

Sistema integrado de adquisición y análisis de datos para el control de ruidos ambientales

*Pedro Reviriego Vasallo, Javier de Pedro Santa Engracia y Cristina Mateos Sancho
Departamento de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones
Universidad Politécnica de Madrid*

PACS 43.50.Qp

Resumen

En este artículo describimos un sistema integrado de adquisición y análisis de datos que permite monitorizar el ruido ambiental. El sistema ha sido diseñado para facilitar el control de los ruidos emitidos por bares y discotecas que tantos problemas causan en las zonas urbanas.

A continuación discutimos la implementación de dicho sistema que utiliza técnicas de tratamiento digital de la señal para procesar las medidas acústicas e incorpora como posible extensión un módem para poder realizar la recogida de datos de un modo remoto.

Summary

In this paper we describe an integrated system for data acquisition and analysis that is useful in monitoring ambient noise. The system has been designed to control the noise caused by pubs and discos that are so problematic in urban areas.

The system is based in the use of Digital Signal Processing Technology to process the acoustic signals and it is also prepared to incorporate a telephone modem to automate the data collection procedure.

Introducción

Durante los últimos años, ha surgido una creciente preocupación por los niveles de ruido ambiental presentes en diferentes ámbitos de la vida cotidiana, entre los que podemos destacar los debidos a la circulación rodada en las grandes ciudades, el producido por bares musicales o por maquinaria pesada.

Todos estos ruidos, al igual que otras fuentes de contaminación ambiental, afectan a la salud de las personas. En el caso del ruido, dependiendo de sus niveles y de su duración, los daños pueden ir desde una simple pérdida del sueño a daños irreversibles en el sistema auditivo (1).

En respuesta a la preocupación social que entraña el control de la contaminación acústica, las corporaciones locales han ido desarrollando normativas que regulan los niveles máximos de ruido. Sin embargo, a la hora de verificar el cumplimiento de dichas normativas surgen numerosas dificultades (2). Así, en el caso de que haya varias fuentes de ruido próximas es difícil discernir cuál de ellas está infringiendo la normativa. Por otra parte, el control exhaustivo de todas las fuentes de ruido resulta imposible dado que, por ejemplo, los bares musicales son muy numerosos y los ayuntamientos no disponen del suficiente personal para realizar las mediciones necesarias. Todas estas dificultades hacen que muchas veces las normativas no sean una realidad práctica y que en el caso de la imposición de sanciones éstas puedan ser injustas.

Frente a esta problemática y con el fin de darle una solución, se presenta en este artículo un sistema integrado de control de ruidos. Dicho sistema estaría formado por dos subsistemas, uno de medición acústica con capacidad de almacenamiento de datos y otro de inspección que nos permita extraer y analizar los datos recogidos por los subsistemas de medición. Estos se instalarían en bares musicales y otros locales que por su actividad pudieran generar ruidos. Desde el momento de su instalación estos equipos comenzarían a tomar y almacenar mediciones de los niveles de ruido registrados en el local de forma que ante cualquier denuncia o queja por parte de los ciudadanos, los servicios medioambientales de los ayuntamientos pudiesen realizar una inspección de los equipos de medición instalados en los locales de la zona y determinar la responsabilidad de cada uno de ellos.

En resumen, este sistema proporciona a los servicios medioambientales de los ayuntamientos un mecanismo fiable

y cómodo para comprobar el cumplimiento de las normativas de control de ruido y supone un salto cualitativo en los sistemas de control de ruidos medioambientales.

A continuación se describe la funcionalidad del sistema, su implementación hardware y software, así como posibles mejoras y aplicaciones.

Funcionalidad del sonógrafo

Como ya hemos explicado, el sistema consta de un subsistema de mediciones acústicas y almacenamiento encargado de recoger mediciones sobre los niveles de ruido y guardar un historial con dichos datos. Dada la analogía funcional de este subsistema con el tacógrafo¹ de los autocares y camiones, hemos decidido denominarlo sonógrafo.

Todas las mediciones del sonógrafo se basan en el concepto de Sesión Ruidosa (Figura 1). Se entiende por sesión ruidosa el período de tiempo ($t_o - t_f$) en que el nivel de ruido ($p(n)$) está por encima de un determinado umbral. Es durante estas sesiones cuando se almacenan mediciones de los niveles de ruido. El funcionamiento básico del sonógrafo será pues el siguiente: en primer lugar se realizan medidas de los niveles equivalentes por minuto y se comprueba si superan el umbral de ruido. En este caso, si durante un intervalo de tiempo fijo (T) han superado ininterrumpidamente dicho umbral, se inicia una sesión. Esta terminará cuando el nivel de ruido caiga por debajo del umbral durante un número de minutos prefijado (T) o bien hayan pasado 24 horas desde el inicio de la sesión.

Una vez iniciada una sesión comienza la toma de mediciones que podemos clasificar en:

- Mediciones acústicas
- Mediciones de actividad de los equipos

Las mediciones acústicas pueden ser de dos tipos, según que el equipo haya sido configurado como sonógrafo o como registrador. Si ha sido configurado como sonógrafo, durante la sesión se almacenarán los niveles mínimo, máximo y

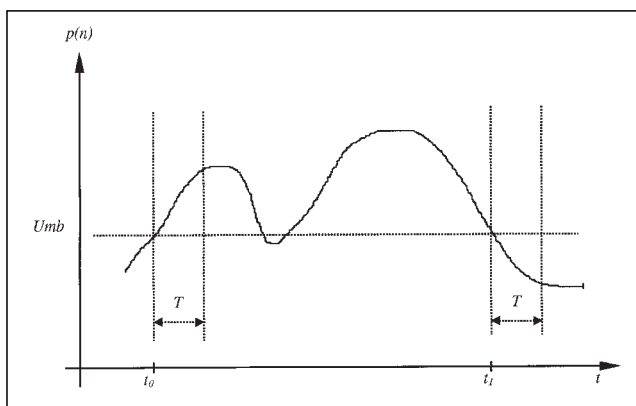


Figura 1. Evolución de $p(n)$ y su relación con el concepto de sesión.

medio, así como la hora en que se alcanzó el máximo. Si por el contrario el equipo ha sido configurado como registrador, se almacenarán los niveles equivalentes cada x minutos siendo x un parámetro fijado en la instalación. Por último los datos referentes a la calibración² del equipo serán comunes a ambas configuraciones.

Las actividades de actividad de los equipos se realizan cada minuto y detectan los encendidos o apagados de los equipos monitorizados (etapas de potencia, mesas de mezclas, etc.)

El subsistema de inspección realiza una doble función, la de configuración del equipo en la instalación y la de inspección del equipo en funcionamiento. En la primera, se introducen los parámetros de configuración (i.e. umbrales de ruido, modo de funcionamiento, nombre del instalador, nombre del establecimiento, etc.), mientras que en la segunda se recogen las mediciones realizadas por el equipo. La configuración se realiza con un PC a través de un programa que proporciona un sencillo interfaz gráfico al usuario y que a su vez permite realizar inspecciones. Dado que pese a su continuo progreso el PC portátil es todavía un equipo caro y relativamente pesado, se ha desarrollado un programa que permite la lectura de los sonógrafos a través de un terminal portátil de reducido tamaño (3) para su posterior volcado a un PC y análisis a través de otro programa que también ofrece un interfaz gráfico al usuario.

Los programas mencionados permiten visualizar gráficamente los niveles de ruido registrados así como generar informes que reflejan tanto las medidas como la identificación del equipo y establecimiento. Dichos informes pueden ser impresos o bien almacenados en ficheros para su posterior análisis. La gestión informatizada de dichos informes permitirá al ayuntamiento mantener un historial detallado de los diferentes locales.

Dada la finalidad de este sistema integrado de control de ruidos, se deben prever posibles acciones dirigidas a inutilizarlo o a falsear las medidas acústicas del sonógrafo. Para ello se han tomado las siguientes precauciones:

- Claves de acceso a los diferentes programas
- Clave de acceso a cada equipo
- Calibración del equipo

Las claves de acceso a los programas de configuración e inspección impiden su utilización por personas no autorizadas. Además cada equipo tiene una clave que restringe el acceso tanto a su configuración como a sus mediciones.

