propios y/o ajenos a la instalación analizada (p.ej. paso de coches, aviones, canto de pájaros, ...)

A continuación, se muestra una hoja de campo como las utilizadas en una campaña de medidas.

		Ensayo:				Técnico:			
						Año:			

Calibrado					Observación				
Sonómetro		s/n:			Nubosidad:				
Calibrador		s/n:			Viento				
Nivel 1			<input type="checkbox"/> Inicial <input type="checkbox"/> Interm <input type="checkbox"/> Final	Mar:	Bajamar:				
Nivel 2					Pleamar:				
Registros	L	R			Estado:				

NR	POS	FECHA	HORA	TRANS	AUDIO	FS	T (°C)	%HR	V (m/s)
	Leq dB(A)					Lmin / Lmax			

NR	POS	FECHA	HORA	TRANS	AUDIO	FS	T (°C)	%HR	V (m/s)
	Leq dB(A)					Lmin / Lmax			

NR	POS	FECHA	HORA	TRANS	AUDIO	FS	T (°C)	%HR	V (m/s)
	Leq dB(A)					Lmin / Lmax			

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Figura 20: Modelo de hoja de campo utilizada en el registro de medidas in situ

4. El tratamiento de los datos

Aquí explicaremos brevemente, los pasos que seguimos para realizar el tratamiento de los datos. En esta fase del estudio, realizamos el análisis, la comparativa y la muestra de los resultados.

a) El análisis de los datos

Finalizadas las distintas campañas de medidas de registro de los datos necesarios para analizar la instalación objeto de inspección, bajo los criterios de la normativa que le resulte de aplicación, pasamos a la parte de oficina en la que se realiza el estudio pormenorizado de todos esos datos.

Una vez que tenemos todos los datos relativos a una instalación, seguimos una serie de pasos, que son los siguientes:

- Determinación de los Niveles sonoros equivalentes de cada medida. Este valor podrá ser corregido posteriormente mediante la sustracción del ruido de fondo según el procedimiento definido a tal efecto en la normativa de aplicación (p.ej. RD 1367/2007, normativas autonómicas o locales).
- En el caso de un análisis según la normativa de Emisores, se determinarán los factores de corrección por presencia de componentes tonales, de baja frecuencia e impulsionales.
- Determinación de la incertidumbre asociada a cada medida. Para ello se puede seguir el procedimiento establecido en normativas técnicas (p.ej. ISO 1996-2:2007).
- Si se utilizan evaluación de índices sonoros, se deberán determinar las incertidumbres de dichos índices, utilizando las técnicas de propagación de errores.

El objetivo es, asociar a cada posición de medida un valor del parámetro evaluable acotado con una incertidumbre.

b) Evaluación de los datos

En la realización de la evaluación normativa de los datos, la propia normativa puede definir el procedimiento a utilizar. Existen documentos técnicos que pueden ayudar en el caso de normativas en donde no se defina el procedimiento de evaluación. Como un ejemplo característico de estos documentos se puede mencionar el documento “*Directrices para informar sobre el cumplimiento con especificaciones (ILAC G8:03/2009).*” G-ENAC-15 Rev.1 Julio 2009.

4. EL ESTUDIO ACÚSTICO

En este punto, desarrollaremos las partes de las que se debe componer un estudio acústico. Así mismo ampliaremos la información acerca de cómo deben estructurarse los estudios acústicos, describiendo aquellas partes de las que debe estar formado. Aunque cada normativa puede contemplar diferentes requisitos, a modo de guía genérica, se muestra la información mínima que deben contener para cumplir con la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2007.

Para llegar a la parte de emisión de resultados, hemos de pasar por otras fases en las que se han de analizar, discretizar y calcular aquellos valores que se han obtenido en campo, mediante el registro de medidas, tratados con el mayor de los cuidados para asegurar que esos resultados mostrados, a través de los cuales emitimos las conclusiones de cada estudio realizado, son completamente fiables.

