



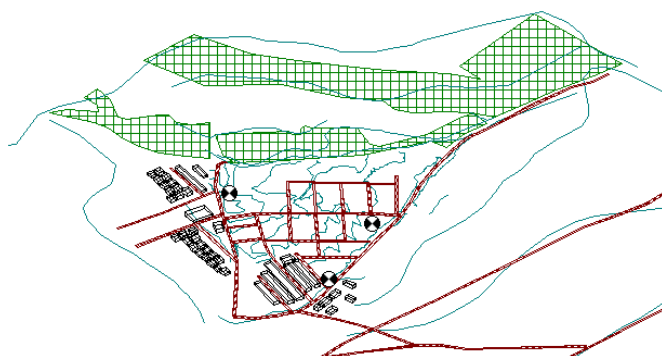
PRODIRGEST INGENIERÍA, S.L.

CIF: B- 87004784



**ESTUDIO ACÚSTICO DEL PLAN PARCIAL DEL SECTOR S-1
DE TALAMANCA DEL JARAMA.
MADRID.**

REF. 22764 / MARZO 2019



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA EN MATERIA DE RUIDO AMBIENTAL.....	4
3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	7
4. USOS DEL SUELO PREVISTOS	8
5. SITUACIÓN PREOPERACIONAL	9
5.1 ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS.....	10
6. PREDICCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO.....	11
6.1 MODELIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE SONORO.....	11
6.1.1 Fase de emisión.....	11
6.1.2 Fase de propagación.....	15
6.1.3 Fase de recepción.....	26
6.2 MODELIZACIÓN DE FUENTES SONORAS. RUIDO DE TRÁFICO RODADO.....	28
6.2.1 Procedimiento de medida.....	28
6.2.2 Emisión de ruidos y tráfico.....	29
6.2.3 Cuantificación de los valores de emisión de ruidos con distintos tipos de tráfico rodado	32
6.2.4 Corrección de pavimento	33
6.3 MODELO DE CÁLCULO DE LOS NIVELES SONOROS PARA VIARIOS Y LÍNEAS FERROVIARIAS.....	35
¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
7. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	38
7.1 SITUACIÓN PREOPERACIONAL. ALTURA DEL RECEPTOR 4 METROS	39
7.1.1 Periodo día (plano 4).....	39
7.1.2 Periodo tarde (plano 5).....	39
7.1.3 Periodo noche (plano 6).....	39
7.2 SITUACIÓN POSTOPERACIONAL. ALTURA DEL RECEPTOR 4 METROS	40
7.2.1 Periodo día (plano 7).....	40
7.2.2 Periodo tarde (plano 8).....	40
7.2.3 Periodo noche (plano 9).....	40
7.3 MEDIDAS CORRECTORAS.....	41

8. ÍNDICE DE PLANOS..... 42

ANEXO A.....43

ANEXO B.....47

ANEXO C.....52

ANEXO D.....57

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

El incremento del nivel económico experimentado por los países desarrollados en las últimas décadas, con un creciente aumento de la actividad industrial y de la implantación generalizada del sector servicios, ha contribuido, por un lado, a elevar el grado de bienestar social, y por otro, a disminuir la calidad ambiental, y en particular, al aumento de la contaminación acústica.

Además, dentro de este proceso hay que señalar que los desarrollos urbanísticos han contribuido al problema de la contaminación acústica creando nuevos puntos y fuentes de ruido, éstos pueden ocasionar graves molestias y efectos nocivos sobre la salud, el comportamiento humano y las actividades de las personas.

Dentro de este contexto, la Ley 10/1991 de 4 de abril para la Protección del Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid y posteriormente la Ley 2/2002 de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid, que derogó a la anterior, establecen como infracción ambiental grave la descarga en el medio ambiente de formas de energía, incluida la sonora, cuando ponga en peligro la salud humana y los recursos naturales, implique un deterioro de las condiciones ambientales o afecte al equilibrio ecológico en general.

Con el objetivo de prevenir, vigilar y corregir la contaminación acústica que afecta tanto a las personas como al medio ambiente, el 8 de julio de 1999, la Comunidad de Madrid aprobó el Decreto 78/1999 Régimen de Protección contra la Contaminación Acústica, vigente, hasta el 22 de marzo de 2012.

La Unión Europea también ha insistido en la necesidad de medidas e iniciativas específicas para la reducción del ruido ambiental a través de la Directiva 2002/49/CE, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. En nuestro país, la Directiva 2002/49/CE fue transpuesta a la legislación nacional mediante la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido dotando de mayor estructura y orden al panorama normativo español sobre el ruido. En la actualidad, esta legislación ha dado lugar a un gran debate de repercusión nacional sobre la importancia de la prevención de la contaminación acústica, dando como resultado el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Teniendo en cuenta lo citado, la aprobación de la legislación básica estatal hace innecesaria la regulación contenida en el Decreto 78/1999, de 27 de mayo, ya que esta normativa básica estatal conforma un marco jurídico completo cuya aplicación técnica cubre plenamente las

necesidades relativas a la protección de la contaminación acústica en nuestro ámbito territorial. Por ello, en aras de la mayor simplificación administrativa, coherencia y seguridad jurídica, se formuló el 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 en la Comunidad de Madrid. Esta normativa deroga el Decreto autonómico 78/1999 y establece como régimen jurídico aplicable en la materia el definido por la legislación básica estatal.

Dentro de este marco legal de prevención, el presente estudio acústico pretende, también, dar cumplimiento a los condicionantes ambientales demandados por la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid en relación al desarrollo del Plan Parcial del Sector S-1 de Talamanca del Jarama (Madrid).

El desarrollo de los trabajos se ha realizado siguiendo el siguiente esquema metodológico:

- Análisis de la legislación de referencia sobre ruido ambiental.
- Condicionantes Administrativos del Plan Parcial en materia acústica.
- Emplazamiento Geográfico.
- Usos del suelo previstos.
- Campaña de medida de niveles sonoros para la determinación de la situación actual.
- Predicción de los niveles de ruido.
- Presentación de resultados y análisis.

2. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA EN MATERIA DE RUIDO AMBIENTAL

La Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, dictó el 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 en la Comunidad de Madrid. Como se ha comentado previamente, esta normativa ha derogado el Decreto autonómico 78/1999, estableciendo como régimen jurídico aplicable el definido en la legislación básica estatal.

Teniendo en cuenta lo citado, el marco legal del presente proyecto lo abarca el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

En el Anexo I del Real Decreto 1367/2007 se definen los tres periodos temporales de evaluación en el que divide las 24 horas del día (día, tarde y noche):

	PERIODOS TEMPORALES DE EVALUACIÓN		
	Día (d)	Tarde (e)	Noche (n)
HORA COMIENZO PERIODO	07:00	19:00	23:00
HORA FINAL PERIODO	19:00	23:00	07:00
HORAS CORRESPONDIENTES	12 horas	4 horas	8 horas

En cuanto a los niveles límite que se deben de cumplir, son los siguientes:

Anexo III. Emisores acústicos. Valores límite de inmisión.

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

TABLA A1				
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 al 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

En el artículo 23, donde hace referencia a los valores límite de inmisión de ruido aplicables a nuevas infraestructuras viarias, se especifica que: "las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias o aeroportuarias deberán adoptar las medidas necesarias para evitar que, por efectos aditivos derivados directa o indirectamente de su funcionamiento, se superen los objetivos de calidad acústica para ruido establecidos en los artículos 14 y 16". El artículo 14 estipula los niveles sonoros en ambiente exterior y el 16 al interior. El artículo 14 hace referencia a los objetivos de calidad que se indican en la tabla A del Anexo II:

Anexo II. Objetivos de calidad acústica

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

TABLA A				
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 al 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.	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

Los objetivos de calidad y los valores límite aplicables a las áreas acústicas están referenciados a una altura de 4 metros.

En el artículo 14, se establece que para el resto de las áreas urbanizadas el objetivo de calidad acústica para ruido no debe superar del valor que le sea de aplicación en la tabla A del anexo II, disminuido en 5 dB.

3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Plan Parcial del Sector S-1 se localiza al noreste del núcleo urbano de Talamanca del Jarama al límite de las áreas ya urbanizadas. Las coordenadas UTM ED50 en el huso 30 del centroide de la Unidad de Ejecución son: X= 33058.46 e Y=40453.98.

Linda al este al sur con el área urbanizada de Talamanca del Jarama y al noroeste con el río Jarama, estando el resto del sector rodeado de campos de cultivo.

Actualmente sobre el terreno no hay ningún tipo de edificación y se está dedicando a campos de cultivo.

En la siguiente figura se puede observar la ubicación de los terrenos objeto del Plan Parcial.



Figura 1: Ortofoto de la zona de actuación.

La ubicación general del ámbito se refleja en el Plano 1 del presente estudio.

