

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 390 557**

51 Int. Cl.:
A01M 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09382227 .8**
96 Fecha de presentación: **23.10.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2314159**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.04.2011**

54 Título: **Procedimiento de detección de insectos xilófagos**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.11.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.11.2012

73 Titular/es:
**FUNDACION TECNALIA RESEARCH &
INNOVATION (100.0%)
Parque Tecnológico de San Sebastian Mikeletigi
Pasalekua, 2
20009 San Sebastian (Guipuzcoa), ES**

72 Inventor/es:
**LANCHAS HERVALEJO, ANGEL y
CID RIVAS, ANA**

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 390 557 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCION

Procedimiento de detección de insectos xilófagos

Campo de la invención

5 La presente invención se aplica al sector industrial dedicado a las tareas de montaje de instrumentación electrónica y programación de dispositivos electrónicos para el procesamiento digital de señales orientadas al campo de la detección de insectos y combate de plagas.

Antecedentes de la invención

10 En los últimos tiempos existe un creciente interés por la conservación y recuperación del Patrimonio Histórico-Artístico y hay que tener en cuenta que más del 70% de este patrimonio está constituido por materiales orgánicos, biodegradables (madera y papel fundamentalmente), que pueden ser (y son) atacados y destruidos por hongos e insectos.

15 Los insectos xilófagos actúan en el interior de la madera y raras veces es posible detectar su presencia hasta que los daños tienen cierta entidad. En el caso de las larvas de cerambícidos (*Hyloterpes*, *Hesperophanes*...), cuando alcanzan un tamaño determinado dentro de la madera, es posible escuchar el ruido que producen al horadar galerías en la madera, si el entorno donde se encuentra la madera lo permite y dependiendo de la habilidad de la persona que realiza la inspección.

El caso extremo es el de las termitas, que actúan siempre ocultas y no son audibles a simple oído. A menudo los sonidos audibles producidos por las termitas son bastante débiles y es frecuente que se enmascaren por otros sonidos medioambientales. Distinguir los sonidos de las termitas de otros sonidos audibles en el ambiente requiere de un entrenamiento importante y es bastante subjetivo incluso con entrenamiento.

20 Uno de los principales problemas es que la energía de ruido emitido por los xilófagos es extremadamente baja. A este problema hay que añadir los ruidos, que no tienen porqué ser constantes, que se puedan producir en las inmediaciones. Por todo ello, la detección de termitas que atacan maderas estructurales y otros productos de madera suele resultar un proceso difícil.

25 Actualmente el principal procedimiento utilizado en la detección de termitas es la inspección visual. El inspector examina las áreas accesibles de las estructuras donde la actividad de termitas es más probable que ocurra, prestando especial interés en señales indirectas y externas muy finas como galerías de ascensión (chimeneas), fisuras en recubrimientos de escayola o presencia de cúmulos terrosos. Cuando un elemento de madera que se sospecha contiene termitas es localizado, el inspector utiliza una sonda afilada como un destornillador para romper la superficie de la madera, para de este modo poder localizar las galerías y termitas vivas. En consecuencia, generalmente la confirmación de una infestación activa requiere de algún daño menor localizado en la madera.

Debido a la diversidad de componentes y entramados en las construcciones de madera y a la variedad de sus posibles lesiones, se hace necesaria una puesta a punto de metodologías de mantenimiento y reconocimiento del maderamen, basadas en sistemas mínimamente invasivos y no destructivos.

35 La demanda del mercado por un procedimiento seguro, no destructivo y no subjetivo para detectar termitas, especialmente destinado al creciente interés por recuperar nuestro patrimonio artístico, ha generado un buen número de alternativas, entre las que cabe mencionar la desarrollada por el Centro de investigación CIDEMCO: un sistema que permite tanto escuchar como grabar los sonidos producidos por estos insectos al alimentarse de madera y que se ha convertido en una solución complementaria para los inspectores, principalmente en la verificación del tratamiento curativo de la madera.

40 Aunque el sistema de CIDEMCO anterior es capaz de determinar la presencia de termitas, éste y otros equipos de captación de termitas mediante datos sonoros que existen en el mercado poseen varias limitaciones:

- la captación de los ruidos de los insectos se realiza mediante un sistema que emplea cable como transmisor de la señal sonora, con el consiguiente deterioro de la madera;
- el sistema posee un único sensor, con lo que la captación de datos sonoros sólo puede realizarse en un único compartimento y el análisis de los datos acústicos debe hacerse "in situ".

50 Otro ejemplo de equipo para determinar la presencia de termitas que adolece de las desventajas mencionadas se ha divulgado en "*Characteristics of acoustic emission signals generated by termite activity in Wood*" (Robbins W.P. et al, 8 de diciembre, 1991, páginas 1047-1051). El término interacciones en la madera se detecta por un sistema controlado por ordenador, que es invasivo debido a los sensores de emisión acústica introducidos en las piezas de madera y los cables de conexión.

Es deseable una conexión inalámbrica, tal como una red inalámbrica LAN usada en el documento US 2008/0181352, para transmitir datos de dispositivos ya existentes, por ejemplo, en una zona agrícola, que electrocuta insectos. El número de insectos muertos se cuenta y se transmite a través de un router inalámbrico a un servidor web central, para grabar y proporcionar los datos a terminales de usuarios a través de Internet.

- 5 Por otro lado, el uso de un ordenador central que permite al usuario controlar un sistema de parámetros relacionado con la detección por audio de animales intrusos, en particular especies de pájaros, se expone en el documento US 7173534.

La conveniencia de no invadir con cables las estructuras de madera, sobre todo aquellas pertenecientes al patrimonio arquitectónico (palacios, iglesias, museos, obras de arte, etc.), lleva a la necesidad de sistemas de detección de insectos xilófagos que eviten daños importantes en la madera, así como que permitan actuar desde otras localizaciones y, una vez realizado un tratamiento curativo, realizar un seguimiento a distancia de la presencia de los xilófagos en cualquier parte de la estructura bajo vigilancia.

Descripción general de la invención

La invención que se describe está referida a un procedimiento, según la reivindicación 1, para detectar la presencia de xilófagos en la madera que vienen a resolver la problemática anteriormente comentada. La presente invención es aplicable a cualquier estructura susceptible de presentar xilófagos, en especial arquitecturas de interés histórico y/o artístico, e incluso se puede aplicar en obras de rehabilitación y en cebos para termitas o similares.

Un aspecto, pero no según la invención, se refiere a un sistema de detección de insectos xilófagos que comprende una serie de dispositivos o módulos descritos a continuación, capaces de comunicarse entre sí por medio de enlaces inalámbricos e intercambiar datos de forma transparente al usuario, que pueden operar en entornos multi-usuario. El sistema comprende al menos un terminal para capturar los posibles sonidos de los insectos, concebido para instalarlo en alguna parte de interés en la estructura de madera, y una central controladora que concentra los datos enviados por todos los terminales instalados a través de un módulo de comunicaciones inalámbricas que usa tecnologías de radiofrecuencia. Así, mientras cada terminal puede estar ubicado en distintos sitios de las estructuras a supervisar, la central puede realizar el control de todos a distancia, puesto que el enlace de comunicación entre terminal y central controladora es por radiofrecuencia.

El terminal captador de sonidos a su vez comprende:

- Uno o más sensores acústicos que generan una señal de salida analógica. El sonido que provocan los xilófagos en la estructura donde está situado el terminal es recogido a través de un sensor, por ejemplo, piezoeléctrico o cerámico.
- Un módulo de acondicionamiento de señales conectado al sensor acústico y que a su vez comprende unas etapas de filtrado, amplificación y conversión analógico-digital, adaptadas para pasar la señal de salida analógica captada por el sensor acústico a una señal de entrada digital apta para un procesador de señal digital. Por medio del tratamiento electrónico de la señal, consistente en la amplificación de la misma y un doble filtrado para eliminar ruidos no deseados, la señal de sonido una vez convertida a digital puede ser analizada por un software diseñado para determinar la existencia o no de xilófagos en base a los picos (chasquidos) que provocan en la señal acústica.
- El procesador de señal digital (DSP) implementa una serie de computaciones sobre la señal de entrada digital para llegar a obtener un resultado positivo a la hora de detectar los chasquidos de los insectos en la señal de audio:
 - Calcular el espectrograma de la señal de audio de entrada
 - Calcular energía o amplitud de la señal (RMS) a nivel fino (por ejemplo, cada 3 milisegundos de muestro de la señal) tanto en bandas de alta frecuencia (RMSH) (por encima de 1700 Hz), como en bandas de baja frecuencia (RMSL) (por debajo de 1700 Hz).
 - Calcular valores medios de la energía en baja frecuencia (RMSL) en fragmentos de la señal de audio más grandes (por ejemplo, en ventanas temporales de análisis de la señal muestreada con un tamaño mayor de 33 segundos).
 - Calcular media y desviación de la energía en alta frecuencia (RMSH) en el fragmento de la señal de audio más silencioso (i.e., fragmento donde el ruido de fondo es de alta frecuencia).
 - Calcular el umbral inferior y superior de la amplitud de la señal teniendo en cuenta RMSH
 - Aplicar un algoritmo de detección de picos para calcular posiciones de picos en RMSH y encontrar aquellos que cumplen ciertas restricciones indicativas de que pueden considerarse como chasquidos de insectos.

