

**ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDIDA
DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA. APLICACIÓN
A LA N-420 A SU PASO POR LA CIUDAD DE TERUEL**



*Guillermo Azuara Guillén, Ana López Torres,
Pedro Ramos Lorente y Ana Salinas Baldellou*

ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDIDA DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA. APLICACIÓN A LA N-420 A SU PASO POR LA CIUDAD DE TERUEL*

*Guillermo Azuara Guillén, Ana López Torres, Pedro Ramos Lorente y Ana Salinas Baldellou***

RESUMEN

El presente trabajo aborda el proceso de medida de los niveles de ruido en un entorno urbano de la ciudad de Teruel conocido como carretera de Alcañiz. La presencia en la zona de edificios residenciales y de centros educativos hace especialmente interesante este estudio, ya que en este entorno la normativa de ruido debe aplicarse con mayor severidad.

Se ha revisado la legislación y normativa vigente y realizado un estudio teórico-práctico de los parámetros de medida del ruido ambiental. También se ha diseñado un sistema de adquisición de datos para llevar a cabo las mediciones acústicas de un modo automatizado.

Por último, se presentan las medidas de niveles sonoros tomadas en diferentes ubicaciones de la zona de estudio. Estas mediciones se comparan con los límites impuestos por distintas recomendaciones que regulan el nivel sonoro máximo al que se puede permanecer expuesto.

* Resumen del trabajo realizado con una ayuda del Instituto de Estudios Turoleses a través de su programa de Ayudas a la Investigación, en su convocatoria de 2005. El estudio fue realizado entre los años 2005 y 2006. Los autores desean hacer constar que la Normativa en materia de ruido ha sufrido alguna modificación desde entonces. Igualmente, el entorno de la carretera de Alcañiz, al cual corresponden las medidas de niveles de ruido presentadas, ha sido modificado drásticamente.

** Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones. Escuela Universitaria Politécnica de Teruel. Ciudad Escolar s/n, 44003 Teruel.

Palabras clave: medida de los niveles de ruido ambiental, sistema automático de medida, legislación y normativa reguladora de niveles máximos.

ABSTRACT

Development of a system to measure noise pollution. Application to N-420 in Teruel city.

This work focuses on the measurement of the noise level in a urban suburb located at Teruel known as "carretera de Alcañiz". Due to the presence of buildings not only for residential but also for educational purposes, the study is particularly interesting, because in this kind of environment regulations must be applied to the highest extent.

National and international normative concerning acoustical noise has been revised and parameters related to the topic have been analyzed. An automatic data acquisition system has been designed in order to import measurements from the acoustical sensors without need of operator.

Finally, measurements taken in different locations are shown and compared with the maximum values admitted by regulations.

Key words: measurement of the environmental noise level, automatic data acquisition system, regulations of maximum acoustical noise level.

LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN LA SOCIEDAD

SITUACIÓN ACTUAL DE LA CONTAMINACIÓN EN DISTINTAS ZONAS DE ESPAÑA

El problema de las molestias causadas por el ruido está presente en todos los núcleos urbanos. En general, este fenómeno es más grave en las zonas donde la población, el tráfico y la industrialización son mayores, es decir, en las grandes ciudades. Como punto de referencia a la hora de evaluar el grado de contaminación acústica que se padece en las diferentes provincias españolas, se pueden analizar los datos que proporciona el Instituto Nacional de Estadística (INE) en el Censo de Población y Viviendas 2001. Una de las preguntas planteadas pedía a los encuestados la siguiente información: existencia de problemas en la vivienda con relación a ruidos exteriores. La respuesta debía ser SÍ o NO. En la tabla 1 se presenta el porcentaje de viviendas cuyos ocupantes consideran tener problemas con la contaminación acústica en algunas provincias. Estas están ordenadas de mayor a menor porcentaje de viviendas con problemas de ruido externo.

Como cabía esperar, las grandes ciudades como Madrid o Barcelona se encuentran en los primeros lugares, aunque éstos corresponden a las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla. Se puede comprobar la existencia de Comunidades Autónomas más ruidosas como Andalucía o la Comunidad Valenciana, cuyas provincias aparecen en los primeros puestos.

TABLA 1

Porcentaje de viviendas cuyos ocupantes consideran tener problemas con la contaminación acústica. Fuente INE, Censo de Población y Viviendas 2001

PROVINCIA	% HOGARES CON PROBLEMAS DE RUIDOS EXTERIORES
Melilla	47,60
Ceuta	45,28
Valencia	41,43
Málaga	37,50
Barcelona	37,15
Madrid	36,17
Sevilla	35,83
Cádiz	35,81
Granada	29,39
Tarragona	29,02
Zaragoza	28,82
Valladolid	27,84
Palencia	17,14
Huesca	16,66
Orense	13,26
Cuenca	12,72
Teruel	11,61
Lugo	11,27
Soria	10,00

De las tres provincias aragonesas, lógicamente es Zaragoza la que presenta una mayor contaminación acústica percibida, aunque en porcentaje menor que el de otras grandes ciudades. Huesca y Teruel son zonas tranquilas dentro de los valores nacionales. En nuestra provincia, sólo un 11,61% de los hogares manifestaron tener problemas de ruido cuando la encuesta de población fue realizada (2001).

EFFECTOS DEL RUIDO EN LA SOCIEDAD

Las diferentes normativas definen el ruido ambiental como “el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido el ruido emitido por los medios de transpor-

te, por el tráfico rodado, ferroviario y aéreo y por emplazamientos de actividades industriales". El ruido es una de las principales causas de contaminación ambiental, aunque tradicionalmente las acciones encaminadas hacia su prevención y eliminación han sido menos prioritarias que las asociadas a otros tipos de factores contaminantes. Igualmente el estudio y monitorización de los indicadores de ruido es menor, aunque esta tendencia debe cambiar si atendemos a la cantidad de nuevas Leyes y Reglamentos sobre contaminación acústica que han aparecido a nivel estatal y autonómico durante los últimos años. Dentro del entorno de la Unión Europea, la publicación del documento *Política futura de lucha contra el ruido. Libro Verde de la Comisión Europea* en 1996 se puede considerar como el inicio del incremento de la preocupación por la contaminación acústica, su evaluación, reducción y prevención. Hasta ese momento, las políticas se habían orientado hacia la limitación de los niveles sonoros emitidos por las diferentes fuentes y no hacia la medida de la exposición al ruido de los diferentes sectores de la población y la influencia que dicha exposición tiene en su salud y actividad cotidiana.

Efectos sobre la salud y el comportamiento de los seres humanos

En el documento de la Organización Mundial de la Salud *Guidelines for Community Noise*, de 1999, se analizan los siguientes efectos adversos de la contaminación acústica sobre los seres humanos:

Daño auditivo. Este efecto se caracteriza por el incremento del umbral de audición, es decir, es necesaria una mayor cantidad de energía para percibir un sonido que en el caso de un oído sano.

Interferencia con la conversación. En una conversación, el ruido puede dar lugar a un efecto de enmascaramiento que disminuye la capacidad de comprensión.

Perturbación del sueño. Las alteraciones del sueño se consideran como una de las más claras consecuencias de la contaminación acústica. Éstas se pueden manifestar como dificultad en la conciliación de sueño, interrupción de éste o alteración de sus fases normales. Como un buen descanso es fundamental para la salud física y mental de las personas, los efectos secundarios asociados a estas alteraciones del sueño van desde los puramente físicos (alteración de la presión sanguínea, incremento del ritmo cardiaco...) a los relacionados con el comportamiento social y estado emocional (depresión, fatiga, eficacia...).

Efectos cardiovasculares y fisiológicos. Independientemente de las consecuencias asociadas a la falta de sueño, hay estudios que relacionan alteraciones cardiacas temporales o permanentes con la exposición a altos niveles de ruido.

Enfermedades mentales. No existen pruebas de que el ruido ambiental sea la causa directa de desórdenes mentales, pero se considera que puede tratarse de un factor acelerante de este tipo de enfermedades en el caso de individuos predispuestos a padecerlas.

Efectos sobre la actividad cotidiana y la conducta social. El estar o haber estado expuestos a un ambiente acústico incorrecto puede afectar a la eficiencia de nuestras actividades cognitivas

(memorización, comprensión lectora, atención...), así como incrementar el riesgo de errores y accidentes. También se afirma que puede modificar nuestro comportamiento social, con un incremento de la agresividad y una disminución de las actitudes de colaboración y solidaridad con los demás.

Es difícil, únicamente a partir de la medida de parámetros físicos (los diferentes indicadores de ruido que posteriormente se pasarán a definir), determinar la gravedad que pueden alcanzar estos problemas en la población. Esto se debe básicamente al carácter subjetivo implícito en los problemas de contaminación acústica. Ante un mismo patrón de ruido no todos los individuos reaccionan igual y experimentan el mismo grado de malestar. Además, un mismo individuo puede sentirse más afectado o menos por un mismo nivel sonoro dependiendo de la situación en que se encuentre. Salvo el daño auditivo que depende únicamente de la energía sonora (sonidos de corta duración superiores a 110 dBA o exposición prolongada a sonidos superiores a 75 dBA), no existe una relación generalmente válida para toda la población entre estos niveles de ruido y el grado que alcanzan los efectos anteriormente descritos. Existen, sin embargo, factores a tener en cuenta como:

- La distribución espectral de la señal. En general la energía en bajas frecuencias produce mayores efectos negativos. Los ruidos periódicos y de tipo impulsivo también resultan especialmente molestos.

- El grupo de población que se esté analizando.

- La situación personal de cada sujeto en el momento de padecer el exceso de ruido.

- El nivel acústico de fondo. En el caso de la interferencia con la comunicación, no importa tanto el nivel de ruido presente, sino su relación con el nivel acústico de la señal de voz. Lo mismo ocurre con las perturbaciones del sueño. Algunos estudios indican que para un mismo valor de ruido, es mayor la probabilidad de despertarse en un ambiente más tranquilo.

- Para el caso de eventos de corta duración, la repetitividad de esos eventos es un factor a tener en cuenta. Relacionado con este aspecto temporal, hay que tener también en cuenta el tiempo que lleva una persona sometida a la contaminación acústica. El ser humano se va acostumbrando al ruido y es aparentemente menos sensible a sus efectos nocivos.

Por todos estos factores, es difícil evaluar la relación entre el ruido y sus efectos sobre la población, que recibe el nombre de "relación dosis-efecto". Una opinión común es que los indicadores de ruido recogidos en las diferentes leyes y directivas son insuficientes para evaluar estos efectos nocivos de la contaminación acústica sobre los seres humanos.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos por la Organización Mundial de la Salud que recogen una orientación de la relación entre los valores de los índices acústicos y el daño que producen en función del entorno y la situación.

TABLA 2
Recomendación de la OMS para valores límite

ENTORNO ESPECÍFICO	EFFECTOS NOCIVOS SOBRE LA SALUD	L_{AEQ} (DB)	L_{AMAX} (DB)
Zona residencial: exterior	Malestar elevado: día y tarde	55	
	Malestar moderado: día y tarde	50	
Hogar: interior	Interferencia en la conversación y malestar moderado: día y tarde	35	
Dormitorios: interior	Alteración del sueño: noche	30	45
Dormitorios: exterior	Alteración del sueño (ventana abierta): noche	45	60
Colegios y guarderías: interior	Interferencia en la conversación	35	
Dormitorios de guarderías: interior	Alteración del sueño	30	45
Habitaciones de hospital: interior	Alteración del sueño: noche	30	
	Alteración del sueño: día y tarde	30	40
Áreas industriales, comerciales y de tráfico	Daño auditivo	70	110
Eventos festivos	Daño auditivo	100	110
Altavoces (interior y exterior)	Daño auditivo	85	110
Auriculares	Daño auditivo	85	110
Sonidos impulsivos originados por juguetes, fuegos artificiales y armas de fuego	Daño auditivo: adultos		140
	Daño auditivo: niños		120

Efectos económicos de la contaminación acústica

Los efectos nocivos del ruido en nuestra sociedad también tienen un impacto económico. Directamente relacionado con los efectos sobre la salud antes desarrollados, se pueden asociar con la contaminación acústica los gastos sanitarios asociados a los efectos del ruido sobre la salud, así como las bajas laborales asociadas a estas enfermedades junto con la baja productividad y la pérdida de eficiencia en el trabajo.

Otra de las consecuencias económicas de este problema es la devaluación que sufren ciertos inmuebles o zonas residenciales por situarse en lugares especialmente ruidosos que la población intenta evitar. Esto puede aplicarse tanto al caso de vivienda habitual, como al caso de enclaves turísticos que dejan de tener atractivo.

Dentro del impacto económico del ruido también se deben considerar los gastos asociados a las infraestructuras necesarias para conseguir los niveles apropiados de calidad acústica.

Otros efectos

Además de las consecuencias antes mencionadas, se podría hablar también del impacto del ruido sobre los animales y la degradación del patrimonio arquitectónico por la acción nociva del ruido (sobre todo de baja frecuencia) y, más aún, las vibraciones.

NORMATIVA DE RUIDO EN ESPAÑA Y EN EUROPA

NORMATIVA EUROPEA

La base de las normativas de ruido de las administraciones de los países pertenecientes a la Unión Europea está en la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo, aprobada el 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. Esta Directiva se aplica al ruido emitido por vehículos e infraestructuras de ferrocarril y carretera, aeronaves, equipamiento industrial y de uso al aire libre y máquinas móviles.

Siguiendo el espíritu de lo recogido en el Libro Verde de la Comisión, en esta Directiva se pretende establecer la base de una política conjunta de evaluación y actuación sobre las fuentes de ruido antes mencionadas. De esta manera se definen unos indicadores de ruido y métodos de evaluación comunes así como la manera de presentar estos resultados de medida de ruido: los mapas estratégicos de ruido. Estas herramientas servirán para determinar la exposición al ruido ambiental, datos que deben ser difundidos de manera eficaz entre la población, y, a partir de esta información, adoptar planes de acción con el objetivo de prevenir y reducir estos niveles de exposición.

Indicadores de ruido y métodos de evaluación

Los indicadores a utilizar en la elaboración de los mapas estratégicos de ruido son las magnitudes L_{den} y L_{night} . La obtención de estos indicadores se puede realizar a través de medidas directas o mediante modelos de cálculo a partir de los datos de emisión y propagación de la zona a caracterizar. Los procesos de medida deben adaptarse a lo recogido en las normas ISO 1996-2: 1987 e ISO 1996-1: 1982. El método de cálculo recomendado para el caso de tráfico rodado, que es el que nos interesa en este estudio, es el método nacional de cálculo francés "NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)".

Se debe, además, establecer la relación entre los valores de los indicadores obtenidos y los diferentes problemas de salud que padece la población a ellos expuesta. Esta relación *dosis-efecto* debe indicar en qué grado los valores de L_{den} producen molestias en el quehacer cotidiano y los de L_{night} causan alteraciones del sueño.

Elaboración de mapas estratégicos de ruido

Los resultados obtenidos de la evaluación de los indicadores de ruido deben presentarse de manera común, tanto para su envío a la Comisión Europea como para su difusión a la población. Además del valor de los indicadores físicos, debe aparecer información asociada a la población expuesta a esos valores de ruido (número de habitantes expuestos, tipo de actividad predominante en dicha zona...) y a la normativa vigente (relación de esos valores con los límites de exposición establecidos), de ahí el adjetivo "estratégico" que acompaña a este tipo de informes. Estos mapas servirán de fundamento para los futuros planes de acción.

Los mapas de ruido suelen ser representaciones gráficas en las que, sobre un plano de la zona analizada, aparecen los valores medidos o calculados de los indicadores L_{den} y L_{night} bien en forma de curvas de nivel o siguiendo un código de colores. Esta información se completa con el número de habitantes en cada zona y los puntos donde los valores obtenidos superan los límites máximos establecidos por la normativa nacional vigente en cada caso.

Planes de acción

Las zonas a las que van destinadas los planes de acción sobre las cuestiones relativas al ruido son las grandes aglomeraciones, grandes ejes viarios y ferroviarios y grandes aeropuertos. Estos planes deben cumplir una serie de requisitos mínimos definidos en el Anexo V de la Directiva.

NORMATIVA NACIONAL

Como transposición de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, surge la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, que, al igual que la anterior Directiva pretende homogeneizar las políticas de evaluación y actuación sobre el ruido en los Estados de la Unión Europea, tiene como uno de sus objetivos "dotar de mayor estructura y orden al panorama normativo español sobre el ruido". Esta Ley asume los principales aspectos recogidos en la Directiva pero se definen además los conceptos de área acústica y calidad acústica. Un área acústica está definida por el uso o actividad predominante en una zona. En relación con esta actividad o uso del suelo, se definen unos objetivos de calidad acústica, es decir, los valores límite que los índices acústicos de evaluación pueden tomar en cada zona. En cuanto a los índices acústicos se definen índices de emisión, que deben cumplir las diferentes fuentes sonoras y límites de inmisión, correspondientes a los valores existentes en una determinada posición.

El desarrollo de la Ley de Ruido se ha llevado a cabo recientemente a través del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

En este documento se definen los indicadores de ruido y los métodos de evaluación recomendados de estos índices y sus efectos nocivos, que en todo momento se corresponden con lo recoge-

do en la directiva europea. También transpone exactamente esta Directiva en cuanto a los requerimientos de los mapas estratégicos de ruido y los planes de acción. Como novedad se indica la delimitación de los mapas de ruido en el caso de grandes ejes viarios, ferroviarios y aeropuertos y cómo deben realizarse estos mapas de ruido en zonas limítrofes (tanto entre Comunidades Autónomas como entre Estados de la Unión), así como la delimitación de las grandes aglomeraciones. Por último se crea un centro nacional para la recepción, análisis y procesado de los datos recopilados por las diferentes administraciones competentes, que se ocupará de coordinar las políticas de acción contra el ruido, informar a la Comisión Europea y crear y gestionar el sistema telemático de información al público. Este centro radicará en la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente.

Ya está también disponible el Proyecto de Real Decreto, por el que se aprueba el Reglamento General de desarrollo y ejecución de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, de Ruido.

En este proyecto se incrementa el número de indicadores de ruido (definiéndose aquellos asociados a sonidos impulsionales, con componentes tonales predominantes o con predominio de bajas frecuencias), también se incluyen los indicadores asociados a las vibraciones. Se determina el procedimiento de delimitación de las diferentes áreas acústicas, junto con los objetivos de calidad acústica a cada una de ellas asociados. Aparecen tablas que recogen los valores límites de los diferentes indicadores en cada tipo de área acústica, tanto en el exterior como en el interior de los edificios, los valores límite de inmisión de los grandes ejes viarios, ferroviarios y aeroportuarios y los valores límite de transmisión de ruido y vibraciones a locales colindantes.

Se detallan los métodos de medida y evaluación, deteniéndose en las características de los instrumentos a utilizar y las entidades que realizan dicha evaluación. Estos métodos no se diferencian de los recomendados en la directiva europea.

NORMATIVAS AUTONÓMICAS

Al estudiar la lista de las normativas asociadas al ruido en las diferentes Comunidades Autónomas, se puede comprobar que el Gobierno de Aragón no posee todavía normativa propia sobre contaminación acústica y que el grado de preocupación de las Comunidades por el problema de la contaminación acústica es muy diferente.

El problema del ruido se ha considerado tradicionalmente un problema de carácter local. Su regulación se ha desarrollado fundamentalmente a través de ordenanzas municipales, recayendo en estas instituciones la misión de velar por los derechos de los ciudadanos en materia de ruido. En el caso de las infraestructuras viarias, la responsabilidad debe recaer en una administración superior, aquella que tenga la titularidad de la carretera considerada.

ANÁLISIS DE LAS NORMATIVAS ISO QUE REGULAN LA TOMA DE MEDIDAS EN LAS DIFERENTES LEGISLACIONES

NORMATIVA ISO: DEFINICIÓN Y MEDIDA DE LOS INDICADORES DE RUIDO

Las normativas presentadas deben todas ellas adaptar sus indicadores y métodos de evaluación a los contenidos de las Normativas de la "International Standard Organization" (ISO), ISO 1996-1: "Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures" (Acústica: Descripción, medida y valoración de ruido medioambiental. Parte 1: magnitudes y procesos de valoración básicos) e ISO 1996-2: "Acoustics – Description and measurement of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use" (Acústica: Descripción y medida de ruido medioambiental. Parte 2: Adquisición de datos apropiados para uso en suelo.)

Indicador L_{den} . Definición y método de evaluación

El indicador del nivel día-tarde-noche L_{den} y el indicador noche L_{night} son los parámetros que deben de aparecer en los mapas de ruido. La primera de estas magnitudes se calcula según la fórmula:

$$L_{den} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 3}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \right\} \quad [1]$$

donde L_{day} , $L_{evening}$ y L_{night} son los niveles sonoros medios a largo plazo ponderados A, determinados a lo largo de todos los periodos diurnos, vespertinos y nocturnos respectivamente de un año. Estos niveles quedan expuestos en la norma ISO 1996-2:1987. La definición de lo que se considera periodo diurno, vespertino y nocturno, depende de cada normativa nacional. Los valores por defecto son:

Día: de 7:00 a 19:00 horas

Tarde: de 19:00 a 23:00 horas

Noche: de 23:00 a 7:00 horas.

En estos niveles se considera solamente el sonido directo, debiéndose corregir los valores medidos del sonido reflejado en la fachada (corrección de 3 dBs). Las medidas no deben realizarse en ningún caso para alturas inferiores a 1,5 m.

La estimación del indicador L_{den} supone una ponderación de los niveles sonoros medios a largo plazo, L_{day} , $L_{evening}$ y L_{night} , ponderados A de los tres periodos definidos. La utilización de magnitudes promediadas para diferentes situaciones (en este caso, diferentes periodos del día) es coincidente con lo recogido en la norma ISO 1996-1, que indica que para evaluar la relación entre el nivel de ruido y las molestias sobre la población es mejor utilizar este tipo de indicadores combinados.

Estos niveles sonoros medios a largo plazo se calculan a su vez como promedios de otros indicadores sonoros. Estas magnitudes pueden ser el nivel equivalente continuo de presión sonora ponderado A, $L_{Aeq,T}$ o el nivel de exposición sonora L_E .

Nivel equivalente continuo de presión sonora ponderado A, $L_{Aeq,T}$

Si el cálculo de los niveles sonoros medios a largo plazo se realiza a partir de los niveles continuos equivalentes de presión sonora, vienen determinados por la expresión:

$$L_{A_{eq},T} = 10 \log \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.5 L_{A_{eq},i}} \right\} \quad [2]$$

en la que observamos que cada nivel se obtiene como un sumatorio de N términos dependientes de la nueva magnitud $L_{A_{eq},T}$: nivel equivalente continuo de presión sonora ponderado A. Estos N términos deben cubrir lo que se denomina "largo plazo", que en el caso de la directiva europea queda definido en un año. Este periodo se elige lo suficientemente largo como para cubrir todas las variaciones significativas que se puedan producir en los niveles de ruido a caracterizar.

El nivel equivalente de presión sonora se define como el nivel de presión sonora constante con la misma energía que la que ha tenido la señal a lo largo del tiempo de medida.

$$L_{A_{eq,T}} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \int \frac{P_A^2}{P_0^2} dt \right\} \quad \text{dB} \quad [3]$$

Una señal con presión sonora variable en el tiempo queda caracterizada por un único valor correspondiente a la presión que debería haber tenido una señal constante que en el mismo intervalo de medida hubiese presentado la misma energía. Esta medida se obtiene directamente con el instrumento básico de medición acústica, el sonómetro, simplemente con definir el tiempo de medida.

Cada una de las N muestras que conforman el sumatorio a computar se calcula para un determinado tiempo de referencia que se adapta a las características espectrales del ruido a caracterizar y que puede ser distinto para cada época del año o, incluso, hora del día. A lo largo del tiempo de referencia se realizan las medidas necesarias para obtener ese valor de presión sonora equivalente. La medida puede ser realizada a lo largo de todo el tiempo de referencia (integración continua) o de manera intermitente. Por ejemplo, un ruido de tipo periódico puede ser medido durante todo el intervalo de referencia o puede medirse solamente una serie de periodos del sonido de los cuales obtener la información necesaria para su caracterización. Es decir, la selección de los tiempos de referencia y medida van a requerir un conocimiento inicial de las características de la fuente sonora, en nuestro caso, el tráfico rodado.

Nivel de exposición sonora, L_E

La expresión [2] define los niveles sonoros medios a largo plazo a partir de un sumatorio de términos dependientes de los niveles equivalentes de presión sonora. Así es como se recoge en los métodos de evaluación de las diferentes normativas. Sin embargo, también se pueden expresar esos términos en función de otra magnitud acústica, el nivel de exposición sonora:

$$L_E = 10 \log \left(\frac{E}{E_0} \right) \text{ dB} \quad [4]$$

donde E , exposición sonora, se define como la integral temporal del cuadrado de la presión sonora:

$$E = \int_T p^2(t) dt \text{ dB} \quad [5]$$

Esta magnitud acústica se utiliza sobre todo para la caracterización de sucesos sonoros aislados de corta duración. En ese caso, la integración que aparece en la expresión [5] se realiza a lo largo del tiempo de duración del suceso (tiempo en el que el nivel de exposición sonora es como mucho 10 dB inferior al nivel máximo de esta magnitud).

Unidades utilizadas y curvas de ponderación espectral

Todas las magnitudes analizadas se expresan en unidades relativas, decibelios (dB). Es decir, se presentan los niveles de presión sonora relativos a un nivel de referencia: 20 μPa ($E_0 = 400 \mu\text{Pa}^2\text{s}$), que se considera el umbral mínimo de audición para los seres humanos.

Por último, se debe explicar el concepto de ponderación A. Cuando a una medida acústica se le realiza un proceso de ponderación, quiere decir que no todas las frecuencias de ésta tienen igual importancia. La curva de ponderación A intenta asemejarse a la curva de sensibilidad del oído humano y le da menos peso a las bajas frecuencias. Cuando las magnitudes se calculan con esta ponderación, las unidades utilizadas son los dBA. En la figura 1 se representa este tipo de filtrado A en función de la frecuencia, junto con otras dos curvas de ponderación muy usuales, la ponderación B y C.

Relación entre los indicadores de ruido y el tipo de ruido a analizar

Independientemente de lo establecido en los reglamentos de ruido, en la norma ISO 1996-1 se definen los indicadores más apropiados para los diferentes tipos de ruido:

– Sucesos aislados: se recomienda usar el nivel de exposición sonora L_E , junto con el nivel máximo de presión sonora durante el suceso, así como la duración de éste. Como ejemplo de este tipo de ruido se presenta (entre otros) el paso aislado de un vehículo.

- Repetición de sucesos aislados: estos fenómenos deben ser tratados como la suma de los niveles de los sucesos aislados. De este tipo se define el tráfico rodado para el caso de baja densidad.
- Sonido continuo: en este caso es el nivel equivalente de presión sonora el utilizado para calcular los niveles sonoros medios. Esta descripción se corresponde con el tráfico rodado con un número elevado de vehículos por unidad de tiempo.

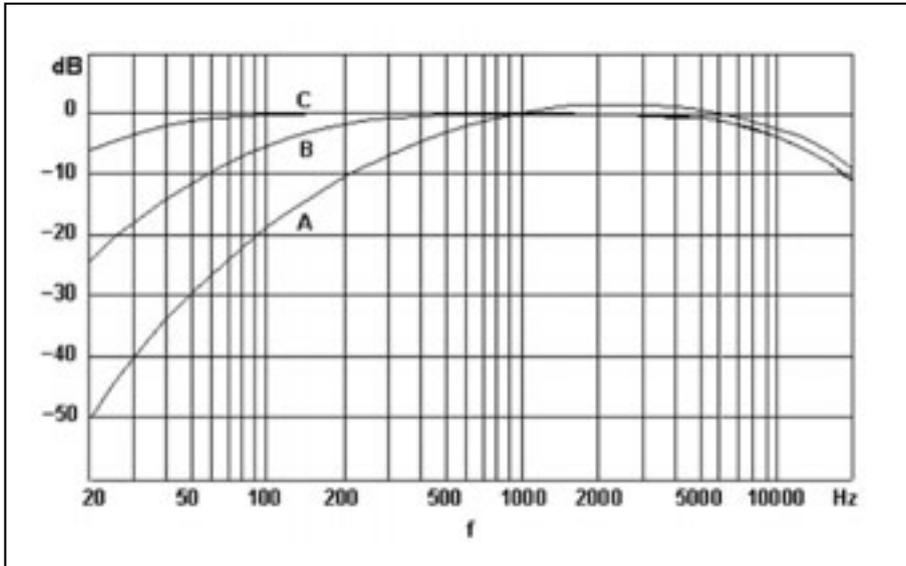


Fig. 1. Curvas de ponderación A, B y C.

En conclusión, vemos que la norma ISO plantea diferentes indicadores para evaluar el ruido asociado al tráfico (que es en el que se centra este estudio) en función, básicamente, a la densidad de éste. El estudio de los reglamentos nos indica que este tipo de perturbación acústica es clasificado como sonido continuo.

Relación dosis - efecto

En la norma ISO 1996-1 se recogen también directrices para evaluar la relación existente entre el ruido existente y el malestar generado en la población. Se establecen las correcciones que deben realizarse a los indicadores antes definidos para el caso de ruido con importantes componentes tonales, ruido con componentes espectrales de baja frecuencia y ruido de carácter impulsivo, así como la manera de caracterizar estos tipos de comportamiento, cuyo efecto no queda bien descrito

por los indicadores convencionales. De gran interés son los anexos A y D. El primero de ellos nos habla de factores de corrección de los niveles medidos, para su adaptación a la relación dosis – efecto. En él se indica que, para igual nivel de presión sonora equivalente, a las personas les resulta más molesto el ruido procedente del tráfico aéreo que del tráfico rodado y éste, a su vez, causa mayor malestar que el del tráfico ferroviario. En el anexo D se describe la función dosis-efecto usando la denominada curva de Schultz:

$$HA = \frac{100}{1 + \exp(10,4 - 0,132L_{dn})} \% \quad [6]$$

donde HA se refiere al tanto por ciento de la población que presenta un alto grado de malestar para un valor de L_{dn} (nivel día-noche ponderado a largo plazo) concreto. Esta expresión es únicamente válida para ponderaciones de larga duración. Esta curva aparece en la figura 2.

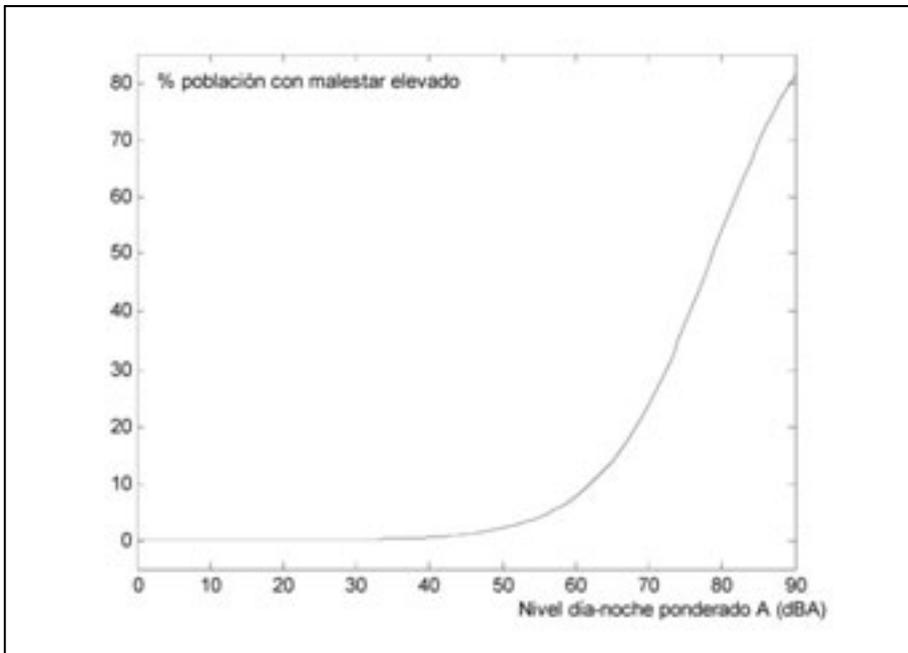


Fig. 2. Función de Schultz que relaciona el nivel día-noche ponderado A con el tanto por ciento de población que experimenta molestias graves por el ruido.

ESTUDIO TÉCNICO DE LOS PARÁMETROS DE MEDIDA DEL RUIDO AMBIENTAL: ESTUDIO TEÓRICO-PRÁCTICO DE LOS PARÁMETROS QUE SEGÚN LAS NORMATIVAS DEBEN SER MEDIDOS

A partir de ahora se va a aplicar lo anteriormente analizado a la medida de los niveles de ruido en una zona urbana, en concreto en la vecindad de la N-420 (Carretera de Alcañiz) a su paso por Teruel.

En base a los citados antecedentes pasamos a extraer de modo resumido la información relevante para este proyecto en lo referente a zonificación, características de un eje viario como fuente de ruido y procedimientos y métodos de evaluación.

ZONIFICACIÓN

El Anexo X del Reglamento General del Ruido establece los criterios para determinar la inclusión de un sector del territorio en un tipo de área acústica. Las posibles opciones son:

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

Al clasificar el área que nos interesa en el marco de este proyecto –la travesía de la Carretera de Alcañiz en el barrio turolense de San León–, se plantea la duda de clasificarlo como sector del territorio con predominio de suelo de uso residencial o como sector del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural, ya que el ejemplo de un Campus Universitario aparece expresamente en el Reglamento como caso típico de este tipo de áreas. Sin embargo, atendiendo a los criterios de clasificación contemplados en el Anexo X, el uso que se establece para el área de estudio es el de residencial.

Se fija como objetivo de calidad acústica para ruido la no superación en las áreas acústicas de los correspondientes valores de los índices de inmisión de ruido establecidos en la tabla 3 (estos valores tendrán la consideración de valores límite y se expresan en dBA). Se presentan sólo los datos relativos a sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.