4. USOS DEL SUELO PREVISTOS

La zonificación prevista para la Unidad de Ejecución se muestra en la figura siguiente:

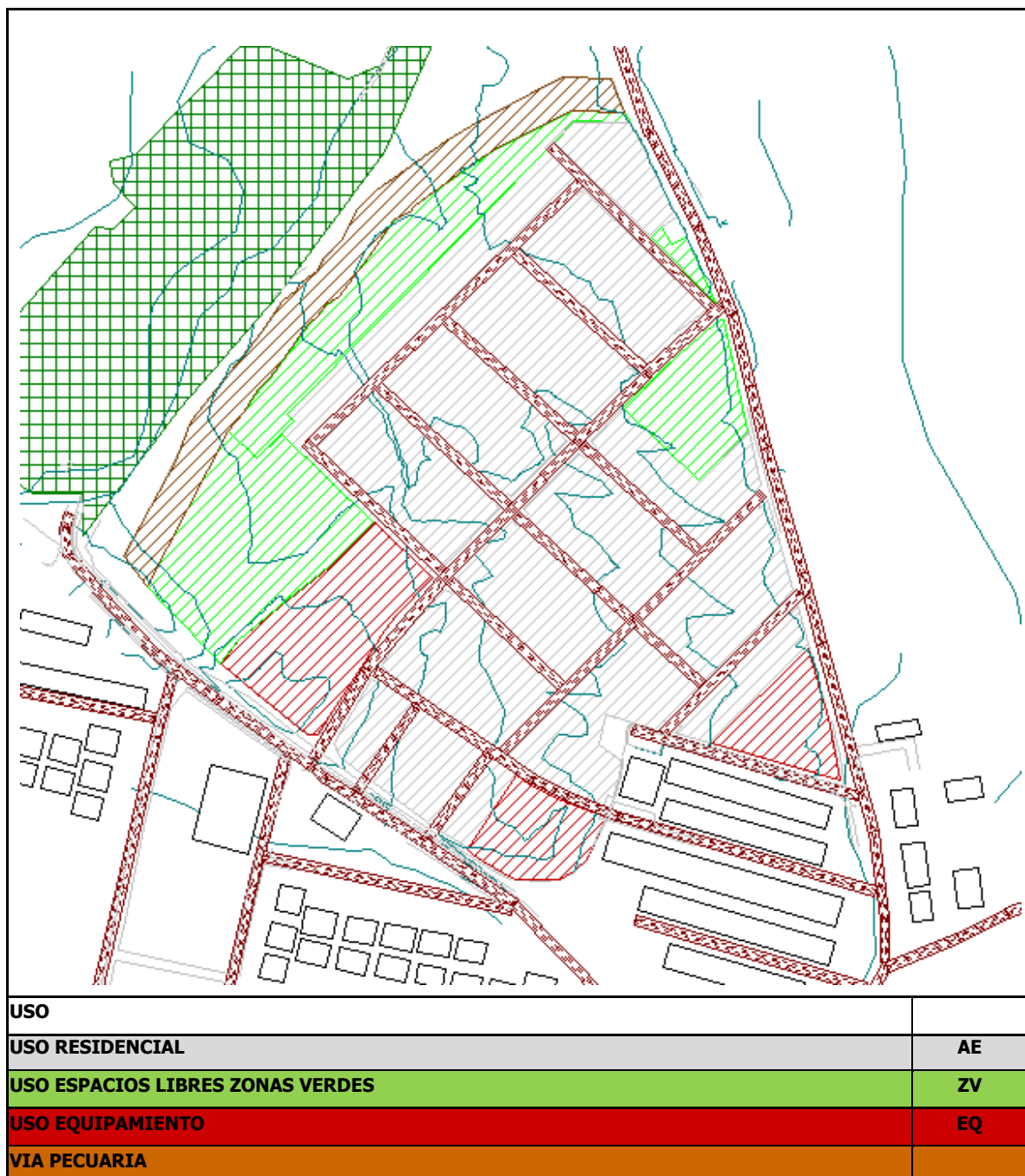


Figura 2: Zonificación.

Los usos del suelo previstos se reflejan con mayor nivel de detalle en el Plano nº 2 “Usos del Suelo” de la documentación cartográfica que acompaña a este documento.

5. SITUACIÓN PREOPERACIONAL

La campaña de medidas de los niveles ambientales existentes en los puntos de estudio se realizó durante 26 y 27 de febrero de 2019.

Cada punto de medida fue visitado 9 veces a lo largo de los tres periodos horarios del día a fin de tener un conocimiento actual de la situación sonora ambiental y su evolución diaria en cada uno de ellos. Las posiciones de medida se presentan en el plano 3, y en el Anexo B se pueden ver las fotografías de puntos exactos donde se realizaron las mediciones.

El equipo de medida utilizado fue un Sonómetro Svantek, modelo Svan 997W, calibrándose el sistema antes y después de las mediciones con el calibrador CESVA, modelo CB006, presentándose su verificación anual en el Anexo A. Durante las mediciones el micrófono fue protegido con pantallas antiviento y se situó a 1,2 – 1,5 metros de altura sobre el suelo y siempre que fue posible a 3,5 – 4,0 metros de cualquier otra superficie reflejante.

Durante todas las medidas se tomaron los datos de las condiciones atmosféricas: temperatura y velocidad del viento. Se comprobó que dichas condiciones estuviesen dentro de los límites exigidos por la normativa vigente.

Los resultados de las mediciones se presentan en el Anexo C, mientras que como resumen de toda esta información, la Tabla I presenta los niveles sonoros equivalentes día, tarde y noche.

TABLA I			
NIVELES SONOROS EQUIVALENTES Ld, Le, Ln, MEDIDOS EN CADA POSICIÓN			
Punto de medida	Niveles Sonoros, dB(A)		
	Ld	Le	Ln
1	43,1	41,8	42,2
2	45,4	48,6	43,3
3	34,8	40,4	40,9
Observaciones			

5.1 ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS

Los resultados obtenidos en las mediciones permiten establecer las siguientes consideraciones:

- Los niveles sonoros medidos varían entre sí como consecuencia de las diferencias existentes entre escenarios.
- Los niveles sonoros equivalentes ($L_{Aeq,Día}$) varían entre 34,8 dB(A) y 45,4 dB(A).
- Los niveles sonoros equivalentes tarde ($L_{Aeq,Tarde}$) varían entre 40,4 dB(A) y 41,8 dB(A).
- Los niveles sonoros equivalentes nocturnos ($L_{Aeq,Noche}$) varían entre 40,9 dB(A) y 43,3 dB(A).
- Los valores sonoros medidos más altos, tanto en el periodo día, tarde y noche, se dan en el punto de medida 2, que es el que se encuentra más próximo a un cruce y por lo tanto el principal afectado por el paso de vehículos.
- Los valores sonoros medidos más bajos, para el periodo día, tarde y noche, se recogen en el punto de medida 3 que es el punto más alejado de la zona urbana de Talamanca del Jarama.
- Atendiendo a los límites legislativos para zona residencial, se puede decir que todos los puntos y periodos de medida evaluados, cumplen con los límites legislativos establecidos por el Real Decreto 1367/2007 por el que se desarrolla la Ley 37/2003 en la situación actual.

6. PREDICCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO

6.1 MODELIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE SONORO

El medio ambiente sonoro se puede definir a través de la relación existente entre la emisión de una onda de sonido, su propagación y su recepción por parte de una población. Así, es necesaria la existencia de tres elementos interrelacionados que conformen dicho medio ambiente sonoro; en un primer momento, deben existir unos *agentes* que generen la **emisión** de ruido, denominados **fuentes**. Posteriormente, la **propagación** de la onda sonora debe realizarse por un medio adecuado a la misma, sufriendo diversas atenuaciones y modificaciones que cambian la señal inicialmente emitida. Por último, en la fase de **recepción**, la señal incide en una población que, en función de la actividad que esté realizando, hora del día, duración, etc., deberá soportar diferentes niveles sonoros.

A continuación se van a estudiar las variables que definen los conceptos anteriormente descritos.

6.1.1 Fase de emisión

Identificación de la fuente.

En función de su origen, las fuentes de ruido se clasifican en específicas y residuales. Las fuentes de ruido específicas pueden ser identificadas por medio de mediciones y están asociadas a una fuente de ruido determinada. Por el contrario, las fuentes de ruido residuales son aquellas que generan el medio ambiente sonoro cuando se han suprimido las fuentes de ruido específicas.

Tipo de fuente.

En función del tamaño de la fuente de ruido respecto de la distancia al receptor se definen dos tipos de fuentes: puntuales o lineales.

Las **fuentes de ruido puntuales** se caracterizan porque sus dimensiones son pequeñas respecto de la distancia al receptor; la energía sonora se propaga de forma esférica por lo que el nivel de presión sonora es igual en todos los puntos a igual distancia de la fuente, disminuyendo en 6 dB cada vez que doblamos la distancia.

Las **fuentes de ruido lineales** son estrechas en una dirección y largas en otra comparada con la distancia al receptor. Una fuente lineal puede ser una tubería por la que circula un fluido, o estar compuesta por muchas fuentes puntuales operando simultáneamente, por ejemplo, la circulación del tráfico sobre una carretera.

La energía sonora se propaga en forma de cilindros de eje el de la fuente, siendo el nivel de presión sonora el mismo en todos los puntos a igual distancia del eje, disminuyendo en 3 dB cada vez que doblamos la distancia.

Las relaciones anteriores son exactas en condiciones ideales: a distancias muy próximas de la fuente, sin efecto suelo, emisor lineal infinito, etc. Los modelos de ruido modelan fuentes de ruido reales, por tanto, utilizan combinaciones del comportamiento de ambos tipos.

➤ **Firma sonora.**

El sonido es una onda de presión compuesta, combinación de diferentes frecuencias denominadas tonos puros, desplazándose en un medio elástico. En su propagación por el medio se producen fenómenos de reflexión, difracción, refracción y absorción que dependen de múltiples variables, entre las que se encuentra la frecuencia de la señal.

Con objeto de estandarizar cuales eran las frecuencias preferentes se publicó la Norma UNE 74.002-78 donde se definen las bandas en las que se divide la firma sonora comprendida entre los 100 Hz y 5.000 Hz. Una banda es cada uno de los grupos de frecuencias en los que se divide una firma sonora. Se dice que la división es en octavas cuando la relación entre los dos valores centrales de dos bandas consecutivas es de 2, si la división es en tercios de octava la relación es de $\sqrt[3]{2}$.

A continuación se adjuntan las bandas de octava y tercios de octava, publicadas en la citada norma (Tabla II).

TABLA II	
NORMA UNE 74.003-78	
BANDA DE OCTAVAS	125, 250, 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz.
BANDAS EN TERCIOS DE OCTAVA	100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1.000, 1.250, 1.600, 2.000, 2.500, 3.150, 4.000 y 5.000 Hz.

Se define **firma sonora**, o **espectro frecuencia**, al reparto de la señal de ruido emitida por una fuente en bandas de octava o 1/3 de octava. Conocer esta distribución permite caracterizar mejor el ruido, predecir su propagación y evaluar con mayor precisión el nivel de molestia que produce en la población. En general, los ruidos de frecuencias altas son considerados más molestos.

Un caso real es el ruido emitido por el tráfico rodado; está formado por la suma de varias señales acústicas de diferentes frecuencias y origen: ruido del motor, de rodadura, aerodinámico, etc. Cuando es necesario el conocimiento de la señal de ruido producida por el tráfico rodado, por ejemplo, en los modelos informáticos empleados para representar el medio ambiente sonoro generado en los alrededores de una carretera, se utiliza el espectro normalizado de tráfico, la firma sonora.