Una vez obtenidos los datos relativos a los sonidos de insectos xilófagos, son transmitidos a través de las ondas de radio mediante el módulo de comunicaciones inalámbricas que tiene el sistema conectado (o integrado) a cada terminal y desde el transmisor hasta un receptor de radiofrecuencia instalado en la unidad central los datos llegan para ser introducidos en un procesador (por ejemplo, un ordenador de una estación de trabajo o un portátil), donde el usuario puede analizarlos detenidamente y determinar en qué tanto por ciento la estructura de madera presenta un peligro de insectos.

De esta forma, el sistema enlaza los sensores con los módulos de comunicaciones de datos, que utilizan tecnologías inalámbricas (2,5G, 3G o superior) en lugar de cableado estructurado.

Entre las tecnologías inalámbricas susceptibles de ser aplicadas en este sistema cabe destacar algunas estándares, Wi-Fi basada en la norma IEEE 802.11 y Bluetooth, o bien, preferiblemente, las tecnologías de transmisión inalámbricas propietarias (radiomódems) desarrolladas en la banda de los 433, 868 y 915 Megahercios. La solución con los radiomódems tiene las ventajas de resultar mucho más económica que las estándares, manteniendo los rangos de cobertura necesarios en el escenario de trabajo (con tasas de transferencia netas de unos 50-70 Kb/s en los sensores, los controladores disponen de datos suficientes para el análisis de señales transitorias y monitorización de eventos en tiempo real), así como la de su extraordinaria autonomía de trabajo (consumo de energía por debajo de los 0,5 μ A) y, por tanto, la flexibilidad en el despliegue de los sensores.

La central controladora o pasarela residencial comprende una interfaz de radiofrecuencia para recibir los datos proporcionados por cada terminal a través del correspondiente módulo de comunicaciones inalámbricas y un servidor web empotrado que proporciona una interfaz de acceso amigable para el usuario, quien a través de una aplicación de dicho servidor web puede acceder a los datos recibidos y proceder a un análisis más exhaustivo, asistido por la interfaz gráfica de la aplicación.

En este punto cabe destacar la importancia del desarrollo del software, en una implementación preferida de la aplicación, usando Java, de modo que permite, desde cualquier ubicación con acceso a Internet sin necesidad de ningún programa adicional (un simple explorador de Internet), el control "on line" de todos los parámetros asociados al escenario en concreto: supervisión de alarmas, gráficos de eventos durante las últimas horas, monitorización de un sensor en concreto de forma manual, registros de incidencias y averías...

Adicionalmente, para que el usuario pueda acceder desde un equipo terminal remoto (por ejemplo, un terminal móvil 3G, una agenda electrónica PDA, un portátil o un ordenador personal conectado a Internet), la pasarela central controladora dispone, generalmente una pluralidad, de interfaces de acceso (por ejemplo, USB, PCMCIA, Ethernet, GSM, GPRS o UMTS) que comunican la interfaz web de acceso con la interfaz del equipo terminal de usuario.

La unidad central, que cumple la doble función de controlador de los dispositivos situados en los lugares de inspección y la funcionalidad de pasarela con el mundo exterior donde se encuentran los inspectores, tiene las siguientes características ventajosas:

- Bajo coste, que posibilita al usuario el acceso a un sistema de monitorización sin grandes inversiones.
- Múltiples interfaces de comunicaciones para adaptarse a los requisitos de conexión local o a distancia de los operadores: GSM, GPRS, Ethernet 10/100, USB, PCMCIA, entradas y salidas digitales...
- Servidor web empotrado, que junto a los interfaces de comunicaciones anteriores, da un acceso cómodo a los diferentes equipos de los usuarios: ordenadores de sobremesa, terminales móviles, agendas electrónicas... Este servidor soporta la ejecución de la interfaz de entrada común (en inglés, Common Gateway Interface, abreviado CGI) con lo que la programación de los diferentes interfaces adaptados a cada aplicación específica se pueden realizar de una manera rápida y sencilla.
- Flexibilidad de la aplicación, con una configuración y actualización del software de manera a distancia, desde un ordenador central a cualquiera de las pasarelas por los distintos interfaces de comunicaciones de los que dispone.

Los usuarios del sistema y procedimiento propuestos (empresas de control de plagas, rehabilitadores de inmobiliario, de edificios históricos, de obras artísticas, etc.) pueden encontrar que las principales ventajas de la invención son:

- Se utilizan técnicas no invasivas, porque el intercambio de datos necesarios para la detección y monitorización se hace mediante radiofrecuencia, que evitan la destrucción o alteración de partes de las estructuras del edificio (vigas, suelos, muebles, ventanas,...) para detectar los insectos, contribuyendo especialmente a la conservación del patrimonio cultural, al no usar cables.
- Eficacia, fiabilidad y seguridad en la comunicación de los datos, puesto que, al no utilizar cables, la transmisión/recepción de la información no se ve alterada por la resistencia que pueden producir dichos cables, además de que la recopilación y análisis de los datos requieren menos tiempo. El sistema de detección/monitorización

de los sonidos presenta un importante rendimiento de pérdida de señal, para paliar las distancias entre los sensores y la distancia hasta el punto de recogida/análisis de datos. A su vez, este sistema garantiza la máxima fiabilidad en los datos obtenidos aún en condiciones difíciles para capturar esos datos (monitorización de forjados y tabiques de las obras). El reconocimiento acústico de los insectos que permite el procedimiento es suficientemente fiable para

- 5 determinar la presencia de de xilófagos en un momento apropiado. Hace posible conocer en todo momento la existencia de datos relevantes para determinar si se está produciendo un ataque en la madera, ya que la transmisión de los datos a través de las ondas de radio se realiza en tiempo.
- El uso de las tecnologías inalámbricas en la monitorización de las estructuras supone un ahorro en cuanto a coste de instalación y resulta mucho más cómodo al no haber cables por medio. Siendo necesario un único terminal central para la concentración y análisis de los datos, el coste del sistema está directamente relacionado con el número de
 - 10 sensores a colocar en el edificio.
 - Comodidad en el uso, mejorando las condiciones laborales del profesional dedicado a la detección de los xilófagos, puesto que una vez instalado el sistema el seguimiento de la inspección se puede realizar desde su lugar de trabajo, pues los datos captados no se analizan desde donde se toman sino que se envían a un terminal central. La posibilidad de captar los datos acústicos de los insectos en más de un habitáculo y su transmisión por radio facilita el control de la
 - 15 presencia de estos insectos en un edificio, por compleja y grande que sea su estructura arquitectónica. No representa casi esfuerzo físico alguno por parte de la persona encargada del control, ya que puede comprobar desde la unidad central la existencia o no de termitas en cualquier habitáculo. Los equipos sensores usados para realizar los registros de sonidos "in situ" son ligeros y manejables. También las condiciones de trabajo de los operadores se ven mejoradas
 - 20 porque esta solución preventiva evita la aplicación masiva de productos tóxicos, como los que se suelen emplear en la exterminación de plagas, que resultan nocivos para la salud. Al intervenir en la reducción del uso de componentes contaminantes, el sistema es beneficioso para con el medio ambiente.

La invención se refiere a un procedimiento de detección de insectos xilófagos que comprende los siguientes pasos:

- 25 - Muestrear una señal de sonido captada, mediante unos sensores instalados en una estructura de madera sospechosa de presentar insectos xilófagos, obteniendo un fragmento digitalizado de audio. Es posible capturar cíclicamente fragmentos de audio que a distancia, desde un PC u otro equipo de procesado conectado a una unidad de control concentradora de las señales de todos los sensores, van a pasar a ser analizados para determinar la probabilidad (tanto por ciento) de la existencia de insectos en la estructura y mostrar el resultado en una interfaz gráfica al usuario.
- 30 - Calcular una amplitud de señal del fragmento digitalizado de audio en una banda de alta frecuencia (RMSH) y una amplitud de señal del fragmento digitalizado de audio en una banda de baja frecuencia (RMSL). Para estos cálculos se aplica la Transformada Rápida de Fourier (FFT) sobre el fragmento digitalizado de audio y en una serie de conjuntos de muestras de la señal (ventana de muestras o frames).
- 35 - Ejecutar un algoritmo de detección de picos en la amplitud de señal calculada en la banda de alta frecuencia (RMSH) para obtener todos los picos, definidos como los instantes de tiempo dentro de una ventana de muestras en los que la amplitud de señal es mayor que la de la muestra inmediatamente anterior y posterior.
- 40 - Entre los picos, seleccionar al menos uno que se define como un instante de chasquido en el que, dentro de un determinado entorno (intervalo centrado en dicho instante del pico), el número de instantes de tiempo obtenidos cuya amplitud de señal en la banda de alta frecuencia (RMSH) supera un umbral inferior es menor que un límite máximo, y en dicho instante la amplitud de señal en la banda de alta frecuencia (RMSH) es mayor que un umbral superior y mayor que un 50 por ciento de la amplitud de señal en la banda de alta frecuencia (RMSH) en un determinado intervalo.
- 45 - Asociar los instantes de chasquido seleccionados con una indicación (por ejemplo, una marca en el fichero .wav en el que se ha registrado el fragmento de audio; una etiqueta en la señal acústica representada gráficamente) que representa que dicho pico o instante de chasquido corresponde a un sonido de xilófago que ha sido detectado.

Un último aspecto de la invención es un programa de ordenador que comprende medios de código de programación adaptados para realizar el procedimiento descrito anteriormente en un DSP, una FPGA (en inglés, Field-Programmable Gate Array), una tarjeta ASIC (Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas), un micro-procesador

50 o micro-controlador, o un procesador de propósito general.

Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, se acompaña

como parte integrante de esta descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La Figura 1 muestra una representación esquemática de un escenario de aplicación del sistema de detección de xilófagos.

5 La Figura 2 muestra un diagrama de bloques de la pasarela central controladora del sistema.

La Figura 3 muestra un diagrama de bloques de un terminal de sensor de sonidos de xilófagos del sistema.

La Figura 4 muestra un diagrama de bloques del módulo de comunicaciones inalámbrico que conecta cada terminal sensor con la pasarela central del sistema.

10 La Figura 5 muestra un esquema de los cálculos de las amplitudes de señal y sus promedios usados por el procedimiento de detección, según una realización preferida de la invención.

La Figura 6 muestra unos pantallazos de la aplicación para etiquetar en la señal de audio los sonidos de termitas, según una posible realización de la invención.

Descripción detallada de la invención

15 Los escenarios que se pueden contemplar a la hora de la aplicación del sistema son diversos y muy diferentes, aunque todos se pueden englobar dentro de una misma filosofía representada en la Figura 1. En un edificio inteligente (1) dotado con el sistema de monitorización de termitas se encuentran distribuidos los terminales (TS1, TS2, TS3, TS4) con los sensores de sonidos, que se encarga de la captura de datos de audio y su procesamiento digital. Estos sensores pueden conectarse a un módulo común de tratamiento de información e interfaz de comunicaciones por radiofrecuencia. De esta forma se puede hacer un procesado de la información en el propio terminal, balanceando el núcleo de proceso entre los sensores y el concentrador, además de formar parte de una estrategia de minimización de consumo, que dota de la independencia suficiente a los sensores.

20 Actuando como concentrador de todos estos sensores está la pasarela (10) residencial o unidad central, que ejerce de controlador de todos los terminales (TS1, TS2, TS3, TS4), a los que se conecta mediante un enlace inalámbrico de radiofrecuencia (3), para monitorizar el estado de cada uno de ellos, a la vez que ofrece diversos modos de interacción con el usuario. La interacción se puede realizar de manera remota, mediante una interfaz web integrada y diferentes interfaces de acceso de usuario (I1, I2, I3), por ejemplo, basadas en GSM, GPRS, Ethernet..., gracias a las cuales se puede acceder a la monitorización mediante distintos terminales de usuario (TU1, TU2, TU3, TU4): teléfonos móviles, PDAs, PCs o portátiles conectados a la red Internet (4), de forma que las aplicaciones son totalmente programables y configurables por el usuario.

30 En la Figura 2 se representa un diagrama de bloques de la pasarela (10), que consiste en una plataforma basada en un microcontrolador (11), por ejemplo, micro Coldfire de Motorola MCF5272V2, que está especialmente pensado para sistemas empotrados con requisitos de gran capacidad de comunicaciones. Este microcontrolador está gobernado por un sistema operativo (12), que es el S.O. µClinux, adaptación del popular S.O. Linux para que funcione en microcontroladores que no disponen de unidad de gestión de memoria, como es el caso del MCF5272. El microcontrolador puede así interoperar con memorias RAM y FLASH (11A, 11B). Este sistema operativo tiene un tamaño bastante más pequeño que el de una distribución Linux estándar, lo cual lo hace idóneo para el desarrollo de sistemas empotrados. Para flexibilizar la plataforma, la pasarela (10) dispone de un bus de expansión (13) con todas las señales procedentes del microcontrolador (11) para añadir diferentes dispositivos y/o interfaces externos (14A, 14B, 14C, 14D), por ejemplo con entradas/salidas digitales, interfaz RS-232, USB1.1 y Ethernet 10/100. De este modo, cualquier funcionalidad que no se encuentre en la plataforma se pueda obtener mediante la inclusión de una nueva capa hardware unida a ésta mediante el bus de expansión (13).

Además, la pasarela (10) incluye una interfaz o módulo radio (15) que funciona en la banda ISM de 868 MHz, sintonizable y programable, a través del que recibe los mensajes radio con los datos de presencia/ausencia de termitas obtenidos por los terminales sensores y se los notifica mediante comunicación serie al servidor web empotrado (16).

45 Así, la plataforma anterior cuenta con las interfaces de acceso necesarias para conectarse, por un lado, con los terminales inalámbricos situados en el edificio bajo supervisión y, por otro, con el terminal del supervisor, que puede ser también inalámbrico o no. De esta manera la pasarela (10) actúa en un doble papel como concentrador de los dispositivos sensores controlados y al permitir la interacción total del usuario final con todos los dispositivos controlados, adaptándose a la topología del escenario concreto de operaciones.

50 El terminal sensor (TS) con el que se comunica la pasarela (10) presenta los módulos ilustrados en la Figura 3:

- un módulo de captación de los sonidos que consta de un dispositivo sensor y un circuito de polarización, por ejemplo, un micrófono de contacto (20).

- un módulo de acondicionamiento de la señal que incluye primeramente una etapa de filtrado y amplificación (21) de la señal. La placa de amplificación para la señal del sensor acústico, contiene un amplificador de dos etapas y bajo ruido adecuado para amplificar la señal del sensor cerámico que se coloca en el exterior del prototipo. Incluye un control de ganancia para ajustar los niveles de señal a los que necesita el conversor A/D (22) que puede estar integrado en el DSP (23).
- un módulo de procesado digital de la señal o DSP (23), por ejemplo, el basado en la familia de baja potencia DSP 1.1 TMS 320C88xx, en el que se analiza la señal, se aplica el algoritmo de detección de picos y se actúa en caso necesario.

La conexión con los sensores, entendiendo como tal es la placa de procesado y el sensor físico, se realiza mediante un interfaz serie, por ejemplo RS232, así como mediante entradas o salidas digitales configurables y entradas analógicas con sus correspondientes convertidores analógico/digital.

La pasarela (10) y el terminal (TS) se conectan mediante el enlace radio (3) por un módulo de comunicaciones (30), ilustrado en la Figura 4, que puede estar integrado en el mismo terminal (TS) o conectarse externamente a uno o varios terminales. El módulo de comunicaciones (30) inalámbrico comprende:

- Transmisor de radiofrecuencia (31), formado por una antena, amplificadores y filtros para adecuar la señal a la transmisión. Esta etapa de radiofrecuencia trabaja en la banda de 868 MHz, aunque puede trabajar también en las bandas de 315, 433 y 915 MHz, de manera configurable. Todas estas bandas son de uso público ISM -Industrial, Scientific and Medical- y únicamente se deben mantener unas normas en cuanto a potencia y ciclo de trabajo. Cumpliendo estas normas se obtienen coberturas de 300 m en espacio libre y 60 m en entorno cerrado con una tasa de transmisión de aproximadamente 19000 bps con flujo constante y 76800 bps de tasa máxima, dependiendo del código utilizado. Estos datos no hacen sino corroborar la utilidad de estos dispositivos para el escenario que se está considerando, puesto que tanto la tasa binaria como las distancias son suficientes para las aplicaciones requeridas.
- Un microprocesador (32), por ejemplo, el microcontrolador de la familia 8051 con 32 Kb de memoria FLASH (33) y 2049 bytes de RAM (34) interna y que puede comunicarse con varios chips Transmisor-Receptor Asíncrono Universal o UART (35). La inteligencia del microprocesador permite dotar al dispositivo de comunicaciones de autonomía a la hora de realizar determinadas acciones o procesamiento de datos. De este modo, las comunicaciones con el controlador son menos frecuentes, descentralizando la carga de trabajo, reduciendo el consumo y por tanto aumentando el tiempo de vida de las baterías. Al mismo tiempo se puede administrar una red de dispositivos que monitorice el estado de cada uno, informando en caso de alguna incidencia, como puede ser la avería de uno de ellos o batería baja.

