

¿Ruido o señal? La otra información. En defensa del registro digital del ruido urbano*

Federico Miyara

*Laboratorio de Acústica y Electroacústica
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.,
Universidad Nacional de Rosario (UNR),
Riobamba 245 bis, 2000 Rosario, Argentina
E-mail: fmiyara@fceia.unr.edu.ar*

RESUMEN

Las limitaciones existentes en la electrónica de las primeras décadas del siglo XX, heredadas por la instrumentación acústica de la época, llevaron a la investigación acústica a un callejón sin salida y al consecuente estancamiento en los paradigmas de investigación a gran escala. El ejemplo más sintomático de ello lo constituye la universal adopción del decibel A como patrón de medida a utilizar en la gran mayoría de las investigaciones. En el presente trabajo se discuten primero brevemente las motivaciones originales de dicha ponderación y sus aciertos así como sus limitaciones inherentes para muchos tipos de estudios. Luego, se señalan las ventajas del uso del registro digital del ruido urbano, revalorizando muchos aspectos cuantitativos, cualitativos y semánticos del mismo. Finalmente, se comparan tres tipos de tecnologías disponibles a tal fin: la cinta magnética (DAT), el disco óptico (MiniDisc) y el disco duro (HD).

1. INTRODUCCIÓN

Cuando en 1933 Fletcher y Munson publicaron su célebre trabajo en el que se introducían los contornos de igual nivel de sonoridad,^[1] surgió naturalmente la inquietud de desarrollar un instrumento de medición capaz de reflejar numéricamente la sensación de sonoridad. Tal inquietud se cristalizó en la aparición de las curvas de ponderación de frecuencia A, B y C que permitían valorar numéricamente el nivel de sonoridad de tonos puros en tres rangos: 40 fon, 70 fon y 100 fon respectivamente. Estas curvas adoptan una forma aproximadamente inversa a las respectivas curvas de igual nivel de sonoridad, cumpliendo además la condición práctica de ser realizables con redes eléctricas RC sencillas.

Aunque el propósito inicial no se cumpliera del todo, debido a que la verdadera sensación de sonoridad de sonidos espectralmente complejos no puede obtenerse siempre por simple superposición (en forma simplificada, la superposición es energética para componentes dentro de una misma banda crítica y aritmética para sonidos en bandas diferentes),^[2] se fabricaron y comercializaron grandes cantidades de sonómetros (medidores de nivel sonoro) que permitían el uso de estas escalas. De hecho, recién hace relativamente poco tiempo comenzaron a ofrecerse comercialmente instrumentos capaces de medir la *sonoridad*, el parámetro que mejor refleja la respuesta del oído humano a sonidos complejos. El medidor de nivel sonoro con ponderaciones A y C (la B ha recibido poca atención y muchos instrumentos ni siquiera la tienen disponible) fue el principal instrumento de que disponía la gran mayoría de los investigadores. Instrumentos más complejos como los analizadores de espectro o los analizadores estadísticos eran

* Trabajo dedicado a la memoria de mi Madre, Julia Elvira Verdeja Courrèges, guía insustituible en cada etapa de mi vida.

mucho más costosos y en general restringidos al uso por parte del personal de los laboratorios especializados en acústica. Esto explica que la gran mayoría de las investigaciones se realizaran sobre la base de niveles de presión sonora ponderados con las redes A y en menor medida, C (por ejemplo en el caso de ruidos impulsivos). Se llega inclusive a la aparente paradoja de que la red A, originalmente destinada a cuantificar los sonidos relativamente débiles, se institucionalizara universalmente para medir ruidos y sonidos capaces de producir daño auditivo o fuertes molestias, en general mucho más intensos (la paradoja es sólo aparente ya que la apreciación subjetiva de la sonoridad no necesariamente se correlaciona en forma directa con los efectos orgánicos).