El espectro normalizado de ruido de tráfico se publicó en la Norma UNE-EN 1.793-3:1.998, *Dispositivos reductores de ruido de tráfico en carreteras. Método de ensayo para determinar el comportamiento acústico. Parte 3: Espectro normalizado de ruido de tráfico*, con objeto, entre otras cosas, de evaluar acústicamente las pantallas antirruído que se diseñan para atenuar el ruido producido por el tráfico rodado.

A continuación se adjunta el espectro normalizado de ruido de tráfico publicado en la citada norma (Tabla III).

TABLA III			
NORMA UNE-EN 1793-3:1.998			
ESPECTRO NORMALIZADO DE RUIDO DE TRÁFICO			
FRECUENCIA CENTRAL [Hz]	NIVEL DE PRESIÓN SONORA [dB(A)]	FRECUENCIA CENTRAL [Hz]	NIVEL DE PRESIÓN SONORA [dB(A)]
100	-20	800	-9
125	-20	1.000	-8
160	-18	1.250	-9
200	-16	1.600	-10
250	-15	2.000	-11
315	-14	2.500	-13
400	-13	3.150	-15
500	-12	4.000	-16
630	-11	5.000	-18

➤ **Intensidad de la fuente.**

El paso de las ondas sonoras se acompaña de un flujo de energía acústica. La **intensidad del sonido** (I) en una dirección específica, en un punto del campo sonoro, es igual al flujo de energía sonora a través de una unidad de área en ese punto (potencia por unidad de área que fluye a través del punto), siendo la unidad de área perpendicular a la dirección especificada.

En el caso de una fuente puntual se cumple

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r_o^2} \quad [W/m^2]$$

Siendo r_o la distancia a la fuente.

Así, para una fuente puntual en un campo libre, la intensidad, en la dirección radial, varía inversamente al cuadrado de la distancia de la fuente; esta relación se denomina **ley inversa del cuadrado**. La intensidad es cero para la dirección perpendicular a la dirección de propagación. Por tanto, resulta obvio que el término intensidad sólo tiene significado si se especifica la dirección.

En un campo libre, para ondas planas o esféricas, la presión sonora y la velocidad de las partículas están en fase, en este caso la magnitud de la intensidad, en la dirección de propagación de las ondas de sonido, está simplemente relacionada con la presión sonora:

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

Donde ρ es la densidad del aire y c la velocidad del sonido en el aire.

➤ **Direccionabilidad de la fuente.**

En general las fuentes de ruido no emiten con la misma intensidad en todas las direcciones, irradian más ruido en unas direcciones que en otras.

➤ **Distribución temporal.**

En función de su distribución temporal, el ruido se clasifica según se adjunta a continuación:

1. Ruido continuo. Se produce por máquinas que operan del mismo modo sin interrupción, por ejemplo: ventiladores, bombas y equipos de proceso.
2. Ruido intermitente. Cuando la maquinaria opera en ciclos o cuando circulan vehículos aislados o vuelan aviones; el nivel de ruido aumenta y disminuye rápidamente.
3. Ruido impulsivo. Es el ruido de impactos o explosiones, por ejemplo el de un martinete, una troqueladora o una pistola. Es breve y abrupto, su efecto sorprendente causa mayor molestia que la esperada.

6.1.2 Fase de propagación

El foco emisor de ruido emite una potencia sonora que se propaga por el medio a estudiar sufriendo diferentes atenuaciones hasta alcanzar la posición del receptor.

Durante el viaje de la señal, ésta va perdiendo energía porque parte de la misma se utiliza en desplazar moléculas del medio. Por este motivo, se produce una atenuación de la señal con la distancia. Además de esta atenuación, se producen otras dependientes de las características del medio (absorción atmosférica), efecto suelo (absorción del terreno), efecto pantalla, reflexiones, etc.

A continuación se estudian las principales atenuaciones que sufre la señal de ruido durante la fase de propagación.

➤ **Atenuación por divergencia geométrica.**

La divergencia geométrica es la expansión esférica de la energía acústica en campo libre a partir de una fuente puntual.

La atenuación por divergencia geométrica es independiente de la frecuencia de la señal y los efectos de temperatura y presión atmosférica son despreciables.

La atenuación debida a la divergencia, A_{div} , viene dada por:

$$A_{div} = 20 \log(r) + 10,9 - C$$

Donde r es la distancia desde la fuente puntual en metros y C es un término de corrección pequeño, que puede obtenerse a partir de la figura 3 propuesta en el *Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido* de Cyril M. Harris (ISBN: 84-481-1619-4).

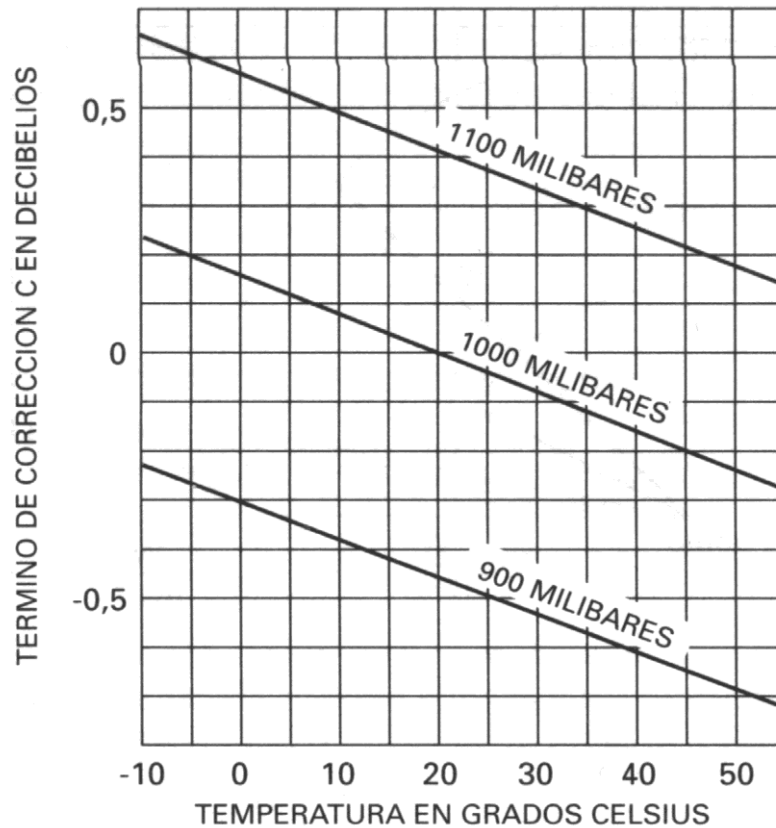


Figura 3. Término de corrección C en función de la temperatura y presión atmosférica.

➤ **Atenuación por absorción del aire.**

A medida que el ruido se propaga a través de la atmósfera su energía se convierte gradualmente en calor; el ruido es absorbido mediante varios procesos moleculares denominados absorción del aire.

La atenuación por absorción del aire depende principalmente de la frecuencia y la humedad relativa y, en menor medida, de la temperatura. También depende ligeramente de la presión ambiental, lo suficiente como para notarse con cambios de altitud elevados (miles de metros), pero no con cambios climatológicos.

La atenuación del sonido debida a la absorción del aire durante la propagación, A_{aire} , a través de una distancia d metros, viene dada por:

$$A_{aire} = \frac{\alpha d}{100}$$

Donde α es el coeficiente de atenuación del aire en decibelios por kilómetro. El coeficiente de atenuación depende en gran medida de la frecuencia y la humedad relativa y, en menor medida, de la temperatura, como muestras los valores de la siguiente tabla referidos al nivel del mar (fuente: Harris) (Tabla IV).

TABLA IV							
PROPAGACIÓN DEL SONIDO AL AIRE LIBRE							
COEFICIENTE DE ATENUACIÓN DEL AIRE [dB/Km.]							
T [°C]	Humedad relativa [%]	Frecuencia [Hz]					
		125	250	500	1.000	2.000	4.000
30	10	0,96	1,8	3,4	8,7	29	96
	20	0,73	1,9	3,4	6,0	15	47
	30	0,54	1,7	3,7	6,2	12	33
	50	0,35	1,3	3,6	7,0	12	25
	70	0,26	0,96	3,1	7,4	13	23
	90	0,20	0,78	2,7	7,3	14	24
20	10	0,78	1,6	4,3	14	45	109
	20	0,71	1,4	2,6	6,5	22	74
	30	0,62	1,4	2,5	5,0	14	49
	50	0,45	1,3	2,7	4,7	9,9	29
	70	0,34	1,1	2,8	5,0	9,0	23
	90	0,27	0,97	2,7	5,3	9,1	20
10	10	0,79	2,3	7,5	22	42	57
	20	0,58	1,2	3,3	11	36	92
	30	0,55	1,1	2,3	6,8	24	77
	50	0,49	1,1	1,9	4,3	13	47
	70	0,41	1,0	1,9	3,7	9,7	33
	90	0,35	1,0	2,0	3,5	8,1	26
0	10	1,3	4,0	9,3	14	17	19
	20	0,61	1,9	6,2	18	35	47
	30	0,47	1,2	3,7	13	36	69
	50	0,41	0,82	2,1	6,8	24	71
	70	0,39	0,76	1,6	4,6	16	56
	90	0,38	0,76	1,5	3,7	12	43

La absorción del ruido en el aire puede ser insignificante para distancias cortas desde la fuente (distancias inferiores a varios cientos de metros), salvo para frecuencias muy altas (por encima de 5.000 Hz). A distancias mayores, donde la atenuación por absorción del aire es significativa para todas las frecuencias, el nivel sonoro ha de calcularse en función de la frecuencia, temperatura y humedad relativa específicas.

➤ **Atenuación por viento y temperatura.**

La propagación del ruido próximo al suelo para distancias horizontales inferiores a 100 m es esencialmente independiente de las condiciones atmosféricas; en este caso, la atmósfera puede considerarse homogénea y los rayos sonoros aproximadamente como líneas rectas. Las condiciones atmosféricas suelen ser un factor fundamental para distancias mayores. La humedad relativa y temperatura tienen un efecto sustancial sobre la atenuación de frecuencias altas a grandes distancias debida a la absorción del aire. Sin embargo, el principal efecto debido a los gradientes verticales de viento y temperatura es la refracción de la señal sonora.