El proceso de calibración consiste en la generación de ruido a través de un pequeño altavoz incorporado en el equipo y la medición del nivel generado en el local. Si el equipo no ha sido manipulado la calibración dará siempre resultados similares. En caso de que el equipo haya sido recubierto con un aislante acústico para falsear las medidas, se obtendrá un valor de calibración distinto, lo que nos permitiría detectar el intento de manipulación del sistema. La primera calibración se realiza en la instalación y nos permite tener una referencia para comparar los valores de las calibraciones que se realizan

¹ El tacógrafo es un dispositivo que realiza mediciones de la velocidad de camiones y autocares y las almacena para que mediante una posterior inspección sea posible detectar excesos de velocidad

² El proceso de calibración será discutido al mencionar la seguridad del equipo.

al comienzo de cada sesión. Por último, cuando se detecta la caída por debajo del umbral de ruido, se realiza una nueva calibración para verificar que dicha caída no se debe a un intento de falsear la actuación del equipo.

En resumen, todas estas medidas de protección dificultan las acciones tendentes a anular la actuación del equipo y le dotan de un alto nivel de seguridad.

Implementación del sistema de medidas

En este apartado describimos someramente una implementación del sistema de medidas basada en técnicas de procesamiento digital de la señal. Este tipo de implementaciones nos permite una gran flexibilidad a la hora de realizar las medidas ya que el tipo de ponderación o de procesamiento que debamos realizar sobre la señal captada por el micrófono se realiza mediante un programa que se ejecuta en un procesador digital de la señal (DSP). Aunque en la primera versión se utiliza como medida de ruido el nivel ponderado, A, sería factible utilizar medidas más avanzadas.

Una limitación del diseño fue la necesidad de no encarecer excesivamente el coste del equipo, lo que nos llevó a utilizar el procesador de señales TMS320C32 que tiene un coste reducido y además dispone de un interfaz de memoria ROM para el almacenamiento del programa que se ejecuta desde esta, una memoria EEPROM para el almacenamiento de las mediciones y la memoria interna del procesador para las variables del programa.

Para asegurar un nivel elevado de precisión en las medidas el equipo utiliza un convertor A/D de 14 bits que ofrece una relación señal-ruido (SNR) teórica en torno a los 75 dB. Este valor de SNR resulta apropiado para el correcto funcionamiento del sistema puesto que sólo estamos interesados en los niveles de señal que superen un cierto umbral y puedan resultar molestos.

Arquitectura Hardware

En la Figura 2 se presenta el diagrama de bloques del hardware desarrollado para la implementación del sonógrafo.

El equipo está dirigido por el DSP que ejecuta el programa encargado de recoger las muestras, calcular los niveles equivalentes por minuto y anotar las diferentes mediciones en la memoria no volátil (EEPROM).

Al realizarse todo el procesamiento en el dominio digital, la precisión de la conversión analógica digital fijará la máxima precisión que podemos obtener. Como ya se ha mencionado, el convertor A/D es de 14 bits. En lo que respecta a la frecuencia de muestreo ésta es de 19.2 KHz., su elección es adecuada para la finalidad del sistema, ya que el espectro musical, el aislamiento de los locales (Figura 3) donde el equipo es susceptible de ser ubicado toma valores muy elevados por encima de los 10 KHz, lo que nos lleva a ignorar la parte superior del espectro ya que esta no se transmitirá a los locales adyacentes y por lo tanto no será causa de molestia (5).

Las mediciones acústicas se realizan a través de un micrófono. El Front-End analógico realiza el acoplamiento eléctrico

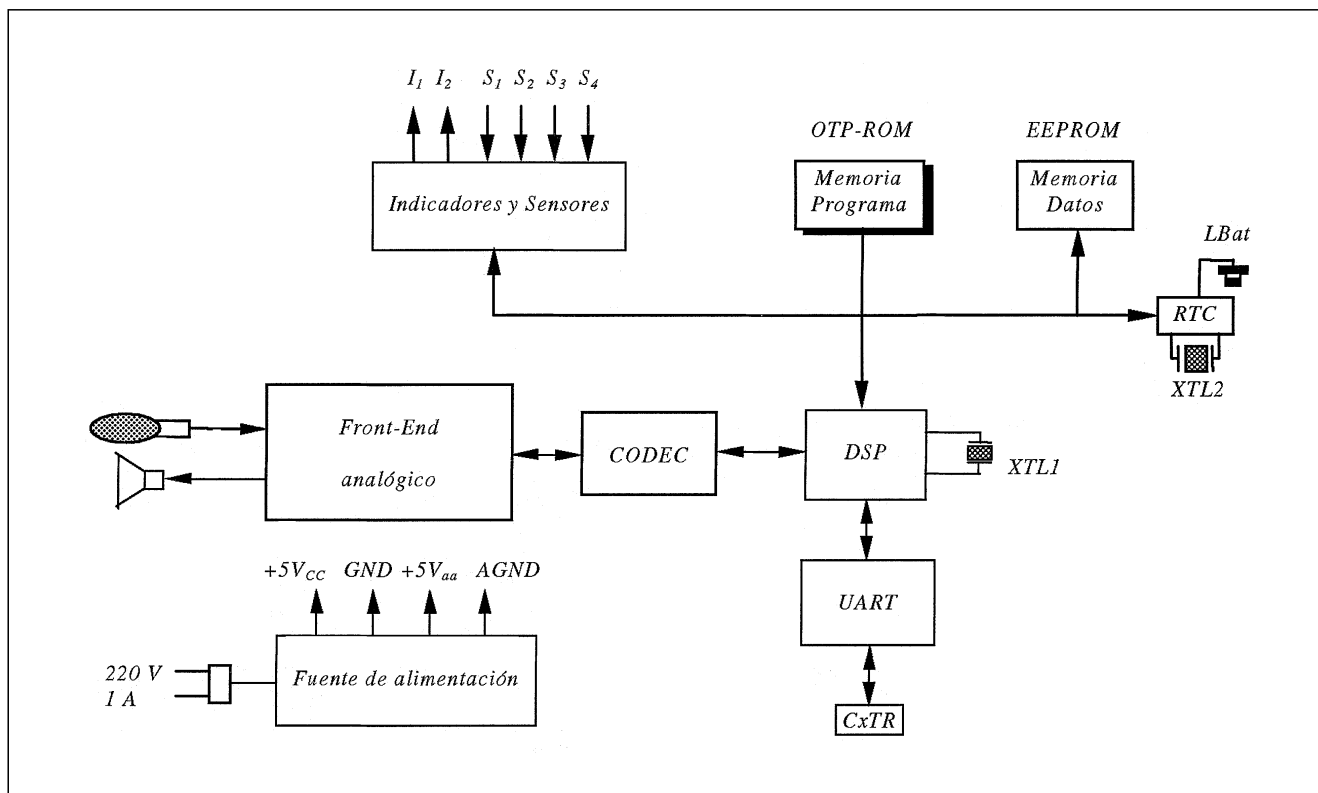


Figura 2. Diagrama de bloques del hardware del sistema.

entre el codec y el micrófono/altavoz, se trata únicamente de adaptar la señal del micrófono al margen de entrada del codec.

Como memoria para el almacenamiento del programa del equipo se emplean dos memorias OTP-ROM mientras que para el almacenamiento de los datos se ha utilizado memoria EEPROM (no volátil).

Como reloj de tiempo real (RTC) se ha elegido un componente de bajo consumo (menos de 1 A en modo de retención) que se alimenta con una pila de litio (no recargable) de 3V/50 mAh. La pila es capaz de mantener los datos del RTC unos 2600 días, tiempo más que suficiente (suponiendo que el equipo esté la mitad del tiempo desconectado de la red la pila duraría unos 14 años). El motivo de la utilización de una pila de litio reside en la contradicción de que un dispositivo destinado a preservar el medioambiente (exactamente a controlar la polución acústica) utilice pilas de Ni-Cd, contaminantes.

Para permitir la configuración del equipo y las inspecciones, tanto mediante conexión con PC como con un terminal portátil de reducido tamaño, se ha dotado al sistema de una UART que opera a 9600 bps.

El sistema dispone de un indicador tipo LED del estado de conexión a la red eléctrica y otro del estado de comunicación. Además existen cuatro entradas digitales para los sensores que monitorizan la actividad de equipos.

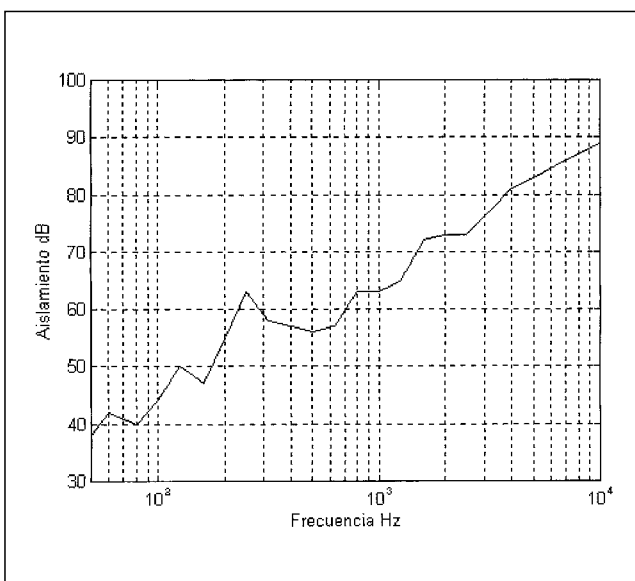


Figura 3. Aislamiento típico de un local en función de la frecuencia.

Procesado de señales

La configuración del equipo como sonógrafo o como registrador es indiferente para el tratamiento de la señal captada por el micrófono. Dicha señal se trata de forma idéntica y de acuerdo con el esquema de la Figura 4:

La señal $x(t)$, procedente del micrófono, se digitaliza a un ritmo de F_s (19.12 KHz) y con una precisión de 14 bits, obteniéndose la señal discreta $x(n)$. Esta señal se pasa por un filtro de ponderación A y se obtiene su potencia media en un intervalo de NT_s segundos, en el diagrama $p(n)$; en el cálculo de $p(n)$ se produce un diezmado por un factor de N , por lo que su ritmo es de F_s/N . N es tal que $NT_s=60$ s.

La medida de $p(n)$ se hace en dB de potencia y se corrige a partir de los datos de una calibración realizada durante la fabricación para compensar la dispersión de componentes. Se ha elegido la ponderación A , y no otra, por encontrarse en la normativa vigente en los ayuntamientos así como por su sencillez. En el equipo (Figuras 4 y 5) ha sido implementada con un filtro de respuesta al impulso infinita (filtro IIR) (6) cuya entrada son las muestras de señal acústica:

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^{11} b_i * z^{-i}}{1 + \sum_{j=1}^{11} a_j * z^{-j}}$$

Con objeto de detectar manipulaciones del proceso de medida del dispositivo, se procede a su calibración en momentos oportunos. El esquema de la calibración es el de la Figura 6.

El equipo dispone de un altavoz mediante el que se inyecta en la sala de ruido generado aleatoriamente, midiéndose con el micrófono el nivel acústico provocado por dicho ruido. El resultado de la calibración consiste en la potencia media en un intervalo $MT_s = 5$ s.

Como consecuencia del creciente auge de las comunicaciones, un paso más en la automatización del control de ruidos es la incorporación de modems de comunicaciones a los equipos de medida con lo que sería posible realizar inspecciones remotas. Con ello el sistema encontraría aplicación natural en el control de ruido en áreas urbanas mediante la instalación de equipos de medición en diversas zonas de la ciudad que volcarían automáticamente sus datos para el análisis. También se facilitarían las labores de inspección a los ayuntamientos ya que estas podrían realizarse sin necesidad de desplazarse al local donde este instalado el equipo de medidas.

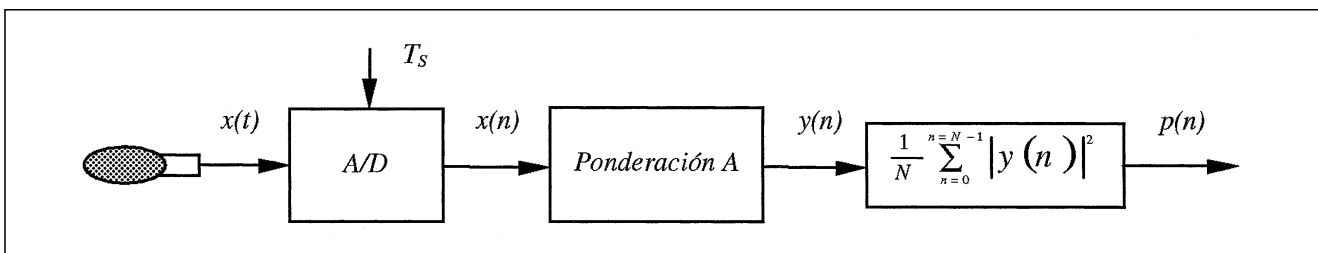


Figura 4. Front-End analógico.

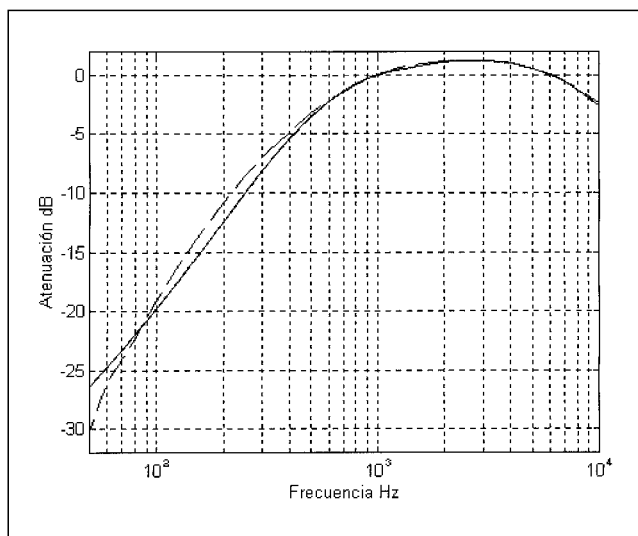


Figura 5. Ponderación A teórica (—) y filtro IIR utilizado como aproximación.

El equipo está preparado para incorporar un interfaz de línea telefónica que se conectaría al procesador de señales y al codec (ver Figura 7) de este modo sería posible implementar el modem en el procesador mediante un programa con las consiguientes ventajas de coste y flexibilidad.

Conclusiones y futuras líneas de diseño

El sistema que hemos descrito someramente en el presente artículo supone una innovación en el control ambiental de ruido. La integración de las tecnologías de la información mediante sistemas de medición dotados de memoria y cierta inteligencia junto con la gestión informatizada de los datos obtenidos dan lugar a una nueva concepción del control acústico de ruidos.

El grado de inteligencia del sistema puede incrementarse en diversos puntos. Así, por ejemplo, la aplicación de distintos tipos de ponderaciones (A, B, C) dependiendo del nivel de

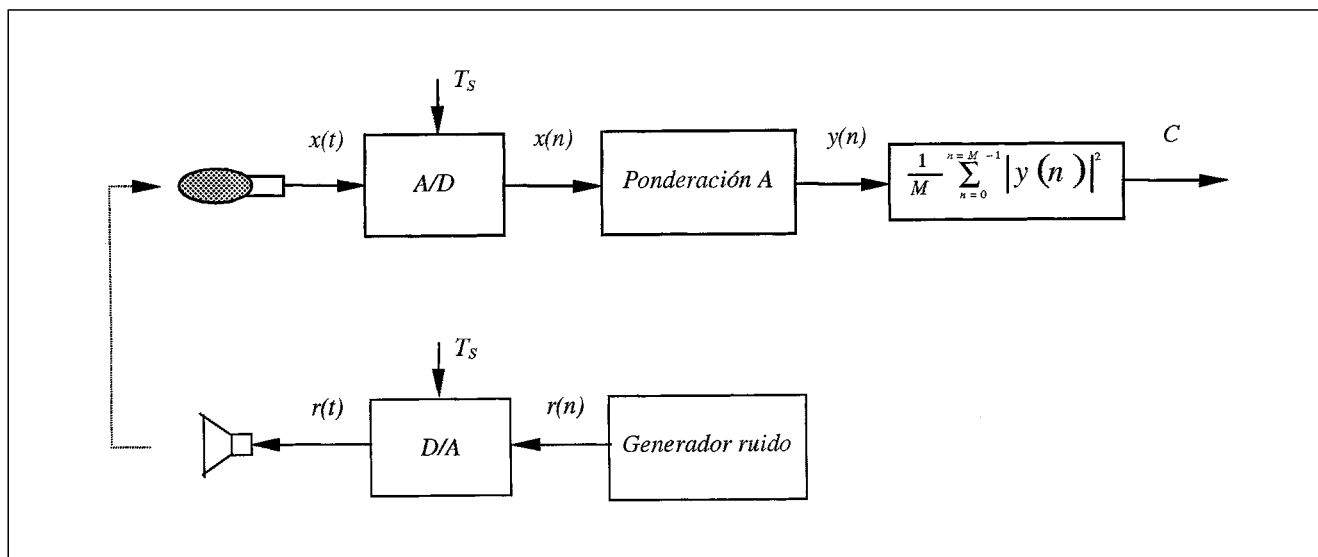


Figura 6. Calibración del equipo.