La popularidad y fácil disponibilidad de estos medidores ha sido probablemente la causa de que no se exploraran en forma masiva otros indicadores relacionados con características del ruido. En la mayor parte de los estudios cuantitativos se han explorado variantes que pueden obtenerse a partir del nivel de presión sonora con ponderación A, como el nivel equivalente, el nivel día-noche, etc. Inclusive se llega a la situación de que este tipo de indicadores se sugieren como los más apropiados para su uso en la Comunidad Europea.^[3]

Dicha adopción no es caprichosa. De hecho, las investigaciones han demostrado correlaciones importantes entre el nivel equivalente con ponderación A y el daño auditivo,^[4,5] o entre el nivel día-noche y la molestia, expresada como el porcentaje de personas altamente molestas.^[6,7,8]

Pero a pesar de los importantes logros obtenidos en éstos y otros estudios sobre relaciones exposición-efectos, debe reconocerse que en muchos casos la validez estadística es marginal, obteniéndose dispersiones muy elevadas y correlaciones bajas. Es notable además el hecho de que estos estudios se refieren a periodos largos de tiempo, no siendo los resultados aplicables a las reacciones a corto plazo. Por otra parte, en sonidos con características tonales muy definidas, es necesario recurrir a subterfugios como el agregado de términos de corrección. Hay evidencias también de que sonidos espectralmente diferentes pero de igual nivel sonoro A producen sensaciones muy diferentes, particularmente en lo que a molestia se refiere, y, de hecho, cuestiones relativas a la variabilidad temporal o al contenido semántico quedan fuera del universo de fenómenos abordables por medio del nivel sonoro A.

Resumiendo, la medición del sonido mediante el uso de redes de ponderación de frecuencia ha permitido llegar a conclusiones válidas y aprovechables con gran generalidad y a otras aplicables sólo bajo una serie de condiciones bastante restrictivas, pero ha dejado afuera la consideración de muchas cuestiones que exceden la posibilidad de cuantificarse con una única cifra.

2. EL REGISTRO DIGITAL DEL RUIDO

De los últimos párrafos de la sección introductoria se desprende que en muchas situaciones el uso exclusivo de una escala de medida constituye una simplificación demasiado drástica de un fenómeno tan complejo como es el ruido. Como en toda simplificación, se pierde información que podría ser importante a la hora de analizar los datos. Dentro de esta información podemos citar los siguientes ejemplos:

- a) El contenido espectral detallado
- b) La variación en el tiempo, discriminada por frecuencias
- c) La distribución estadística
- d) El contenido semántico, expresivo, evocativo, etc.
- e) El contexto (ámbito de percepción, oportunidad)

Algunos de estos aspectos podrían cubrirse con equipamiento apropiado, por ejemplo analizadores de espectro o analizadores estadísticos. Pero otros, definitivamente son poco susceptibles de ser representados en una simple forma numérica.

Surge así de manera natural la idea de no limitarse a medir algunos aspectos puntuales del sonido, sino tomar directamente un registro o grabación del sonido mismo, de tal manera que luego pueda ser reproducido, medido, analizado, modificado, editado a fin de aislar fenómenos de interés, etc. en el laboratorio o gabinete. El ruido urbano pasa a constituir, por lo tanto, una señal en sí misma de gran utilidad para el investigador. Si la grabación es suficientemente fiel al original, no sólo en los aspectos perceptibles a la normal audición sino también en lo que hace a detalles de calibración, respuesta en frecuencia, rango dinámico y distorsión, en principio sería posible reconstruir el contexto acústico correspondiente en el laboratorio. Los medios digitales (cinta de audio digital, MiniDisc, disco duro) permiten alcanzar fácilmente dichas características técnicas por lo cual están especialmente indicadas para este propósito. Hace pocas décadas el acceso al registro digital era prohibitivo, pero esa situación por fortuna ha cambiado, existiendo en el mercado excelentes grabadores digitales portables a un costo equivalente a una fracción del costo de un sonómetro de precisión.

Por otra parte, el esfuerzo logístico requerido para efectuar mediciones convencionales de ruido (preparación y calibración del instrumental, selección de ubicaciones de medición, desplazamiento del personal y el equipamiento, instalación y conexión de los instrumentos, etc.) puede ser mejor aprovechado si, simultáneamente y sin interferir con las mediciones que de todas maneras se estén efectuando por la vía convencional, se graba la salida calibrada de audio que cualquier sonómetro posee.

La grabación del sonido ofrece varias ventajas por sobre su simple medición. Por ejemplo, puede efectuarse una documentación oral de ciertos aspectos del contexto (descripción del lugar y ubicación, horario y fecha, rangos de medición y otros datos de configuración, observaciones y comentarios accesorios, etc.). En algunos casos (por ejemplo en el formato DAT) se registra en forma automática la hora de grabación. Permite eliminar, por edición ulterior, aquellos ruidos que escapan a la tipología de los que se quiere medir o analizar. Por ejemplo, si se desea medir ruido de tránsito, la presencia momentánea de personas gritando invalida la medición. En la grabación puede descartarse simplemente ese fragmento y aprovechar el resto.

Una de las ventajas más importantes es la posibilidad de transferir la grabación a una computadora, lo cual abre posibilidades de análisis casi inagotables. Pueden obtenerse todos los parámetros más frecuentes, inclusive aplicar diferentes ponderaciones frecuenciales o temporales, experimentar otras ponderaciones no tradicionales, obtener niveles equivalentes, efectuar tratamientos estadísticos, determinar espectros, tiempos de reverberación, etc.

Otra posibilidad que puede (y debería) tener un importante desarrollo futuro es la utilización del material grabado como señal en experimentos controlados sobre efectos del ruido, particularmente en lo que se refiere a molestia. De hecho se han realizado diversas investigaciones utilizando esta metodología.^[9,10,11]

Finalmente, la posibilidad de disponer del sonido tal como es percibido por las personas receptoras o afectadas abre nuevas posibilidades epistemológicas de abordaje de los efectos del ruido. Por ejemplo, es posible realizar análisis de la importancia de diversos aspectos cualitativos del sonido que no se adaptan muy bien a una representación puramente numérica. Entre ellos resalta el aspecto semántico, ya sea comunicacional o no. Por otra parte, el mismo material virgen puede ser compartido por investigadores de diferentes especialidades, lo cual abre el espectro a un tratamiento interdisciplinario de una problemática que es inherentemente interdisciplinaria.

3. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA EL REGISTRO DIGITAL

En el curso de diversos trabajos de medición o relevamiento del ruido hemos tenido oportunidad de comparar tres tipos de sistemas para el registro digital. Son ellos el formato DAT (grabador Sony de DAT, PCM-M1), MiniDisc (grabador de MD Sony, MZ-R70), y disco rígido (grabador Creative, Nomad Jukebox). Los tres son grabadores portables, de reducidas dimensiones, cuyas prestaciones sugeridas en las especificaciones resultan adecuadas para el propósito.

Existe una cuarta alternativa: el uso de una computadora portable (laptop o notebook) como digitalizadora de audio. En general no es recomendable ya que en la mayoría de los casos la calidad de los conversores de estas máquinas no es buena. Es posible sin embargo el uso de placas digitalizadoras externas, aunque esta configuración no fue ensayada. La principal desventaja es la dificultad de conexión in situ, y el mayor tamaño total del equipamiento. La ventaja es la posibilidad de efectuar análisis en forma inmediata, lo cual puede ser útil cuando es necesario tomar decisiones sobre nuevas mediciones en función de algunos resultados preliminares.

Dos consideraciones importantes en la grabación digital son la resolución en bits y la tasa (frecuencia) de muestreo. La resolución repercute en el rango dinámico posible. En el pasado se han utilizado resoluciones de 12 bits, que permitían un rango dinámico máximo de 72 dB. El estándar actual corresponde a 16 bits, que posibilita un rango dinámico de hasta 96 dB. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que el hecho de que los conversores y el almacenamiento se efectúen en 16 bits no garantiza que se alcancen los rangos dinámicos teóricos. Esto se debe a limitaciones impuestas por la relación señal/ruido de la electrónica analógica (por ejemplo, los acondicionadores de señal, los filtros antialias, etc.). Los tres sistemas ensayados permiten grabar en 16 bits, aunque las consideraciones sobre el rango dinámico se harán en forma individual para cada uno.