Durante el día la temperatura del aire desciende regularmente al aumentar la altura sobre el suelo, a esta condición se la denomina gradiente de temperatura. Por el contrario, durante la noche, la temperatura suele descender al descender la altura (debido a la radiación fría de la superficie del suelo), condición conocida como inversión térmica, que puede extenderse 100 m o más sobre el suelo.

El ruido se refracta (flexiona) hacia abajo cuando existe un viento de componente descendente, o durante las inversiones de temperatura. Estas condiciones de refracción hacia abajo son favorables a la propagación; en estos casos se produce una atenuación mínima debida, además, a varios factores (figura 4).

El ruido se refracta hacia arriba cuando la propagación de la onda sonora se realiza en condiciones de viento ascendente o durante en fenómenos de inversión térmica (A). La refracción hacia arriba suele producir una zona de sombra cerca del suelo, dándose como resultado una atenuación adicional (B).

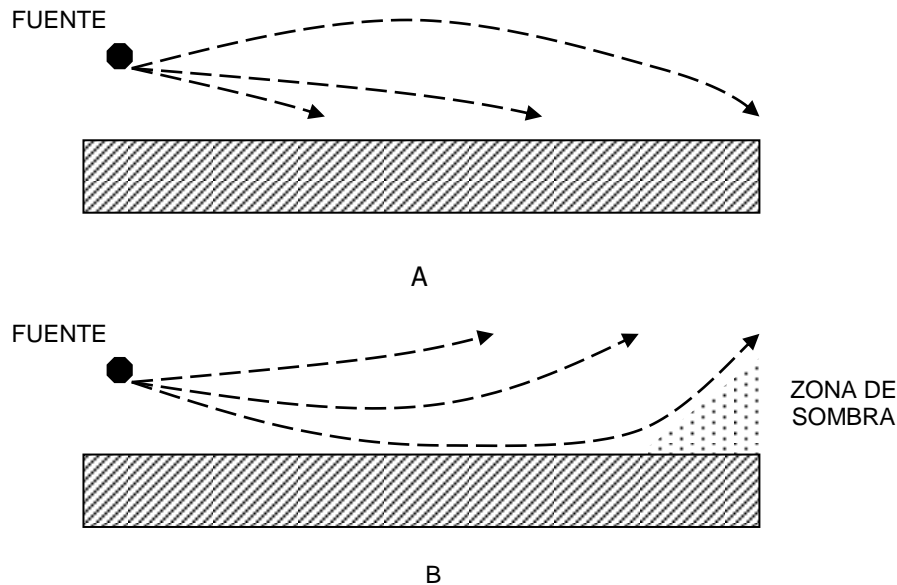


Figura 4. Refracción del ruido dependiendo de la dirección del viento

➤ **Atenuación debida al suelo.**

La atenuación debida al suelo es el resultado de la interacción entre el ruido reflejado por el terreno y la señal propagada directamente. La absorción del suelo es diferente cuando se trata de superficies acústicamente duras (hormigón o agua), blandas (césped, árboles o vegetación) o mixtas. La atenuación del suelo se calcula en bandas de frecuencia para tener en cuenta la firma sonora y el tipo de terreno entre la fuente y el receptor.

Las superficies del suelo pueden clasificarse, para el caso de ángulos de rozamiento inferiores a 20°, de acuerdo con sus propiedades acústicas, de la siguiente manera:

1. Suelo duro. Pavimento de asfalto u hormigón, agua y todas las demás superficies que tengan poca porosidad. Por ejemplo, el suelo apisonado que a menudo rodea los centros industriales puede considerarse como suelo duro.
2. Suelo blando. El suelo cubierto por hierba, árboles u otra vegetación y todos los suelos porosos adecuados para el crecimiento de vegetación, tales como las tierras cultivables.
3. Suelo muy blando. Las superficies muy porosas, como el suelo cubierto de nieve, agujas de pino o material suelto semejante.
4. Suelo mixto. Una superficie que incluye áreas duras y blandas.

La precipitación puede afectar a la atenuación del terreno, por ejemplo, la nieve puede producir una atenuación considerable y, además, puede causar gradientes de temperatura positivos altos que influyan en la propagación de la señal.

Si la distancia a la fuente es escasa, inferior a 100 m, los rayos de ruido se consideran líneas rectas, de forma tal que se simplifica el cálculo de la atenuación. Por el contrario, en largas distancias se supone que las condiciones atmosféricas son favorables a propagación, lo que significa que el rayo desde la fuente al receptor es refractado hacia abajo (rayo curvado) por efecto del viento y la temperatura. La atenuación del suelo sigue siendo fundamentalmente el resultado de la interacción entre el ruido reflejado y el directo, pero el rayo curvado asegura que la atenuación está determinada fundamentalmente por las superficies del suelo cerca de la fuente y cerca del receptor. La atenuación total se obtiene sumando las atenuaciones que se producen en la zona próxima al receptor, próxima al emisor y la zona intermedia.

En las siguientes condiciones específicas el cálculo de la atenuación del suelo es mucho más simple que la del caso general:

- La propagación se produce sobre un suelo que es totalmente, o casi totalmente, acústicamente blando.
- El espectro de ruido es particularmente amplio y gradual, como suele ocurrir con fuentes importantes de ruido compuestas de muchas fuentes contribuyentes distintas, por ejemplo, plantas industriales o tráfico rodado.
- El espectro de ruido no contiene componentes destacadas de frecuencias discretas.
- Sólo es de interés el nivel sonoro con ponderación A en la posición del receptor.

En estos casos la atenuación del suelo, A_{suelo} , se puede calcular aplicando la siguiente fórmula:

$$A_{\text{suelo}} = 4.8 - (2h_m/r)(17 + 300/r)$$

Donde r es la distancia entre la fuente y el receptor en metros y h_m es la altura media del camino de propagación por encima del suelo en metros. Los valores negativos obtenidos con la fórmula anterior no son significativos y deben ser reemplazados por ceros.

➤ **Atenuación por efecto barrera.**

Una barrera contra el ruido es cualquier obstáculo sólido relativamente opaco al sonido que bloquea al receptor la línea de visión de la fuente sonora. Las barreras pueden instalarse específicamente para reducir el ruido, por ejemplo, vallas sólidas o diques de tierra, o pueden producirse por otras razones, como edificios o muros aislados.

Las barreras pueden usarse en exteriores para apantallar áreas residenciales o instalaciones de ocio que requieran silencio (por ejemplo, parques) frente al ruido del tráfico, de industrias o las instalaciones de ocio.

La medida habitual de la eficacia acústica de una barrera es la pérdida por inserción. Esta medida es de interés práctico para quienes estén considerando la construcción de la barrera; también evita la ambigüedad que surge debido a que la barrera, además de introducir la atenuación debida a la difracción, suele reducir la atenuación debida al suelo, al aumentar la altura de recorrido del rayo.

La pérdida por inserción de una barrera varía dependiendo de distintos parámetros, principalmente de la frecuencia del ruido; las frecuencias altas son más atenuadas. La temperatura y el viento afectan al rendimiento acústico de la barrera. En los días soleados los rayos de ruido son curvados ascendentemente, no reduciéndose el rendimiento de la misma. Sin embargo, durante la noche o los periodos de inversión térmica, los rayos de ruido son curvados descendentemente reduciéndose la pérdida por inserción. Esta reducción varía con la distancia de propagación, para distancias a la fuente de ruido inferiores a 100 m suele ser insignificante.

Se consideran barreras delgadas (muros y pantallas acústicas) a aquellas que atenúan el ruido mediante difracción única, y barreras gruesas (edificios y diques de tierra) a las que atenúan el ruido mediante difracción doble. En general, si una barrera tiene un espesor superior a 3 m se considera barrera gruesa para los componentes de la onda sonora en todas las frecuencias.

El cálculo de la pérdida por inserción de una barrera delgada de longitud infinita, para un sonido de longitud de onda λ , comienza obteniéndose el número Fresnel N aplicando la fórmula siguiente:

$$N = \frac{2}{\lambda} (d_1 + d_2 - d)$$

Donde d_1 , d_2 y d son las distancias indicadas en la figura 5,

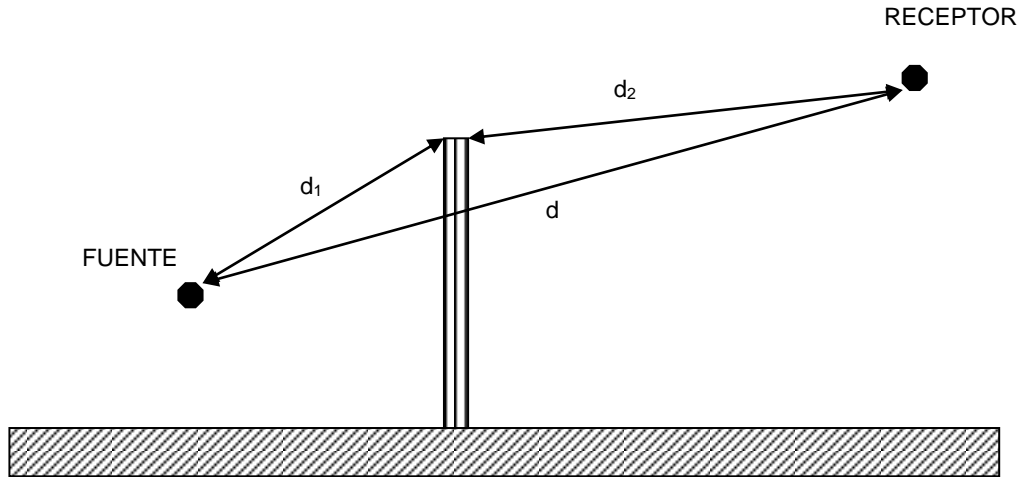


Figura 5. Distancias en el cálculo de pérdidas por inserción de una barrera delgada

Cuando el borde de la barrera toca la línea de visión entre la fuente y el receptor, o está por debajo de ella, el valor de N es cero. Cuanto más se extiende la barrera por encima de la línea de visión, mayor es el valor de N .