TABLA 3

Objetivos de calidad acústica aplicables a sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial

TIPO DE ÁREA ACÚSTICA	ÍNDICES DE RUIDO		
	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	60 dBA	60 dBA	50 dBA

Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica cuando, para cada uno de los índices de inmisión de ruido, L_{day} , $L_{evening}$ o L_{night} , los valores evaluados conforme a los procedimientos establecidos, cumplen, en el periodo de un año, que:

- Ningún valor supera los valores fijados en la correspondiente tabla anterior.
- El 97 % de los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados en dicha tabla.

En cuanto a los objetivos de calidad acústica aplicables al espacio interior se establece como objetivos de calidad acústica para el ruido la no superación en el espacio interior de las edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales, de los correspondientes valores de los índices de inmisión de ruido establecidos en la tabla 4. Estos valores tendrán la consideración de valores límite.

TABLA 4

Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios educativos o culturales

USO DEL EDIFICIO	TIPO DE RECINTO	ÍNDICES DE RUIDO (dBA)		
		L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}
Vivienda o uso residencial	Estancias	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

Los valores de la tabla 4 se refieren a los valores del índice de inmisión resultantes del conjunto de emisores acústicos que inciden en el interior del recinto.

Se considerará que se respetan los objetivos de calidad acústica cuando para cada uno de los índices de inmisión de ruido, L_{day} , $L_{evening}$ o L_{night} , los valores evaluados conforme a los procedimientos establecidos para el período de un año superan los valores fijados en la correspondiente tabla y el 97 % de todos los valores diarios no superan en 3 dB los valores fijados.

CARACTERÍSTICAS DE UN EJE VIARIO COMO FUENTE DE RUIDO

Valores límites de inmisión de la fuente

En lo referente a los valores máximos de inmisión de un eje viario como es la N-420, el artículo 25 del Reglamento del Ruido determina que las nuevas infraestructuras viarias, ferroviarias o aeroportuarias deberán adoptar las medidas necesarias para que no transmitan al medio ambiente exterior de las correspondientes áreas acústicas niveles de ruido superiores a los valores límite de inmisión establecidos en la tabla 5.

TABLA 5

Valores límite de inmisión de ruido aplicables a infraestructuras viarias, ferroviarias y aeroportuarias para sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial

TIPO DE ÁREA ACÚSTICA	ÍNDICES DE RUIDO		
	$L_{Aeq,d}$	$L_{Aeq,e}$	$L_{Aeq,n}$
Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	60 dBA	60 dBA	50 dBA

Volumen de tráfico

Para poder caracterizar la fuente de ruido (en nuestro caso un eje viario) en función del volumen de tráfico, se ha recurrido a los datos más recientes que la Policía Local del Ayuntamiento de Teruel ha facilitado. La evolución en el tiempo del tráfico durante 9 días de octubre de 2003 se muestra en la figura 3.

A la vista de esos datos, el volumen total de tráfico durante la semana de la que se tienen los datos completos es de 131.244 vehículos. Extrapolando estos datos a un año completo, tendríamos un volumen total anual de 6.824.688 vehículos, lo que convierte a la carretera objeto de estudio en un objetivo prioritario para establecer planes de acción dirigidos a solucionar los problemas derivados del ruido de un gran eje viario.

Esta necesidad de urgente análisis se ve reforzada si se considera la situación actual en la que el tráfico en este tramo de la N-420 ha podido aumentar, ya que confluyen en él los vehículos que desde la recién estrenada autovía elijan la salida central para acceder a la ciudad de Teruel o se dirijan a la autovía desde la ciudad por dicho acceso.

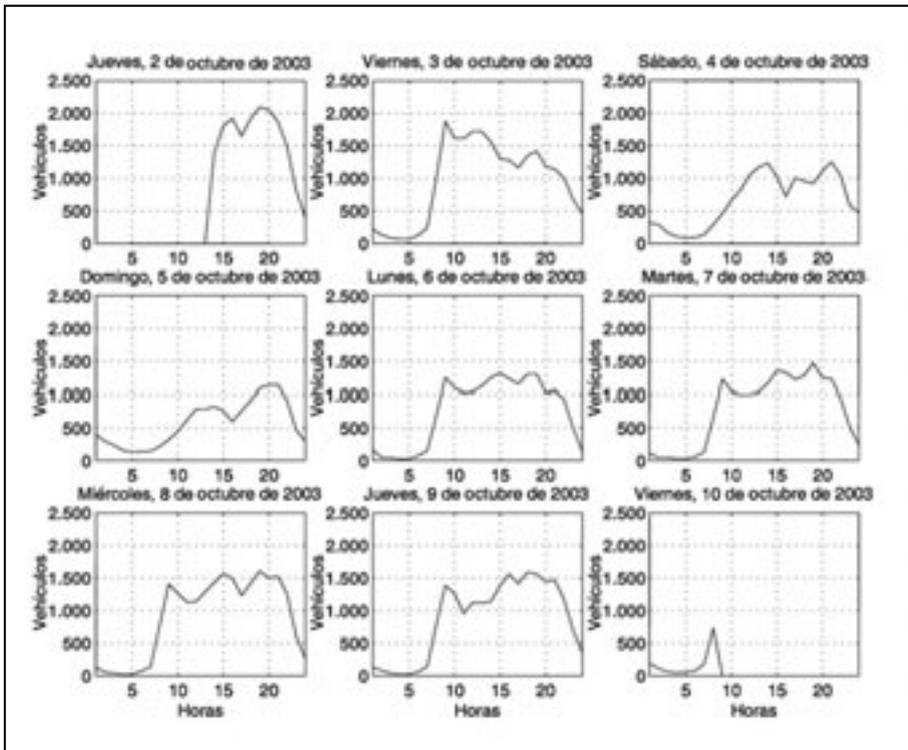


Fig. 3. Tráfico (en ambos sentidos) en la Carretera de Alcañiz durante 9 días de octubre de 2003. Datos facilitados por la Policía Local del Ayuntamiento de Teruel.

PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN

Los valores de los índices acústicos pueden determinarse bien mediante cálculos o mediante mediciones (en el punto de evaluación). Las predicciones sólo pueden obtenerse mediante cálculos.

Métodos de cálculo y medida de los índices L_{den} , L_{day} , $L_{evening}$ y L_{night}

Los métodos de cálculo recomendados para la evaluación de los índices de ruido L_{den} , L_{day} , $L_{evening}$ y L_{night} en el contexto del presente proyecto, son los recomendados en la legislación antes analizada. A la hora de realizar medidas deben de seguirse las indicaciones contenidas en las normativas ISO presentadas en el apartado anterior. Éstas incluyen una serie de correcciones a tener en cuenta.

Corrección por reflexiones

Los niveles de ruido obtenidos en la medición frente a una fachada u otro elemento reflectante deberán corregirse para excluir el efecto reflectante del mismo.

Corrección por componentes tonales (K_t), impulsivos (K_i) y bajas frecuencias (K_f)

Cuando en el proceso de medición de un ruido se perciba claramente la presencia de componentes tonales emergentes, o componentes de baja frecuencia, o sonidos de alto nivel de presión sonora y corta duración debidos a la presencia de componentes impulsivos, o de cualquier combinación de ellos, se procederá a realizar una evaluación detallada del ruido introduciendo las correcciones adecuadas.

El valor máximo de la corrección resultante de la suma $K_t + K_f + K_i$ no será superior a 9 dB. En la evaluación detallada del ruido, se tomarán como procedimientos de referencia los siguientes:

Presencia de componentes tonales emergentes

Para evaluar la necesidad de compensar la presencia de componentes tonales emergentes se ha realizado un análisis espectral del ruido en tercios de octava.

Las medidas se tomaron entre noviembre de 2005 y febrero de 2006 en la Sala "Proyectos 3" situada en la primera planta del edificio de la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel, cuyas ventanas dan a la Carretera de Alcañiz. Se toman con las ventanas abiertas, situadas a una altura de unos 4 metros. Las medidas han sido tomadas con el sistema de adquisición y análisis de dos canales Symphonie 01dB.

Para cada micrófono se presenta un diagrama de barras con la distribución espectral por tercios de octavas de la señal acústica medida en ese instante.

En las medidas realizadas en la Carretera de Alcañiz, no se han apreciado componentes tonales emergentes. La figura 4 muestra el espectro, por tercios de octavas, del ruido medido en la localización de estudio en dos instantes diferentes.

Para reforzar la justificación de la afirmación anterior, se ha obtenido la densidad espectral de potencia del ruido acústico producido por diferentes vehículos de modo aislado. Como se observa en la figura 5 no existen componentes tonales emergentes en ninguno de los espectros de tipo paso-bajo correspondientes a diferentes vehículos.

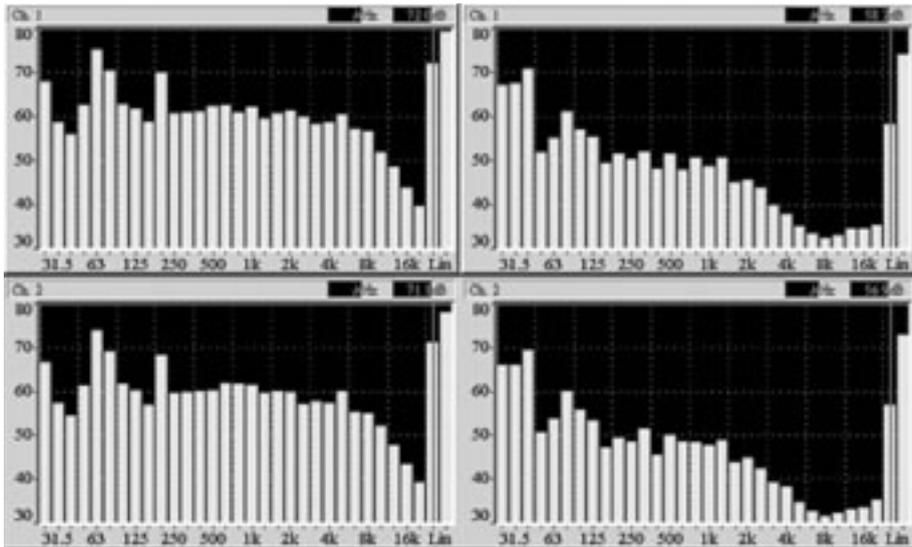


Fig. 4. Análisis por tercios de octava del ruido acústico en dos instantes diferentes. Las medidas se toman con dos canales distintos.

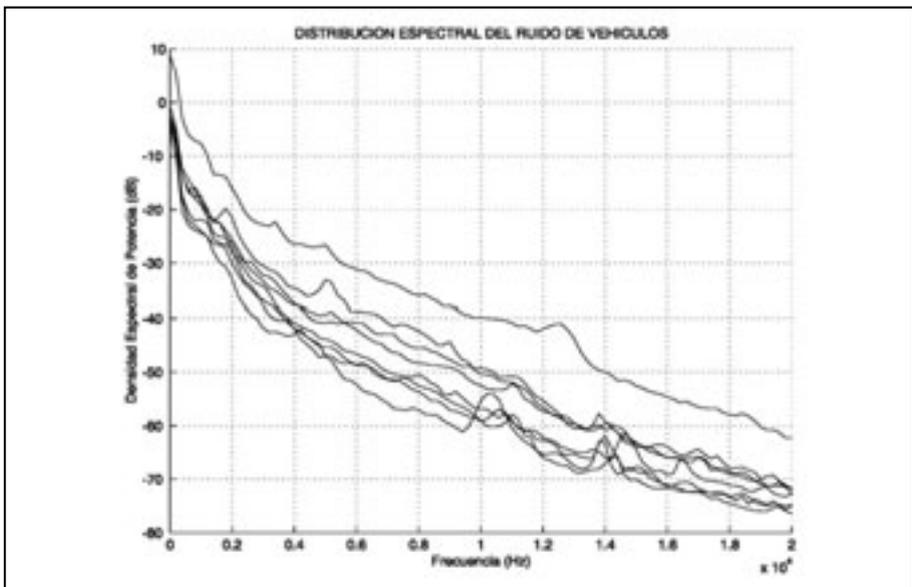


Fig. 5. Densidad espectral de potencia del ruido acústico producido por varios vehículos.

Presencia de componentes de baja frecuencia

Para la evaluación detallada del ruido por presencia de componentes de baja frecuencia se tomará como procedimiento de referencia el siguiente:

a) Se medirá, preferiblemente de forma simultánea, los niveles de presión sonora con las ponderaciones frecuenciales A y C.

b) Se calculará la diferencia entre los valores obtenidos, debidamente corregidos por ruido de fondo:

$$Lf = L_{Ceq,Ti} - L_{Aeq,Ti}$$

c) Se determina la presencia o la ausencia de componentes de baja frecuencia y el valor del parámetro de corrección K_f aplicando la tabla 6.

TABLA 6

Correcciones por presencia de componentes de baja frecuencia

Lf (dB)	COMPONENTE DE BAJA FRECUENCIA K_f (dB)
Si $Lf \leq 10$	0
Si $10 < Lf \leq 15$	3
Si $Lf > 15$	6

Para la determinación de la presencia de componentes de baja frecuencia se han realizado tres series de tres medidas de 5 minutos cada una. Con el sonómetro RIO NL-18, equipado con un micrófono NH-19, se han medido de forma simultánea los niveles de presión sonora con las ponderaciones frecuenciales A y C.

En la primera serie, las medidas se han hecho con la ventana abierta de la sala "Proyectos 3 de la EUPT". Esta sala está a unos 4 metros del nivel del suelo. La segunda y tercera serie se han tomado a pie de calle, a unos 4 metros de la fachada de la EUPT y con el sonómetro situado a 1,8 metros de altura. Las medidas se presentan en las tablas 7, 8 y 9.

TABLA 7
Primera serie de medidas

$L_{Ceq,Ti}$ (dBA)	74,1	74,7	75,1
$L_{Aeq,Ti}$ (dBA)	62,7	62,8	64
$Lf(dB) = L_{Ceq,Ti} - L_{Aeq,Ti}$	11,4	11,9	11,1

TABLA 8
Segunda serie de medidas

$L_{Ceq,Ti}$ (dBA)	74,3	74,5	75,3
$L_{Aeq,Ti}$ (dBA)	65,6	63,9	65,8
$Lf(dB) = L_{Ceq,Ti} - L_{Aeq,Ti}$	8,7	9,6	9,5

TABLA 9
Tercera serie de medidas

$L_{Ceq,Ti}$ (dBA)	76,1	74,6	75,4
$L_{Aeq,Ti}$ (dBA)	67,5	65,1	66,1
$Lf(dB) = L_{Ceq,Ti} - L_{Aeq,Ti}$	8,6	9,5	9,3

Como se observa, el parámetro Lf está oscilando en torno al valor de 10 dB que exige una primera corrección. Estimamos conveniente realizar una corrección de $Kf=3$ dB en las medidas obtenidas.

Presencia de componentes impulsivos

No se ha detectado la presencia de componentes impulsivos de ruido, de modo que proponemos no hacer corrección alguna en las medidas por este motivo.

SOFTWARE/HARDWARE DE ADQUISICIÓN

DISEÑO DEL DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE MEDIDA

En primer lugar se presenta un sistema de adquisición basado en un sonómetro que se comunica vía serie con un ordenador portátil, desde el cual se puede controlar la configuración del instrumento y descargar para su visualización y almacenamiento los datos capturados por el sonómetro. Este sistema requiere la presencia de un operario que controle el sistema desde el PC. En los siguientes apartados se automatizará este sistema básico, que a su vez se extenderá a un mayor número de sensores (sonómetros).

Diagrama de bloques general de la aplicación

La arquitectura del sistema es simple. Como se puede observar en la figura 6, el sistema está formado por un sonómetro que se conecta en serie con un ordenador portátil. En este último se ejecuta una aplicación de alto nivel que permite al usuario configurar la medida a realizar por el sonómetro, conocer en todo momento el valor de estas medidas, guardar en un fichero el valor de los resultados obtenidos y visualizarlos gráficamente. Para el diseño de esta aplicación se ha utilizado el lenguaje de programación Labview.

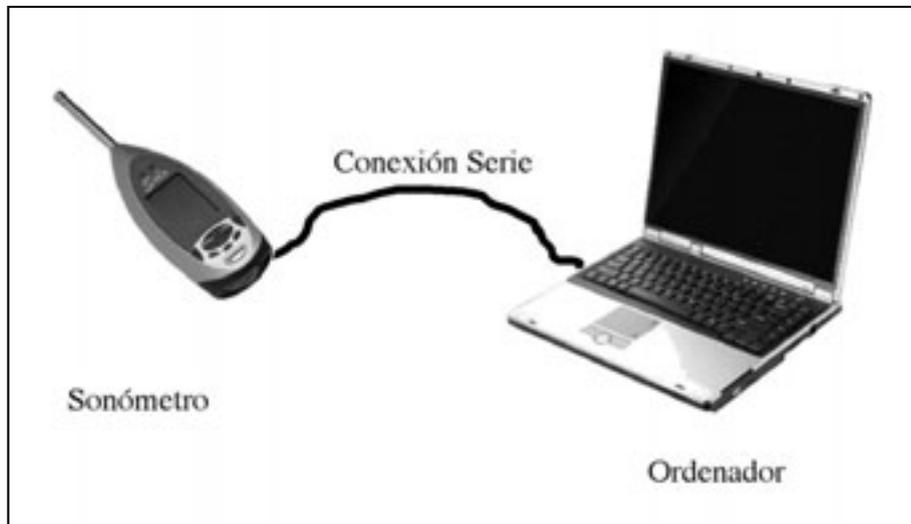


Fig. 6. Sistema de medida.

Equipo de medida de sonido. Sonómetro

Un sonómetro es un equipo que permite cuantificar objetivamente el nivel de presión sonora. En esencia se compone de un elemento sensor primario (micrófono), circuitos de conversión, manipulación y transmisión de variables (módulo de procesamiento electrónico) y un elemento de presentación o unidad de lectura.



Fig. 7. Sonómetro Rion NL-18.

La comunicación es del tipo terminación simple ya que los datos se transmiten por un único cable referido a masa. La transmisión puede realizarse en ambos sentidos pero no simultáneamente por lo que se trata de una comunicación *half-duplex*.

Software de control y medida del sonómetro

Los objetivos que se desean alcanzar con la aplicación creada son los siguientes:

- Poder controlar las funciones o controles del sonómetro, por ejemplo: el nivel de rango, tipo de ponderación en frecuencia y tiempo, tipo de medida, presentación de los valores medidos, etc.
- Posibilidad de manejar la unidad de memoria del sonómetro y guardar los datos en un fichero.

La aplicación presenta una interfaz gráfica en la que el usuario puede modificar la configuración del aparato al igual que podría hacerlo con los botones físicos del sonómetro. En la figura 8 se observa una de estas pantallas de control, en las que también se puede visualizar en tiempo real, de forma numérica y gráfica, el valor de las medidas realizadas.

Este programa fue realizado por el alumno de la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel Serafín Esteban González, en el desarrollo de su trabajo de final de carrera *Realización de medidas acústicas con un sonómetro RION-NL18 de forma remota a través de un interface RS-232*, dirigido por uno de los participantes en este estudio.



Fig. 8. Interfaz de la aplicación.

AUTOMATIZACIÓN DE MEDICIONES

Introducción

Una vez realizados los trabajos previos de recopilación de información y normativa, el estudio técnico de los parámetros de medida del ruido ambiental y comprobado el funcionamiento del sistema básico, es el momento de plantear la automatización del sistema. Ésta se acometerá desde dos puntos de vista, por un lado a partir de la construcción de un prototipo del sistema para automatizar todo el proceso, y por otro lado se trazarán al final del punto posibles variaciones del sistema para disminuir el coste de éste.

Aunque en el mercado ya existen diversos sistemas que abordan estos aspectos, normalmente se basan en la transmisión de datos mediante sistemas de telefonía móvil, lo que supone la adquisición (y mantenimiento) de las correspondientes tarjetas/contratos con los operadores telefónicos y algunas limitaciones en la ubicación de los equipos (sólo pueden ser colocados en zonas de cobertura). Además es necesaria la utilización de un teléfono (o módem) GSM/GPRS/UMTS por cada uno de los sonómetros o sensores de audio.

Nosotros decidimos la conexión de los sensores con el equipo de recepción mediante tecnologías inalámbricas. Se propone la utilización de *Bluetooth* para la transmisión de datos entre el sensor (sonómetro) y el equipo de centralización de datos. El segundo proceso que se debe plantear es la

comunicación entre estos equipos de centralización de datos y el repositorio central de información. Esta comunicación se realizará mediante una red ad-hoc basada en el estándar IEEE 802.11g. Planteamos la suposición de que la distribución de los puntos de medida es tal que podemos establecer una red ad-hoc entre todos los equipos de centralización de datos y el repositorio central. Como estamos preparando una transmisión inalámbrica, habrá que hacer un especial hincapié en el tema de la seguridad en la red. Para ello habrá de tomarse una serie de medidas que permitan asegurar un nivel de seguridad aceptable.

Redes ad-hoc

Este tipo de redes suele estar constituida por dispositivos inalámbricos que están cerca entre sí, y se caracterizan porque no tienen una infraestructura previa para su intercomunicación. En estas redes desaparecen todas las reglas comunes referentes a topologías fijas y vecinos fijos y conocidos, la relación fija entre direcciones IP y ubicación, etc.

Estas redes necesitan de un tipo especial de algoritmos de enrutamiento y de una securización especial.

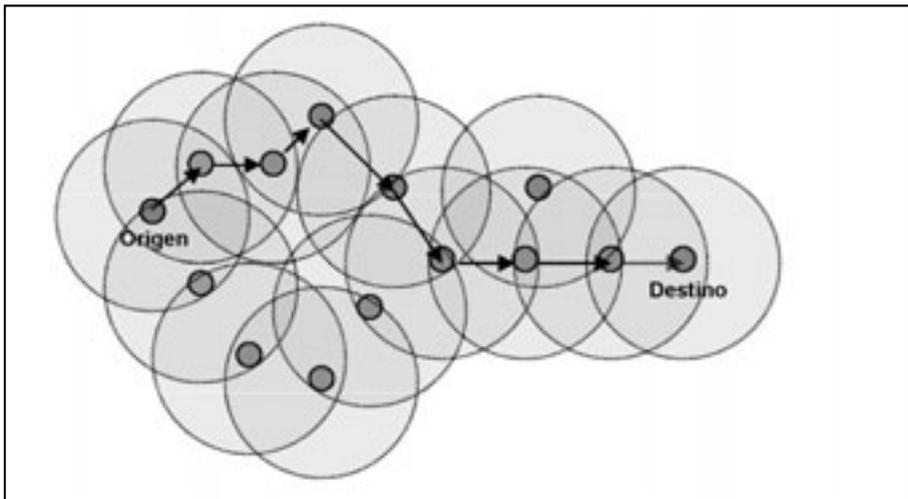


Fig. 9. Ejemplo de red ad-hoc.

Seguridad en redes ad-hoc

Normalmente en las redes ad-hoc no existe una infraestructura de red dedicada ni un control centralizado y las transmisiones se realizan utilizando otros nodos como enrutadores.

Esta red, al ser inalámbrica, y en nuestro caso al estar al aire libre, es susceptible de recibir diversos ataques, por lo que habrá que aplicar diversos mecanismos de seguridad en los protocolos básicos de la red: acceso, transmisión de datos, encaminamiento de paquetes, etc.

Es por ello que vamos a centrarnos en tres frentes de trabajo: en el acceso a la red, en la transmisión segura de datos y en la gestión de la seguridad durante todo el proceso.

Arquitectura del sistema

Como se muestra en la figura 10, la arquitectura completa del sistema automatizado va a ser una estructura jerárquica, interconectada por diversas conexiones inalámbricas implementadas en el primer nivel mediante *Bluetooth* (*IEEE 802.15.1*) y en el segundo nivel mediante *IEEE 802.11g*. Una vez se encuentra la información en el repositorio centralizado, se podrá acceder a ella mediante diversas formas: a través de la red local inalámbrica, a través de la red de área local cableada (*IEEE 802.3*) o a través de Internet si es que así se desea y se dispone de la conexión adecuada.

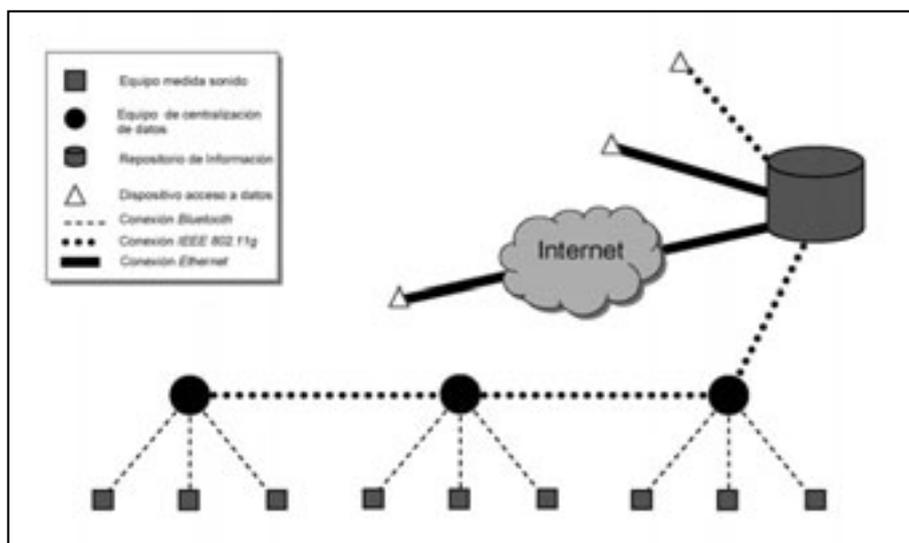


Fig. 10. Arquitectura del sistema.

Conexión entre el equipo de medida de sonido y el equipo de centralización de datos

Esta conexión, representada en la figura 10 mediante una línea discontinua, se realiza inalámbricamente mediante un estándar de red de área personal, en nuestro caso *Bluetooth*. La cobertura inicial del sistema, si nos restringimos estrictamente al estándar (clase 2), sería de unos 10 metros,

no obstante, si fuera necesario se podrían utilizar dispositivos *Bluetooth* de mayor potencia y con antena exterior, lo que nos permitiría aumentar esta distancia hasta los 100 metros (dispositivos de clase 1).

En este prototipo se ha implementado esta conexión mediante la utilización de un dispositivo hardware que realiza la conversión de la señal serie al estándar *Bluetooth*, utilizando para la programación el perfil de puerto serie.

Los datos que se envían son comandos de control hacia el sonómetro, y los que se reciben son las respuestas y los datos almacenados en la memoria del sonómetro. La comunicación es vía serie, aunque en un paso intermedio las tramas se encapsulan. Cabe además observar que un único equipo de centralización de datos es capaz de gestionar varios equipos de medición de audio (simultáneamente hasta 7), con la importante ventaja que esto supone.

Equipo de centralización de datos

Está representado por un círculo en la figura 10.

Para este cometido no es necesario un equipo con mucha potencia de cálculo. Su misión es recopilar periódicamente la información almacenada en el sonómetro, o sistema de medición que se decida, y enviar diversas órdenes al equipo de medida.

El software que se ejecutará en el equipo es muy sencillo y sólo se encarga de recopilar periódicamente ciertos datos y ponerlos a disposición del repositorio central a través de la red. También se encarga de enviar diversos comandos al sistema de medida.

En nuestro prototipo se ha utilizado un ordenador portátil de baja potencia de cálculo, con una tarjeta de red inalámbrica y la correspondiente tarjeta de *Bluetooth*, aunque para su instalación en una caja a la intemperie sería factible la instalación de un PC embebido.

Conexión entre los equipos de centralización de datos y el repositorio de información

Esta conexión está representada en la figura 10 mediante una línea discontinua de puntos.

Se puede observar que aunque la comunicación entre los diversos equipos de centralización no es necesaria, por la propia naturaleza de las redes ad-hoc, en algunas ocasiones y dependiendo de la ubicación física de las unidades, algunas de ellas necesariamente deberán actuar como enrutadores.

Se debe remarcar que la conexión lógica es entre cada equipo de centralización y el repositorio (independientemente de la ruta real que tomen los paquetes).

En el caso de que desde el repositorio se esté telemandando algún dispositivo, los equipos intermedios pospondrán la recolección de información hasta la finalización del proceso de telemandado. De todo esto se encargará la propia aplicación, siendo el proceso totalmente transparente para el usuario.

Para el envío de la información, se ha utilizado la implementación del estándar IEEE 802.11g. Mediante la utilización de *sockets*, el repositorio de información periódicamente recopila los datos de todos los equipos de centralización de datos y los almacena en su base de datos.

El repositorio de información

El repositorio de información está representado en la figura 10 mediante un cilindro. Es el equipo más potente de todo el sistema. Sobre él corre la aplicación principal. En nuestro prototipo el sistema está basado en Windows XP, aunque se podría migrar a un sistema Linux sin demasiados problemas.

El equipo, además de la recolección de datos, presenta una serie de pasarelas que permite la consulta en tiempo real de sus datos desde diversos dispositivos (PCs y PDAs) a través de diversas formas de conexión, tales como una Red de Área Local (cableada o inalámbrica) e Internet.

Dispositivos de acceso a datos

Bajo esta denominación, y representados con un triángulo en la figura 10, se engloban todos los dispositivos susceptibles de acceder a los datos que gestiona el repositorio de información.

En principio, cualquier dispositivo autorizado capaz de visualizar páginas web bajo el protocolo *HTTP* es capaz de acceder a los datos. No necesita capacidades especiales.

En nuestro prototipo, hay dos visualizaciones implementadas, una para equipos PC de sobremesa y otra para dispositivos móviles como PDAs. Los dispositivos de acceso necesitan tener la capacidad de conexión a red (cableada o inalámbrica) y un navegador *HTTP*.

Aunque no está implementado, no sería difícil el desarrollo de una pasarela para poder interrogar al sistema y recibir información mediante teléfonos móviles con el uso de *SMSs*. El trabajo ya ha sido realizado anteriormente por el equipo investigador para otro proyecto, y no sería complicada su adaptación al presente prototipo.

Seguridad del sistema

Como en cualquier red, los requisitos de seguridad se pueden clasificar en cuatro grandes ámbitos: confidencialidad, integridad, autenticación y no repudio (algunos autores añaden un quinto ámbito, que denominan "disponibilidad").

- **Confidencialidad:** pretende impedir que las personas no autorizadas puedan acceder a información secreta.
- **Integridad:** pretende impedir que una persona distinta al emisor de un mensaje pueda cambiarlo (o si se cambia quede constancia de ello y sea fácilmente detectable).

- **Autenticación:** procura que el receptor de una comunicación pueda verificar que el emisor es quien dice ser (y pueda detectar cuando alguien está suplantando al verdadero emisor).
- **No repudio:** deja constancia de que un mensaje ha sido emitido, por ejemplo, a un corredor de bolsa que ha ejecutado una orden de compra de un valor que se ha desplomado, le interesa poder demostrar de alguna manera que se le había mandado esa orden y que el cliente no pueda decir que no le mandó la orden.

Para acometer el estudio de seguridad, se han dividido los aspectos a tratar en tres grandes apartados generales: acceso a la red, transmisión segura de datos y gestión de la seguridad.

Acceso a la red

Se debe controlar el acceso a la red de los dispositivos de medición acústica mediante los enlaces *Bluetooth*; el acceso a la red *ad-hoc* de los diversos equipos de centralización de datos y el repositorio mediante 802.11g; y finalmente al acceso a la información del repositorio de los dispositivos de acceso a datos.

Bluetooth

Debido a que los equipos de medición no serán usuarios anónimos, ni móviles, podemos utilizar los sistemas de seguridad que emplearíamos en una red cableada. En este caso será suficiente activar las protecciones que implementa el propio estándar de comunicación (*Bluetooth*), cifrando los datos y autenticando a los emisores manualmente mediante una clave. Cabe notar que si bien este sistema de cifrado no es inquebrantable, dada la naturaleza de los datos a enviar es suficiente. No se considera necesario usar otras protecciones.

Como medida adicional de seguridad ajustaremos la potencia de transmisión a la distancia real a cubrir con el enlace, mejorando además de esta manera tanto la seguridad como el consumo.

Red ad-hoc

Nos volvemos a encontrar, como en el caso anterior, con que los equipos son todos conocidos y no se van a mover. Con esto evitamos todos los problemas inherentes a las redes móviles (excepto que los datos se propagarán por el aire).

Se programará manualmente la clave, por lo que no será necesaria la utilización de esquemas de distribución de secretos, muy característicos de las redes *ad-hoc* móviles. Tampoco será necesaria una Autoridad de Certificación distribuida, ya que podemos gestionar perfectamente la seguridad de manera centralizada, abordando el problema como si de una red cableada se tratara.

Se utilizarán los estándares 802.11i y 802.1x. Estos se basan en tecnologías de encriptación avanzada (como AES y TKIP), así como diversos métodos de distribución segura de claves. Asumiendo que un atacante malicioso, con suficientes conocimientos y herramientas podría rom-

per la clave y acceder a la información, esta operación le llevaría un tiempo considerable. Con la utilización de 802.1x hacemos que automáticamente cada cierto tiempo cambie la clave, por lo que las técnicas que emplean mucho tiempo de análisis no son operativas, y mejora notablemente la seguridad del sistema. También se configurará el sistema para que no se difunda el nombre de la BSS.

No obstante, y dado que los datos no son secretos ni críticos, será suficiente con las medidas de seguridad básicas que se deben implementar en cualquier red inalámbrica: realizar periódicamente rastreos en busca de intrusos, cerrar los puertos que no sean estrictamente necesarios, mejorar la seguridad física cuanto sea posible, dar permiso de conexión a un número máximo de direcciones MAC (igual al número de estaciones en la red) y definir las MAC autorizadas, utilizar protocolos cifrados a nivel de la capa de red (*IPSec*), y asignar manualmente las direcciones deshabilitando lógicamente todos los servicios DHCP de asignación automática de direcciones IP.

Una posible mejora adicional sería el sellado digital de los paquetes de datos mediante una firma electrónica, lo que posibilitaría aspectos como el no repudio o la integridad de los datos.

Acceso al repositorio de información

Aquí debemos definir en primer lugar quién puede acceder. Si deseamos que sólo puedan hacerlo usuarios previamente autorizados, podríamos montar un sistema cortafuegos basado en direcciones IP y en el registro previo de los usuarios autenticados mediante una contraseña. Para este proyecto, no se considera necesario un nivel de seguridad mayor a este.

Si se deseara de otro modo, se debería implementar algún sistema de autenticación más robusto (servidores RADIUS o Kerberos), o incluso nuevamente el estándar IEEE 802.1x comentado anteriormente.

LA APLICACIÓN

Para programar la aplicación se ha utilizado una arquitectura cliente-servidor. En general, el servidor es un proceso que se encarga de la gestión de un determinado recurso en una máquina. Por otro lado, el cliente, que se ejecuta en otra máquina remota, recibe las órdenes del servidor y las ejecuta o contesta a sus solicitudes.

El programa cliente, instalado en los equipos de centralización de datos, se encargará de recoger periódicamente los datos registrados por los sensores acústicos y también se ocupará de la comunicación con la aplicación servidor que estará ejecutándose en el repositorio de información.

Para la recogida de datos desde los sonómetros, en principio se utilizó una aplicación desarrollada en el entorno Labview, pero finalmente se ha programado una aplicación en Lenguaje C para independizar la aplicación del entorno Labview.

La conexión con la aplicación servidor se realiza mediante el enlace inalámbrico ya comentado, y es instrumentada sobre la pila de protocolos *TCP/IP*, concretamente mediante la utilización de sockets.

En el equipo servidor, repositorio de información, se ejecutará por un lado el programa servidor, que enviará órdenes al programa cliente y recogerá la información suministrada por éste. Además, y mediante un módulo *CGI*, servirá la información debidamente formateada a cualquier equipo autorizado que se conecte a su dirección IP. Para esta última parte se utiliza el protocolo *HTTP*.

Aunque para el prototipo se han utilizado las variantes no securizadas de los protocolos, sería sencillo cambiar a las variantes seguras de los protocolos (utilización principalmente de *IPSec* y *HTTPS*).

Las aplicaciones han sido implementadas por el alumno de la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel, Fernando Navarro Pescador, que está desarrollando su trabajo de final de carrera *Red Ad-hoc de Sensores* bajo la dirección de uno de los investigadores de este proyecto.

Aunque actualmente la parte de representación gráfica de datos está basada en MS-Excel, está previsto programar en C un módulo de presentación de datos.

Funcionalidades

La aplicación desarrollada permite:

- Acceder en "tiempo real" a las mediciones.
- Mostrar una representación gráfica de los resultados.
- Permitir un almacenamiento masivo de los datos para obtener un histórico.
- Generación automática de alarmas cuando se sobrepasen los valores programados.
- Representación geográfica de las mediciones (se está trabajando actualmente en ello).
- Acceso a la información desde cualquier lugar (vía Internet) o dentro del área de cobertura de la red inalámbrica mediante dispositivos que soporten esta tecnología.
- Acceso seguro a la información.

Interfaz

Es una interfaz *web*, que por tanto es accesible desde diversos equipos y sistemas operativos. Realmente se han desarrollado dos interfaces: el principal, que está pensado para trabajar con la aplicación en dispositivos con pantallas de visualización grandes (ordenadores de sobremesa o portátiles), y otra versión adaptada para Asistentes Digitales Personales (PDAs), que usualmente trabajan con una resolución de 240x320 píxeles.

Desde esta interfaz y de manera muy intuitiva (ver figura 11) se puede obtener diversa información de aspectos relacionados con las redes ad-hoc, la programación de la propia aplicación, la forma correcta de instalar estas aplicaciones, la forma de configurar las conexiones entre los diversos elementos y finalmente la más importante, denominada "Sonómetro", y que permite tanto el envío de comandos a los diversos sonómetros como la visualización de datos en tiempo real y datos procesados. También permite estudiar la evolución mediante históricos (figura 12).



Fig. 11. Pantalla principal del interfaz.



Fig. 12. Histórico de medidas.

Mejoras futuras al sistema de automatización

Dada la duración limitada del proyecto, se han planteado una serie de mejoras que no ha sido posible implementar:

- Envío automático de mensajes SMS o mensajes a través de Internet cuando se detecten que se sobrepasan los valores máximos de ruido permitido.
- Sustituir los sonómetros por dispositivos más sencillos y económicos, que aunque no sean tan precisos como los anteriores sí puedan darnos una noción general del nivel de ruido en la zona.
- Posibilidad de incluir una cámara web en los equipos de centralización de datos, para poder asociar los niveles sonoros detectados con las fuentes que los producen.
- Estudio y desarrollo de un contenedor estanco y antivandálico para la ubicación de los sensores en la calle.
- Estudio práctico sobre el terreno del nivel de seguridad real requerido, sobre todo en lo referente a utilización de la red por parte de usuarios no autorizados y ataques de Denegación de Servicios (DoS).
- Representación sobre un mapa de la zona y en tiempo real si el nivel de ruido es bajo, normal o inadmisible.

ADQUISICIÓN, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN UNA VÍA PÚBLICA

En este apartado se presentan las medidas realizadas con el sistema de adquisición planteado anteriormente. El objetivo es doble; por una parte se pretende probar el sistema de adquisición y análisis de datos acústicos y, por otra, tener información del nivel de ruido existente en esta parte de la ciudad.

Las medidas realizadas son medidas del nivel sonoro instantáneo en diferentes puntos de la Carretera Alcañiz y del nivel sonoro equivalente en el interior y exterior de la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel.

Dentro de nuestros objetivos no se incluía la estimación del indicador L_{den} (ponderación de los niveles sonoros medios a largo plazo), sino el paso previo para poderlo realizar. En primer lugar estaba el estudio técnico de los indicadores y en segundo lugar el diseño del sistema de adquisición de datos. La normativa ISO 1996-1 e ISO 1996-2 presenta los valores límites en la magnitud L_{den} , lo que implica realizar medidas sistemáticas a lo largo de un año. El sistema ya está preparado para ello, pero por problemas de duración del proyecto éstas no se han realizado, mostrando a continuación una valoración inicial de los niveles acústicos y una primera comparación con los valores límite de nivel sonoro equivalente con ponderación A presentados por la Organización Mundial de la Salud.

MEDIDAS DEL NIVEL SONORO INSTANTÁNEO EN DIFERENTES UBICACIONES A PIE DE CALLE

De las medidas del nivel sonoro instantáneo en diferentes ubicaciones a pie de calle y de su posterior análisis estadístico (tabla 10) se concluye que:

- El nivel de ruido a pie de calle está en torno a los 60 dB, con valores máximos de 80 dB. Por tanto, se puede decir que los niños en el patio de recreo del colegio Las Anejas soportan niveles de ruido de hasta 80 dB y una media de más de 60 dB.
- Existen grandes variaciones en los niveles de potencia sonora instantánea (hasta 40 dB entre el máximo y el mínimo de una serie de medias realizada en 10 minutos). En el apartado 2 resultan especialmente más molestos los ruidos con diferencias grandes entre niveles sonoros equivalentes que los ruidos constantes y sin componentes tonales.
- A excepción de la medida realizada a la altura de la EUPT, más del 55% de las medidas instantáneas superan los 60 dB.

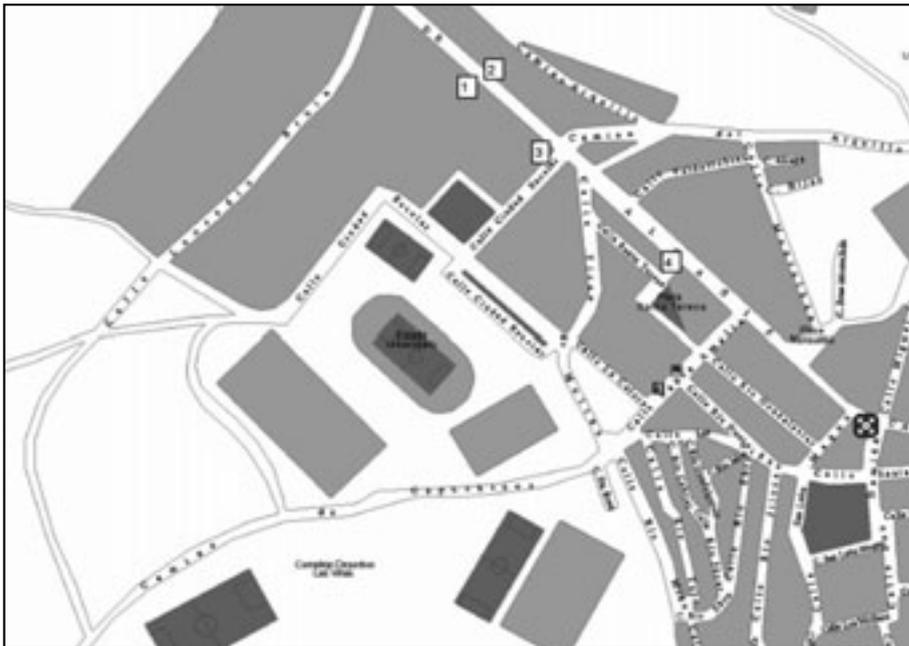


Fig. 13. Mapa de la zona. 1. C.P. Las Anejas; 2. Hostal; 3. EUPT y 4. Copiadoras.

TABLA 10

Resultados estadísticos de las medidas a pie de calle en las diferentes ubicaciones

	ANEJAS	HOSTAL	EUPT	COPIADORAS
Media	62,80	61,74	58,97	63,20
Varianza	7,39	8,00	4,75	6,54
Máximo	82,10	82,40	76,30	88,10
Mínimo	41,70	45,30	47,60	47,80
Diferencia máx-mín	40,40	37,10	28,70	40,30
% que supera los 60 dB	66%	55,7%	21%	64,86%

- Los datos obtenidos de la medición a la altura de la Escuela difieren respecto a los otros tres emplazamientos. Tanto las oscilaciones, como el valor medio, así como el número de medidas que supera los 60 dB es menor. Estos resultados podríamos asociarlos al hecho de que en esos días se construyó la rotonda del cruce de la carretera Alcañiz con la calle Ciudad Escolar, y por tanto el tráfico rodado no daba frenazos ni aceleraciones bruscas a su paso por este emplazamiento.

MEDIDAS DEL NIVEL SONORO EQUIVALENTE CON PONDERACIÓN A EN EL INTERIOR DE UN EDIFICIO CON VENTANAS A LA CARRETERA DE ALCAÑIZ

En el año 2006, se realizaron tres series de medidas de 24 horas en un aula de la EUPT, con ventanas orientadas hacia la carretera de Alcañiz. La magnitud que se midió fue el nivel sonoro equivalente en 5 minutos con ponderación A (L_{Aeq}) y el nivel sonoro máximo, también con ponderación A (L_{Amax}). Se analizaron los datos comparándolos con los aconsejados por la OMS. En la tabla 11 se muestran los valores medidos antes de realizar la corrección de los 3 dB por componente en baja frecuencia.

La tabla 11 resume los resultados obtenidos en los tres días de medición. Se puede comprobar que:

- los valores obtenidos en las tres series de medición son semejantes;
- los resultados obtenidos en los periodos diurnos y vespertinos superan en los tres días los valores recomendados por la OMS;
- los valores nocturnos se acercan más al valor recomendado (notar que no está sumada la corrección de los 3 dB).