La tasa de muestreo está relacionada con la respuesta en frecuencia. En un sistema muestreado, la posibilidad de recuperar la señal muestreada sin distorsiones está condicionada por el *teorema de muestreo*, según el cual la tasa de muestreo debe superar al doble de la frecuencia máxima contenida en la señal. Es de hacer notar que no sólo son importantes las frecuencias de interés, sino las realmente contenidas en la señal muestreada. Por ejemplo, en una señal de audio sólo interesan las frecuencias menores de 20 kHz, pero si hubiera algún contenido ultrasónico, ya sea de origen acústico o eléctrico (por ejemplo ruido eléctrico aleatorio), su presencia podría llegar a afectar la recuperación de las componentes que sí interesan. Por ese motivo, independientemente de la máxima frecuencia de interés de una determinada señal, al seleccionar una tasa de muestreo todos los sistemas digitalizadores interponen un filtro denominado *antialias* para remover las altas frecuencias incompatibles con la tasa de muestreo adoptada.

Las tasas de muestreo más habituales son 32 kHz, 44,1 kHz y 48 kHz, que permiten frecuencias máximas de 14,5 kHz, 20 kHz y 22 kHz respectivamente. Todos los sistemas permiten grabar en 44,1 kHz, que es, por otra parte, la frecuencia estándar en los discos compactos. El DAT y el Nomad permitan también las otras dos tasas de muestreo. La decisión por una u otra frecuencia es, en realidad, el resultado de un compromiso entre la capacidad de almacenamiento y la respuesta en frecuencia. Así, para señales en las que las altas frecuencias no tengan importancia, podría seleccionarse una tasa de muestreo de 32 kHz, lo cual permite incrementar el tiempo de grabación disponible. En la mayoría de los casos la elección más apropiada es 44,1 kHz, que permite cubrir todo el rango audible, sobre todo si se está utilizando como fuente de señal un

sonómetro tipo 1 ó 0 con un micrófono de respuesta en frecuencia extensa. Aun cuando para un estudio particular pueda ser suficiente una menor respuesta en frecuencia, la posibilidad de reutilizar la señal para ulteriores investigaciones no debe descartarse.

En las siguientes secciones nos ocuparemos de cada uno de los tres sistemas de grabación digital utilizados.

3.1. Cinta de audio digital (DAT)

El formato DAT es un formato PCM (pulse code modulation) lineal, lo cual significa que la salida de los conversores se graba en forma directa, sin otro procesamiento que el requerido para la detección y corrección de errores (código de Reed-Solomon), y la adaptación al medio magnético (modulación 8 a 10).¹² Este procesamiento es reversible, por lo cual la señal digitalizada reproducida es exactamente la misma que la original (excepto en casos de deterioro severo de la cinta).

Este formato se utiliza habitualmente para la grabación de señales estereofónicas ya procesadas o que requieren poco procesamiento posterior, como por ejemplo un máster para la replicación de discos compactos. Si bien en principio se podría utilizar para grabar las señales provenientes de dos sonómetros simultáneamente, se ha utilizado sólo uno, lo cual conduce a que en ambos canales se grabe la misma señal.

Desde el punto de vista administrativo, una desventaja de los formatos con soporte en cinta es que las búsquedas son secuenciales, requiriéndose un cierto tiempo para encontrar un punto determinado. Una ventaja del formato DAT es que registra sobre la propia cinta la hora real, lo cual permite la documentación temporal precisa de lo grabado (suponiendo que el reloj propio haya sido puesto en hora correctamente).

El equipo utilizado en particular, el PCM-M1, tiene una relación señal/ruido especificada superior a 87 dB, una respuesta en frecuencia de 20 Hz a 20 kHz ± 1 dB, y una distorsión armónica menor que un 0,008%. Si bien el equipo dispone de salida digital, la transferencia de la misma directamente a una computadora requiere una interfaz de la cual no se dispone, por lo cual se ha utilizado la salida analógica ingresándola a una placa digitalizadora de sonido (Turtle Beach Montego II) con conversores de 18 bits (los dos bits adicionales permiten garantizar los 16 bits almacenados) y una relación señal a ruido de 93 dB (ó 97 dB con ponderación A).

Los ensayos se han efectuado mediante señales generadas por computadora, reproducidas a través de la placa digitalizadora y grabadas por el DAT desde ésta, y luego reproducidas por el DAT y transferidas a través de la placa digitalizadora. Los resultados obtenidos en cuanto a respuesta en frecuencia son bastante mejores que los publicados en las especificaciones. Así, se observa un error de +0,05/-0,50 dB en el rango de 20 Hz a 12500 Hz, bajando a alrededor de -1,20 dB en 20 kHz. Estos resultados tienen en cuenta el efecto de haber grabado una señal analógica (con su correspondiente conversión analógico/digital con tasa de muestreo de 44100 Hz) y haberla reproducido en forma analógica (tras una conversión digital/analógica). En caso de aprovecharse directamente la señal digitalizada los resultados deberían ser todavía mejores.

El ensayo de relación señal/ruido arroja un resultado de alrededor de 80 dB, que es inferior al anunciado (87 dB). Sin embargo, no puede descartarse que parte del ruido se deba al conexionado y cableado, dado que se utilizaron cables comunes disponibles en el mercado, y además las proximidades de una computadora constituyen un ámbito eléctricamente ruidoso. De todas maneras, dado que el relación señal a ruido del sonómetro es típicamente 70 dB, esto no supone una limitación importante, siempre y cuando se elija un rango del sonómetro apropiado para el nivel medio del ruido a grabar.

3.2. MiniDisc (MD)

El formato MD es un formato PCM (pulse code modulation) con compresión psicoacústica o perceptual ATRAC (Adaptive TRansform Acoustic Code). El objetivo de esta compresión es reducir la cantidad de información que se requiere almacenar por unidad de tiempo de señal, ya que se pretendió almacenar un tiempo similar al de un CD en un tamaño mucho menor. La compresión en este caso se realiza priorizando lo perceptivo por sobre la reproducción lineal exacta de la señal. El mecanismo de compresión se basa en el enmascaramiento que producen las diversas componentes espectrales de un sonido complejo entre sí, que reduce el rango dinámico aprovechable y, por consiguiente, la resolución en bits necesaria. La cantidad de bits requerida se va actualizando periódicamente, permitiendo una reducción total promedio de la información almacenada en un factor mayor de 4.

Es muy importante en este caso el efecto residual de la compresión, sobre todo aquellos efectos que pudieran influir sobre las mediciones efectuadas. Debido a que el enmascaramiento es un fenómeno espectralmente local, es decir que un sonido enmascara primordialmente a las frecuencias vecinas, cabe esperar que el peor efecto se produzca en los casos de gran cantidad de frecuencias muy cercanas.

Los ensayos se hicieron utilizando tres tipos de señales generadas por computadora, enviadas desde la salida de línea de la placa de sonido, grabadas en el grabador de MiniDisc, reproducidas por éste y reingresadas a la computadora a través de la entrada de línea de la placa. La primera señal está constituida por un barrido de tonos puros correspondientes a las frecuencias centrales de las bandas de tercio de octava desde 20 Hz hasta 20 kHz. En este caso los tonos se presentan en forma aislada, por lo cual no existen efectos de enmascaramiento. El sistema exhibe un énfasis de hasta 5 dB en baja frecuencia y una atenuación de casi 7 dB en 20 kHz (figura 1). Por consiguiente, es necesaria una ecualización a través de un filtro FFT para su utilización en sistemas con precisiones correspondientes a los tipos (clases) 2, 1 ó 0.

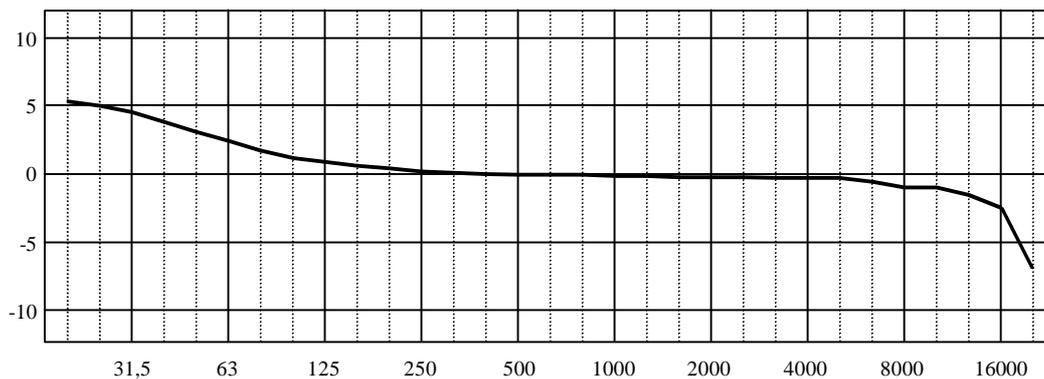


Figura 1. Respuesta en frecuencia del MiniDisc ante tonos puros de frecuencias iguales a los centros de las bandas de tercio de octava

La segunda es un tono de 100 Hz y 200 armónicos de igual amplitud, todos en fase. En este caso se pone a prueba el algoritmo de adaptación de la precisión según el enmascaramiento, ya que los tonos utilizados tienen una tendencia a enmascarar a los vecinos, reduciendo el rango dinámico disponible. Se observa en este caso una reduc-

ción brusca de unos 4 dB en las proximidades de 15 kHz, lo cual es compatible con los tipos (clases) 1 y 2.

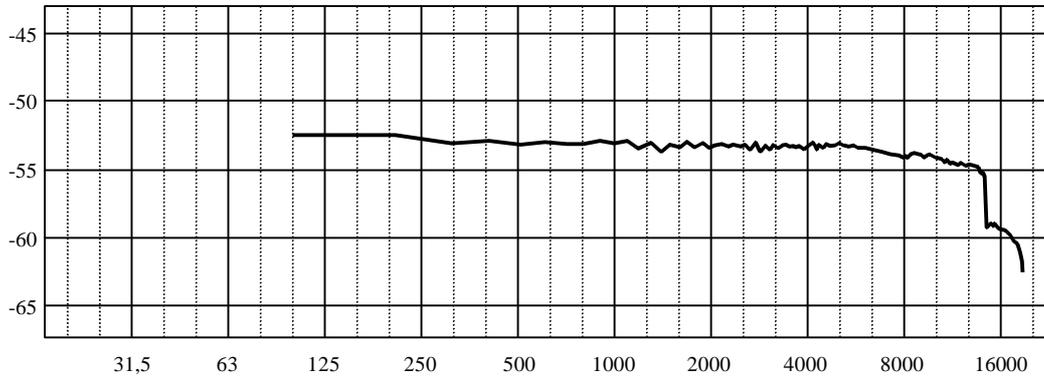


Figura 2. Respuesta en frecuencia del MiniDisc ante un sonido formado por 200 armónicos de 100 Hz en fase

La tercera es un fondo de ruido blanco al cual se le superpone un tono de 1 kHz que va adoptando niveles decrecientes de 5 en 5 dB, comenzando por un nivel igual al del ruido blanco, hasta quedar sumergido en el ruido. En este ensayo se pretendió verificar hasta cuándo era todavía posible rescatar el tono, teniendo en cuenta el enmascaramiento causado por el ruido espectralmente vecino. El ensayo se realizó de dos formas diferentes. En la primera, el ruido era perfectamente blanco, y en la segunda se le eliminó, por filtrado FFT, una pequeña banda alrededor de 1 kHz. En ambos casos se agrega posteriormente el tono de 1 kHz de nivel decreciente. En el primer caso, el tono puede ser rescatado por medio de un filtro pasabanda angosto alrededor de 1 kHz hasta que se vuelve unos 25 dB inferior al nivel del ruido blanco. Para valores más bajos, no es posible separar el ruido filtrado del tono. En el segundo caso, la reducción llega fácilmente a 43 dB por debajo del nivel del ruido blanco.

El test aplicado a la señal digital originalmente generada por la computadora, arroja valores de 30 dB y 59 dB, por debajo del nivel del ruido blanco, o blanco con 1 kHz suprimido, respectivamente.

3.3. Disco duro (HD)

Este sistema tiene la ventaja de que permite grabar cerca de 10 horas sin interrupción, tiempo que se irá incrementando seguramente en las versiones que se fabriquen en el futuro. Consiste en un sistema digitalizador que incorpora un disco duro (HD) en el cual se guarda el sonido en formato WAV, un formato PCM lineal sin compresión. Posteriormente el archivo generado se puede descargar a una computadora a través de un puerto USB. Dado que en este caso la descarga se efectúa ya en el dominio digital, la información transferida ha sufrido sólo una conversión, lo cual inherentemente implica una menor manipulación de la señal analógica.

A través de un software apropiado el disco de este equipo puede ser visualizado como una unidad más del sistema, intercambiando archivos. Una desventaja inherente es que a diferencia de los otros formatos, en los que la capacidad es ilimitada al ser el soporte (cassette DAT o MiniDisc) reemplazable y de bajo costo, en este caso es nece-

sario descargar el o los archivos a la computadora y borrarlos para recuperar el espacio. Esta dificultad se haría muy patente en caso de tener que efectuar grabaciones en sitios alejados, sin acceso a una computadora (aunque desde luego podría resolverse con una computadora portable con grabadora de CD).

Los ensayos de este sistema tanto en lo que hace a ruido como a respuesta en frecuencia arrojaron resultados muy favorables, aún superiores en algunos aspectos a los del DAT. El nivel de ruido de fondo se encuentra 90 dB por debajo del nivel máximo. La respuesta en frecuencia es plana en +0,2 / -0,6 dB entre 20 Hz y 12500 Hz, bajando a -1 dB en 16 kHz y a -2,9 dB en 20 kHz.

Un ensayo similar al realizado para el MiniDisc permite rescatar los tonos decrecientes hasta 25 dB por debajo del ruido blanco y 55 dB por debajo del ruido filtrado.

4. CONCLUSIONES

Del análisis de los ensayos efectuados se desprende que con la tecnología DAT y de disco duro es posible efectuar registros sonoros de gran fidelidad, con rangos dinámicos muy elevados y respuestas lineales y planas.

El sistema MD, pese a su compresión, puede utilizarse con ciertas precauciones, como es la de eliminar el énfasis en las bajas frecuencias por medio de post-equalización vía filtros FFT.

Aunque no se hicieron ensayos de condiciones ambientales, como por ejemplo temperatura o estabilidad a largo plazo, los mismos no son necesarios si se toma la precaución de registrar frecuentemente el tono de calibración, ya sea eléctrico o acústico (siendo conceptualmente preferible el acústico pero en la práctica más cómodo el eléctrico, si el sonómetro lo ofrece).

Las mediciones efectuadas a través de análisis por computadora bajo estas condiciones han sido comparadas con las efectuadas por el propio sonómetro, particularmente los niveles equivalentes. Rara vez el error obtenido entre la integración directa y la obtenida por software a partir de la grabación supera los 0,2 dB, siendo en general inferior a 0,1dB.

En el Laboratorio de Acústica y Electroacústica de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (UNR) se han elaborado procedimientos documentados para el registro de la señal y la realización de diversos análisis a partir de las grabaciones obtenidas.

REFERENCIAS

1. Fletcher, H.; Munson, W. A.: "Loudness, its definition, measurement and calculation". Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 5, pp. 82-108, 1933.
2. ISO 532:1975 Acoustics - Method for calculating loudness level
3. European Commission: "Position Paper on EU noise indicators". Office for Official Publications on the European Communities. Luxembourg, 2000.
4. EPA (US Environmental Protection Agency): "Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety". US Environmental Protection Agency, 550/9-74-004, Washington DC, USA, March 1974.
5. ISO 1999:1990 Acoustics - Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment
6. Schultz, T. J.: "Synthesis of social surveys on noise annoyance". Journal of the Acoustical Society of America 64 (2), Aug. 1978.
7. Miedema, H.M.E., Vos, H.: "Exposure-response relations for transportation noise". Journal of the Acoustical Society of America 104 (6), December. 1998.
8. ANSI S12.9-1996/Part 4 Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental Sound - Part 4: Noise Assessment and Prediction of Long-Term Community Response
9. Voos, Joos: "Annoyance caused by simultaneous impulse, road traffic, and aircraft sounds: A quantitative model". Journal of the Acoustical Society of America 91 (6), June 1992, pp 3330-3345.
10. Berglund, Birgitta: "Loudness (or annoyance) summation of combined community noises". Journal of the Acoustical Society of America 70 (6), Dec 1981, pp 1628-1634.
11. Berglund, Birgitta; Berglund, Ulf; Lindvall, Thomas: "Scaling loudness, noisiness and annoyance of community noises". Journal of the Acoustical Society of America 60 (5), Nov 1976, pp 1119-1125.
12. Watkinson, John: "Audio Digital". Editorial Paraninfo. Madrid, 1996