La pérdida por inserción $IL_{barrera}$, para el valor de N calculado anteriormente, se obtiene aplicando la fórmula siguiente:

$$IL_{barrera} = 10 \log(3 + 10NK) - A_{suelo}$$

Donde el término A_{suelo} es la atenuación aportada por el suelo antes de que se insertara la barrera. El primer término es la atenuación que aporta la barrera más cualquier otra atenuación todavía eficaz en la vía de propagación, resultado los efectos del suelo y atmosféricos después de la instalación. K es el factor de corrección para los efectos atmosféricos, en distancias entre la fuente y el receptor inferiores a 100 m, $K = 1$, lo cual significa que los efectos atmosféricos pueden ignorarse.

A distancias mayores K se obtiene aplicando la expresión siguiente:

$$K = e^{-0.0005 \sqrt{\frac{d_1 d_2 d}{N\lambda}}}$$

En el caso de barreras gruesas de longitud infinita el cálculo comienza de igual forma, el número Fresnel N es el siguiente:

$$N = \frac{2}{\lambda} (d_1 + t + d_2 - d)$$

Donde d_1 , d_2 , t y d son las distancias indicadas en la figura 6,

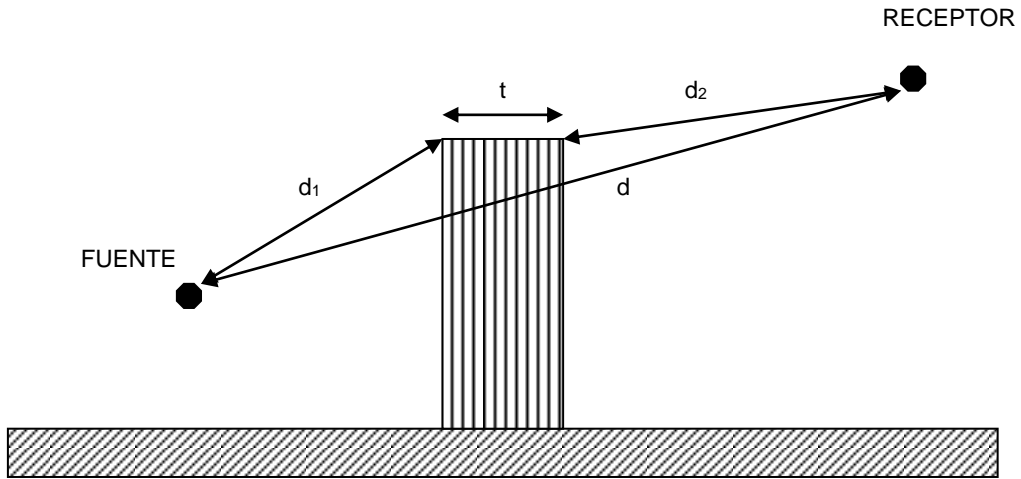


Figura 6. Distancias en el cálculo de pérdidas por inserción de una barrera gruesa

La pérdida por inserción $IL_{barrera}$, para el valor de N calculado anteriormente, se obtiene aplicando la fórmula siguiente:

$$IL_{barrera} = 10 \log(3 + 30NK) - A_{suelo}$$

Donde K es el factor de corrección atmosférica anteriormente citado, pero con el grosor t añadido a la menor de las distancias d_1 y d_2 .

En ambos casos, barreras delgadas y gruesas, si el término de la atenuación $IL_{barrera}$ es negativo se iguala a cero.

En los casos reales las barreras no tienen longitud infinita (figura 7), por tanto, hay que considerar tres vías de propagación entre la fuente y el receptor: una vía a sobre la parte alta de la barrera y dos vías, b y c , alrededor de cada extremo.

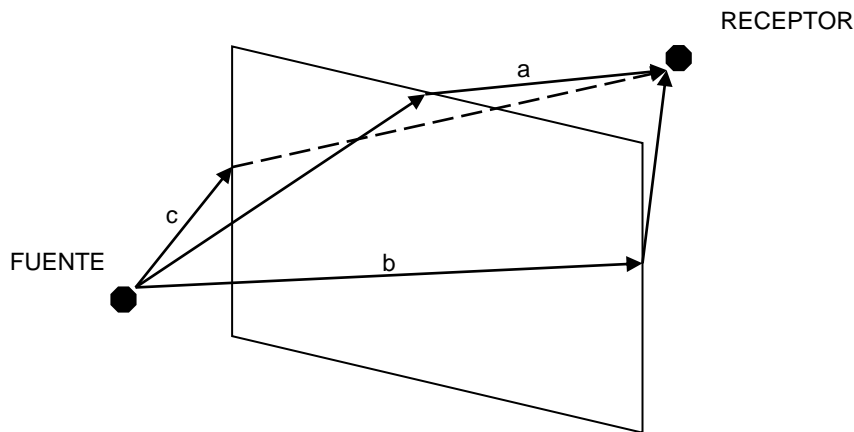


Figura 7. Distancias en el cálculo de pérdidas por inserción de una barrera finita

El cálculo del nivel de ruido en el receptor se obtiene como suma de los obtenidos en las tres vías de propagación. La vía a se obtiene exactamente igual a como se ha explicado anteriormente, suponiendo que la barrera es de longitud infinita. Las vías b y c se determinan proyectando en planta el problema, aplicando las fórmulas anteriores, igualando el factor de atenuación del suelo a cero ($A_{suelo} = 0$) y considerando $K = 1$.

➤ **Atenuación por reflexión.**

Únicamente se consideran las reflexiones producidas por el choque del rayo de onda sonora con una superficie más o menos vertical, por ejemplo, la fachada de un edificio, que puede incrementar el nivel de ruido de un receptor situado a poca distancia frente a la misma. Las reflexiones de los rayos de ruido debido al elemento suelo ya fueron tratadas en la atenuación debida al suelo.

Cuando las ondas de ruido impactan sobre una superficie, parte de su energía se refleja, parte se difracta, parte se transmite a través de ella y parte es absorbida. En la figura 8 se representan los fenómenos anteriormente citados:

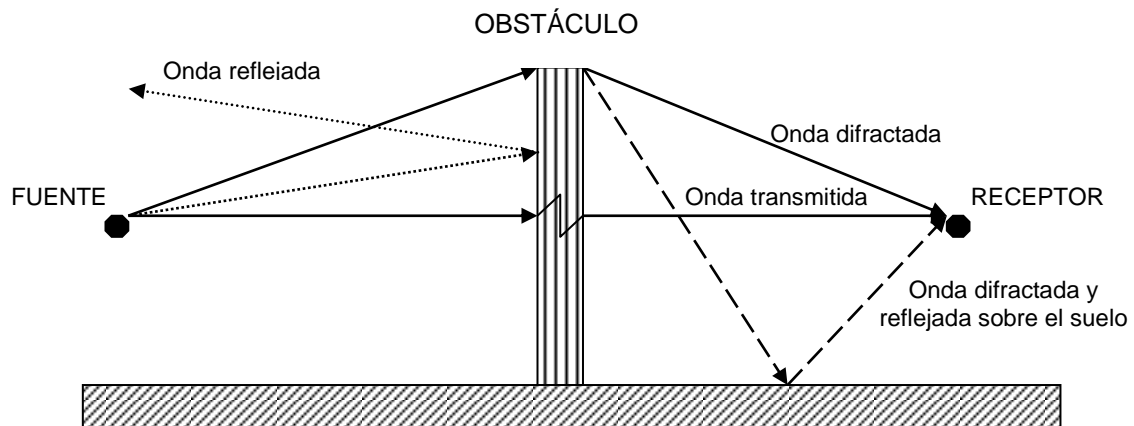


Figura 8. Atenuación por reflexión

Si la absorción y la transmisión son bajas, como sucede generalmente en el caso de los edificios, la mayoría de la energía sonora se refleja y se dice que la superficie es muy reflectante. El nivel de presión sonora cerca de la superficie se debe a la emisión directa de la fuente y al sonido que llega de una o más reflexiones. Aproximadamente se establece que el nivel de ruido a 0,5 m frente a una pared lisa es 3 dB(A) mayor que si no hubiera pared, la reflexión aumenta el nivel de ruido.

El cálculo de la atenuación por reflexión se realiza por frecuencias, al depender de las características acústicas de la superficie reflectante, utilizando la misma metodología que la desarrollada en el cálculo de la atenuación por suelo.

➤ **Atenuación debida a la vegetación.**

Los árboles y arbustos no son buenas barreras contra el ruido, aportan muy poca atenuación. Al mantener el suelo poroso sus raíces sí aportan cierta atenuación por efecto suelo. Por tanto, la principal contribución de la vegetación no es una atenuación de barrera, sino una atenuación de suelo. Sin embargo, si la vegetación es suficientemente densa como para obstruir completamente la visión y si también intercepta la vía de propagación acústica, se produce una atenuación adicional debida a la propagación través de ella.

A continuación se adjunta la atenuación debida a la propagación por metro lineal (dB/m), a través de vegetación densa, en bandas de octava (Tabla V).

TABLA V							
ATENUACIÓN DEBIDA A LA VEGETACIÓN [dB/m]							
Frecuencia [Hz]							
31,5	63	125	500	1.000	2.000	4.000	8.000
0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,12

No debe tenerse en cuenta una longitud de propagación superior a 200 m a través de la vegetación.

6.1.3 Fase de recepción

Es en esta fase cuando se manifiesta el medio ambiente sonoro; sin la existencia de población que ocupe el territorio, el medio ambiente sonoro no existe, es el último escalón, la percepción del ruido.

A continuación se estudian las características principales que definen la fase de recepción.

➤ Sonoridad.

La sonoridad es el atributo de los sonidos, percibido subjetivamente, que permite al oyente ordenar su magnitud sobre una escala, de bajo a alto. Dado que es una sensación en el interior del oyente, no es susceptible de una medida física directa. En lugar de ello, el procedimiento básico de medida es subjetivo; en él, los oyentes tienen que realizar enjuiciamientos sistemáticos con respecto a sonidos de referencia con niveles de presión sonora conocidos. Por ejemplo, puede pedirse a los oyentes que evalúen si los sonidos son igualmente fuertes, o el doble o la mitad, etc. O puede pedírseles que asignen números que sean proporcionales a la sonoridad de los mismos. Las pruebas de laboratorio que han empleado procedimientos como éstos muestran que las personas hacen enjuiciamientos acerca de la sonoridad razonablemente consistentes. La sonoridad depende fundamentalmente del nivel de presión sonora del estímulo sonoro y, en menor medida, de su frecuencia, duración y complejidad espectral.