TABLA 11

**Valores medios y máximos de L_{Aeq} y de L_{Amax} obtenidos en 2006.
Sin aplicar la corrección de 3 dB de la componente en baja frecuencia**

		L_{Aeq}	$L_{Aeq} (max)$	$L_{Aeq} (OMS)$	L_{AMAX} promediado	L_{AMAX} absoluto	L_{AMAX} (OMS)
Día	20-feb	40,72	53,5		58,92	77,9	--
	27-feb	41,01	51,2	35	58,92	77,9	
	1-mar	41,68	52,5		58,97	75,9	
Tarde	20-feb	38,16	45,0		55,82	73,1	--
	27-feb	38,83	45,0	35	55,82	73,1	
	1-mar	37,90	45,3		53,4	75,4	
Noche	20-feb	31,46	39,7		42,22	59,5	45
	27-feb	26,73	39,5	30	42,96	57,6	
	1-mar	27,68	39,1		44,2	56,9	

Según la legislación podríamos superar hasta 3 dB los valores recomendados sólo en un 3 % de las medidas. Sin embargo, las medidas realizadas nos muestran un porcentaje mucho mayor del 3% en el que se separa de los valores límite en cantidades superiores a 3 dB. Se calculó qué porcentaje de las medidas superaban los valores recomendados por la OMS, y se obtuvieron los resultados reflejados en la tabla 12.

TABLA 12

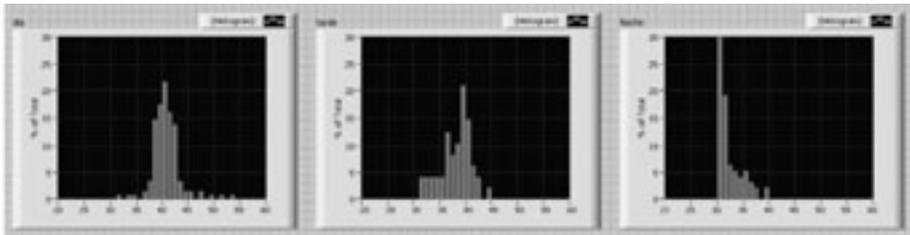
% de medias que superan los valores recomendados por la OMS

	20 FEBRERO	27 FEBRERO	1 MARZO
Día	100%	97%	100%
Tarde	96%	97%	96%
Noche	71%	42%	50%

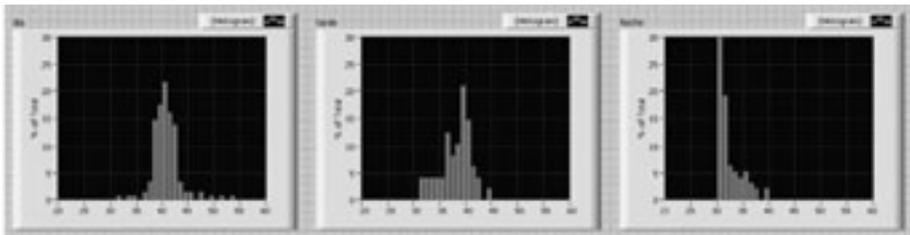
Durante el periodo día y tarde se supera en algunos casos hasta en el 100% de las medidas. Podríamos pensar que en estos periodos el centro está abierto y parte del ruido medido es debido a la actividad del centro. Si sólo, por tanto, analizáramos la noche, vemos que tampoco cumple las recomendaciones de la OMS, superando el 40% de las medidas los 35 dB.

En los histogramas de la figura 14 se observa que durante el periodo de día y tarde prácticamente todos los valores se centran entre 39 y 45 dB, siendo el valor más probable el de 41 dB, sin correcciones por componentes en baja frecuencia. Si a este valor le aplicamos la corrección de ruido por baja frecuencia nos encontramos que el valor asciende a 44 dB. Se debe recordar que la OMS aconseja valores no superiores a 35 dB.

20 de febrero



27 de febrero



1 de marzo

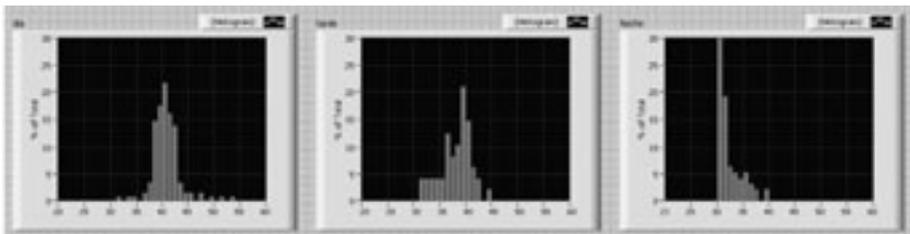


Fig. 14. Histogramas de las medidas en día, tarde y noche de los datos adquiridos sin realizar las correcciones de los 3 dB por componente en baja frecuencia.

MEDIDAS DEL NIVEL SONORO EQUIVALENTE A PIE DE CALLE EN DIFERENTES MOMENTOS DEL DÍA

Los datos obtenidos en estas mediciones son comparables con la legislación de caracterización de una fuente. En el periodo diurno se eligió un horario en que los alumnos de las Anejas hubieran entrado ya en el centro y no fuera todavía horario de recreo, de forma que la fuente predominante de ruido (por no decir la única) fuese el eje viario de la Carretera de Alcañiz.

A partir de los datos de la tabla 13, vemos que superamos los valores de 60 dB durante los periodos diurnos y vespertinos y los 50 dB durante el periodo nocturno. Dichos datos se ven representados en la gráfica de la figura 15. Las barras muestran los valores límite de inmisión de una fuente para sector con uso residencial y con la raya el valor medio del nivel sonoro equivalente medido en cada periodo de día y su correspondiente error con un nivel de confianza del 95%.

TABLA 13

Niveles equivalentes (en dBA) tomados durante las diferentes franjas horarias y valores límite. Errores calculados con el 95% de nivel de confianza

	L_{Aeq}	$L_{Aeq\ max}$	LÍMITE PARA SECTORES CON PREDOMINIO DE SUELO DE USO RESIDENCIAL
Día	$64,42 \pm 0,82$	66,8	60
Tarde	$66,5 \pm 1,74$	73,4	60
Noche	$57,12 \pm 2,36$	61,5	50

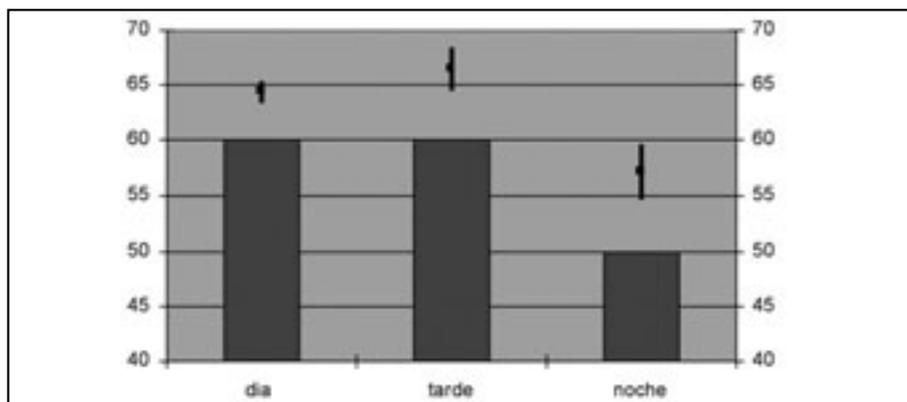


Fig. 15. Valores medios del nivel sonoro equivalente con el error estadístico con una probabilidad del 95%. Valores límite de inmisión de la fuente en zona residencial.

CONCLUSIONES

Como punto de partida, el proyecto recoge una exhaustiva revisión de la normativa y legislación que regula un problema de importancia creciente en una sociedad industrializada y concienciada en la calidad de vida de los individuos: la contaminación acústica. El dinamismo de este campo de investigación ha hecho que buena parte de las referencias consultadas hayan aparecido o hayan sido modificadas durante el desarrollo de este estudio.

Se ha realizado una interpretación rigurosa de los métodos de medida de niveles acústicos que se regulan en la normativa vigente. Estos procedimientos se han tenido en cuenta para llevar a cabo la toma de medidas acústicas en diferentes localizaciones de la zona de influencia de la N-420 a su paso por Teruel.

Además, se ha diseñado un sistema de adquisición de señales acústicas atendiendo a criterios de seguridad de las comunicaciones, reducción del coste e independencia de los dispositivos de acceso a los datos.

Por último, se han tomado medidas tanto a pie de calle como en el interior de edificios con ventanas orientadas hacia la N-420. De la comparación de las medidas tomadas con los valores límites fijados por las diferentes normativas se concluye que estamos expuestos a niveles de ruido acústico por encima de lo deseado. Ello aconseja la puesta en marcha de iniciativas conducentes a reducir los niveles de exposición como el empleo de mejores materiales aislantes, la limitación de nivel de emisión de los vehículos y el control del tráfico para evitar sobreexposición al ruido.

Se podría decir que, tras el estudio legal y técnico de los indicadores de ruido y del diseño y verificación del sistema automático de medida, se estaría en la disposición de determinar estos indicadores a largo plazo (L_{dep} y L_{night}). Este objetivo requiere la realización de medidas de manera sistemática durante un periodo de un año y sería de gran interés ahora que la zona de la Carretera de Alcañiz se ha convertido en la principal entrada a la ciudad.

BIBLIOGRAFÍA

- BASSAGNI, CONTI, GIORDANO y STOJMENOVIC (eds.) (2004), *Mobile Ad Hoc Networking*, IEEE.
- BERGLUND, B.; LINDVALL, T. y SCHWELA, D.H. (eds.) (1999), *Guidelines for community noise*, Ginebra, Organización Mundial de la Salud.
- Contaminación Acústica* (2005), Informe del Defensor del Pueblo, Madrid.
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo del consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- ESTEBAN GONZÁLEZ, S., *Realización de medidas acústicas con un sonómetro RION-NL18 de forma remota a través de un interface RS-232*, Trabajo final de carrera de la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel.
- <http://www.euro.who.int/Noise/publications>
- <http://www.nocat.net>

<http://www.ruidos.org>

IEEE Std 802.1X-2001 IEEE standard for local and metropolitan area networks - Port-based network access control.

INE Censo de Población y Viviendas, 2001.

ISO 1996-1: Acoustics –Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures (Acústica: Descripción, medida y valoración de ruido medioambiental. Parte 1: magnitudes y procesos de valoración básicos).

ISO 1996-2: Acoustics –Description and measurement of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use (Acústica: Descripción y medida de ruido medioambiental. Parte 2: adquisición de datos apropiados para uso en suelo).

KONG, J.; LUO, H.; XU, K.; GU, D.L.; GERLA, M. y LU, S. (2002), *Adaptive Security for Multi-layer Ad-hoc Networks*, Special Issue of Wireless Communications and Mobile Computing, Wiley Interscience Press.

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

LLUO, H. y LU, S. (2000), *Ubiquitous and Robust Authentication Services for Ad-Hoc Wireless Networks*, UCLA-CSD-TR-200030.

MÁKI, S. (2000), *Security Fundamentals in Ad-hoc Networking*, Proceedings of the Helsinki University of Technology Seminar On Internetworking.

NAVARRO PESCADOR, F., *Red ad-hoc de sensores*, Trabajo final de carrera de la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel.

Política futura de lucha contra el ruido (1996), Bruselas, Libro verde de la Comisión Europea.

Proyecto de Real Decreto, por el que se aprueba el Reglamento General de desarrollo y ejecución de la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, de Ruido.

Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

STALLINGS, W. (1998), *Cryptography and network security: principles and practice*. Ed. Prentice Hall, 2.ª ed.

- (1999), *Network Security Essentials: Applications and standards*, Ed. Prentice Hall.
- (2004), *Comunicaciones y Redes de Computadores*, Ed. Pearson/Prentice Hall, 7ª ed.

TANENBAUM, A.S. (2003), *Redes de computadoras*, Ed. Pearson/Prentice Hall, 4ª ed.

Recibido el 26 de mayo de 2006

Aceptado el 20 de julio de 2006

