



ESTUDIO ACÚSTICO DEL PLAN ESPECIAL
CLUB SOCIAL PARQUE COIMBRA.
MÓSTOLES (MADRID).

ABRIL 2011

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA EN MATERIA DE RUIDO AMBIENTAL	3
3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	6
4. USOS DEL SUELO PREVISTOS.....	7
5. SITUACIÓN PREOPERACIONAL	8
5.1 ANÁLISIS DE LA MEDIDAS	9
6. PREDICCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO	10
6.1 MODELIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE SONORO	10
6.2 MODELIZACIÓN DE FUENTES SONORAS. RUIDO DE TRÁFICO RODADO	27
6.3 MODELO DE CÁLCULO DE LOS NIVELES SONOROS PARA LOS VIARIOS INTERNOS URBANOS	34
7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	36
7.1 SITUACIÓN PREOPERACIONAL AMBIENTAL. ALTURA DEL RECEPTOR 1,5 M.....	36
7.2 SITUACIÓN POSTOPERACIONAL AMBIENTAL. ALTURA DEL RECEPTOR 1,5 M ..	39
7.3 SITUACIÓN POSTOPERACIONAL CON FOCOS DE RUIDO FIJOS PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD DEL PLAN ESPECIAL. ALTURA DEL RECEPTOR 1,5 M.....	42
8. ÍNDICE DE PLANOS.....	45

1. INTRODUCCIÓN

El importante 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, el cual puede 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 establece como infracción ambiental, entre otras, la descarga en el medio ambiente de formas de energía, incluida la sonora, que pongan en peligro la salud humana y los recursos naturales, supongan un deterioro de las condiciones ambientales o afecten al equilibrio ecológico general.

Posteriormente, el 8 de julio de 1999, la Comunidad de Madrid aprobó el Decreto 78/1999 Régimen de Protección contra la Contaminación Acústica, cuyo objeto es prevenir, vigilar y corregir la contaminación acústica que afecta tanto a las personas como al medio ambiente.

La Unión Europea también insiste 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. Esta directiva ha sido recientemente transpuesta a la legislación nacional mediante la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del 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.

Finalmente, este estudio tiene como base la legislación establecida en la Ordenanza General de Protección del Medioambiente del Plan General, en concreto la Ordenanza General para la Prevención de la Contaminación Acústica.

En este marco de prevención, el presente estudio pretende dar satisfacción a las consideraciones ambientales demandadas por el Excmo. Ayuntamiento de Móstoles en relación al desarrollo del Plan Especial Club Social Parque Coimbra en la localidad de Móstoles (Madrid).

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

- Definición del área de estudio.
- Determinación de criterios de valoración de impactos acústicos.
- Campaña de medida de niveles sonoros para determinación de la situación actual.
- Predicción de los niveles de ruido ambientales preoperacionales
- Predicción de los niveles de ruido ambientales postoperacionales
- Predicción de los niveles de ruido con los focos de ruido fijos postoperacionales
- Valoración de los impactos sonoros en las áreas de recepción.
- Estudio de viabilidad de medidas correctoras.

2. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA EN MATERIA DE RUIDO AMBIENTAL

El Excmo. Ayuntamiento de Móstoles, la Ordenanza General de Protección del Medioambiente del Plan General y dentro de ella ha desarrollado la Ordenanza General para la Prevención de la Contaminación Acústica, que tiene por objeto prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica en el municipio de Móstoles.

El ámbito de aplicación de esta Ordenanza es "....todas las actividades, instalaciones, establecimientos, edificaciones, equipos, maquinaria, obras, vehículos y en general cualquier otro foco o comportamiento individual o colectivo, que en su funcionamiento, uso o ejercicio genere cualquier tipo de contaminación acústica en el término municipal de Móstoles.

....." (Artículo 2).

En el Artículo 8, se establece la siguiente clasificación de Áreas de Sensibilidad Acústica:

a) Ambiente Exterior

- Tipo I: Área de Silencio, incluyendo los siguientes usos del suelo:

- Uso sanitario
- Uso docente o educativo
- Uso cultural
- Espacios protegidos

- Tipo II: Área levemente ruidosa, incluyendo los siguientes usos del suelo:

- Uso residencial
- Zona verde, excepto en casos en que constituyan zonas de transición

- Tipo III: Área tolerablemente ruidosa, incluyendo los siguientes usos del suelo:

- Uso de hospedaje
- Uso de oficinas o servicios
- Uso comercial
- Uso deportivo
- Uso recreativo

- Tipo IV: Área ruidosa, incluyendo los siguientes usos del suelo:

- Uso industrial
- Servicios públicos

- Tipo V: Área especialmente ruidosa, incluyendo:
- Sectores del territorio afectados por servidumbre sonora en favor de infraestructuras de transporte (por carretera, ferroviario y aéreo)
- Áreas de espectáculos al aire libre

b) Ambientes Interiores

- Tipo VI: Área de Trabajo
- Tipo VII: Áreas de viviendas, diferenciándose entre las subzonas residencial habitable incluyendo dormitorios, salones, despachos y sus equivalentes funcionales; la subzona residencial servicios, incluyendo cocinas, baños, pasillos, aseos y sus equivalentes funcionales y la subzona hospedaje.

En el Artículo 11, se señalan los niveles máximos permisibles para cada una de las zonas diferenciadas anteriormente, en función del período día (entre las 07:00 horas y las 23:00 horas), intermedio (desde las 23:00-0:00 y 06:00-07:00) y noche (entre las 00:00 horas y las 06:00 horas), para ambientes interiores y exteriores y según la clasificación urbanística de la zona con relación a la entrada en vigor de dicha Ordenanza; así:

- En aquellas zonas que a la entrada en vigor de la Ordenanza se prevean nuevos desarrollos urbanísticos, ningún emisor podrá emitir niveles que superen los valores señalados en la Tabla I.

Área de sensibilidad acústica	Períodos		
	Diurno	Intermedio	Nocturno
Tipo I (Área de silencio)	50	45	40
Tipo II (Área levemente ruidosa)	55	50	45
Tipo III (Área tolerablemente ruidosa)	65	60	55
Tipo IV (Área ruidosa)	70	65	60
Tipo V (Área especialmente ruidosa)	75	70	65

- En aquellas zonas que a la entrada de esta Ordenanza están consolidadas urbanísticamente, los valores límite son los indicados en la Tabla II.

Área de sensibilidad acústica	Períodos		
	Diurno	Intermedio	Nocturno
Tipo I (Área de silencio)	60	55	50
Tipo II (Área levemente ruidosa)	65	60	55
Tipo III (Área tolerablemente ruidosa)	70	65	60
Tipo IV (Área ruidosa)	75	75	70
Tipo V (Área especialmente ruidosa)	80	80	75

En las zonas a las que se refiere el apartado anterior, cuya situación acústica determine que no se alcancen los valores objetivos fijados, no podrá instalarse ningún nuevo foco emisor si su funcionamiento ocasiona un incremento de 3 dB (A) o más en los valores existentes o si supera los valores límites señalados en la Tabla III.

Área de sensibilidad acústica	Períodos		
	Diurno	Intermedio	Nocturno
Tipo I (Área de silencio)	55	50	45
Tipo II (Área levemente ruidosa)	60	55	50
Tipo III (Área tolerablemente ruidosa)	65	65	60
Tipo IV (Área ruidosa)	75	70	70
Tipo V (Área especialmente ruidosa)	80	80	80

3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Plan Especial se localiza en la Avenida de los Sauces nº 47, en la Urbanización Parque Coimbra, al suroeste del municipio de Móstoles (Madrid). La parcela es propiedad de El Balcón de Coimbra S.L.

La actuación se localiza a unos 4,5 Km de distancia del casco urbano de Móstoles.

Las coordenadas geográficas de la parcela son:

- Coordenada X: 421.554
- Coordenada Y: 4.461.959

En el plano 1 se representa el emplazamiento general del Plan Especial.



4. USOS DEL SUELO PREVISTOS

Los usos del suelo previstos son los presentados en el Plano 2. La cuantificación propuesta se detalla a continuación:

Los usos previstos del Club Social y Deportivo serán los siguientes:

- Uso Dotacional: 4.200 m²
 - Actividades de restauración, catering, cafetería, pub, discoteca, fabricación, elaboración y distribución de productos alimenticios y bebidas, organización de eventos y otros relacionados con el sector de la hostelería.
 - Parques infantiles y actividades derivadas del ocio y entretenimiento infantil. Servicio de guardería.
 - Actividades relacionadas con la publicidad y el merchandising.
 - Explotación de máquinas de juego y recreativas, y máquinas expendedoras de alimentos, bebidas, tabaco y otros alimentos de necesidad.
 - Instalaciones de cajeros automáticos de bancos.
 - Zona de aparcamiento.

- Uso Deportivo: 4.400 m²
 - Piscinas y vestuario.
 - Servicios de SPA-gimnasio.

Además, en un futuro se podrá contemplar los siguientes usos:

- Explotación hotelera.
- Actividades relacionadas con eventos de Bodas y Comuniones (carpa, stand de viajes, peluquería, etc.).

5. SITUACIÓN PREOPERACIONAL

La campaña de medidas de los niveles ambientales existentes en los puntos de estudio se realizó el día 28 y 29 de marzo de 2011.

Cada punto de medida fue visitado 7 veces a lo largo de las 24 horas del día a fin de tener un conocimiento actual de la situación sonora ambiental y su evolución diaria en cada uno de ellos (Plano 3).

El equipo de medida utilizado fue un Sonómetro SOLO 01dB, calibrándose el sistema antes y después de las mediciones con el calibrador RION tipo NC-74, 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 B, mientras que como resumen de toda esta información la Tabla IV presenta los niveles sonoros equivalentes diurnos, intermedios y nocturnos.

Posición de medida	Niveles Sonoros, dB(A)		
	($L_{Aeq,Dia}$)	($L_{Aeq,Inter}$)	($L_{Aeq,Noche}$)
	61.7	52.7	50.4
1	54.3	51.7	49.0
2	51.5	48.7	44.4
3	Observaciones:		

5.1 ANÁLISIS DE LA 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 elegidos.
- Los niveles sonoros equivalentes día ($L_{Aeq,Día}$) varían entre 61,7 dB(A) y 51,5 dB(A).
- Los niveles sonoros equivalentes intermedios ($L_{Aeq,Inter}$) varían entre 52,7 dB(A) y 48,7 dB(A).
- Los niveles sonoros equivalentes nocturnos ($L_{Aeq,Noche}$) varían entre 50,4 dB(A) y 44,4 dB(A).
- Los valores sonoros medidos más altos, en todos los periodos temporales medidos, se recogen en el punto de medida 1 que es el que coincide con la zona de paso de vehículos por la avenida de los Sauces.
- Los valores sonoros medidos más bajos, en todos los periodos temporales medidos, se recogen en el punto de medida 3 que es el más alejado a cualquier calle y por lo tanto más protegido del tráfico de vehículos.

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.

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 VI).

TABLA VI			
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 martinet, 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 (adsorción atmosférica), efecto suelo (adsorción 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 1 propuesta en el *Manual de Medidas Acústicas y Control del Ruido* de Cyril M. Harris (ISBN: 84-481-1619-4).

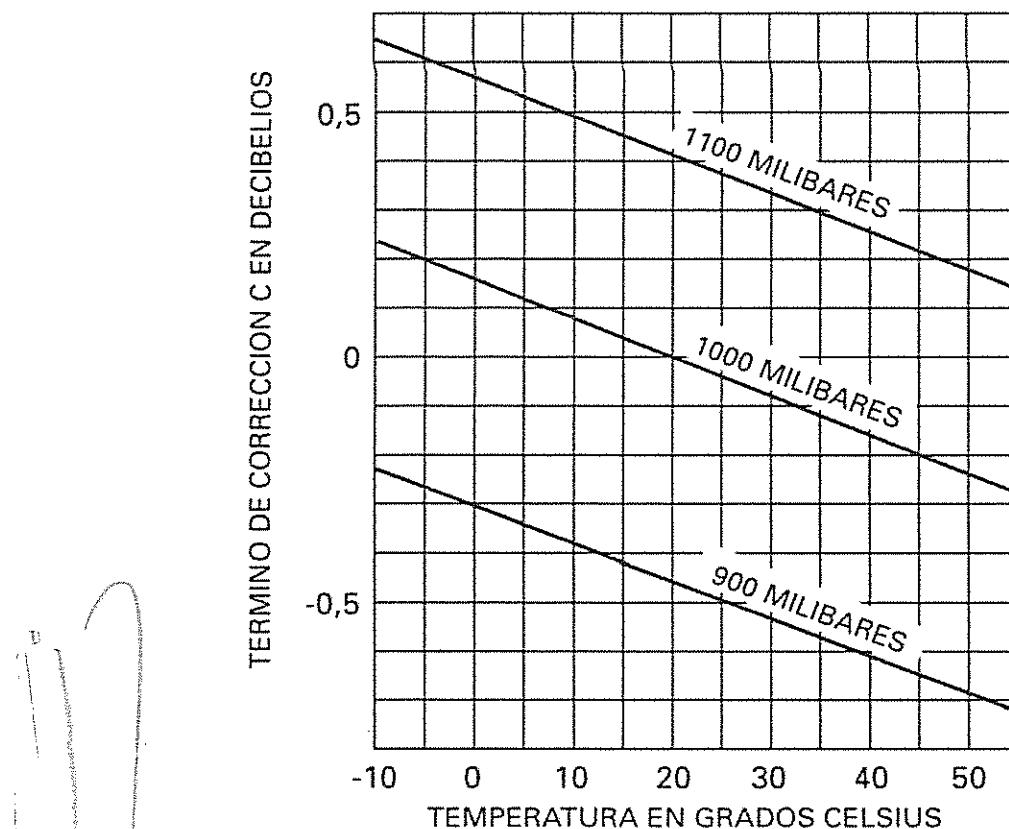


Figura 1. Término de corrección C en función de la temperatura y presión atmosférica.

➤ 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 adsorbido mediante varios procesos moleculares denominados absorción del aire.

La atenuación por adsorción 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 debido 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 VII).

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

La adsorción 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 adsorción 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 adsorción 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 2).

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).

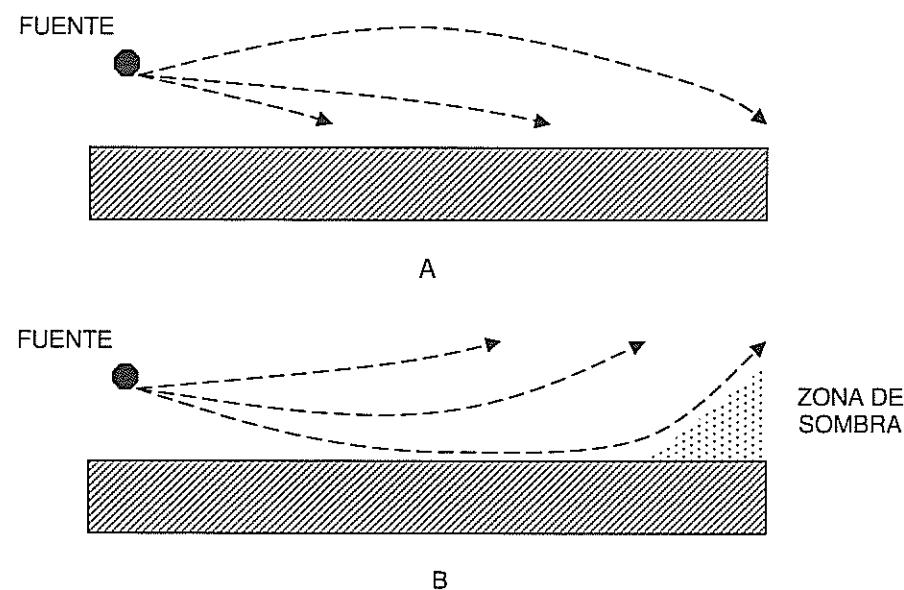


Figura 2. Refracción del ruido dependiendo de la dirección del viento

> **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 adsorción 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 20º, 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:

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

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 períodos 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 3,

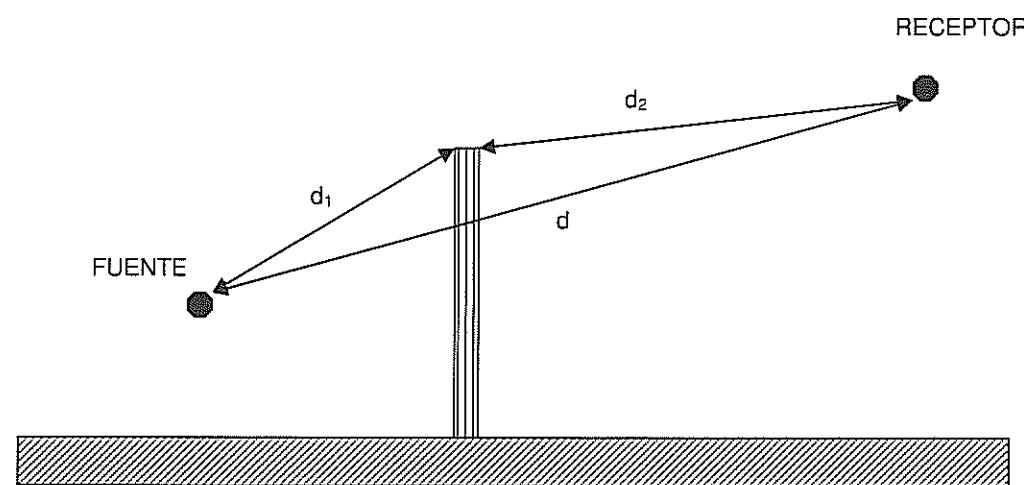


Figura 3. Distancias en el cálculo de pérdidas por inserción de una barrera delgada

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 4,

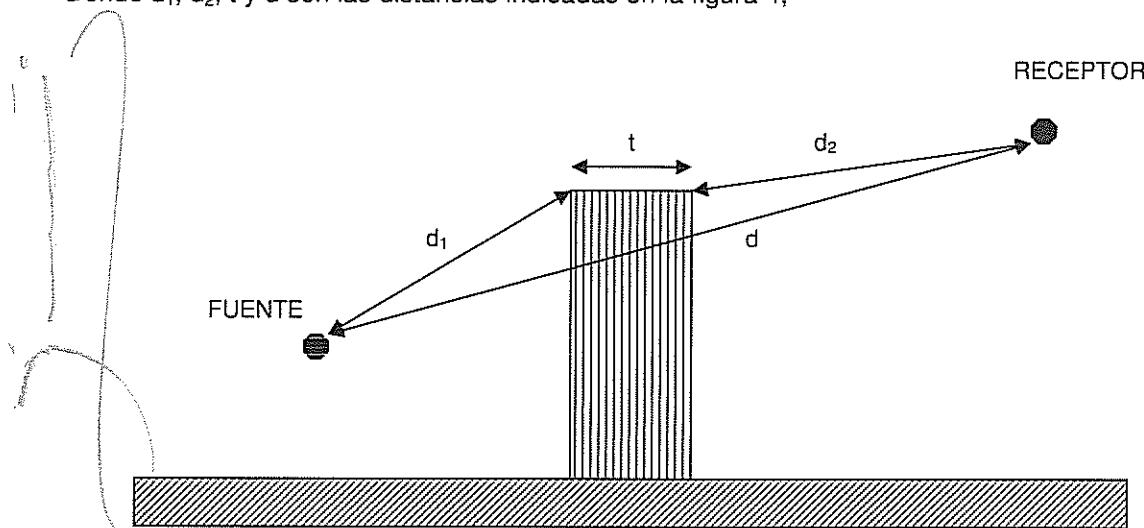


Figura 4. Distancias en el cálculo de pérdidas por inserción de una barrera gruesa

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 5), 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.

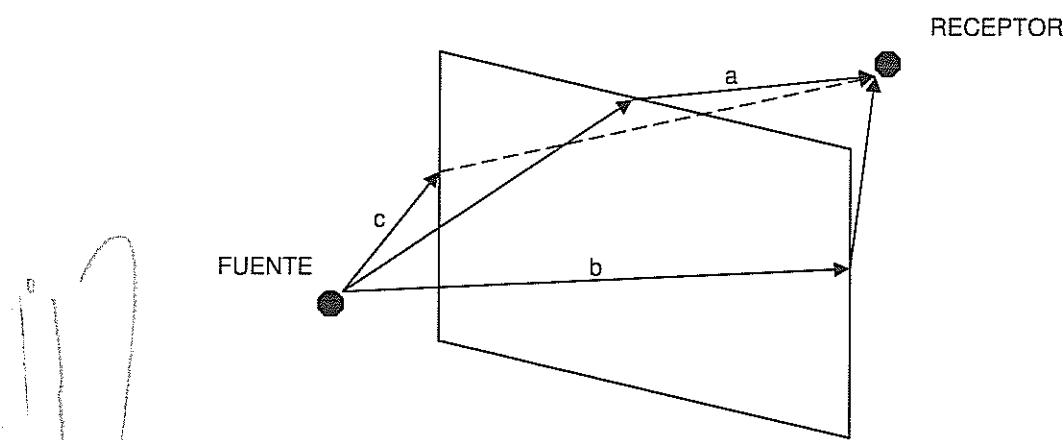


Figura 5. Distancias en el cálculo de pérdidas por inserción de una barrera finita

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 6 se representan los fenómenos anteriormente citados:

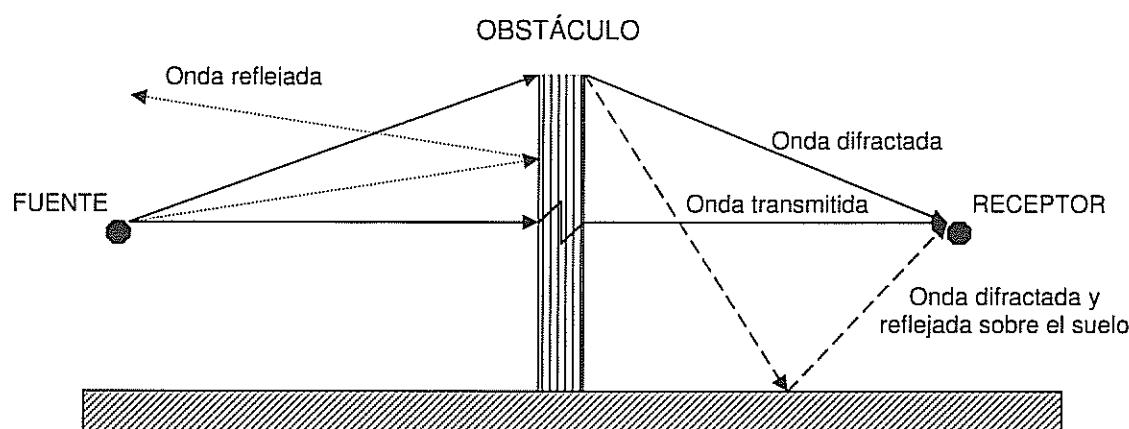


Figura 6. Atenuación por reflexión

Si la adsorción 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 VIII).

TABLA VIII							
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 pedírselos 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 7 (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.

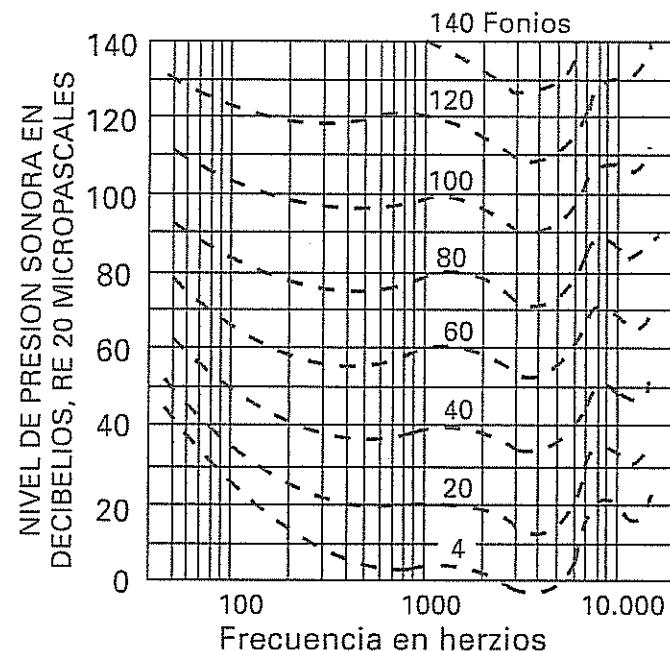


Figura 7. Curvas de igual sonoridad.

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 Leq 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 periodo 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 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 Leq (1 hora) en $dB(A)$, (conocido también como emisión sonora E , descrita en el punto 4.2.2.1). El nivel sonoro se da separadamente para un solo vehículo ligero (emisión sonora Elv) y para un vehículo pesado (emisión sonora "Ehv" por hora).

Para estos distintos tipos de vehículos, E es función de la velocidad (véase el punto 4.2.2.3), el flujo de tráfico (véase el punto 4.2.2.4) y el perfil longitudinal (véase el punto 4.2.2.5).

Aunque el nivel sonoro mostrado en los nomogramas no prevé correcciones de pavimento, las presentes orientaciones incorporan un sistema de corrección de ese tipo (véase el punto 4.2.4).

El nivel de potencia acústica dependiente de la frecuencia $LAwi$, 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:

$$LAwi = LAwi/m + 10 \log(l_i) + R(j) + \Psi$$

donde:

- LAw/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:

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

donde:

- Elv es la emisión sonora de vehículos ligeros;
- Ehv es la emisión sonora de vehículos pesados;
- Qlv es el volumen de tráfico ligero durante el intervalo de referencia;
- Qhv 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, definida en el punto 4.2.4;
- li es la longitud del tramo de la línea de fuentes representada por una fuente de puntos componentes l en metros,

- R (j) es el valor espectral, en dB(A), por banda de octava j, indicado en la tabla IX.

TABLA IX

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.

7.1.3 Posición de medida 3

Esta posición de medida está influenciada por el paso de vehículos por la Avenida de los Sauces y en gran medida también por el paso de vehículos por la Autovía A-5. Esta posición de medida no está protegida con respecto a dicha Autovía A-5 por ninguna edificación cercana ni por la orografía del terreno.

Por lo comentado anteriormente, las diferencias entre los niveles sonoros medidos y calculados en esta posición son algo más elevadas que en las anteriores posiciones de medida.

Aún así, esta posición de medida es la que menos comprometida para el estudio de la afección acústica del Plan Especial con respecto al entorno ya que en esa zona están las edificaciones comerciales cuyos niveles sonoros límite son más permisivos.

La simulación acústica de la situación preoperacional nos sirve también para caracterizar la situación acústica ambiental en los edificios residenciales y comerciales adyacentes al Plan Especial y comparar la situación actual con los límites sonoros ambientales que marca la Ordenanza General en zonas urbanísticamente consolidadas.

En la siguiente tabla XII se muestra la comparativa de los niveles sonoros calculados y los límites sonoros en las edificaciones cercanas al Plan Especial

TABLA XII

COMPARATIVA ENTRE NIVELES SONOROS CALCULADOS Y LOS LÍMITES SONOROS AMBIENTALES EN ZONA URBANÍSTICAMENTE CONSOLIDADA PARA LA SITUACIÓN PREOPERACIONAL

Edificación	Niveles Sonoros, dB(A)					
	(L _{Aeq,Día})		(L _{Aeq,Inter})		(L _{Aeq,Noche})	
	Calculado	Límite	Calculado	Límite	Calculado	Límite
Res. Multifamiliar Zona Avda. Sauces	64.1	65	54.4	60	54.4	55
Res. Multifamiliar Zona c/ Cedros	50.3	65	42.0	60	42.0	55
Res. unifamiliar Zona c/ Cedros	50.9	65	42.6	60	42.6	55
Edif. comercial Zona Avda. Sauces	62.4	70	52.7	65	52.7	60
Observaciones:	Se ha escogido la edificación más afectada por los viarios					

Como se deduce de la tabla anterior, en todas las edificaciones cercanas al Plan Especial cuando todavía no haya comenzado su actividad, se cumple con los niveles sonoros ambientales estipulados por la Ordenanza General en zonas urbanísticamente consolidadas.

7.2 SITUACIÓN POSTOPERACIONAL AMBIENTAL. ALTURA DEL RECEPTOR 1,5 M.

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

El Parcial Especial Club Social Parque Coimbra se distribuye acústicamente de la siguiente forma:

- La superficie destinada a dotacional, se incluye en el área de sensibilidad acústica tipo III (área tolerablemente ruidosa).
- La superficie destinada a deportivo, se incluye en el área de sensibilidad acústica tipo III (área tolerablemente ruidosa).

Según los usos previstos en el sector los niveles sonoros límite ambientales, cuando se prevean nuevos desarrollos urbanísticos, que no se deberán superar en el ambiente exterior son (tabla XIII).

TABLA XIII			
VALORES OBJETIVO EXPRESADOS EN Leq, dB(A)			
Áreas de Sensibilidad Acústica	Períodos		
	Día	Intermedio	Noche
Tipo III: Área tolerablemente ruidosa (Uso de hospedaje, uso de oficinas o servicios, uso comercial, uso deportivo, uso recreativo)	65	60	55

La comparativa de los niveles sonoros ambientales calculados con los niveles sonoros límite se realizará en la zona más afectada por los viarios circundantes que será el edificio de uso dotacional privado.

Un vez planteados todos los aspectos que van a afectar a la zona objeto del estudio, comentaremos el impacto acústico según usos y períodos para los cuales se ha realizado el estudio postoperatorial.

7.2.1 Periodo diurno (plano 6)

- Áreas de sensibilidad acústica Tipo III

Con respecto a la afección acústica de los viarios adyacentes al Plan especial para la zona comercial y deportiva no se superan los 65 dB(A) establecidos como límite para el periodo diurno. Los niveles sonoros máximos calculados están comprendidos entre 63,7-63,1 dB(A).

7.2.2 Periodo intermedio (plano 7)

- Áreas de sensibilidad acústica Tipo III

Con respecto a la afección acústica de los viarios adyacentes al Plan especial para la zona comercial y deportiva no se superan los 60 dB(A) establecidos como límite para el periodo intermedio. Los niveles sonoros máximos calculados están comprendidos entre 54,4-53,9 dB(A).

7.2.3 Periodo nocturno (plano 7)

- Áreas de sensibilidad acústica Tipo III

Con respecto a la afección acústica de los viarios adyacentes al Plan especial para la zona comercial y deportiva no se superan los 55 dB(A) establecidos como límite para el periodo nocturno. Los niveles sonoros máximos calculados están comprendidos entre 54,4-53,9 dB(A).

La simulación acústica de la situación postoperacional ambiental nos sirve también para caracterizar la situación acústica en los edificios residenciales y comerciales adyacentes al Plan Especial y comparar la situación futura con los límites sonoros que marca la Ordenanza General en zonas urbanísticamente consolidadas.

En la siguiente tabla XIV se muestra la comparativa de los niveles sonoros calculados y los límites sonoros en las edificaciones cercanas al plan especial

TABLA XIV

Edificación	Niveles Sonoros, dB(A)					
	(L _{Aeq,Día})		(L _{Aeq,Inter})		(L _{Aeq,Noche})	
	Calculado	Límite	Calculado	Límite	Calculado	Límite
Res. Multifamiliar Zona Avda. Sauces	64.4	65	54.8	60	54.8	55
Res. Multifamiliar Zona c/ Cedros	52.0	65	43.7	60	43.7	55
Res. unifamiliar Zona c/ Cedros	52.9	65	44.6	60	44.6	55
Edif. comercial Zona Avda. Sauces	63.4	70	53.2	65	52.2	60
Observaciones:	Se ha escogido la edificación más afectada por los viarios					

Como se deduce de la tabla anterior, en todas las edificaciones cercanas al Plan Especial cuando este comience su actividad se cumple con los niveles sonoros estipulados por la Ordenanza General en zonas urbanísticamente consolidadas.

Si comparamos los niveles sonoros calculados en las edificaciones cercanas al Plan especial en la situación preoperacional y postoperacional, se deduce que estos varían muy poco (0,5-2 dB(A)) y que no hay apenas diferencia de niveles ambientales cuando aun no hay actividad en el Plan Especial y cuando ya se encuentre en funcionamiento.

De las conclusiones anteriores se desprende que en las diferentes áreas acústicas planteadas en el Plan Especial no se superarán los límites sonoros exigidos por la legislación.

7.3 SITUACIÓN POSTOPERACIONAL CON FOCOS DE RUIDO FIJOS PROVENIENTES DE LA ACTIVIDAD DEL PLAN ESPECIAL. ALTURA DEL RECEPTOR 1,5 M.

A parte del incremento de tráfico que se ha considerado por la Avenida de los Sauces y la calle de los Cedros, se ha tenido también en cuenta las posibles fuentes sonoras ubicadas en el exterior cuando se finalice la urbanización del Plan Especial y éste comience su actividad.

Se han tenido en cuenta las siguientes fuentes sonoras:

- **Niveles sonoros generados por el aparcamiento interno del Plan Especial.** Se han tenido en cuenta que tendrá una capacidad de 69 vehículos y que la velocidad a la que se desplazarán no será superior a 20 km/h y que no habrá circulación de vehículos pesados.
- **Niveles sonoros generados por el kiosco exterior.** Se considerará una generación en las zonas próximas de aproximadamente 60 dB(A). Según indicaciones de la propiedad se tratará de una música ambiente sin sistemas de reproducción sonora de alta potencia.
- **Niveles sonoros generados por la maquinaria de la azotea del edificio principal.** Según indicaciones de la propiedad se mantendrán el mismo número de maquinaria que existe en la actualidad (5 equipos). Los niveles sonoros considerados en la simulación se han obtenido de mediciones in-situ de equipos de similares características para edificios de parecidos usos. En el anexo C se muestra las características acústicas de este tipo de equipo.

En este caso se ha de comparar con los niveles sonoros límite que especifica la Ordenanza General en su artículo 12 en las condiciones particulares de los focos de ruido fijos. En la tabla XV se presentan dicho valores límite en función del tipo de área de sensibilidad acústica.

TABLA XV		
VALORES OBJETIVO EXPRESADOS EN L _{eq} , dB(A)		
Área de sensibilidad acústica	Períodos	
	Diurno	Nocturno
Tipo I (Área de silencio)	45	35
Tipo II (Área levemente ruidosa)	55	45
Tipo III (Área tolerablemente ruidosa)	65	55
Tipo IV (Área ruidosa)	70	60
Tipo V (Área especialmente ruidosa)	<75	<65

En el plano 8 se presenta la simulación de los niveles calculados en la situación postoperacional con los focos de ruido fijos planteados en el Plan Especial durante el periodo diurno mientras que en el plano 9 se presenta la misma simulación para el periodo nocturno. Ambos planos están referenciados a una altura de receptor de 1,5 metros.

En la siguiente tabla XVI se muestra la comparativa de los niveles sonoros calculados y los límites sonoros en las edificaciones cercanas al plan especial

TABLA XVI						
Edificación	Niveles Sonoros, dB(A)					
	DÍA		NOCHE			
	Calculado	Límite	Calculado	Límite		
Res. Multifamiliar Zona Avda. Sauces	64.4	55	54.8	45		
Res. Multifamiliar Zona c/ Cedros	52.3	55	44.6	45		
Res. unifamiliar Zona c/ Cedros	52.9	55	44.6	45		
Edif. comercial Zona Avda. Sauces	63.4	65	53.8	55		
Observaciones:	Se ha escogido la edificación más afectada por los focos fijos					

Como se deduce de la tabla anterior, en todas las edificaciones cercanas al Plan Especial cuando este comience su actividad, menos en las edificaciones residenciales de la zona de la Avda. de los Sauces, se cumple con los niveles sonoros estipulados por la Ordenanza General.

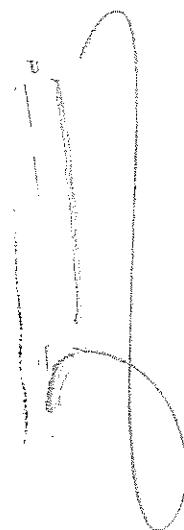
Como se ha comentado en los anteriores apartados del presente informe, es precisamente las edificaciones residenciales que colindan con la Avda. de los Sauces la que está más afectada por el tráfico de vehículos que circula por dicha avenida.

Si comparamos los niveles sonoros calculados en las edificaciones residenciales que colindan con la Avda. de los Sauces en la situación preoperacional y postoperacional ambiental, se deduce que estos varían muy poco (0,5-2 dB(A)) y que no hay apenas diferencia de niveles ambientales cuando aun no hay actividad en el Plan Especial y cuando éste ya se encontrase en funcionamiento.

Se deduce por tanto que el nivel sonoro en las edificaciones residenciales que colindan con la Avda. de los Sauces cuando se haya urbanizado el Plan Especial no será generado por los focos de ruido fijos del mismo y que por lo tanto cumplirá con los niveles sonoros límite estipulados por la Ordenanza General.

Con todo lo anteriormente planteado, en el plano 10 se presentan las áreas de sensibilidad acústica según el artículo 8 de la Ordenanza General del Excmo. Ayto. de Móstoles.

Se firma el presente Informe Técnico a 1 de abril de 2011



Fdo.: José Luis Peñuelas-Paz Ortiz.
Ingeniero Técnico de Telecomunicación.
Colegiado N° 8652 (COITT)



Fdo.: José Antonio Manjón Cervigón.
Ingeniero Técnico Agrícola.
Colegiado N° 6856 (COITA)



8. ÍNDICE DE PLANOS.

Plano 1: Situación general

Plano 2: Usos del suelo

Plano 3: Puntos de medida

Plano 4: Situación preoperacional ambiental. Líneas isofónicas Día. Altura receptor 1,5 metros

Plano 5: Situación preoperacional ambiental. Líneas isofónicas Intermedio/Noche. Altura receptor 1,5 metros

Plano 6: Situación postoperacional ambiental. Líneas isofónicas Día. Altura receptor 1,5 metros

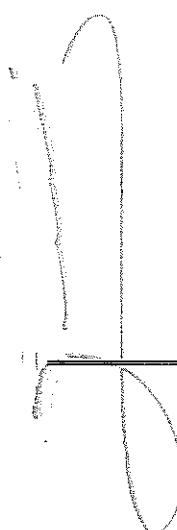
Plano 7: Situación postoperacional ambiental. Líneas isofónicas Intermedio/Noche. Altura receptor 1,5 metros

Plano 8: Situación postoperacional con focos de ruido fijos. Líneas isofónicas Día. Altura receptor 1,5 metros

Plano 9: Situación postoperacional con focos de ruido fijos. Líneas isofónicas Noche. Altura receptor 1,5 metros

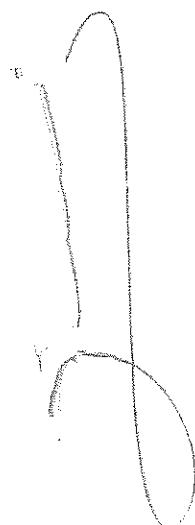
Plano 10: Áreas de sensibilidad acústica

ANEXO A



CONTENIDO

Este Anexo contiene la hoja de verificación anual de la instrumentación acústica empleada durante las mediciones.



CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

Instrumentos de medición de sonido audible y calibradores acústicos



LACAINAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS ACÚSTICOS
E.T.S.I. INDUSTRIALES – UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CAMPUS SUR UPM. Ed. INSIA. Ctra. Valencia, km 7. 28031 – Madrid.
Tel.: (+34) 91 336 5315 – Fax.: (+34) 91 336 5302
www.i2a2.upm.es – lacainac@i2a2.upm.es

TIPO DE VERIFICACIÓN: PERIÓDICA

INSTRUMENTO: CALIBRADOR ACÚSTICO

MARCA: RION

MODELO: NC-74

NÚMERO DE SERIE: 34372729

EXPEDIDO A: ALLPE, INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE, S.L.
C/ CAPITÁN HAYA, nº 47, OFIC.503
28020 - MADRID

FECHA VERIFICACIÓN: 22/04/2010

CÓDIGO CERTIFICADO: 10LAC3446F001

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, 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 y Empleo de la Comunidad de Madrid (Resolución de 27 de noviembre de 2007, BOE nº 8 09/01/2008).

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



Fecha de emisión

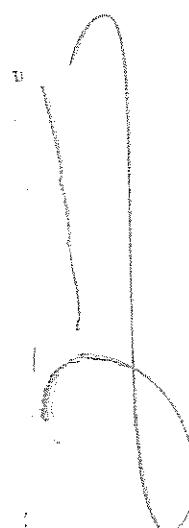
22/04/2010

Rodolfo Fraile Rodríguez
Subjefe del laboratorio

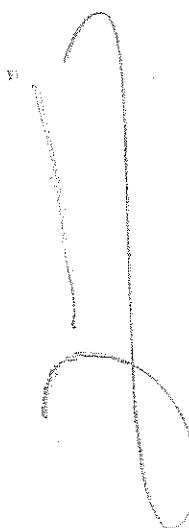
50

CONTENIDO

Este Anexo contiene para cada punto y período de medida los niveles sonoros estadísticos L_{max} , L_1 , L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{99} , L_{min} y el nivel equivalente. También se muestran las fotos de las posiciones de medida seleccionadas.



POSICIÓN DE MEDIDA 1:



Medida	Hora	L _{Aeq}	L _{max}	L _{min}	L ₁	L ₅	L ₁₀	L ₅₀	L ₉₀	L ₉₅	T (°C)	V (m/s)
1	9:50	62,2	76,5	47,1	73,3	68,8	66,7	54,5	49,7	49,3	47,9	14,2
2	12:01	63,7	86,9	47,8	71,8	68,7	65,8	55,6	50	49,1	48,2	16,1
3	14:01	59,2	77	47,6	70,5	65	62,1	54,4	50,8	49,7	48	18,3
4	16:34	60,1	71,1	47,5	68,9	66,1	64,1	56,2	51,2	49,3	47,8	18,7
5	19:04	61,8	79,9	49,8	72,4	65,9	64,3	58,1	51,7	51,1	50,1	17,5
6	21:06	52,7	68,4	39,1	64,6	58	54,2	46,5	41,1	40,2	39,4	9,6
7	23:21	56,1	62,7	69,1	63,4	54,2	52,7	45,7	41	40,1	39,2	7,5
												0,33
												0,81

Leyenda:

- Horario Diurno (de 7:00 a 23:00)
- Horario Intermedio (de 23:00 a 0:00 y de 06:00 a 07:00)
- Horario Nocturno (de 0:00 a 6:00)

Observaciones:



POSICIÓN DE MEDIDA 1 VISTA 1



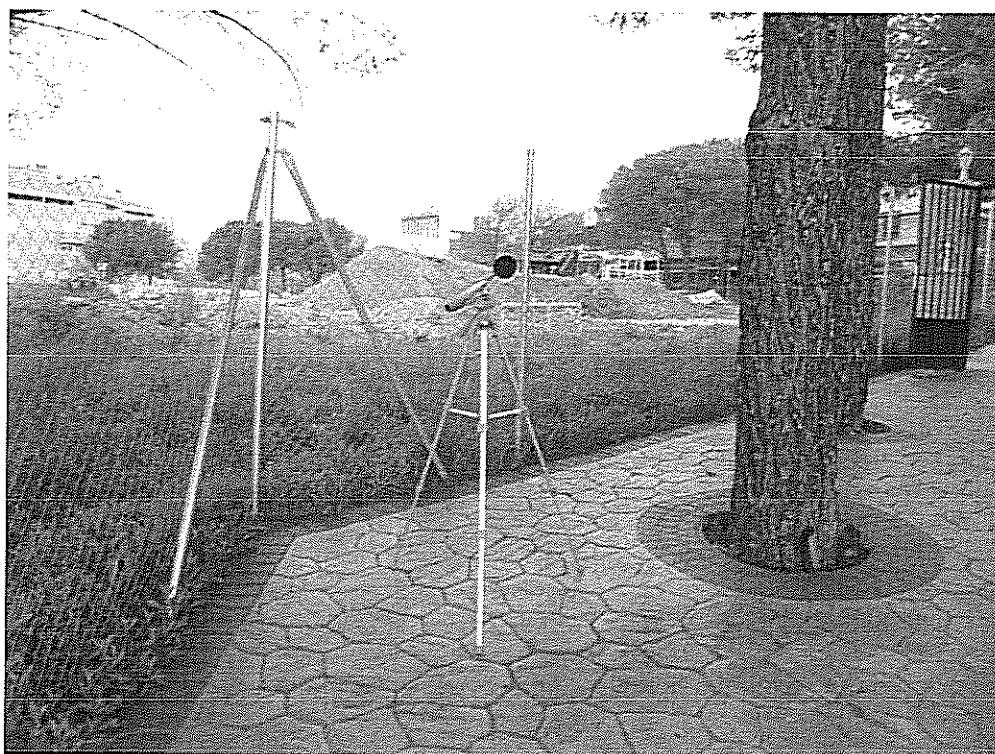
POSICIÓN DE MEDIDA 1 VISTA 2



POSICIÓN DE MEDIDA 2 VISTA 1



POSICIÓN DE MEDIDA 2 VISTA 2



POSICIÓN DE MEDIDA 3 VISTA 1

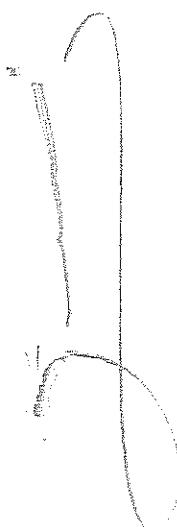


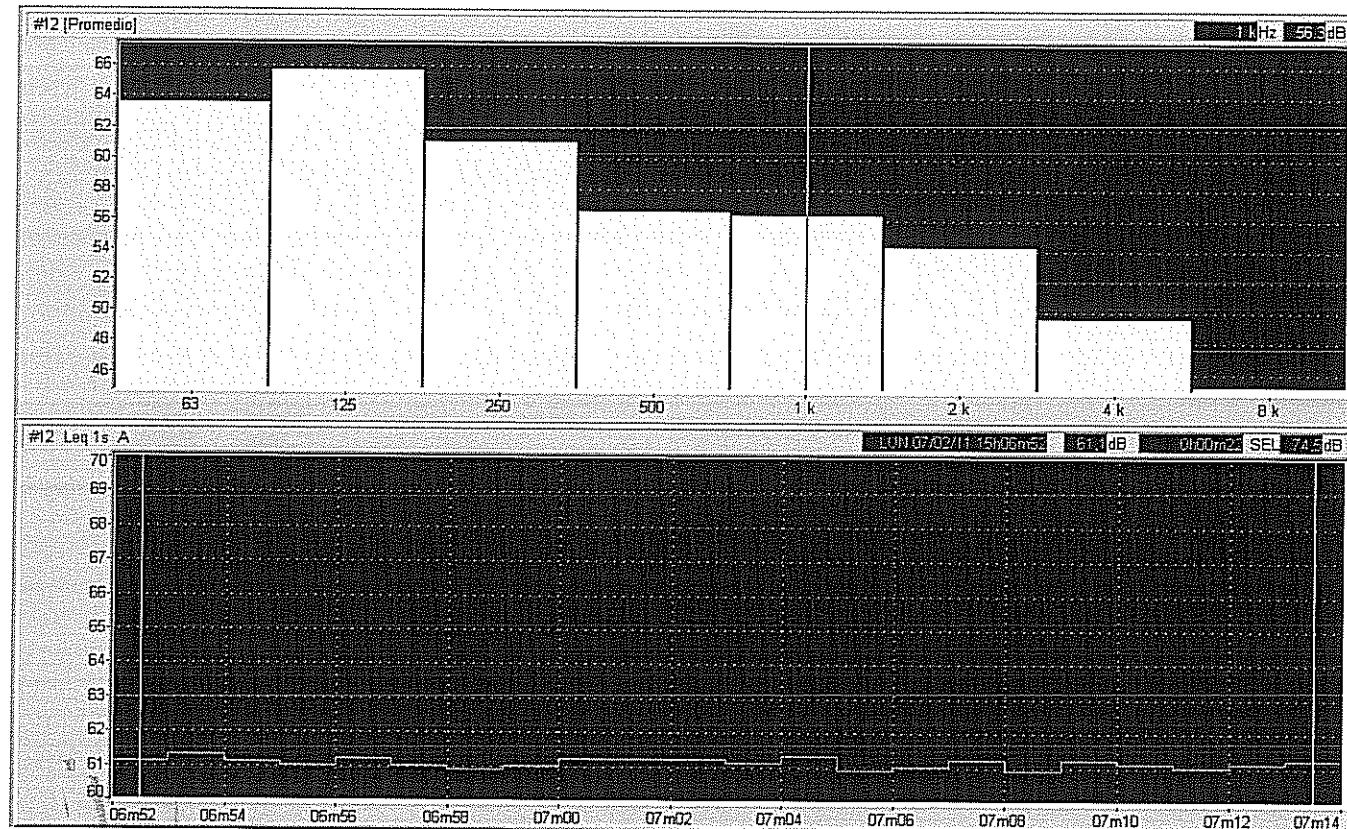
POSICIÓN DE MEDIDA 3 VISTA 2

ANEXO C

CONTENIDO

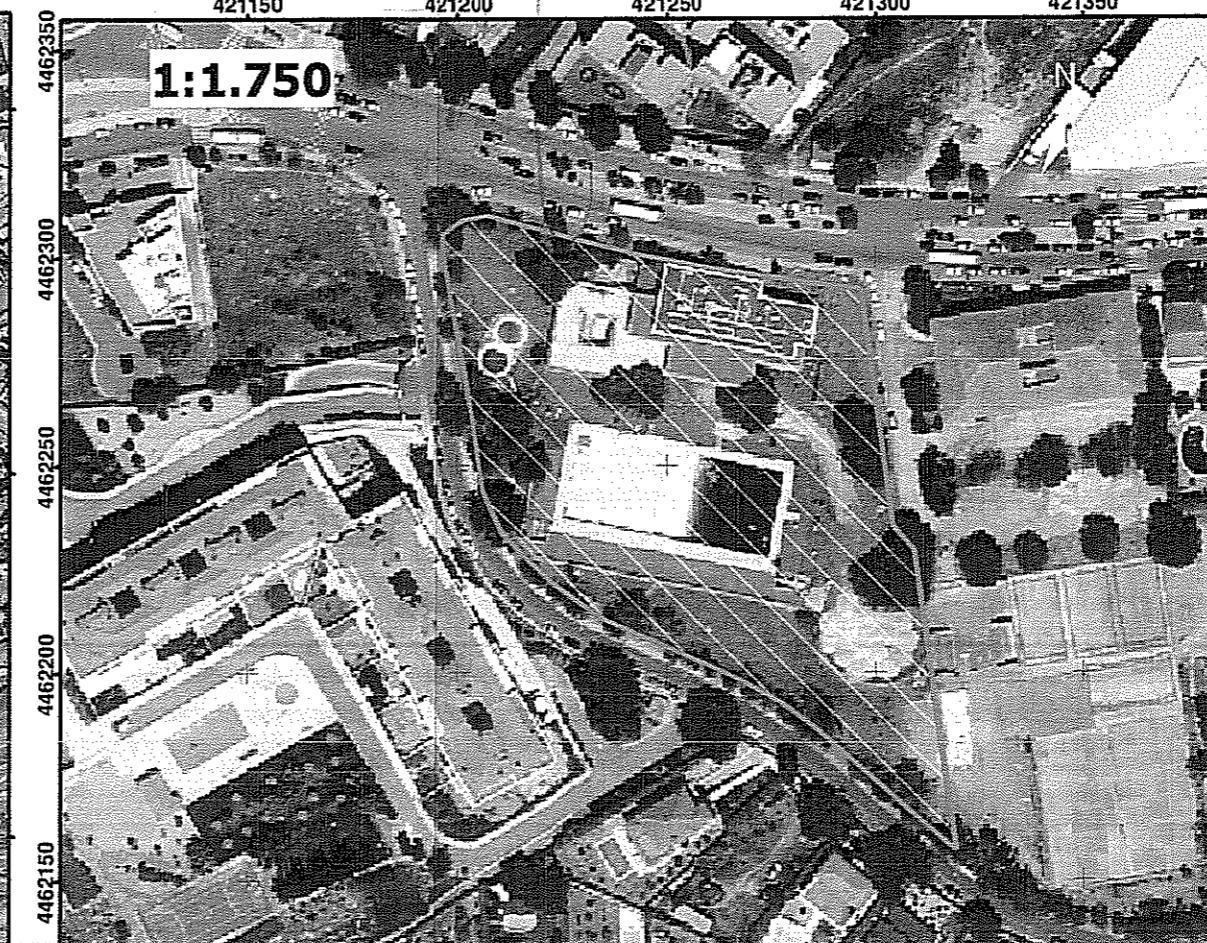
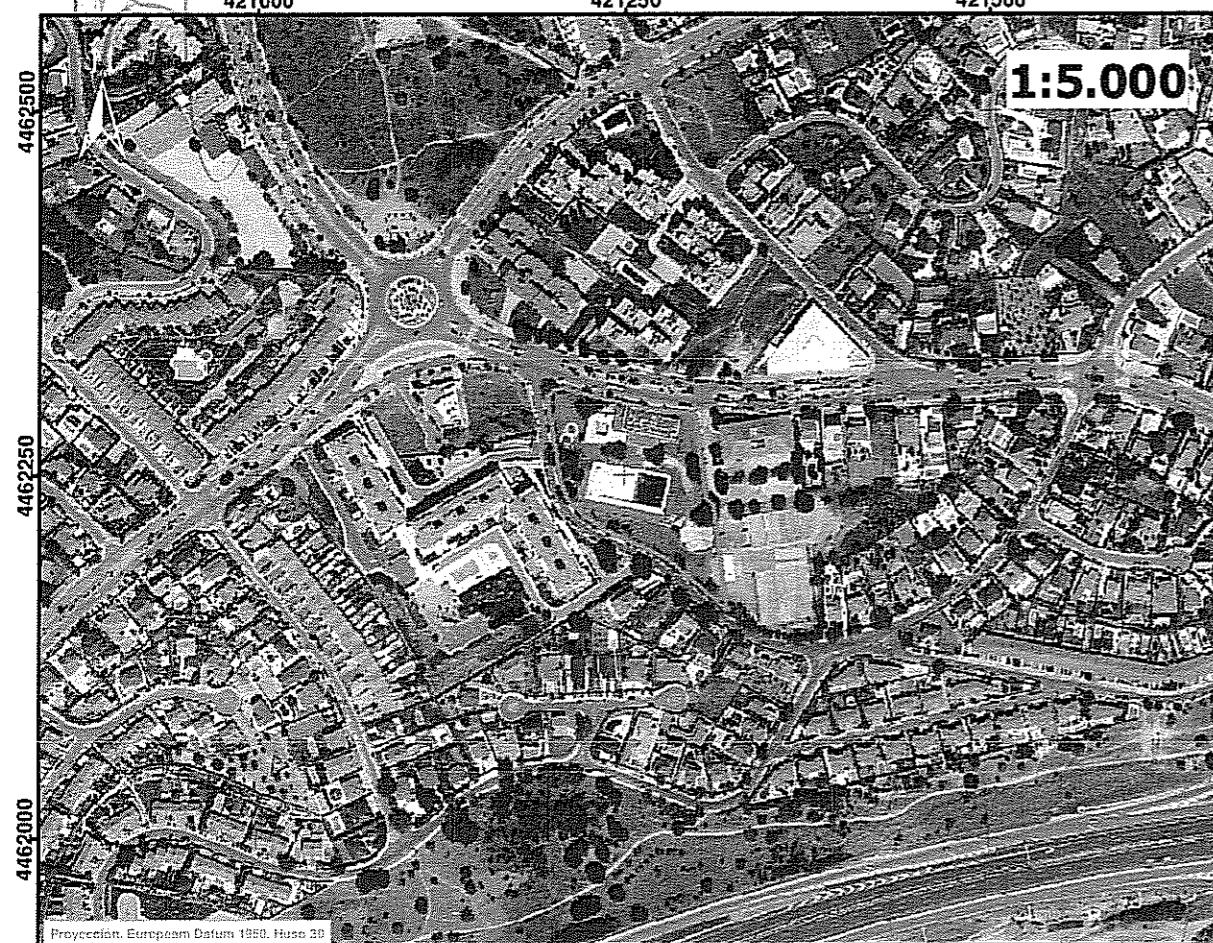
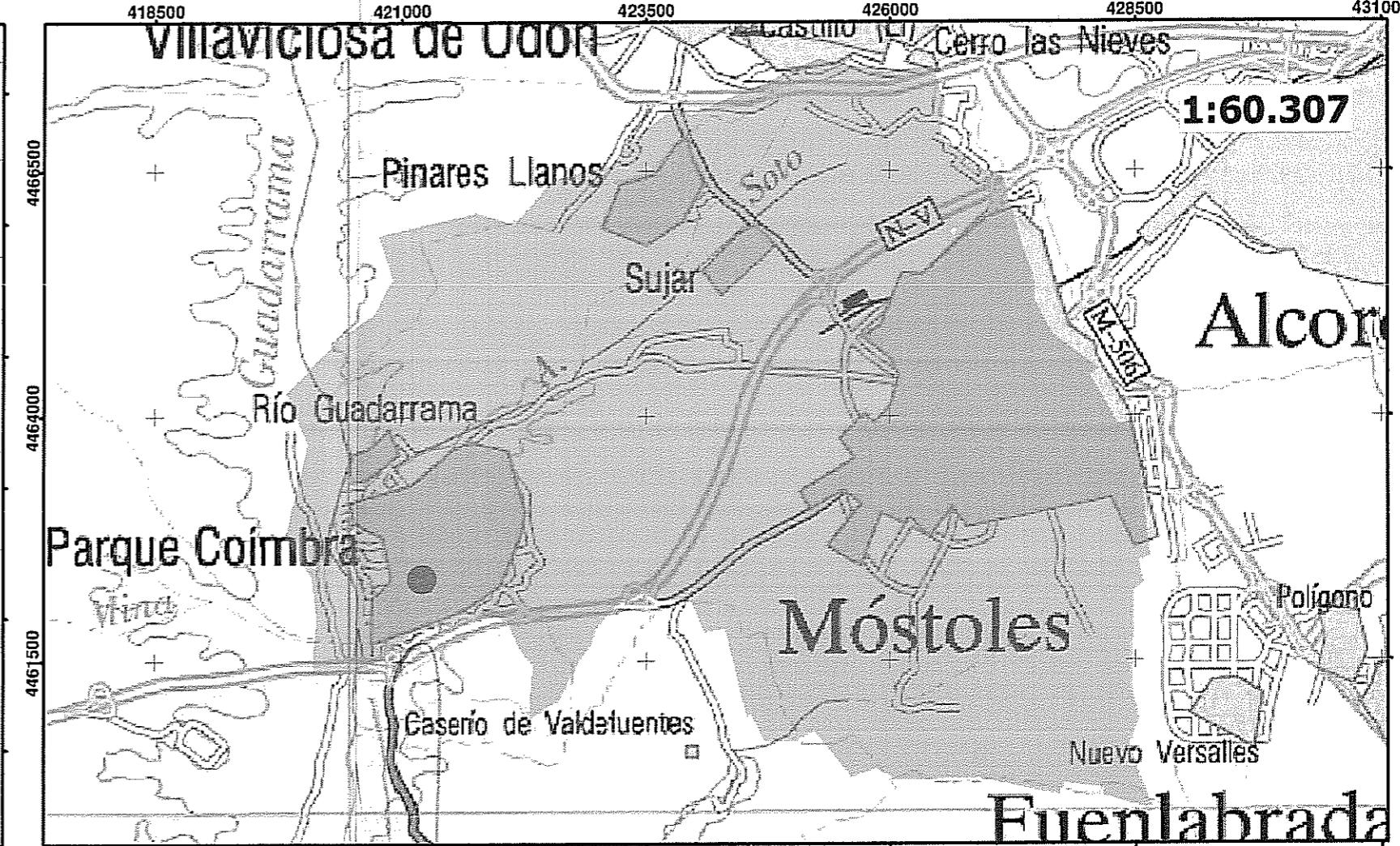
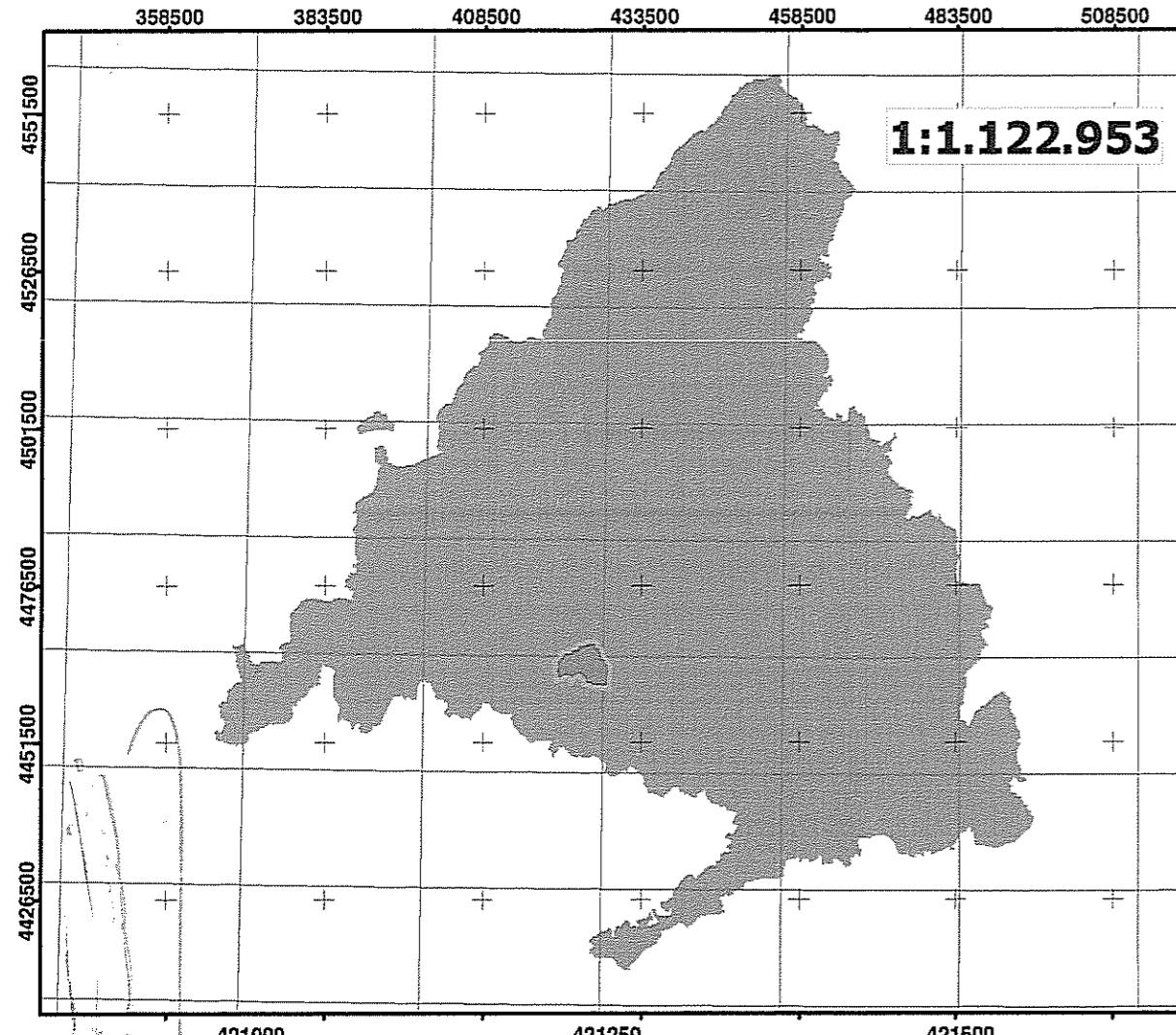
Este Anexo contiene el historial temporal-espectral de las fuentes de ruido estimadas en los sistemas de climatización de la azotea. Se han obtenido a través de medidas in situ.





Archivo	DETALLE CL_2			
Inicio	07/02/11 15:06:52			
Fin	07/02/11 15:07:14			
Canal	Tipo	Pondera.	Unidad	Leq
#12	Oct 63Hz	Lin	dB	63,5
#12	Oct 125Hz	Lin	dB	65,7
#12	Oct 250Hz	Lin	dB	61,0
#12	Oct 500Hz	Lin	dB	56,5
#12	Oct 1kHz	Lin	dB	56,3
#12	Oct 2kHz	Lin	dB	54,2
#12	Oct 4kHz	Lin	dB	49,5
#12	Oct 8kHz	Lin	dB	45,1

MÁQUINA CL-2.



 ALLPE INGENIERIA Y MEDIOAMBIENTE	
ESTUDIO ACÚSTICO DEL PLAN ESPECIAL CLUB SOCIAL PARQUE COIMBRA. MÓSTOLES (MADRID).	
ESCALA:	FECHA: ABRIL 2011
TÍTULO PLANO: SITUACIÓN GENERAL	
PLANO N°: 1	