➤ Sonio.

La unidad de sonoridad es el sonio; un sonio se define como la sonoridad de un tono de 1.000 Hz, con un nivel de presión sonora de 40 dB. La escala de sonoridad es una escala subjetiva y ha sido establecida de tal manera que un sonido con una sonoridad de 2 sonios es doblemente sonoro que el sonido de referencia de 40 dB de 1 sonio; 4 sonios son 4 veces más sonoros que 1 sonio, etc. Para un oyente medio, un cambio de 10 dB en el nivel de presión sonora es aproximadamente equivalente a doblar la sonoridad. El cambio de sonoridad con el nivel de

presión sonora es ligeramente superior para sonidos de baja frecuencia (por debajo de unos 300 Hz).

➤ **Curvas de igual sonoridad.**

Los enjuiciamientos de igual sonoridad para tonos puros de varias frecuencias y niveles han dado lugar a curvas de igual sonoridad, como muestra la figura 9 (fuente: Harris). Todos los puntos de una curva determinada representan los niveles de presión sonora que han sido juzgados como igualmente sonoros en campo libre. Estos datos corresponden a jóvenes adultos, con audición normal, de cara a la fuente. Por ejemplo, la curva que pasa por los 1.000 Hz a un nivel de presión sonora de 40 dB es isósona a un tono con un nivel de presión sonora de 35 dB a 3.000 Hz, o a un tono de 100 Hz con un nivel de presión sonora de 50 dB. Se denomina cada curva por su nivel a 1.000 Hz, que es la frecuencia de referencia.

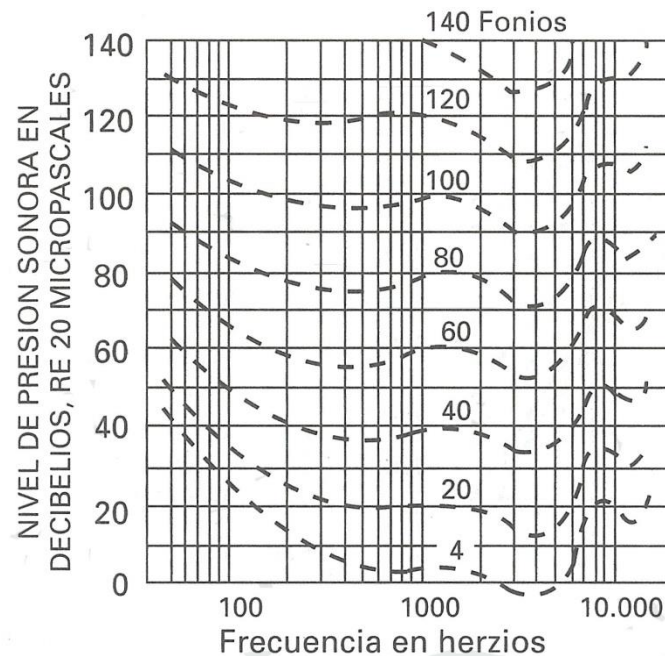


Figura 9. Curvas de igual sonoridad.

Los sonidos que son isófonos no siempre son equivalentes en otros aspectos. Por ejemplo, dos sonidos que son iguales en sonoridad pueden variar en términos de su molestia, o en el grado en que interfieren con la comunicación hablada.

➤ **Nivel de sonoridad en fonios.**

El nivel de sonoridad en fonios de cualquier sonido es el nivel de presión sonora del tono de 1.000 Hz de referencia que es tan sonoro como el sonido que está siendo evaluado. Así, las distintas curvas que muestra la gráfica anterior representan curvas de igual sonoridad expresada en fonios. De acuerdo con la definición de sonio, una sonoridad de 1 sonio corresponde a un

nivel de sonoridad de 40 fonios; un cambio doble de la sonoridad en sonios está asociado con un cambio de 10 fonios en el nivel de sonoridad.

➤ **Estimación de la sonoridad.**

La sonoridad de un ruido puede estimarse de tres formas generales:

1. Mediante enjuiciamiento subjetivo, usando un procedimiento como el descrito anteriormente. Un procedimiento habitual requiere que un panel de oyentes con audición normal juzgue cuando un tono ajustable de referencia de 1.000 Hz es de la misma sonoridad que el sonido evaluado. El resultado numérico de este procedimiento representará el nivel de sonoridad en fonios.
2. Mediante cálculo del análisis espectral del ruido en bandas de tercio, de media, o de octava completa. Las unidades de las estimaciones son los sonios.
3. Mediante medida instrumental, usando un aparato que intenta representar la respuesta del oído. Tales instrumentos varían en complejidad, desde un sonómetro, con una red de ponderación de frecuencias, hasta un elaborado equipamiento digital.

6.2 MODELIZACIÓN DE FUENTES SONORAS. RUIDO DE TRÁFICO RODADO

Para la modelización del medio ambiente sonoro, en concreto el ruido de tráfico rodado, se utiliza el método nacional de cálculo francés "NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)", contemplado en el "Arrêté du 5 mai 1.995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1.995, article 6" y en la norma francesa "XPS 31-133". Este método se denominará "XPS 31-133" en las siguientes exposiciones:

6.2.1 Procedimiento de medida

XPS 31-133 hace referencia a la "Guide du Bruit 1.980" como modelo de emisiones por defecto para el cálculo del ruido procedente del tráfico rodado. Si un Estado miembro que adopte ese método de cálculo provisional desea actualizar los factores de emisión, se recomienda el procedimiento de medida que se describe seguidamente. Conviene señalar que en 2.002 las autoridades francesas iniciaron un proyecto de revisión de los valores de emisión. Se deberán tener en cuenta estos nuevos valores y los métodos elaborados para obtenerlos, cuando sean publicados por las autoridades competentes, a fin de poder utilizarlos como datos para el cálculo de ruido procedente del tráfico rodado, si se considera conveniente y necesario.

El nivel de emisión de ruido de un vehículo se caracteriza por el nivel sonoro máximo de paso L_{Amax} en dB medido a una distancia de 7,5 metros del eje de la trayectoria del vehículo. Este nivel sonoro se determina por separado para los distintos tipos de vehículos, velocidades y flujos de tráfico. Aunque se tiene en cuenta la pendiente de la vía, no sucede lo mismo con el

pavimento. Para preservar la compatibilidad con las condiciones de medida originales, se deben medir las características acústicas de los vehículos que circulen sobre los revestimientos siguientes: cemento hormigón, hormigón bituminoso de muy escaso espesor 0/14, hormigón bituminoso semigranulado 0/14, sello superficial 6/10, y sello superficial 10/14. A continuación, se introduce una corrección de pavimento según el sistema presentado en el punto 4.2.4.

Las medidas se pueden realizar sobre vehículos aislados o sobre circuitos específicos en condiciones controladas. La velocidad del vehículo debe medirse con un radar Doppler (que posee una precisión de aproximadamente 5 % a bajas velocidades). El flujo de tráfico se determinará, bien por observación subjetiva (acelerado, decelerado o fluido) o por medición. El micrófono se coloca a 1,2 m de altura sobre el suelo y a 7,5 m de distancia perpendicularmente al eje de desplazamiento del vehículo.

Para su uso con XPS 31-133 y conforme a las especificaciones de la "Guide du Bruit 1980", el nivel de potencia sonora L_w y la emisión sonora E se calculan a partir del nivel de presión sonora L_p y la velocidad del vehículo V mediante la fórmula siguiente:

$$L_w = L_p + 25,5 \quad y \quad E = (L_w - 10 \log V - 50)$$

6.2.2 Emisión de ruidos y tráfico

6.2.2.1 Emisión de ruidos

La emisión de ruidos se define del modo siguiente:

$$E = (L_w - 10 \log V - 50)$$

Donde V es la velocidad del vehículo.

Así pues, la emisión E es un nivel sonoro que puede describirse en términos de dB(A) como el nivel sonoro Leq en la isófona de referencia debido a un solo vehículo por hora en condiciones de tráfico que son función de:

- el tipo de vehículo,
- la velocidad,
- el flujo de tráfico,
- el perfil longitudinal.

6.2.2.2 Tipos de vehículo

Para la predicción de ruidos se utilizan dos clases de vehículos:

- vehículos ligeros (de menos de 3,5 toneladas de carga útil),
- vehículos pesados (de carga útil igual o superior a 3,5 toneladas).

6.2.2.3 Velocidad

Por razones de simplicidad, el parámetro de la velocidad del vehículo se utiliza en este método para la totalidad de gamas de velocidad (entre 20 y 120 Km./h). Sin embargo, en las bajas velocidades (inferiores a 60 o 70 Km./h, dependiendo de la situación) se perfecciona el método teniendo en cuenta los flujos de tráfico, de la manera que se describe a continuación.

Para determinar el nivel del sonido largo plazo en L_{eq} basta conocer el promedio de velocidad de un parque de vehículos. Dicho promedio se puede definir del modo siguiente:

- la velocidad mediana V50, es decir, la velocidad que alcanza o excede el 50 % de todos los vehículos,
- la velocidad mediana V50 más la mitad de la desviación típica de las velocidades.

Todas las velocidades medias determinadas con cualquiera de estos métodos que resulten inferiores a 20 Km./h se fijan en 20 Km./h.

Si los datos disponibles no permiten un cálculo preciso de las velocidades medias, puede aplicarse la regla general siguiente: en cada segmento de la vía se consignará la velocidad máxima permitida en el mismo. Cada vez que cambia el límite de velocidad autorizado, deberá definirse un nuevo segmento de la vía. Se introduce también una corrección suplementaria para las bajas velocidades (inferiores a 60 o 70 Km./h, dependiendo de la situación), debiendo entonces aplicarse correcciones para uno de los cuatro tipos de flujo de tráfico definidos a continuación. Por último, todas las velocidades inferiores a 20 Km./h se fijan en 20 Km./h.