Para dotar a los dispositivos de absoluta autonomía, la alimentación se proporciona con pilas tipo AAA de 1.5V dispuestas en serie, que junto con el software necesario que permite permanecer dormido al dispositivo el tiempo que no está realizando ninguna tarea, consigue aumentar el tiempo de vida del dispositivo, a la vez que reduce el coste de cada terminal y a lo que se suma el pequeño tamaño de los módulos descritos.

El procesamiento de la señal se puede realizar a partir de fragmentos digitalizados de la misma para detectar chasquidos en el mismo que puedan ser causados por termitas. Esta función es el núcleo principal del software ejecutado por el sistema, responsable del análisis de la señal y detección de los chasquidos, que se basa en calcular utilizando la FFT la amplitud de la señal (RMS), en una banda alta de frecuencias (RMSH) y de bajas frecuencias (RMSL).

El procedimiento utilizado está previsto para aplicarse en situaciones reales a fragmentos con una duración de 2 minutos.

El procedimiento de detección de los chasquidos parte del análisis de la amplitud de la señal en una banda de frecuencia por encima de los 1700 Hz porque, a causa de las características de la transmisión del sonido en la madera, la mayor parte del ruido de fondo, de origen externo, está por debajo de esta frecuencia y, por tanto, es presumible que la energía observada a frecuencias superiores se debe fundamentalmente a las termitas. En consecuencia, RMSH presenta picos acusados y de corta duración cuando se producen chasquidos debidos a termitas.

Para una explicación más detallada, podemos dividir el funcionamiento en dos partes:

- Calcular en el fragmento de señal (40) la amplitud de la señal en dos bandas frecuenciales, por encima y por debajo de los 1700 Hz. Se calcula la amplitud en ambas bandas (RMSH y RMSL) cada 3 ms (t_{step}) para poder distinguir picos estrechos en RMSH. El cálculo se hace obteniendo el espectro de magnitud de pequeños bloques consecutivos y solapados del espectrograma de la señal (41) como se muestra en la figura 5. La amplitud de la señal o el espectro de magnitud se calcula aplicando la Transformada Rápida de Fourier FFT a intervalos de muestras, cuya longitud de intervalo es la potencia de 2 inmediatamente superior a 3 ms. Por ejemplo, utilizando una frecuencia de muestreo de 8 KHz, se calcula una FFT de 32 muestras cada 24 muestras; i.e., $t_{step} = 3$ ms. Además a las muestras de dichos intervalos se les aplica una ventana de Hanning. RMSH se obtiene sumando los valores del espectro de magnitud correspondientes a frecuencias por encima de 1700 Hz y RMSL los que están debajo. Tanto RMSH como RMSL se

promedian, obteniendo RMSHLmean y RSMLmean respectivamente, cada 33 ms, i.e., cada 11 intervalos de muestras o steps.

- Algoritmo de detección de picos para buscar los chasquidos producidos por las termitas, analizando todos los picos presentes en el vector RMSH y seleccionando aquellos que cumplen una serie de restricciones. Se dice que un elemento de RMSH es un pico cuando su magnitud es mayor que la de los elementos anterior y posterior. Para verificar el cumplimiento de las restricciones es necesario analizar los valores de RMSH en un entorno alrededor del pico, por ejemplo de 11 intervalos de muestras, comparándolos con dos valores de amplitud umbral: uno inferior U1 y otro superior U2. El cálculo de los umbrales U1 y U2 se hace teniendo en cuenta la amplitud RMSH presente en la señal en situación de silencio (ruido de fondo de alta frecuencia). Para ello, se busca en el fragmento de audio a analizar el bloque de 33 ms con amplitud media RMSHmean mínima y se modela RMSH en ese bloque "silencioso" con dos parámetros estadísticos: media M_{SIL} y desviación estándar D_{SIL} . Los umbrales U1 y U2 se calculan de la siguiente manera: U1 es fijo para todo el fragmento y se obtiene sumando a la media M_{SIL} la desviación D_{SIL} multiplicada por un factor adecuado. Este factor es uno de los parámetros ajustables del sistema (α_{U1}). Tras las pruebas realizadas se le ha asignado un valor de 6.

$$U1 = M_{SIL} + \alpha_{U1} \cdot D_{SIL}$$

U2 se recalcula para cada pico a analizar con la siguiente fórmula:

$$U2 = M_{SIL} + \max(\alpha_{U2_dev} \cdot D_{SIL}, \alpha_{U2_rmsl} \cdot RMSL_{m_T})$$

donde α_{U2_dev} y α_{U2_rmsl} son parámetros ajustables con valores 15 y 0.5, $RMSL_{m_T}$ es el promedio de la amplitud de señal en la banda de baja frecuencia (RMSL) para un instante T de los instantes de tiempo obtenidos por el algoritmo de detección de picos.

Por una parte, U2 es una versión más exigente de U1, factor de desviación 15 en lugar de 6, y además incluye un término dependiente de la energía media en las bajas frecuencias, que crece en presencia de ruidos externos. De esta manera con ruidos externos el umbral aumenta reduciendo la posibilidad de detecciones falsas

Las restricciones que debe cumplir un pico para ser considerado producido por una termita son:

- El valor de RMSH en el pico debe superar el umbral superior U2.
- El nº de picos en el entorno del pico que superan el umbral inferior U1 debe ser menor que un valor predeterminado de límite máximo, que en la versión implementada se ha fijado en 5.
- El valor RMSH en el pico debe superar en un 50 % el valor RMSH de cualquier otro pico en su entorno.

La sintaxis para la ejecución del algoritmo (determiRH2F) con los argumentos de entrada y salida y parámetros ajustables es:

[ncandis,icandis,escalay] = determiRH2F(x,step,frameL,fs,visu)

Los argumentos de entrada son:

X: vector que contiene la señal de audio digitalizada.

Step: avance en muestras de la ventana de análisis para el espectrograma.

frameL: tamaño en muestras de la ventana de análisis para el espectrograma.

Fs: frecuencia de muestreo.

Visu: cadena de caracteres que indica si se desea generar un gráfico con la evolución de algunas variables utilizadas por el algoritmo (RMSH, RMSLmen y umbrales). 'sivisu' para generar y 'novisu' para no hacerlo.

Los argumentos de salida son:

ncandis nº de chasquidos de termitas detectados.

Icandis posiciones de los chasquidos

Escalay rango de valores utilizado en el eje vertical en el caso de generarse un gráfico.

Como ejemplo de uso, para analizar un fichero 'fichero.wav' digitalizado a 8 KHz, utilizando como periodo de análisis 3 ms, bastaría ejecutar desde la ventana de comandos:

```
[x fs] = wavread('fichero.wav');
nc = determiRH2F(x,24,32,fs,'novisu')
```

El resultado nc es el nº de chasquidos de termitas detectados.

5 Al principio del código de la función hay varios parámetros que han sido ajustados buscando optimizar la detección de termitas minimizando las falsas detecciones.

```
% PARAMETROS modificables para ajustar algoritmo
%-----
fcut % frecuencia de corte para altas frecuencias
alfaU1 % factor cálculo umbral1 (para desviación en silencio)
10 alfaU2dev % factor calculo umbral2 (para desviación en silencio)
    alfaU2rmsl % factor calculo umbral2 (para ruido medio de fondo)
    picoNmax % anchura máxima de pico, en nº de frames
    fragNsteps % nº de frames para promediar energía (debe ser impar)
    %-----
```

15 La monitorización de los datos puede implicar un programa para monitorizar mediante un PC, conectado a la pasarela (10), una señal de audio procedente del exterior a través de una tarjeta de sonido. Básicamente captura un fragmento de audio cíclicamente, lo analiza utilizando determiRH2F, muestra en pantalla un mensaje mostrando la probabilidad de la existencia de termitas, escribe también el mensaje en un fichero .log y si se desea guarda también el audio capturado en formato .wav. El programa permanece en funcionamiento hasta que se pulsa la tecla <Enter>.

20 En realidad no calcula una verdadera probabilidad, lo que hace es decidir en función del número de chasquidos detectados, un nivel de "alerta". El nivel de alerta 0% significa que no se han detectado chasquidos, y aumenta de diez en diez por cada incremento en el número de chasquidos que supera un valor predeterminado (chaniv) por el usuario.

Por ejemplo para chaniv = 5, el significado de los niveles es:

```
0%: ningún chasquido detectado
25 10%: 1-5 chasquidos detectados
    20%: 6-10 chasquidos detectados
    30%: 11-15 chasquidos detectados
    40%: 16-20 chasquidos detectados
    50%: 21-25 chasquidos detectados
30 60%: 26-30 chasquidos detectados
    70%: 31-35 chasquidos detectados
    80%: 36-40 chasquidos detectados
    90%: 41-45 chasquidos detectados
    100%: más de 45 chasquidos detectados
```

35 La sintaxis para la ejecución es:

```
vigitermi(tcapt,tciclo,chaniv,fs,wav)
```

Los argumentos de entrada son:

```
tcapt          duración en minutos de la captura de audio.
```

tciclo tiempo en minutos entre captura y captura.

Chaniv nº de chasquidos necesarios para subir un nivel de alerta.

fs frecuencia de muestreo.

5 wav cadena de caracteres que indica si se desea guardar las capturas de audio en ficheros 'audioX.wav'.
'siwav' para guardar y 'nowav' para no hacerlo.

No hay argumentos de salida.

Como ejemplo de uso, para poner en marcha una monitorización que captura audio los 2 últimos minutos de cada hora, con frecuencia de muestreo de 8 KHz y 5 chasquidos por nivel, basta ejecutar:

vigitermi(2, 60, 5, 8000, 'nowav')

10 Se muestra a continuación un ejemplo de la información que aparece en pantalla durante la ejecución:

```
>> vigitermi(2, 60, 5, 8000, 'nowav')
21-Mar-2007 13:40:15 programa iniciado (tcapt=1 min) (tciclo=2 min) (chaniv=5) para detenerlo pulsar <Return>
21-Mar-2007 14:40:15          20% de probabilidad de existencia de termitas
21-Mar-2007 15:40:18          20% de probabilidad de existencia de termitas
15 21-Mar-2007 16:40:18          20% de probabilidad de existencia de termitas
          -
          -
          -
21-Mar-2007 22:40:18          20% de probabilidad de existencia de termitas
20 21-Mar-2007 22:45:35          programa terminado
>>
```

25 Asimismo, el usuario final puede utilizar una herramienta para etiquetar ficheros ".wav" con información referente a termitas, permitiéndole escuchar y marcar las posiciones en que existen chasquidos debidos a termitas. Para ello el programa utiliza la función determiRH2F para detectar posibles chasquidos y permite al usuario reproducir el audio correspondiente al chasquido las veces necesarias para decidir si se trata de una termita. Además de para el etiquetado, el programa es muy útil para comprobar el funcionamiento del algoritmo de detección determiRH2F, porque muestra en pantalla la evolución de la energía RMS de alta frecuencia y los umbrales utilizados en la decisión, como ilustran las Figuras 6A y 6B.

30 En este texto, la palabra "comprende" y sus variantes (como "comprendiendo", etc.) no deben interpretarse de forma excluyente, es decir, no excluyen la posibilidad de que lo descrito incluya otros elementos, pasos etc.

Por otra parte, la invención no está limitada a las realizaciones concretas aquí descritas sino que abarca también las variantes que pueden ser realizadas por el experto medio en la materia (por ejemplo, en cuanto a valores de los parámetros de los algoritmos y dispositivos electrónicos usados en el sistema, etc.), sin salir del alcance de la invención que se desprende de las reivindicaciones incluidas seguidamente.

35

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento de detección de insectos xilófagos que comprende:

- muestrear una señal de sonido captada en una estructura de madera sospechosa de presentar insectos xilófagos para obtener un fragmento digitalizado de audio,

5 **caracterizado porque** adicionalmente comprende:

- calcular una amplitud de señal del fragmento digitalizado de audio en una banda de alta frecuencia (RMSH) y una amplitud de señal del fragmento digitalizado de audio en una banda de baja frecuencia (RMSL),

10 - ejecutar un algoritmo de detección de picos en la amplitud de señal calculada del fragmento digitalizado de audio en una banda de alta frecuencia (RMSH) para obtener todos los instantes de tiempo dentro de una ventana de muestras en la que la amplitud de señal es mayor que la de la muestra inmediatamente anterior y posterior,

15 - entre los instantes de tiempo obtenidos, seleccionar al menos un instante de chasquido en el que, dentro de un determinado intervalo centrado en dicho instante, el número de instantes de tiempo obtenidos cuya amplitud de señal en la banda de alta frecuencia (RMSH) supera un umbral inferior es menor que un límite máximo, y en dicho instante la amplitud de señal en la banda de alta frecuencia (RMSH) es mayor que un umbral superior y mayor que un 50 por ciento de la amplitud de señal en la banda de alta frecuencia (RMSH) en un determinado intervalo;

- asociar los instantes de chasquido seleccionados con una indicación de sonido de xilófago detectado.

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, en el que:

20 - el cálculo de la amplitud de señal del fragmento digitalizado de audio en una banda de alta frecuencia (RMSH) se realiza ejecutando en unos determinados intervalos de muestras consecutivos la Transformada Rápida de Fourier para obtener unos valores de espectro de magnitud y sumando los valores de espectro de magnitud que corresponden a frecuencias superiores a 1700 hercios;

25 - el cálculo de la amplitud de señal del fragmento digitalizado de audio en una banda de baja frecuencia (RMSL) se realiza ejecutando en unos determinados intervalos de muestras consecutivos la Transformada Rápida de Fourier para obtener unos valores de espectro de magnitud y sumando los valores de espectro de magnitud que corresponden a frecuencias superiores a 1700 hercios.

3.- Procedimiento según la reivindicación 2, en el que los intervalos de muestras consecutivos en los que se ejecuta la Transformada Rápida de Fourier están espaciados 3 milisegundos.

30 4.- Procedimiento según la reivindicación 3, en el que los intervalos de muestras en los que se ejecuta la Transformada Rápida de Fourier tienen una longitud igual a la potencia de dos inmediatamente superiores a 3 milisegundos.

35 5.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende adicionalmente un paso de determinar los umbrales inferior y superior usados para seleccionar los instantes de chasquido realizando los siguientes pasos:

- promediar las amplitudes de señal calculadas en la banda de alta frecuencia (RMSH) y en la banda de baja frecuencia (RMSL) dentro de una ventana de muestras;

- dentro de la ventana de muestras, determinar un fragmento silencioso que corresponde al promedio mínimo de la amplitud de señal en la banda de alta frecuencia (RMSH);

40 - calcular una media M_{SIL} y una desviación estándar D_{SIL} de la amplitud de señal en la banda de alta frecuencia (RMSH) en el fragmento silencioso;

- calcular las siguientes fórmulas para obtener el umbral inferior U1 y el umbral superior U2 respectivamente:

$$U1 = M_{SIL} + \alpha_{U1} \cdot D_{SIL}$$

$$U2 = M_{SIL} + \max(\alpha_{U2_dev} \cdot D_{SIL}, \alpha_{U2_rmsl} \cdot RMSL_{m_T})$$

45 siendo α_{U1} , α_{U2_dev} , α_{U2_rmsl} unos parámetros ajustables y $RMSL_{m_T}$ el promedio de la amplitud de señal en la banda de baja frecuencia (RMSL) para un instante T de los instantes de tiempo obtenidos por el algoritmo de detección de picos.

- 6.- Procedimiento según la reivindicación 5, en el que la ventana de muestras en la que se promedian las amplitudes de señal calculadas en la banda de alta frecuencia (RMSH) y en la banda de baja frecuencia (RMSL) tiene una longitud de 33 milisegundos.
- 5 7.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5-6, en el que los parámetros α_{U1} , α_{U2_dev} , α_{U2_rmsl} se ajustan con valores 6, 15 y 0.5 respectivamente.
- 8.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el fragmento digitalizado de audio tiene una duración de 2 minutos y la señal de sonido se muestrea con una frecuencia de 8 kilohercios.
- 10 9.- Programa de ordenador que comprende medios de código de programación adaptados para realizar todos los pasos del procedimiento definido según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 cuando dicho programa se ejecuta en un procesador de señal digital o en un procesador de propósito general.

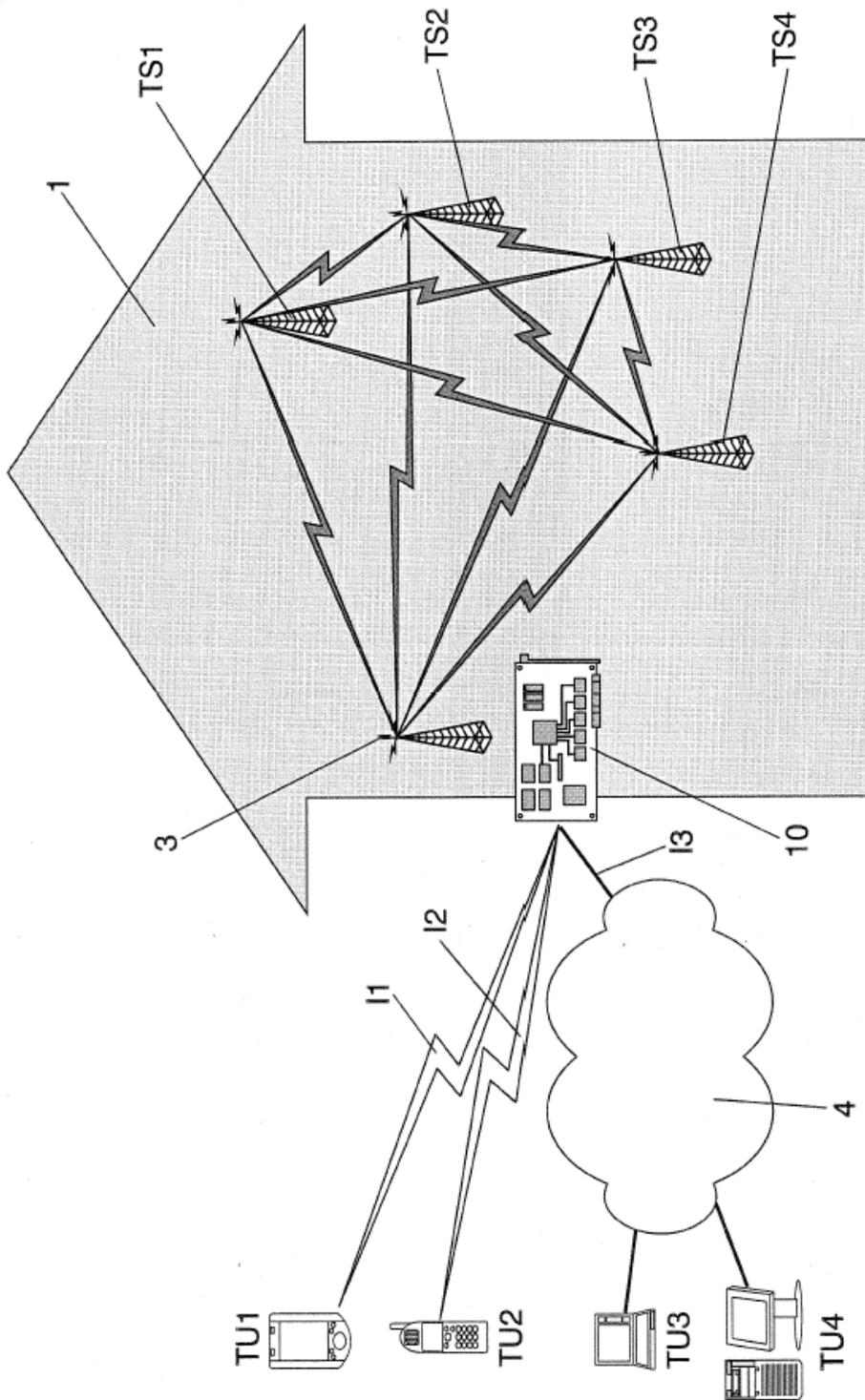


FIG. 1

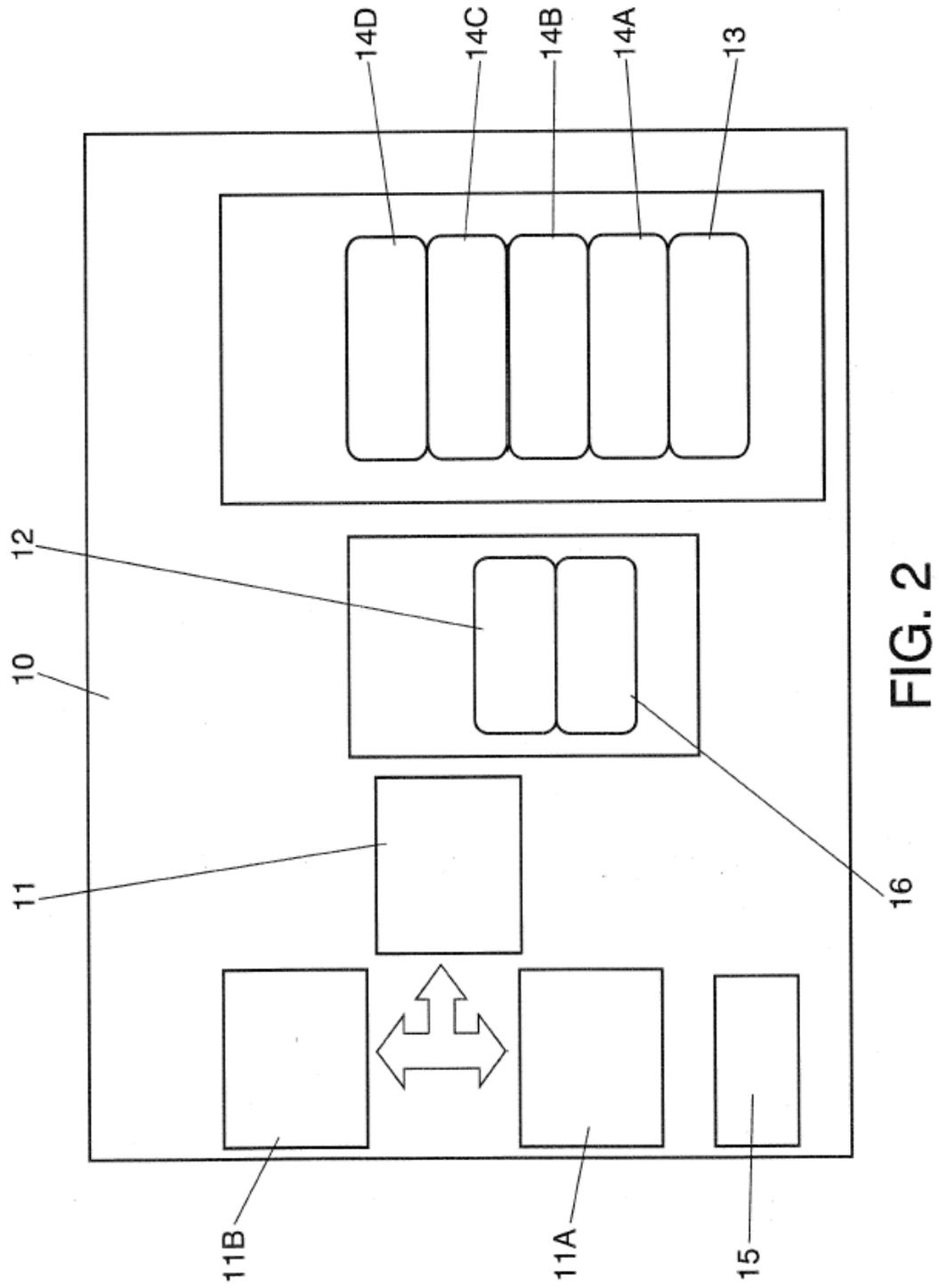


FIG. 2

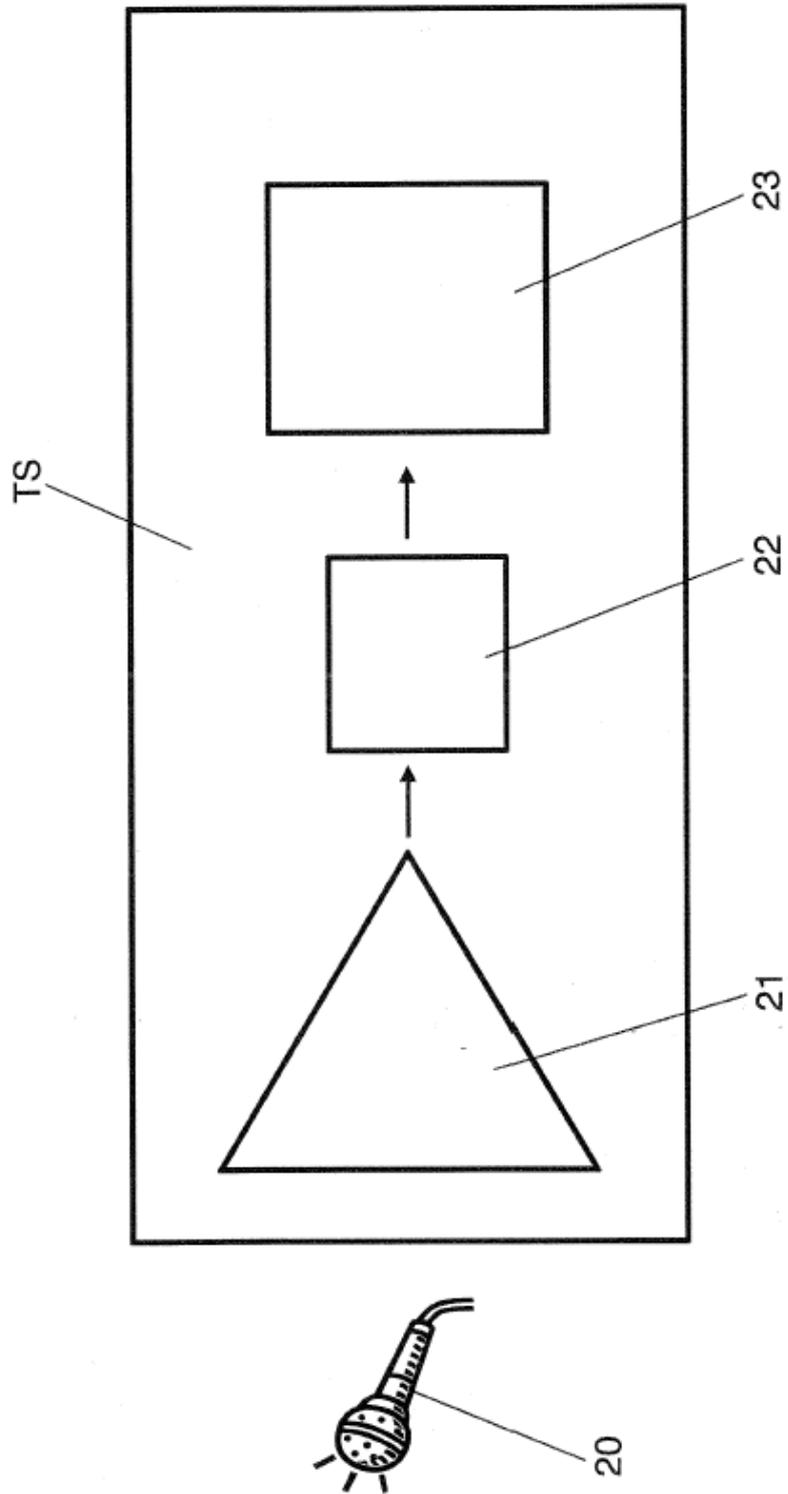


FIG. 3

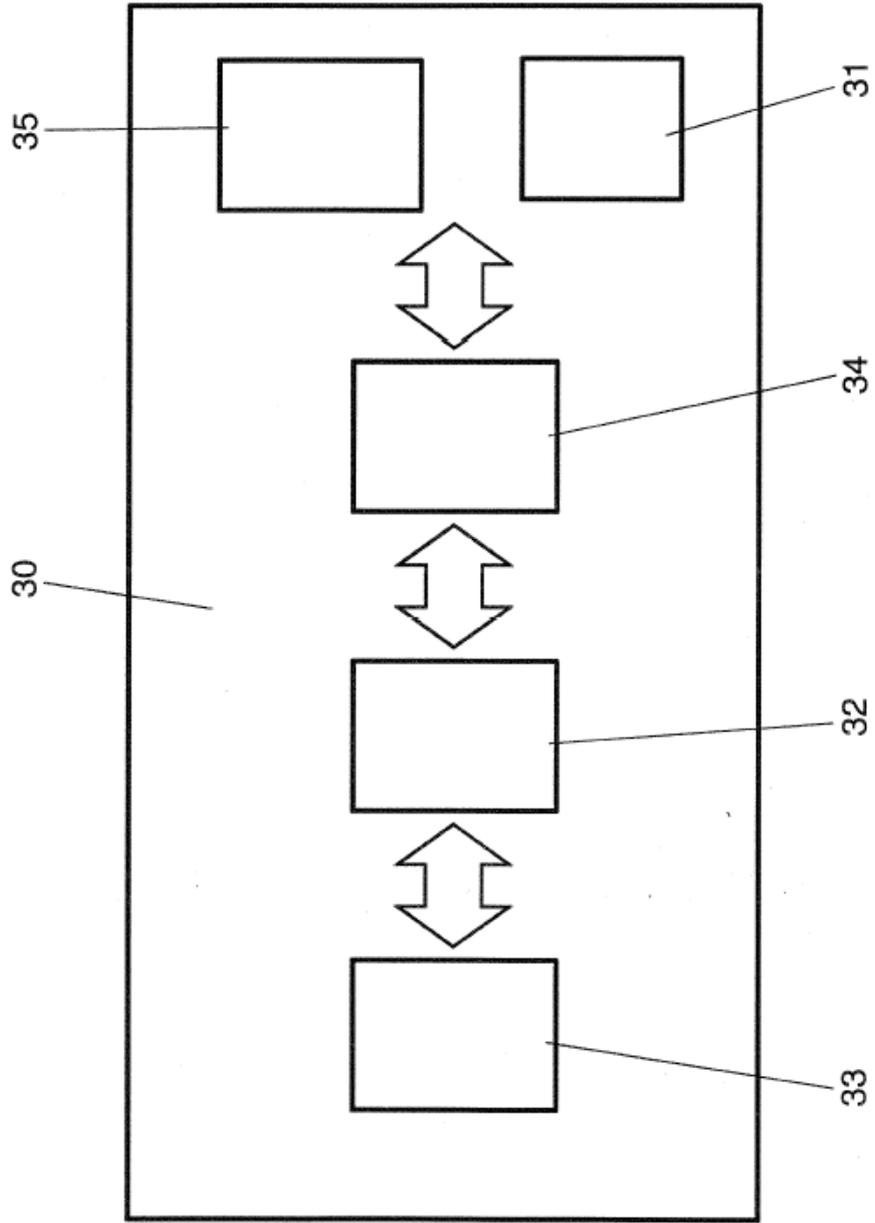


FIG. 4

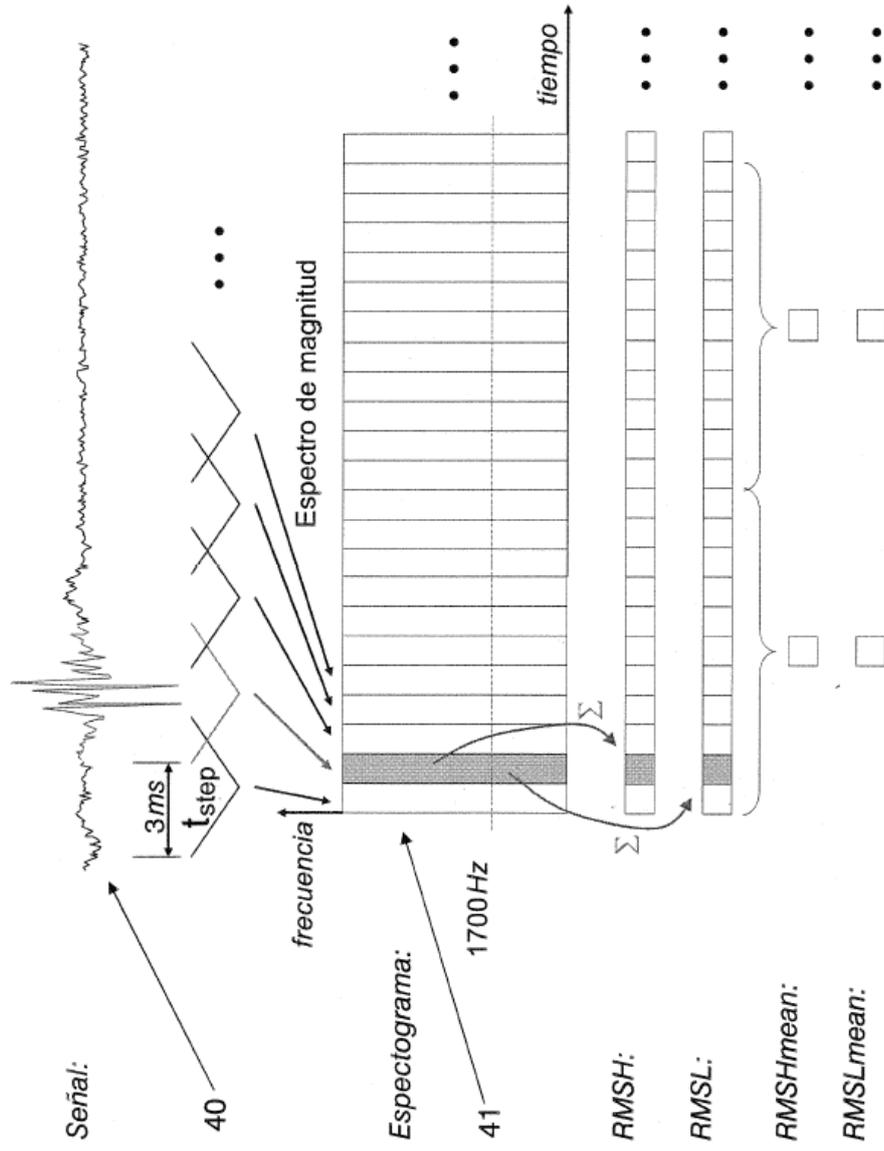


FIG. 5

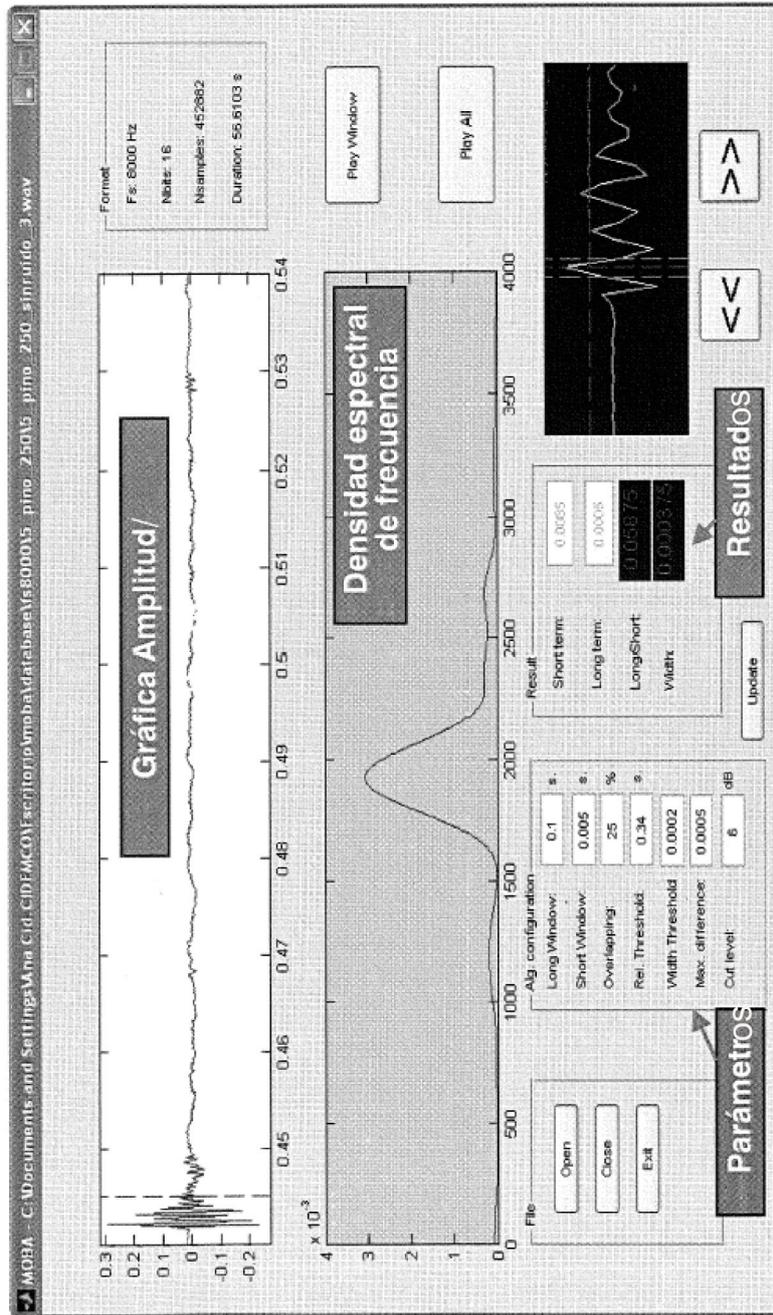


FIG. 6A

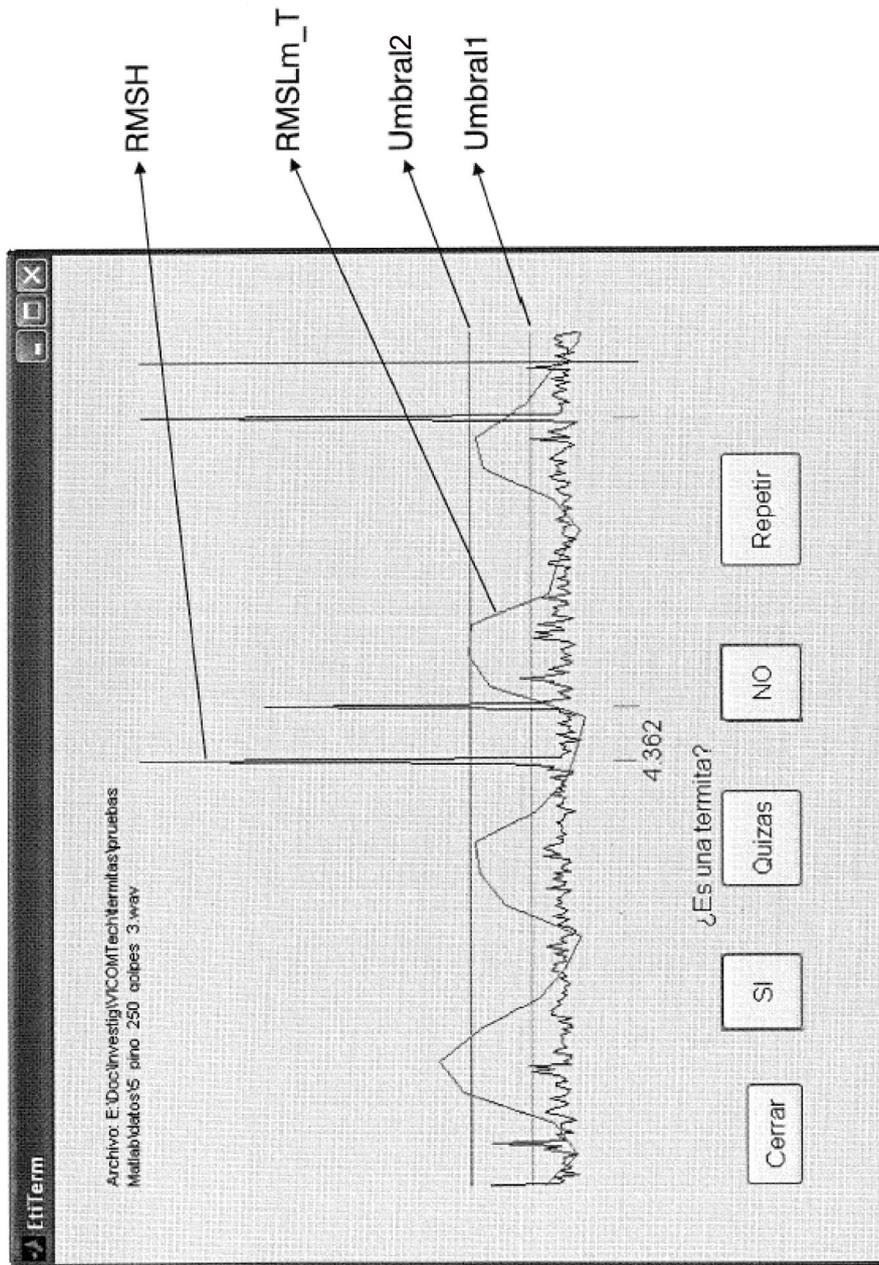


FIG. 6B