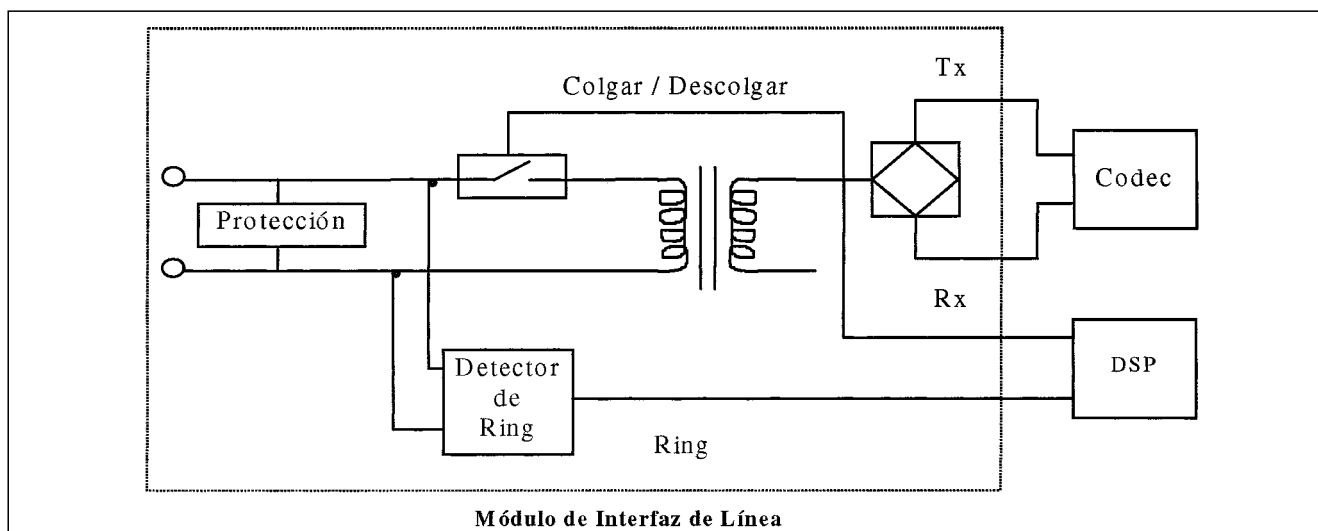


Figura 7. Diagrama para la incorporación de un modem.

la señal acústica reflejaría con mayor exactitud la respuesta del oído humano. También sería posible utilizar medidas de ruido que reflejen de un modo más preciso nuestros mecanismos auditivos (7).

La posibilidad de integrar dispositivos de comunicaciones en los equipos de medidas que faciliten la recogida de estas es otro de los avances en la automatización de los sistemas de medición de ruidos.

En nuestro caso la incorporación de dichos dispositivos resulta sencilla al disponer de un procesador digital de la señal que puede realizar también las funciones de comunicación.

Resumiendo, este sistema constituye un intento de aplicación de las tecnologías de la información al control de ruido ambiental y supone una mejora cualitativa sobre los equipos previamente existentes en el mercado

Referencias

- (1) Thomas D. Rossing *"The Science of Sound"* Addison-Wesley 1990
- (2) José Elías Arias Puga, Pedro Flores Pereita *"Necesidad de Implementación de Sistemas de Control Acústico en locales de pública concurrencia. Ordenanzas Municipales"* Tecniacústica-95
- (3) Manual de usuario MIP-4. Micro Power S.A. 1996
- (4) *"TMS320C32 User's Guide"* Texas Instruments 1995
- (5) P. Reviriego, J. Santos and R. García *"A DSP based Equalizer and Sound Level Control System: The EcuDap"* Proc of the International Conference on Signal Processing Applications and Technologies 1996.
- (6) Alan V. Oppenheim *"Discrete-Time Signal Processing"* Prentice-Hall 1989
- (7) Hugo Fastl, *"Noise measurement procedures simulating our hearing system"* J. Acoust. Soc. of Japan. (E) 9,2. 1989