6.2.2.4 Tipos de flujos de tráfico

El tipo de flujo de tráfico, parámetro complementario al de la velocidad, tiene en cuenta la aceleración, desaceleración, carga del motor y flujo del tráfico en pulsos o continuo. Seguidamente se definen cuatro categorías:

- *Flujo continuo fluido*: Los vehículos se desplazan a velocidad casi constante por el segmento de vía considerado. Se habla de "fluido" cuando el flujo es estable tanto en el espacio como en el tiempo durante períodos de al menos diez minutos. Se pueden producir variaciones en el curso de un día, pero éstas no han de ser bruscas ni rítmicas. Además, el flujo no es acelerado ni decelerado, sino que registra una velocidad constante. Este tipo de flujo corresponde al tráfico de autopistas, autovías y carreteras interurbanas, y al de las vías rápidas urbanas (excepto en las horas punta), y grandes vías de entornos urbanos.

- *Flujo continuo en pulsos*: flujos con una proporción significativa de vehículos en transición (es decir, acelerando o decelerando), inestables en el tiempo (es decir, se producen variaciones bruscas del flujo en períodos de tiempo cortos) y el espacio (es decir, en cualquier momento se producen concentraciones irregulares de vehículos en el tramo de la vía considerado). Sin embargo, sigue siendo posible definir una velocidad media para este tipo de flujos, que es estable y repetitivo durante un período de tiempo suficientemente largo. Este tipo de flujo corresponde a las calles de los centros urbanos, vías importantes que se encuentran próximas a la saturación, vías de conexión o distribución con numerosas intersecciones, estacionamientos, pasos de peatones y accesos a zonas de vivienda.

- *Flujo acelerado en pulsos*: Se trata de un flujo en pulsos y, por lo tanto, es turbulento. Sin embargo, una proporción significativa de los vehículos está acelerando, lo que implica que la noción de velocidad sólo tiene sentido en puntos discretos, pues no es estable durante el desplazamiento. Es el caso típico del tráfico que se observa en las vías rápidas después de una intersección, en los accesos a las autopistas, en los peajes, etc.

- *Flujo decelerado en pulsos*: Es el flujo contrario al anterior, pues una proporción importante de vehículos está decelerando. Este tipo de tráfico se observa en general en las grandes intersecciones urbanas, en las salidas de autopistas y vías rápidas, en la aproximación a peajes, etc.

6.2.2.5 Tres perfiles longitudinales

Se definen a continuación tres perfiles longitudinales que permiten tener en cuenta la diferencia de emisión sonora en función de la pendiente de la vía:

- una vía o tramo de vía horizontal cuya pendiente en el sentido del tráfico es inferior al 2 %,
- una vía ascendente cuya pendiente en el sentido del tráfico es mayor del 2 %,
- una vía descendente cuya pendiente en el sentido del tráfico es mayor del 2 %.

En el caso de las vías de un solo sentido, esta definición es directamente aplicable. En el caso de las vías por las que los vehículos circulan en ambos sentidos, hace falta calcular cada sentido de conducción por separado y después acumular los resultados para obtener estimaciones precisas.

6.2.3 Cuantificación de los valores de emisión de ruidos con distintos tipos de tráfico rodado

6.2.3.1 Representación esquemática

La "Guide du bruit" proporciona nomogramas que dan el valor del nivel sonoro L_{eq} (1 hora) en dB(A), (conocido también como emisión sonora E_r). El nivel sonoro se da separadamente para un solo vehículo ligero (emisión sonora E_{lv}) y para un vehículo pesado (emisión sonora " E_{hv} ") por hora.

Para estos distintos tipos de vehículos, E es función de la velocidad, el flujo de tráfico y el perfil longitudinal.

Aunque el nivel sonoro mostrado en los nomogramas no prevé correcciones de pavimento, las presentes orientaciones incorporan un sistema de corrección de ese tipo.

El nivel de potencia acústica dependiente de la frecuencia L_{Aw_i} , en dB(A), de una fuente puntual compleja i en una determinada banda de octava j se calcula a partir de los niveles de emisión sonora individuales correspondientes a los vehículos ligeros y pesados indicados en la "Guide du Bruit 1980" mediante la ecuación:

$$L_{Aw_i} = L_{Aw/m} + 10\log(l_i) + R(j) + \Psi$$

donde:

- $L_{Aw/m}$ es el nivel total de potencia acústica por metro de vía en dB(A) atribuido a la línea de fuentes especificada, y se obtiene con la fórmula siguiente:

$$L_{Aw/m} = 10 \log \left(10^{(E_{lv} + 10 \log Q_{lv})/10} + 10^{(E_{hv} + 10 \log Q_{hv})/10} \right) + 20$$

donde:

- E_{lv} es la emisión sonora de vehículos ligeros;
- E_{hv} es la emisión sonora de vehículos pesados;
- Q_{lv} es el volumen de tráfico ligero durante el intervalo de referencia;
- Q_{hv} es el volumen de vehículos pesados durante el intervalo de referencia,
- Ψ es la corrección realizada para tener en cuenta el nivel sonoro producido por el pavimento,
- l_i es la longitud del tramo de la línea de fuentes representada por una fuente de puntos componentes I en metros,
- $R(j)$ es el valor espectral, en dB(A), por banda de octava j , indicado en la tabla VI.

TABLA VI		
Espectro normalizado del ruido del tráfico por bandas de octava con ponderación A, calculado a partir del espectro en bandas de tercio de octava según EN 1793-3		
j	Bandas de octava (Hz)	Valores R(j) (dB(A))
1	125	-14,5
2	250	-10,2
3	500	-7,2
4	1.000	-3,9
5	2.000	-6,4
6	4.000	-11,4

6.2.4 Corrección de pavimento

6.2.4.1 Introducción

Por encima de una determinada velocidad, el ruido total emitido por un vehículo está dominado por el contacto entre el neumático y la carretera. Dicho ruido depende de la velocidad a que circula el vehículo, el pavimento de la vía (en particular, las superficies porosas e insonorizantes) y el tipo de neumático. La "Guide du bruit 1.980" proporciona un valor normalizado de emisión sonora para un tipo normalizado de pavimento. El método descrito a continuación es una propuesta para introducir correcciones de pavimento. Es compatible con las disposiciones de la norma EN ISO 11819-1.

6.2.4.2 Tipos de pavimento

- *Asfalto liso (hormigón o mástique asfáltico)*: la superficie de carretera de referencia definida en EN ISO 11819-1. Se trata de una superficie densa y de textura regular, en hormigón asfáltico o mástique con un tamaño máximo del árido de 11-16 mm.

- *Pavimento poroso*: pavimento con al menos un 20 % de volumen vacío. La superficie ha de tener menos de cinco años de antigüedad (la restricción de edad se debe a la tendencia de las superficies porosas a perder poder absorbente con el tiempo, a medida que el vacío se llena. Si se realiza un mantenimiento especial puede levantarse esta restricción de edad. Sin embargo, una vez transcurridos los primeros cinco años, deben realizarse mediciones para determinar las propiedades acústicas del pavimento. El efecto insonorizante de este pavimento está en función de la velocidad del vehículo).

- *Cemento hormigón y asfalto rugoso*: incluye tanto el hormigón como el asfalto de textura áspera.

- *Adoquinado de textura lisa*: adoquinado con una distancia entre bloques inferior a 5 mm.

- *Adoquinado de textura áspera*: adoquinado con una distancia entre bloques igual o superior a 5 mm.

6.2.4.3 Procedimiento de corrección teórico recomendado

TABLA VII			
Procedimiento de corrección recomendado			
Clase de Pavimento	Corrección del nivel de ruido Ψ		
	0-60 (Km./h)	61-80 (Km./h)	81-130 (Km./h)
Pavimento poroso	-1dB	-2dB	-3dB
Asfalto liso (hormigón o mástique)		0dB	
Cemento hormigón y asfalto rugoso		+2dB	
Adoquinado de textura lisa		+3dB	
Adoquinado de textura áspera		+6dB	

6.3 MODELO DE CÁLCULO DE LOS NIVELES SONOROS PARA VIARIOS Y LÍNEAS FERROVIARIAS

Los factores que se tienen en cuenta para el cálculo de los niveles sonoros presentes en el sector son:

- Tipo de vía, que incide en los flujos medios de vehículos y porcentaje de vehículos pesados.
- Tipo de pavimento.
- Intersecciones en la vía de tráfico.
- Pendiente de la vía.
- Velocidad media de vehículos ligeros y pesados.

En consecuencia, para describir el tráfico que soportará las futuras vías será necesario conocer en cada porción de vía el volumen de tráfico en términos de vehículos/hora, el porcentaje de vehículos pesados, la velocidad media de los vehículos ligeros y pesados, y el porcentaje de utilización diurno y nocturno.

El número de desplazamientos en este sector se puede estimar mediante unos coeficientes de generación de tráfico, en número de vehículos por vivienda o por superficie edificada. Los valores tomados son los que se especifican a continuación:

TABLA VIII		
COEFICIENTES GENERACION DE TRÁFICO		
Vivienda	UD	3
Dotacional	100 m ²	1,5
Terciario	100 m ²	18

En el presente caso, los datos del tráfico actual fueron obtenidos mediante conteo realizado durante las mediciones de ruido ambiental y las predicciones de incrementos debidos a las modificaciones producidas por el desarrollo del plan parcial del sector S-1, han sido aportados por un estudio de tráfico ajeno a Allpe S.L. y facilitado para la realización del presente estudio.

Los datos del citado estudio de tráfico están basados tanto en conteos en la situación actual como previsiones teniendo en cuenta las futuras modificaciones que se crearan en el tráfico de vehículos tanto producido por la construcción de las nuevas viviendas como por la apertura los nuevos viarios internos.

El estudio solo aporta los datos de IMD, por lo que para el cálculo de porcentaje de vehículos pesados se ha ajustado teniendo en cuenta la validación de la simulación preoperacional respecto a las mediciones tomadas 'in situ'.

En la figura 10 se muestra una foto aérea donde se identifican todos los viarios tenidos en cuenta en la simulación acústica de la situación postoperacional en la que se muestran los IMD aportados para la simulación de cada nuevo viario y la repercusión en los colindantes.