4.1 Requisitos para la elaboración de un informe

Los resultados se deben suministrar de manera exacta, clara e inequívoca, usualmente en un informe, y deben incluir toda la información acordada con el cliente y la necesaria para la interpretación de los resultados y toda la información exigida en el método utilizado. Todos los informes emitidos, se deben conservar como registros técnicos. En la norma UNE-ISO/IEC 17025/2007, se especifican una serie de requisitos que deben incluir los informes de evaluación, estos requisitos se muestran en los siguientes apartados.

4.1.1 Requisitos comunes para los informes (ensayo, calibración o muestreo)

En el apartado 7.8.2 de la norma, vienen recogidos los requisitos comunes para los informes, de laboratorios de ensayo, calibración o muestreo.

Especifica que, cada informe debe incluir, al menos, la siguiente información, a menos que el laboratorio tenga razones válidas para no hacerlo, minimizando así cualquier posibilidad de interpretaciones equivocadas o de uso incorrecto:

- Un título (por ejemplo, “Informe de ensayo”, “Certificado de calibración” o “Informe de muestreo”)
- El nombre y dirección del laboratorio
- El lugar en el que se realizan las actividades de laboratorio, incluso cuando se realizan en las instalaciones del cliente o en sitios alejados de las instalaciones permanentes del laboratorio, o en instalaciones temporales o móviles asociadas
- Una identificación única de que todos sus componentes se reconocen como una parte de un informe completo o una clara identificación del final
- El nombre e información del contacto del cliente
- La identificación del método utilizado
- Una descripción, una identificación inequívoca y, cuando sea necesario, la condición del ítem
- La fecha de recepción de los ítems de calibración o ensayo, y la fecha del muestreo, cuando esto sea crítico para la validez y aplicación de los resultados
- Las fechas de ejecución de la actividad del laboratorio
- La fecha de emisión del informe
- La referencia al plan y método de muestreo usados por el laboratorio u otros organismos, cuando sean pertinentes para la validez o aplicación de los resultados
- Una declaración acerca de que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo, calibración o muestreo
- Los resultados con las unidades de medición, cuando sea apropiado
- Las adiciones, desviaciones o exclusiones del método
- La identificación de las personas que autorizan el informe

- Una identificación clara cuando los resultados vengan de proveedores externos
- La inclusión de una declaración que especifique que sin la aprobación del laboratorio no se debe reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, puede proporcionar seguridad de que partes un informe no se sacan de contexto.

4.1.2 Requisitos específicos para los informes de ensayo.

Además de los requisitos comunes, los informes de ensayo deben incluir lo siguiente, cuando sea necesario para la interpretación de los resultados de ensayo:

- Información sobre las condiciones específicas del ensayo, tales como condiciones ambientales
- Cuando sea pertinente, una declaración de conformidad con los requisitos o especificaciones
- Cuando sea aplicable, la incertidumbre de medición presentada en la misma unidad que el mensurando o en un término relativo al mensurando (por ejemplo, porcentaje) cuando:
 - Sea pertinente a la validez o aplicación de los resultados de ensayo
 - Una instrucción del cliente que lo requiera
 - La incertidumbre de medición afecte a la conformidad con un límite de especificación
- Cuando sea apropiado, opiniones o interpretaciones
- Información adicional que pueda ser requerida por métodos específicos, autoridades, clientes o grupos de clientes

4.1.3 Información de muestreo – requisitos específicos

Cuando el laboratorio es responsable de la actividad de muestreo, además de los requisitos enumerados en el apartado 4.1.1, los informes deben incluir lo siguiente, cuando sea necesario para la interpretación de los resultados:

- La fecha del muestreo
- La identificación única del ítem o material sometido a muestreo (incluido nombre del fabricante, el modelo o tipo de designación y los números de serie según sea apropiado)
- La ubicación del muestreo, incluido cualquier diagrama, croquis o fotografía
- Una referencia al plan y método de muestreo
- Los detalles de cualquier condición ambiental durante el muestreo, que afecte a la interpretación de los resultados
- La información requerida para evaluar la incertidumbre de medición para ensayos o calibraciones subsiguientes.

4.1.4 Información sobre declaraciones de conformidad

Cuando se proporciona una declaración de conformidad con una especificación o norma, el laboratorio debe documentar la regla de decisión aplicada, teniendo en cuenta el nivel de riesgo asociado con la regla de decisión empleada y aplicar dicha regla.

El laboratorio debe informar sobre la declaración de conformidad, de manera que identifique claramente:

- A que resultados se aplica la declaración de conformidad
- Que especificaciones, normas o partes de ésta se cumplen o no
- La regla de decisión aplicada, a menos que sea inherente a la especificación o norma solicitada

4.2 Elaboración de un estudio acústico

Una vez que tenemos claras aquellas partes de las que al menos debe estar formado un estudio de muestreo, según la norma UNE-ISO/IEC 170025/2007, pasamos a definir aquellos apartados en los que se debería elaborar y desarrollar dicho informe.

Este informe puede estar formado por 3 partes claramente diferenciadas, que son:

- Tapa y portada
- Cuerpo del informe
- Anexos

A continuación, se desarrollará la forma y el contenido en la que estos apartados deben ser elaborados para dar cumplimiento al formato especificado en la norma.

4.2.1 Tapa y portada

Tal y como exige la norma ISO 17025/2007, todos los informes de ensayo deben comenzar con una tapa o portada en la que se registren datos específicos de la empresa que elabora el informe, como del cliente y la instalación a inspeccionar.

Esta parte del informe debe albergar cierta información específica tanto sobre el cliente que solicita la realización de los trabajos (Nombre de la empresa, dirección, Persona de contacto, lugar de realización del estudio, naturaleza de la instalación... etc), como de la empresa que realiza dichos trabajos (Datos de la empresa, Dirección, Datos del técnico que realiza el estudio, ...etc).

4.2.2 El cuerpo del informe

Para elaborar el informe, debemos tener en cuenta la información relevante que debe aparecer en él, de modo que, cuando una persona consulte un informe como este, antes de llegar al apartado en el que se muestran los valores resultantes, que dictaminen el cumplimiento, incumplimiento o no concluyente de los mismos, debe poder entender la metodología utilizada, los tipos de suelos que están bajo estudio, la normativa que resulte de aplicación en cada caso en particular, las distintas fechas en las que se han realizado las campañas de medidas... etc.

A continuación, se explicarán cuáles son los apartados de los que debe componerse un informe para que este sea claro y cualquier persona que lo consulte, pueda entender con perfecta claridad el contenido de dicho informe sin dejar margen de duda acerca de lo que se dictamina en el mismo.

1. Introducción y Objetivo del trabajo
2. Descripción de la instalación
3. Análisis de la Normativa de Aplicación
4. Descripción de los Trabajos
 - a. Descripción de la Instalación y el Entorno
 - b. Descripción de la Metodología
 - c. Condiciones de funcionamiento
 - d. Condiciones Meteorológicas
 - e. Resultados de las Medidas
5. Evaluación Normativa de las Medidas
6. Conclusiones

4.2.3 Emisión de resultados

Por último, se deben de emitir en un apartado independiente los valores resultantes finales, tras la aplicación de todo el procedimiento de análisis de las medidas, los cuales, arrojarán unas conclusiones que supondrán uno de los tres siguientes casos posibles:

- Cumplimiento de la normativa de aplicación
- No cumplimiento de la normativa de aplicación
- Resultado no concluyente respecto al cumplimiento o incumplimiento de la normativa de aplicación.

Estos tres casos, se distinguen en función de los valores obtenidos tras el análisis de todos los datos recogidos en las distintas campañas de medidas, su procesamiento en oficina con el software de análisis, la corrección por ruido de fondo y la adhesión de los valores de incertidumbre asociados a cada punto de control.

En el documento “Directrices para informar sobre el cumplimiento con especificaciones (ILAC G8:03/2009).” G-ENAC-15 Rev.1 Julio 2009. En su apartado “5. DECLARACIÓN DE CUMPLIMIENTO CON UNA ESPECIFICACIÓN PARA UNA ÚNICA MAGNITUD” vienen especificados aquellos criterios a seguir para poder determinar el cumplimiento, incumplimiento o no concluyente de los resultados obtenidos en cada punto de control. A continuación, se muestra un extracto de este documento, en el cual vienen especificados los criterios para declarar cumplimiento, no-cumplimiento o no conclusión de los resultados.

[...] 5. DECLARACIÓN DE CUMPLIMIENTO CON UNA ESPECIFICACIÓN PARA UNA ÚNICA MAGNITUD

[...] 5.3 Se recomienda el siguiente enfoque para un determinado límite superior de especificación (un límite inferior se trata de forma similar).

- Cumplimiento:** si el resultado de la medida más la incertidumbre expandida con una probabilidad de cobertura del 95% no supera el límite de especificación, entonces se puede declarar el cumplimiento con la especificación (ver caso 1 de la figura 1). Se puede informar de esto como “Cumple” o “Cumple - El resultado de la medida está dentro (o por debajo) del límite de especificación cuando se tiene en cuenta la incertidumbre de la medida” En calibración esto se informa muy a menudo con “Pasa”
- No-cumplimiento:** si el resultado de la medida menos la incertidumbre expandida con probabilidad de cobertura del 95% supera el límite de especificación, entonces se puede declarar el no cumplimiento con la especificación (ver el caso 4 de la figura 1). Se puede informar como “No cumple” o “No cumple – el resultado de la medida está fuera (o por encima) del límite de la especificación cuando se toma en cuenta la incertidumbre de medida”. En calibración a menudo se informa como “No pasa”.
- Si el resultado de la medida más/menos la incertidumbre expandida con una probabilidad de cobertura del 95% incluye el límite (ver los casos 2 y 3 de la figura 1) no es posible declarar el cumplimiento o no-cumplimiento. En este caso se debería informar del resultado de medida y la incertidumbre expandida con una probabilidad de cobertura del 95% junto con la declaración indicando que ni el cumplimiento ni el no cumplimiento han sido demostrados.

Una declaración apropiada para cubrir estas situaciones podría ser “No es posible declarar cumplimiento o no cumplimiento” En el caso 2 de la figura 1 es posible indicar que la medida está por debajo del límite, lo que puede realizarse utilizando una declaración similar “no es posible declarar el cumplimiento utilizando una probabilidad de cobertura del 95% para la incertidumbre expandida, aunque el resultado de la medida está por debajo del límite”. Si se informa con declaraciones más cortas ni se debería dar la impresión de que el resultado cumple con la especificación.

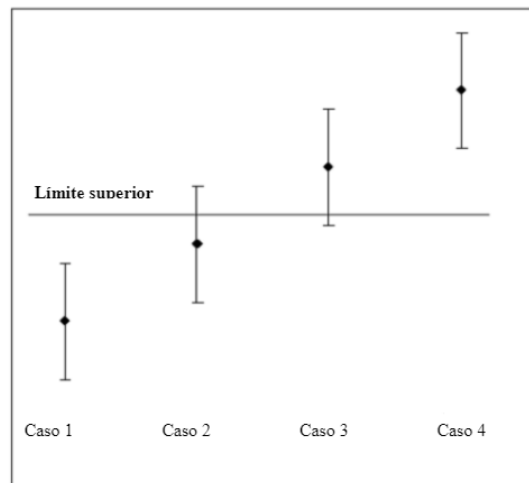


Fig. 1 El cumplimiento con la especificación para un límite superior

Figura 21: Casos establecidos por ENAC para emisión de resultados

Las declaraciones de cumplimiento pueden extenderse para declarar explícitamente si el cumplimiento se refiere a un límite superior o inferior de especificación utilizando una probabilidad de cobertura del 95%. [...]

Es por lo tanto que, resumiendo esta especificación, diremos que un punto de control cumple o no con la normativa de aplicación si se dan los siguientes casos:

- Cumplimiento: El valor resultante tras el análisis más/menos la incertidumbre expandida se encuentra por debajo del límite superior (Caso 1)
- No-cumplimiento: El valor resultante tras el análisis más/menos la incertidumbre expandida se encuentra por encima del límite superior (Caso 4)
- No concluyente: El valor resultante tras el análisis menos la incertidumbre expandida se encuentra por debajo del límite superior mientras que el valor resultante más la incertidumbre expandida se encuentra por encima del límite superior (Caso 2 y Caso 3)

4.2.4 Anexos

En función de la tipología de los trabajos a realizar, y en función del criterio del técnico que los realice, será necesaria la inclusión de una u otra información en forma de anexos. Sin embargo, independientemente de la tipología de los trabajos, siempre se deberán incluir los siguientes anexos:

1. Descripción detallada del procedimiento de definición de las posiciones y los intervalos de medida utilizados. Es fundamental conocer el criterio elegido para el muestreo espacial y temporal de las medidas realizadas. Es decir, debe detallarse de forma clara e inequívoca el procedimiento definido para decidir donde y cuando se realizan las medidas de caracterización de la instalación analizada.

2. Listado de los parámetros acústicos de las medidas realizadas, así como las condiciones meteorológicas durante la medida. Evidentemente en función de la tipología del trabajo se mostrarán unos u otros parámetros.
3. Listado de la instrumentación utilizada y Certificados de verificación metrológica legal de cada uno de ellos.
4. Descripción detallada de los procedimientos de cálculo de las incertidumbres asociadas a las medidas e índices.

5. CONCLUSIONES

Aunque las conclusiones se han ido presentando a lo largo de todo el trabajo en los diferentes apartados de la memoria, como conclusiones finales del trabajo cabe destacar:

1. Que el objetivo principal de este trabajo fin de grado se ha completado a través de desarrollar un protocolo a través del cual, puede realizarse el estudio de impacto acústico que las instalaciones industriales tienen en su entorno.
2. Se ha explicado la forma en la que se debe desarrollar este protocolo, siguiendo siempre los criterios y modos que vienen recogidos en el RD 1367/2007 de 19 de Octubre por el que se desarrolla la Ley 37/2003 de 17 de Noviembre, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, siendo esta la norma de aplicación dentro del territorio español.
3. Se ha explicado el procedimiento que se ha de seguir, en materia de normativas de aplicación, para conocer la forma en la que se debe estudiar una instalación antes de proceder a la toma de medidas, de forma que esté claro que procedimiento de toma de muestras recoger, como realizar estos trabajos y su evaluación.
4. Se ha explicado el funcionamiento del software de análisis propio para el cálculo de niveles y su posterior evaluación conforme a la normativa de aplicación.
5. Finalmente, se ha explicado las distintas partes de las que debe estar compuesto un estudio acústico para que a la hora de elaborar un informe se recoja toda la información mínima requerida de forma que se cumpla con la especificación que rige la redacción de estos documentos, los apartados de los que debe estar compuesto y la información que ha de recoger cada uno de esos apartados.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
<https://www.boe.es/eli/es/l/2003/11/17/37>
2. RD 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/10/19/1367/con>
3. Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2002-81289>
4. RD 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, en lo referente a evaluación y gestión del ruido ambiental.
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2005/12/16/1513/con>
5. UNE-ISO/IEC 170025/2007, Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración.
6. Manuel Recuero López - 'Ingeniería acústica' – Paraninfo
7. Leo L. Beranek - 'Acoustics', Acoustic laboratory Massachusetts Institute of Technology, Bolt Beranek and Newman Inc. New York, McGraw Hill – Hill Book Co. 1954
8. Bell, L. H. – 'Fundamentals of Industrial Noise Control Handbook'. Ann Arbor Science Publ., 1977
9. Pedro Flores Pereira - 'Manual de acústica, ruido y vibraciones. Fundamentos básicos y sistemas de control' III Edición GYC, 1989
10. Antoni Carrión Isbert – 'Diseño acústico de espacios arquitectónicos' Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, 1998

7. ANEXOS