Figura 10: Viarios y carreteras

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

La comparación entre los niveles sonoros calculados con los valores límite señalados en la actual legislación, permite evaluar la incidencia que la futura urbanización de los terrenos originará en las áreas de interés.

Según los usos previstos en el sector los niveles límite, cuando se prevean nuevos desarrollos urbanísticos, que no se deberán superar en el ambiente exterior son:

TABLA X				
VALORES OBJETIVO EXPRESADOS EN Leq, dB(A)				
Tipo de área acústica		Periodos		
		Día	Tarde	Noche
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 al contemplado en c)	65	65	60
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
f	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen.	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

A continuación comentaremos el impacto acústico según usos, periodos y alturas para las cuales se han realizado el estudio postoperacional.

7.1 SITUACIÓN PREOPERACIONAL. ALTURA DEL RECEPTOR 4 METROS

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la simulación acústica acorde a los datos de los viarios facilitados y a las mediciones realizadas 'in situ'.

7.1.1 Periodo día (plano 4)

- Zonificación Tipo a
 - Con respecto a la afección de los viarios, sobre el área de actuación, no se superan los 60 dB(A) establecidos como límite para el periodo día. Los valores sonoros son de entorno a los 51 dBA dB(A) en las zonas más próximas a los viarios.

7.1.2 Periodo tarde (plano 5)

- Zonificación Tipo a
 - Con respecto a la afección de los viarios, sobre el área de actuación, no se superan los 60 dB(A) establecidos como límite para el periodo tarde. Los valores sonoros son de entorno a los 51 dBA dB(A) en las zonas más próximas a los viarios.

7.1.3 Periodo noche (plano 6)

- Zonificación Tipo a
 - Con respecto a la afección de los viarios, sobre el área de actuación, se superan los 50 dB(A) establecidos como límite para el periodo noche. Los valores sonoros se acercan a los 50 dB(A) en los límites de las parcelas más próximos a los viarios (debido a que en la actualidad no hay distancia de separación entre ambos).

Se puede comprobar que en las condiciones actuales y antes de realizar cualquier modificación, no existe ningún punto de la zona de actuación en la que se superen los límites legislativos para ninguno de los periodos horarios.

7.2 SITUACIÓN POSTOPERACIONAL. ALTURA DEL RECEPTOR 4 METROS

Una vez introducidas las modificaciones planteadas por la reforma del plan parcial, quedarían los resultados que se muestran a continuación.

7.2.1 Periodo día (plano 7)

- Zonificación Tipo a
 - Con respecto a la afección de los viarios, sobre el área de actuación, no se superan los 60 dB(A) establecidos como límite para el periodo día. Los valores sonoros son de 58 dB(A) en las zonas más próximas a los viarios de acceso a la zona.

7.2.2 Periodo tarde (plano 8)

- Zonificación Tipo a
 - Con respecto a la afección de los viarios, sobre el área de actuación, no se superan los 60 dB(A) establecidos como límite para el periodo tarde. Los valores sonoros son de 56 dB(A) en las zonas más próximas a los viarios de acceso a la zona.

7.2.3 Periodo noche (plano 9)

- Zonificación Tipo a
 - Con respecto a la afección de los viarios, sobre el área de actuación, no se superan los 50 dB(A) establecidos como límite para el periodo noche. Los valores sonoros son de 48 dB(A) en las zonas más próximas a los viarios de acceso a la zona.

Como se ha comprobado en el anterior análisis, la implantación de los nuevos viarios y considerando su uso, no existe ningún punto en ningún periodo horario en que se superen los límites legislativos.

7.3 MEDIDAS CORRECTORAS

Como se ha comentado anteriormente, en todos los periodos horarios se da cumplimiento a la legislación vigente en materia de ruido en las zonas dedicadas a uso residencial, por lo que no se considera necesaria ni apropiada ningún tipo de medida correctora.

Los resultados y conclusiones que se exponen en el presente informe son válidos mientras se mantengan las condiciones de entorno existentes en el momento de realizar la toma de datos, condiciones que han sido descritas en el presente informe.

Se firma el presente Informe Técnico a 06 de marzo de 2019:



Fdo.: Sergio Huerta Andrés
Nº Colegiado: 14306 (COITT)

8. ÍNDICE DE PLANOS.

En el Anexo D se muestran los distintos planos:

Plano 1: *Ubicación general.*

Plano 2: *Usos del suelo.*

Plano 3: *Posiciones de medida.*

Plano 4: *Líneas isofónicas Día. Situación preoperacional. Altura receptor 4 metros*

Plano 5: *Líneas isofónicas Tarde. Situación preoperacional. Altura receptor 4 metros*

Plano 6: *Líneas isofónicas Noche. Situación preoperacional. Altura receptor 4 metros*

Plano 7: *Líneas isofónicas Día. Situación postoperacional. Altura receptor 4 metros*

Plano 8: *Líneas isofónicas Tarde. Situación postoperacional. Altura receptor 4 metros*

Plano 9: *Líneas isofónicas Noche. Situación postoperacional. Altura receptor 4 metros*

ANEXO A

CONTENIDO

Este anexo contiene la verificación anual de la instrumentación utilizada durante el proceso de medición.

CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN DE PRODUCTO

Instrumentos de medición de sonido audible y calibradores acústicos

FASE DE COMERCIALIZACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO



LACAINAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS ACÚSTICOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CAMPUS SUR UPM. ETSI Topografía. Ctra. Valencia, km 7. 28031 – Madrid.

Tel.: (+34) 91 336 4697 / (+34) 91 331 1968 Ext. 30.

www.lacainac.es – lacainac@i2a2.upm.es

TIPO DE VERIFICACIÓN: VERIFICACIÓN DE PRODUCTO (MÓDULO F)

INSTRUMENTO: SONÓMETRO

MARCA: SVANTEK
MICRÓFONO: A.C.O.; PREAMPLIFICADOR: SVANTEK

MODELO: SVAN 977W
MICRÓFONO: 7052E; PREAMPLIFICADOR: SV 12L

NÚMERO DE SERIE: 59075, CANAL: N/A
MICRÓFONO: 71186; PREAMPLIFICADOR: 73595

EXPEDIDO A: SVANTEK ESPAÑA, S.L.
C/ Adolfo Pérez Esquivel, 3. Pl.2-Of.25
28230 Las Rozas MADRID

FECHA VERIFICACIÓN: 10/10/2018

PRECINTOS: 977W(1) 977W(2) 977W(3)

CÓDIGO CERTIFICADO: 18LAC17670F01

Firmado digitalmente por: 52979086N RODOLFO FRAILE (C:G80455231)

Fecha y hora: 10.10.2018 14:49:03

Director Técnico

Este Certificado se expide de acuerdo a la Orden ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos (BOE nº 237 03/10/2007).

El presente Certificado acredita la CONFORMIDAD del instrumento sometido a verificación, con el modelo de instrumento descrito en su certificado de Examen de Modelo (Módulo B), en relación a los exámenes administrativos y ensayos realizados, en base a las características metrológicas del instrumento.

Los ensayos y exámenes administrativos, han sido realizados por el Laboratorio de Calibración de Instrumentos Acústicos.

LACAINAC es un Organismo de Control Metrológico, designado por la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía, Empleo y Hacienda de la Comunidad de Madrid (Resolución de 13 de enero de 2017), para la ejecución del procedimiento de evaluación de la conformidad denominado módulo F, con número de identificación, 16-OC-1002.

LACAINAC es un Organismo de Control Metrológico acreditado por ENAC con certificado nº OC-I/171.

CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

Instrumentos de medición de sonido audible y
calibradores acústicos



LACAINAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS ACÚSTICOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CAMPUS SUR UPM. ETSI Topografía. Ctra. Valencia, km 7. 28031 – Madrid.
Tel.: (+34) 91 336 4697 / (+34) 91 331 1968 Ext. 30.
www.lacainac.es – lacainac@i2a2.upm.es

TIPO DE VERIFICACIÓN:	PERIÓDICA
INSTRUMENTO:	CALIBRADOR ACÚSTICO
MARCA:	CESVA
MODELO:	CB006
NÚMERO DE SERIE:	0901495
EXPEDIDO A:	ALLPE, S.L. C/ Isabel Colbrand nº 10 - 5ª Planta - Ofic.134 28050 MADRID
FECHA VERIFICACIÓN:	03/10/2018
PRECINTOS:	16-I-0201740 16-I-0201741
CÓDIGO CERTIFICADO:	18LAC17565F01

Firmado digitalmente por: 52979086N RODOLFO FRAILE (C:G80455231)
Fecha y hora: 03.10.2018 19:13:56

Director Técnico

Este Certificado se expide de acuerdo a la Orden ITC/2845/2007, de 25 de septiembre, por la que se regula el control metrológico del Estado de los instrumentos destinados a la medición de sonido audible y de los calibradores acústicos (BOE nº 237 03/10/2007).

El presente Certificado tiene una validez de un año a contar desde la fecha de verificación del mismo, y acredita que el instrumento sometido a verificación ha superado satisfactoriamente todos los ensayos y exámenes administrativos establecidos en la Orden ITC/2845/2007.

Los ensayos y exámenes administrativos, han sido realizados por el Laboratorio de Calibración de Instrumentos Acústicos.

LACAINAC es un Organismo Autorizado de Verificación Metrológica para la realización de los controles metrológicos establecidos en la Orden citada, por la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía, Empleo y Hacienda de la Comunidad de Madrid (Resolución de 13 de enero de 2017), con número de identificación 16-OV-1002.

LACAINAC es un Organismo de Verificación Metrológica acreditado por ENAC con certificado nº OC-I/168.

ANEXO B

CONTENIDO

Este anexo contiene las fotografías de los puntos de medición.

PUNTO DE MEDICIÓN 1 VISTA 1:



PUNTO DE MEDICIÓN 1 VISTA 2:



PUNTO DE MEDICIÓN 2 VISTA 1:



PUNTO DE MEDICIÓN 2 VISTA 2:



PUNTO DE MEDICIÓN 3 VISTA 1:



PUNTO DE MEDICIÓN 3 VISTA 2:

