



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 271 006**

51 Int. Cl.:
G01N 29/22 (2006.01)
G01N 29/04 (2006.01)
G01N 29/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01929865 .2**
86 Fecha de presentación : **18.05.2001**
87 Número de publicación de la solicitud: **1297331**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **02.04.2003**

54 Título: **Método y aparato para la detección de daños estructurales.**

30 Prioridad: **08.06.2000 GB 0013932**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.04.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.04.2007

73 Titular/es: **BAE Systems plc.**
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es: **O'Brien, Edwin, William y**
Ibbotson, Andrew, Robert

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 271 006 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).

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para la detección de daños estructurales.

5 Esta invención se refiere a un método de detección y vigilancia de daños en una estructura vigilando la energía acústica transmitida dentro de la estructura. La invención se refiere, en adición, a un aparato de vigilancia y detección de daños y a una estructura que incluye una pluralidad de transductores acústicos.

10 Se sabe que el crecimiento de grietas estables en estructuras metálicas debido a la fatiga y corrosión de grietas se produce a causa de un proceso de fragilización lento del material como un resultado de la concentración de tensiones a una corta distancia del extremo de la grieta. Este es seguido por el avance de la grieta a una zona limítrofe en una serie de eventos de microfracturas transgranulares o intergranulares discretos, siendo detenido el avance en la zona limítrofe por material duro no degradado. Este ciclo se repite entonces. Los eventos de microfracturas son de naturaleza explosiva, aquellos que se producen en aleaciones de acero y aluminio ocurren típicamente con una velocidad media comprendida en el intervalo de 250 a 500 metros por segundo.

15 Las estructuras en las que las fracturas de esta clase son un problema particular incluyen instalaciones de gas y petróleo submarinas, aeronaves y recipientes de presión. La invención tiene aplicación primaria en estructuras metálicas en esos campos técnicos, pero no está limitada por el campo de aplicación ni por el material usado.

20 Los solicitantes reconocen que el desarrollo de grietas, como se describe anteriormente, produce energía ultrasónica de banda ancha (emisiones acústicas) dentro de la estructura que puede ser detectada usando transductores. El margen de detección de los impulsos acústicos depende de factores tales como del espesor del material, forma del componente, medio fluido que lo rodea e interferencia del ruido de fondo.

25 Un objeto de esta invención es proporcionar un método que facilite la detección y/o localización de lugares dañados de un margen de tamaños.

30 Según un primer aspecto de esta invención, un método de detección y vigilancia de daños en una estructura comprende recibir continuamente a lo largo de un periodo de tiempo señales eléctricas de una pluralidad de transductores acústicos transportados por la estructura; y en un procesador de impulsos.

(a) configurar impulsos de representaciones digitales de las señales eléctricas para configurar descargas de datos,

35 (b) seleccionar descargas de datos que se producen en un intervalo de tiempo predeterminado para configurar un grupo de descargas de datos,

40 (c) derivar para cada una de las descargas de datos seleccionadas, valores de incremento de t que representan las diferencias entre los tiempos de ocurrencia de los impulsos representados por las descargas de datos seleccionadas en los grupos, los valores de incremento de t que constituyen un modelo de incremento de t, y

(d) general una señal de indicación de evento significativo cuando el modelo de incremento de tiempo se repite con un grado predeterminado en diferentes grupos de descargas de datos seleccionadas.

45 Según un segundo aspecto de la invención, el aparato que se usa en la detección y vigilancia de daños en una estructura comprende: una pluralidad de transductores acústicos para ser montados sobre una estructura que ha de ser vigilada; una etapa de acondicionamiento de la señal acoplada a los transductores y dispuesta para derivar impulsos correspondientes a los eventos acústicos detectados por los transductores; y una unidad de procesador de impulsos que comprende una etapa de convertidor analógico digital (ADC) acoplado a la etapa de acondicionamiento de la señal y una etapa de tratamiento de la señal digital que incluye: (a) medios numéricos para digitalizar impulsos de señales recibidas para configurar descargas de datos, (b) medios de selección configurados para seleccionar descargas de datos para formar un grupo de descargas de datos que emana de las señales recibidas de diferentes transductores en una ventana de tiempos respectiva, (c) medios dispuestos para derivar, para cada una de las descargas de datos seleccionada, valores de los incrementos de t que representen las diferencias entre los tiempos de ocurrencia de las descargas de datos en el grupo, formando los valores de incremento de t un modelo de incremento de t, y (d) un correlacionador dispuesto para generar una señal de indicación de evento significativo cuando el modelo de incremento de t se repite en un grado predeterminado en diferentes grupos.

50 La invención incluye también una estructura que es vigilada en cuanto a daños debidos a una carga cíclica, en la que la estructura comprende una pluralidad de miembros estructurales, una pluralidad de grupos de transductores acústicos, montado cada grupo sobre un respectivo miembro estructural, y una unidad de tratamiento de señales acoplada a los transductores y dispuesta para detectar grupos de descargas de datos que comprenden impulsos que representan una descarga de datos en señales recibidas de los respectivos transductores de uno de los grupos de transductores durante un intervalo de tiempo de muestreo, y para derivar, para cada una de las descargas de datos, información de regulación con relación a los tiempos de llegada de los impulsos que forman el grupo, comprendiendo además la unidad de tratamiento de señales un correlacionador dispuesto para generar una señal de indicación de evento significativo cuando el modelo de regulación se repite en un grado predeterminado en diferentes grupos de dicho grupo de transductores.

ES 2 271 006 T3

La unidad de tratamiento está configurada para tener una pluralidad de canales, manipulando cada canal señales de un transductor respectivo.

5 Cada grupo de descargas de datos se compone típicamente de descargas de datos en diferentes respectivos canales de la unidad los cuales se producen dentro de una ventana de tiempo respectiva, datos continuos que se adquieren durante largos periodos de tiempo, típicamente del orden de horas a varios meses, durante los cuales se reciben descargas continuamente desde ventanas de tiempo consecutivas o solapadas. Dependiendo de la naturaleza de la estructura y la carga bajo la cual están colocados, los eventos acústicos significativos importantes debidos, por ejemplo, al crecimiento de una grieta puede ocurrir solamente una vez en millones de ventanas de descarga de datos, siendo las causas típicas las condiciones de temperatura extremas en el caso de una torre de perforación de petróleo, o ciertos eventos de elevada carga durante el vuelo de una aeronave (por ejemplo despegue y aterrizaje, o turbulencia).

15 Los daños, que incluyen fracturas o grietas en estructuras metálicas y fisuración en estructuras de materiales compuestos invariablemente dan lugar a estos eventos acústicos significativos que el método y el aparato según la invención tratan de detectar e indicar con una denominada señal de indicación de evento significativo.

20 La capacidad para detectar y vigilar lugares de crecimiento de grietas de un amplio margen de tamaños y de diferentes intensidades de emisión acústica mejora si los grupos de datos de descarga se correlacionan usando una filtración en tiempo real a través de un filtro primario con un primer conjunto de características seleccionadas para detectar nuevas fracturas, y filtros secundarios que están creados de modo personalizado con un segundo conjunto de características para vigilar fracturas que hayan sido detectadas usando el filtro primario. Las características de los filtros secundarios se establecen de acuerdo con las características de los grupos de datos descargados que emanan de estas fracturas detectadas. Tales grupos son entonces derivados desde el filtro primario para que en vez de ser tratados en el filtro primario lo sean en el filtro secundario. Esto permite, por ejemplo, que lugares de daños de intensidad alta y baja sean vigilados simultáneamente sin pérdida sustancial de datos debida a causas tales como el desbordamiento de la capacidad de almacenamiento o la capacidad de tratamiento.

25 Otras características preferidas están contenidas en las reivindicaciones dependientes que acompañan a esta descripción.

30 La invención se describirá ahora a modo de ejemplo con referencia a los dibujos en los cuales:

35 la figura 1 es un diagrama que muestra un miembro estructural que es portador de una pluralidad de transductores acústicos;

la figura 2 es un diagrama de bloques del aparato de detección de daños de múltiples canales de acuerdo con la invención;

40 la figura 3 es un diagrama de la forma de onda que muestra un impulso típico de un transductor acústico debido a un evento de fractura en el miembro estructural;

la figura 4 es un diagrama de forma de onda compuesto de la señal de salida de un amplificador logarítmico en un canal del aparato cuando es alimentado con un impulso tal como el mostrado en la figura 3;

45 la figura 5 es un diagrama de la forma de onda que ilustra la digitalización de la forma de onda de salida mostrada en la figura 4;

50 la figura 6 es una representación esquemática de descriptores de impulsos almacenados como pilas de datos en un separador FIFO que forma parte del aparato de la figura 2;

la figura 7 es un diagrama que ilustra modelos de regulación típicos de las descargas de datos que se producen en diferentes canales del aparato de la figura 2;

55 la figura 8 es un gráfico de perfil de amplitud;

la figura 9 es una representación en perspectiva de una matriz de diferencias de tiempo (incremento de t) formada en la RAM en el aparato de la figura 2; y

60 la figura 10 es una representación esquemática de la derivación de un filtro hijo del filtro primario formada por la matriz mostrada en la figura 9; y

Haciendo referencia a la figura 1, se considera una estructura 10 plana simple que tiene un orificio 12 de perno. Cuando la estructura se carga, el orificio 12 de perno produce una concentración de tensiones que puede dar lugar a una grieta 14. Típicamente ese tipo de grieta se forma cuando el miembro 10 es sometido a una carga cíclica. La grieta crece ante una serie de eventos de fractura microscópicos en o cerca de los picos en la carga aplicada. Cada evento de fractura constituye una rotura en el material quebradizo que libera energía acústica en la estructura en la forma de un impulso de banda ancha que tiene una frecuencia que cubre una banda de 20 kHz a varios MHz. La energía acústica liberada en cada evento de fractura se propaga a través del miembro estructural 10, y puede ser representada

ES 2 271 006 T3

por frentes 16 de onda que se extienden que se extienden hacia fuera a través del miembro de una manera análoga a las ondulaciones concéntricas en una laguna.

5 En esta realización, el miembro estructural 10 es portador de tres transductores acústicos 18 ligados a la superficie del miembro 10 para recibir señales acústicas que se han desplazado a través del miembro 10 desde la fuente de la energía. Se ha de tener en cuenta que los transductores 18 están en lugares espaciados entre sí. En el caso general, por lo tanto, cada uno está a una distancia diferente del extremo de la grieta de modo que la energía acústica debida a un evento de fractura alcanzará cada sensor en un instante diferente. La medición de los instantes de llegada de un armónico acústico ofrece unos medios de identificación de una fractura y de definición del lugar del extremo de la grieta usando cálculos trigonométricos basados en los instantes relativos de llegada.

15 Se apreciará que en una situación práctica tal como sobre una aeronave, los impulsos de salida de los transductores o paquetes de ondas correspondientes a la energía acústica de un evento de fractura estarán acompañados por ruido de fondo general procedente de fuentes mecánicas y eléctricas tales como bombas, accionadores y similares.

20 Los transductores en este ejemplo son sensores piezoeléctricos que tienen una frecuencia resonante en el intervalo de 20 kHz a 2 MHz. Para estructuras de aluminio, se ha hallado que una frecuencia resonante en la región de 300 kHz es adecuada. Para materiales compuestos reforzados con acero y fibra, se prefiere una menor frecuencia, por ejemplo, en el margen de 50 a 150 kHz. Se deduce que las señales eléctricas alimentadas por medio de cables 20 desde los transductores 18 debidas a eventos de fracturas tienen la forma de paquetes de ondas con una frecuencia fundamental igual a la frecuencia resonante de los sensores.

25 El aparato preferido de acuerdo con la invención se ilustra en forma de diagrama de bloques en la figura 2. Haciendo referencia a la figura 2, el aparato tiene un gran número N de canales, (1) a (N), teniendo cada uno: un transductor 18, una unidad preamplificadora 22 acoplada a y situada físicamente dentro de unos pocos metros del transductor 18 y, acoplada a la salida del preamplificador 22, una etapa 24 de acondicionamiento de la señal en la forma de un amplificador logarítmico de rectificación. En cada canal el amplificador logarítmico alimenta un canal de una unidad procesadora de impulsos que tiene un convertidor (ADC) 26 analógico digital y una FPGA Ordenación de Puertas Programables de Campo. Estos, junto con una memoria 30 (FIFO), primero que entra primero que sale, común a todos los canales N, constituye la primera parte de una unidad procesadora de impulsos para procesar representaciones digitales de los impulsos obtenidos de los transductores 18 para formar descargas de que permiten aislar dichas descargas de datos que representan los impulsos correspondientes a eventos de fractura en el miembro estructural. En este ejemplo, las etapas 24 de acondicionamiento de la señal, los ADCs 26, las FPGAs 28 y la memoria 30 FIFO están todas contenidas en un módulo 32 de tratamiento de señales en tiempo real que tiene una entrada 34 de regulación que proporciona una regulación común a todos los canales N, y una salida 36 de datos para la conexión a la parte remanente de la unidad procesadora de impulsos en la forma de un procesador 38 de datos.

35 Para seguir el paso de señales desde los transductores 18 a la salida 36 desde la memoria FIFO 30, las señales de cada transductor 18 son alimentadas a un respectivo preamplificador 22. Un impulso correspondiente a un evento de fractura tiene típicamente la forma de un paquete de ondas como el mostrado en la figura 3. Cada preamplificador 22 tiene filtración para definir una banda de paso que contiene la frecuencia resonante del transductor 18 que, en este ejemplo es de 300 kHz. La etapa 24 de acondicionamiento de la señal amplifica además los paquetes de onda y, en adición a proporcionar una representación logarítmica de la amplitud de la señal entrante, rectifica la señal y produce una salida suavizada que sigue los picos de la forma de onda rectificadas, como se muestra en la figura 4. Se ha de tener en cuenta que la figura 4 es un diagrama de forma de onda compuesto en el sentido de que muestra, en primer lugar, la forma de onda de 300 kHz rectificadas, así como la de la señal de salida suavizada que, como se muestra mediante la ampliación en la figura 4, es una envolvente de la forma de onda que sigue los picos de 300 kHz.

50 Seguidamente, la forma de onda envolvente procedente de la etapa 24 de acondicionamiento de la señal se hace pasar al ADC 26 que muestrea la envolvente de la descarga de la manera mostrada en la figura 5 para producir una representación digital que se procesa en la FPGA 28. La salida de la FPGA 28 ejecuta la extracción de las características de descarga para cada descarga recibida que exceda en amplitud el umbral A_{th} . Las características extraídas son:

55 T_{START} (el momento de inicio definido como el instante en el que la descarga cruza el umbral A_{th})

T_{PEAK} (el instante en que se produce la amplitud de descarga del pico)

60 T_{END} (el instante de terminación de la descarga. Definido solamente después de que la amplitud de la descarga ha permanecido por debajo de A_{th} durante un periodo T_{WAIT} definido por un usuario (típicamente 500 μs))

Amplitud de Pico

65 Área de la Envolvente

T_R (tiempo de elevación = $T_{PEAK} - T_{START}$)

ES 2 271 006 T3

T_D (duración de la descarga = $T_{END} - T_{START}$)

Hay que tener en cuenta que T_{END} se registra solamente si, durante un periodo T_{WAIT} adicional definido por el usuario, típicamente $500 \mu s$, la amplitud de la descarga permanece por debajo de A_{th} .

5

Las características extraídas constituyen un descriptor de descarga para cada descarga, que es alimentado a la memoria FIFO 30 que actúa como una memoria intermedia para el posterior tratamiento efectuado por la unidad 38 de tratamiento de datos.

10

La organización de las pilas FIFO se muestra en la figura 6. Las características T_{START} , etc. extraídas, para cada uno de los N canales son almacenadas para cada descarga en cada canal, como se muestra. En un instante cualquiera, se almacenan M descargas de cada canal.

15

El tratamiento de los descriptores de impulsos almacenados por la unidad 38 de tratamiento de datos continúa en dos etapas principales. En primer lugar, grupos de descargas tales como las de los canales (1) y (4) son sometidas a un procedimiento preliminar de validación de la descarga para definir un grupo de descargas de datos que tienen características apropiadas para representar los mismos eventos de fractura en el miembro estructural correspondiente al respectivo grupo de transductores. Este grupo de descargas de datos se analiza entonces mejor durante un largo periodo de tiempo para identificar repeticiones de un particular modelo de incremento de t , comprendiendo cada uno de tales modelos valores de la diferencia de tiempo entre impulsos dentro del grupo en una segunda etapa para garantizar que la descarga de datos en el grupo de descargas de datos se originó desde el mismo evento de fractura para crear una descarga de datos validada.

20

25

Los datos almacenados en el separador FIFO 30 proporcionan un registro de las descargas recibidas por los transductores 18 durante un corto periodo de tiempo, como se muestra en la figura 7. Estos datos son actualizados constantemente a medida que se reciben nuevas descargas, y el tamaño de la memoria FIFO 30 es suficiente para permitir el procedimiento de validación de las descargas preliminares por la unidad 38 de tratamiento de datos de los datos almacenados antes de que sean sobrepuestos por los nuevos datos. La figura 7 muestra una secuencia típica de descargas de 24 transductores 18. Cada barra en el gráfico indica datos almacenados en la memoria FIFO 30 como características extraídas de un impulso respectivo. En este ejemplo, los canales (1) y (4) corresponden al primer grupo de cuatro transductores 18, los canales (5) a (11) a unos siete transductores más, los canales (12) a (16) a un grupo más de cuatro transductores. Los otros canales en este ejemplo no se usan. Cada grupo de transductores 18 se monta en un respectivo miembro estructural. Tomando los canales (1) y (4), se verá que durante el intervalo de tiempo representado por el gráfico en este instante particular, los intervalos son típicamente de $400 \mu s$ de longitud, el primer evento que puede corresponder a una fractura ocurre en el canal (1). Para el primer grupo, por lo tanto de transductores 18, suponiendo que la diferencia de tiempo máxima entre el primero y el último evento en el grupo se establezca en $400 \mu s$, hay más descargas que se producen a, respectivamente, 35 , 110 y $220 \mu s$ después de la primera descarga. En el caso general, estas diferencias de tiempo son designadas Δt_1 , Δt_2 y Δt_3 , como se muestra en la figura 7. Por tanto, se ha formado un grupo de descargas de datos que probablemente representa el mismo evento de fractura.

30

35

40

El tratamiento posterior se efectúa en la unidad 38 de tratamiento de datos. La unidad 38 de tratamiento comprende una CPU 40, una RAM 41 asociada, una unidad 42 de almacenamiento de disco para el almacenamiento no volátil de datos y una interfaz 43 de comunicaciones que suministra mensajes a una salida 44 de comunicaciones que permite la notificación de eventos detectados significativos y que permite confirmar el funcionamiento del sistema. Tales comunicaciones pueden tener lugar en forma de correo electrónico transmitido por un enlace de radio tal como un enlace de teléfono celular en el caso de vigilancia de una estructura remota. Este enlace es preferiblemente bidireccional para que permita la configuración del sistema.

45

50

La CPU 40 está programada para evaluar los descriptores de descarga correspondientes a las descargas en cada grupo de canales (1) a (4), (5) a (8), etc., en una ventana de tiempos que se mueve, que puede ser típicamente de 32 o $64 m$ de longitud. Cuando un mínimo número de descargas (por ejemplo 2, 3 ó 4 que depende de la geometría de la estructura que se vigila) de transductores respectivos diferentes tiene lugar dentro de la ventana, el grupo correspondiente de descriptores de descarga se define en términos de incremento t . Para explicarlo con referencia a la figura 7, los valores de incremento de t son medidos, como se ha mencionado anteriormente, para los canales (1) a (4) como $\Delta t_1 = 35 \mu s$, $\Delta t_2 = 110 \mu s$ y $\Delta t_3 = 220 \mu s$. Una condición más se impone entonces, la cual es que el valor máximo de incremento de t no debe ser mayor que un intervalo de tiempo predeterminado, en este caso $400 \mu s$.

55

El análisis del grupo de descargas de datos se inicia entonces.

60

Una condición aplicada adicional es una condición de amplitud. Dependiendo de la naturaleza de la estructura y colocación de los transductores pueden esperarse descargas sucesivas desde los diferentes transductores de un grupo debidas a un evento de fractura para configurar un margen predeterminado de perfiles de amplitud debidos a la amortiguación de la energía acústica con la distancia creciente desde la fuente. Por tanto, es posible aplicar una condición de amplitud para las descargas tal como un perfil de amplitud de amortiguación (amortiguación con la distancia creciente) como se muestra en la figura 8. En este ejemplo se muestran descargas que ocurren en los canales (1), (2), (3) y (4) trazadas sobre la base de amplitud en función del tiempo. Estableciendo curvas 50, 51 de umbral de amplitud más alta y más baja, como se muestra, las descargas pueden ser aceptadas como que satisfaciendo la condición de amplitud que proporciona la caída de las amplitudes de descarga entre las curvas. Se ha de tener en cuenta que pueden

65

ES 2 271 006 T3

ser especificados perfiles de amplitud alternativos. Pueden ser usados datos no acústicos para restringir la validación de descargas o generación de sistemas en episodios durante los cuales es probable que haya daños.

Habiendo realizado los procedimientos de selección anteriores, el grupo de descargas en los canales (1) a (4) se define como una descarga de datos validada. El procedimiento anterior descrito sucede en tiempo real. Cada descarga de datos validada es almacenada como un descriptor de descarga en la RAM 41, teniendo el descriptor de descarga los siguientes elementos.

- Fecha

- Hora

- Grupo Transductor

- Orden de recepción (orden en que los transductores reciben los impulsos)

- Amplitudes (una por canal)

- Valores de incremento de t (uno por canal)

- Veces que se Eleva la Descarga

- Duración de la Descarga (una por canal)

- NAD (datos no acústicos)

- Área de Descarga (energía)

Estos descriptors de descarga se almacenan durante un tiempo limitado en la RAM 41, y son solamente guardados más tiempo si las descargas importantes pasan a través de una etapa de tratamiento adicional que se describirá más adelante. Los datos no acústicos se componen típicamente de parámetros medioambientales tales como carga de estructura concurrente, deformación, y mediciones de la temperatura.

La etapa siguiente del tratamiento en la unidad 38 de tratamiento de datos es un procedimiento de filtración que comprende incrementar una matriz de incrementos de t configurada en la RAM 41. Haciendo referencia a la figura 9 que muestra una matriz 60 bidimensional como la base de un filtro de diferencias de tiempo, la matriz se extiende un valor de incremento de tiempo máximo (Δt_{MAX}) en cada dimensión, correspondiente al máximo intervalo permitido entre los impulsos primero y último de una descarga validada. La matriz 60 está dividida en celdas, determinando la densidad de las celdas la resolución de la diferencia de tiempos. Por tanto, la matriz tiene un tamaño de grano predeterminado en cada dimensión. Cada una de las celdas corresponde a un valor particular de Δt_1 y Δt_2 . Cada descarga validada incrementa la celda correspondiente con los valores de Δt_1 y Δt_2 para esa descarga. Si, por lo tanto, a lo largo de un periodo de tiempo, se reciben descargas validadas que tienen los mismos valores de Δt_1 y Δt_2 , la celda correspondiente adquiere un valor más alto que el de otras celdas. Estableciendo un valor umbral de celda que cubre al menos una porción de la matriz, es posible, por lo tanto detectar la repetición de descargas con retardos correspondientes entre descargas. Estas descargas son las que más probablemente representan un evento de fractura, puesto que progresivas microfracturas, como se ha descrito anteriormente dan lugar a descargas transitorias acústicas sucesivas que emanan del mismo punto o de un punto que se mueve lentamente sobre el miembro estructural respectivo. Los valores de las celdas son indicados en la representación esquemática de la figura 9 como proyecciones por encima de un plano de base. La proyección 62 representa una grieta de alta intensidad, y los picos vecinos de menor amplitud pueden representar grietas subsidiarias asociadas o la llegada de diferentes modos de onda o variaciones sincronizadas resultantes de variaciones en la amplitud de las señales de la descarga. Pequeñas proyecciones, tales como las indicadas en 64 son tratadas como ruido de fondo como se indica. Preferiblemente, un incremento general no deseado en los valores de las celdas a través de la matriz completa debido al ruido se elimina reduciendo todas las celdas periódicamente de modo que solamente las celdas incrementadas más rápidamente alcanzan el umbral del valor de celda predeterminado.

El umbral del valor de la celda puede ser visto como un plano dispuesto por encima y paralelo al plano 60 de base mostrado en la figura 9.

Cuando una celda de la matriz 60 alcanza el umbral del valor de la celda, el descriptor de descargas de al menos una de las descargas que originan el umbral del valor de la celda (preferiblemente solamente la más reciente de tales descargas) se almacena en un almacenamiento no volátil. Esta representa una señal de indicación de evento significativo; denominado un registro de señal de descarga. El valor de la celda se devuelve entonces a cero.

La sensibilidad del filtro representado por la matriz 60 es dependiente de su umbral 66 y del tamaño de grano. El umbral necesita ser mantenido en un valor relativamente bajo para que permita la identificación de más eventos significativos después de que introduzcan la matriz. Haciendo referencia a la figura 10, para evitar el enmascaramiento

ES 2 271 006 T3

de nuevos eventos significativos por el exceso de datos procedentes del evento significativo identificado anteriormente (representado por el valor 62 de celda), el sistema se configura para crear una denominada matriz 70 hija. Esta puede ser configurada dinámica y automáticamente o en respuesta a la intervención del usuario. Como la matriz 60 (denominada en esta memoria en adelante matriz primaria), es una matriz de diferencia de tiempos con un margen de los valores de diferencia de tiempos (incremento de t) correspondiente a una pequeña porción de la matriz primaria 60. Esta porción es la porción que contiene la celda cuyo valor ha alcanzado el umbral 66. La matriz hija 70 tiene típicamente un valor umbral 72 más alto y su propio tamaño de grano (resolución) calculado para producir una disminución plegada de 10 a 100 en el régimen de datos debido a la fractura identificada. Esto es aceptable porque, eficazmente, el evento significativo ha sido reconocido y puede ser eliminado del conjunto de datos almacenado, reduciendo de ese modo el volumen de los datos almacenados. La detección de más eventos significativos puede consecuentemente ser mejorada mientras la vigilancia del evento primero identificado continúa usando el filtro hijo o la matriz hija 70.

Matrices o filtros hijos similares pueden ser formados a partir la matriz primaria en diferentes lugares de incremento de t , como se ha indicado, por ejemplo, mediante las porciones 76, 78 en la figura 10.

Como ocurre en el caso de la matriz primaria 60, la CPU puede configurar un decremento periódico a través de toda la matriz hija 70 (disminuyendo cada celda en el valor 1) para suprimir ruido.

Una vez configurada la matriz hija 70, los descriptores de las descargas con los valores de incremento de t correspondientes son dirigidos a la matriz hija 70 en lugar de a la matriz primaria 60, en la que son sometidos a una característica de filtración diferente debida al mayor umbral 72. La creación automática de la matriz hija puede ser lograda, por ejemplo, vigilando el régimen de incremento de valor de las celdas o configurando una tabla con las órdenes que originen descargas para cada celda con el tiempo. Por tanto, en combinación con, o separadamente de, la vigilancia de incremento de t , pueden ser usadas descargas validadas que tengan una secuencia común (de impulsos) “que coincida” en términos del orden en que los transductores producen impulsos para configurar las descargas, que generen un recuento de coincidencias dentro de un periodo. Un recuento de aciertos puede ser calculado también dividiendo el número de aciertos por el periodo en el que son obtenidos. La creación automática de la matriz hija puede ser disparada cuando el régimen de cruces del umbral en una celda excede una unidad predeterminada, teniendo en cuenta que todos los valores de celda son disminuidos periódicamente para reducir el ruido. Dependiendo del modelo de las descargas validadas obtenido cuando el aparato se usa para vigilar una estructura particular, los descriptores de descarga pueden ser usados de estos modos diferentes, es decir no usando necesariamente un umbral del valor de celda, para conseguir el aislamiento eficaz de eventos de fractura significativos. Estos pueden ser considerados como variaciones que tratan de conseguir el mejor comportamiento para una capacidad dada de proceso y almacenamiento.

Un refinamiento en la derivación de valores de incremento de t es la utilización de no solamente los bordes delanteros (representados por T_{START}) de los impulsos procesados por el convertidor A-D 26 (véanse las figuras 2 y 5), sino también los tiempos pico (T_{PEAK}) para los impulsos de mayor amplitud en intervalos de tiempo preferidos. En el sistema preferido la sincronización del borde delantero y el pico se efectúan simultáneamente. La sincronización del borde delantero se prefiere a causa de su mayor exactitud, pero en la presencia de un ruido de fondo incrementado, la sincronización de pico proporciona una correlación de la fuente alternativa. La matriz primaria 60 (como se muestra en las figuras 9 y 10) puede ser dividida en dos triángulos por una línea diagonal 80 entre esquinas opuestas, siendo incrementadas las celdas en un área triangular mediante datos basados en valores de incremento de t de borde delantero, y siendo incrementada la otra área triangular en base a los valores de incremento de t calculados a partir de sincronizaciones de pico.

El aparato preferido de acuerdo con la invención tiene suficiente potencia de tratamiento y recursos de memoria para crear varias matrices primarias tanto para la sincronización de borde delantero como para la de incremento de tiempo de pico, y para crear varias matrices hijas o filtros secundarios a partir de cada una de tales matrices o filtros primarios. Esto permite que varios diferentes miembros estructurales o estructuras sean vigilados en paralelo.

Como se ha mencionado anteriormente con referencia a la figura 2, el aparato permite la comunicación de datos de defectos a un lugar remoto. Típicamente, se produce un mensaje cuando una matriz hija se configura o usa primero, siendo transmitidos tales mensajes por medio de un módem o Internet. Adicionalmente, el aparato preferido proporciona una conexión para la integración del aparato en una red de área local (LAN) para la transferencia de alta velocidad de datos en tiempo real. De esta manera, es posible que se pueda acceder en diversos lugares a la información producida por el aparato.

REIVINDICACIONES

1. Un método de detección y vigilancia de daños en una estructura que comprende:

5 recibir continuamente durante un periodo de tiempo señales eléctricas procedentes de una pluralidad de transductores acústicos, transportados por la estructura, configurados para recibir emisiones acústicas de la estructura cuando la estructura está sometida a tensiones; y un procesador de impulsos, para

10 (a) configurar representaciones digitales de impulsos de señales eléctricas para configurar descargas de datos,

(b) seleccionar descargas de datos que se producen en una ventana de tiempos predeterminada para formar un grupo de descargas de datos,

15 (c) derivar para cada una de las descargas de datos seleccionadas, valores de incremento de t que representan las diferencias entre las veces que se producen los impulsos representados por las descargas de datos seleccionadas en el grupo, formando los valores de incremento de t un modelo de incrementos de t , y

20 (d) generar una señal de indicación de evento significativo cuando el modelo de incremento de t se repite en un grado predeterminado en diferentes grupos de descargas de datos seleccionadas.

2. Un método según la reivindicación 1, en el que la operación de generar una señal de indicación de daños incluye la filtración de valores de incremento de t en una operación de filtración primaria que tiene un primer valor de parámetros de filtro, comprendiendo el método además derivar un segundo valor de parámetros de filtro diseñado con las características de al menos uno de los grupos de descargas de datos que dan lugar a la señal de indicación de evento significativo y que somete grupos correspondientes posteriores de descargas de datos a una segunda operación de filtración en lugar de a la operación de filtración primaria mientras se continúa sometiendo otras descargas entrantes a la operación de filtración primaria para continuar la configuración de grupos de descargas de datos para la detección de más modelos de incremento de t repetidos, teniendo la operación de filtración secundaria dichos segundos valores de los parámetros de filtro.

3. Un método según la reivindicación 2, en el que los valores de los parámetros de los filtros primero y segundo son umbrales de recuento, siendo el primer valor de parámetros de filtro un umbral de recuento inferior que el valor de los parámetros de filtro secundario.

35 4. Un método según las reivindicaciones 2 ó 3, en el que los grupos de descargas de datos sometidos a la operación de filtración secundaria son aquellos que tienen un modelo de incremento de t sustancialmente correspondiente a aquellos grupos que dan lugar a una señal de indicación de evento significativo.

40 5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, que comprende además derivar un segundo valor de parámetro de filtro adicional respectivamente diseñado con las características de los grupos de datos descargados que dan lugar a cada sucesiva señal de indicación de evento significativo, y someter las descargas correspondientes posteriores a operaciones de filtración secundarias que tienen respectivos segundos valores de parámetro de filtro mientras continúan las descargas citadas que no corresponden sustancialmente a una de las señales de indicación de evento significativo en la operación de filtración primaria.

45 6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye incrementar celdas en una matriz de diferencia de tiempos de n dimensiones durante el citado periodo de tiempo en respuesta a grupos de descargas de datos según n valores de incremento de t asociados con cada grupo, y generar una señal de indicación de evento significativo cuando el valor de una o más de las celdas exceda un umbral predeterminado, siendo n al menos 2.

7. Un método según la reivindicación 6, en el que n es igual a 2.

55 8. Un método según las reivindicaciones 6 ó 7, cuando es dependiente de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que la operación de filtración primaria usa al menos una porción de la matriz de diferencias de tiempos, y la, o cada, operación de filtración secundaria usa una porción menor de la matriz, correspondiendo la menor porción al modelo de incrementos de t de al menos un grupo que da lugar a una señal de indicación de evento significativo.

60 9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye seleccionar para proceso posterior solamente grupos de descargas de datos que satisfagan una condición o condiciones predeterminadas, siendo la condición o condiciones para seleccionar un grupo al menos una de:

(a) el grupo excita un número mínimo de sensores en la ordenación de detección,

65 (b) las regulaciones entre sensores sucesivos pueden ser excitadas todas las que caen dentro de un periodo de tiempo predeterminado, y

ES 2 271 006 T3

(c) las amplitudes de señal sobre los sensores excitados sucesivamente en una ordenación de detección caen dentro de límites predeterminados.

5 10. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las señales recibidas de los transductores son señales de banda estrecha a una frecuencia comprendida en el intervalo de 100 kHz a 1 MHz.

11. Un aparato para ser usado en la detección y vigilancia de daños en una estructura, que comprende:

10 una pluralidad de transductores acústicos configurados para recibir emisiones acústicas de la estructura cuando la estructura es sometida a tensiones para ser montada sobre una estructura que ha de ser vigilada;

una etapa de acondicionamiento de señales acoplada a los transductores y dispuesta para derivar impulsos correspondientes a eventos acústicos detectados por los transductores; y

15 una unidad de procesador de impulsos que comprende una etapa convertidor analógico digital (ADC) acoplada a la etapa de acondicionamiento de señales y una etapa de tratamiento de señales digitales que incluye medios de selección configurados para seleccionar, a partir de señales digitalizadas recibidas de la etapa de ADC, impulsos digitalizados para configurar medios de descargas de datos para seleccionar un grupo de descargas de datos que tienen lugar en una ventana de tiempos predeterminada, medios dispuestos para derivar, para cada una de las descargas de datos
20 seleccionada en el grupo, valores de incremento de t que representan las diferencias entre los tiempos de ocurrencia de las descargas, formando los valores de incremento de t un modelo de incremento de t , y

un correlacionador dispuesto para generar una señal de indicación de evento significativo cuando el modelo de incremento de t se repite en un grado predeterminado en diferentes grupos de descargas de datos.

25 12. Un aparato según la reivindicación 11, en el que el correlacionador comprende un filtro primario que tiene una primera característica de filtración de descargas y un dispositivo de almacenamiento acoplado para recibir información de la descarga resultante de las descargas de datos filtradas en los medios de filtro primarios, y medios dispuestos para configurar al menos un filtro secundario en respuesta a la información de descarga correspondiente a un evento
30 significativo detectado, teniendo el filtro secundario una segunda característica de filtración de descargas diseñada para seleccionar descargas de datos que emanen a partir del evento significativo detectado, estando configurada la unidad de procesador de modo que grupos que emanen a partir del evento detectado son dirigidos después de ello para ser filtrados por el filtro secundario antes de que la información de las descargas resultante sea alimentada al dispositivo de almacenamiento.

35 13. Aparato según la reivindicación 12, en el que la primera y la segunda características de filtración incluyen el recuento de umbrales, teniendo aquel de la segunda característica un umbral de recuento más alto que aquel de la primera característica.

40 14. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que el correlacionador comprende medios para formar n grupos dimensionales de la matriz de tiempos de llegada de descargas de datos, medios dispuestos para incrementar celdas de la matriz según n valores de regulación asociados con cada uno de los grupos de las descargas de datos, y medios dispuestos para generar la señal de indicación de evento significativo cuando el valor de una o más celdas excede un umbral predeterminado, siendo n al menos 2.

45 15. Aparato según la reivindicación 14 cuando es dependiente de las reivindicaciones 12 a 13, en el que los medios de filtro primarios comprenden la matriz de tiempos de llegada de las descargas y el filtro secundario comprende una porción de dicha matriz, cuya porción es tomada del filtro primario después de la generación de la señal de indicación de evento significativo.

50 16. Aparato según las reivindicaciones 14 ó 15, en el que n es igual a 2.

55 17. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, en el que los transductores son transductores resonantes que tienen una frecuencia resonante en el margen de 20 kHz y 2 MHz.

18. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 17, en el que la etapa de acondicionamiento de señales convierte las señales recibidas de los transductores como paquetes de ondas correspondientes a eventos acústicos en la estructura en impulsos que representan envolventes rectificadas de los paquetes de ondas.

60 19. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 18, en el que la unidad de procesador de descargas comprende una ordenación de puertas para generar en tiempo real descriptores de descargas que definan paquetes de ondas de los transductores; un separador para separar los descriptores de las descargas; una CPU, RAM y combinación de dispositivo de almacenamiento no volátil y RAM programados: (a) para realizar selección de impulsos y formación de descargas de datos basada en los descriptores de impulsos separados; (b) para actuar como dicho correlacionador que
65 correlaciona descargas de datos; y (c) para almacenar información de descargas que representa eventos significativos detectados durante un periodo de vigilancia.

ES 2 271 006 T3

20. Una estructura que es vigilada en cuanto a daños debidos a la carga cíclica, en la que la estructura comprende una pluralidad de miembros estructurales, una pluralidad de grupos de transductores acústicos configurados para recibir emisiones acústicas de la estructura cuando la estructura es sometida a tensiones, estando cada grupo montado sobre un respectivo miembro estructural, y una unidad de tratamiento de señales acoplada a los transductores y
5 dispuesta para detectar grupos de descargas de datos que comprendan cada una la descarga de datos que representen impulsos en las señales recibidas de respectivos transductores de uno de los grupos de transductores durante un intervalo de tiempo de muestreo, y derivar, para cada una de las descargas de datos, información de regulación referentes a las horas de llegada de la descarga de datos que constituye el grupo, comprendiendo además la unidad de tratamiento de señales un correlacionador dispuesto para generar una señal de indicación de evento significativo cuando el modelo
10 de regulación se repite en un grado predeterminado en diferentes grupos de descargas de datos de dicho grupo de transductores.

21. Una estructura según la reivindicación 20, en la que la unidad de tratamiento de señales está configurada para tratar señales procedentes de los transductores continuamente durante al menos varias horas, para generar una
15 señal de indicación de evento significativo mediante filtración en tiempo real de las descargas de datos en un filtro primario basado en características de las señales de las descargas de datos predeterminadas y el tiempo de llegada de los impulsos, para definir automáticamente al menos un filtro secundario basado adaptablemente en las características de la señal de descarga de al menos uno de los grupos dando lugar a la señal de indicación de evento significativo, para desviar los grupos posteriores correspondientes a la señal de indicación de evento significativo del filtro primario al
20 filtro secundario, por lo que los grupos posteriores no relacionados con la señal de indicación de evento significativo continúan para ser filtrados en el filtro primario para generar más señales de indicación de evento significativo que emanen de diferentes características de daño en la estructura.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig.1.

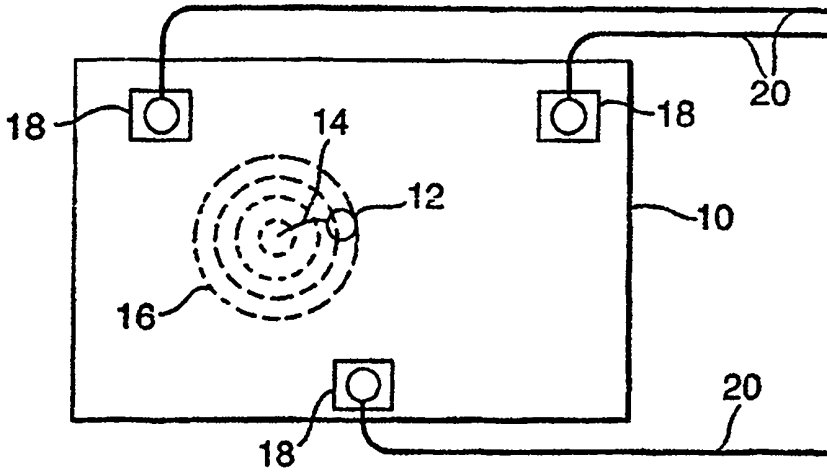


Fig.3.

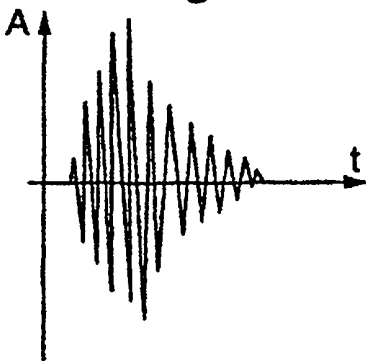


Fig.4.

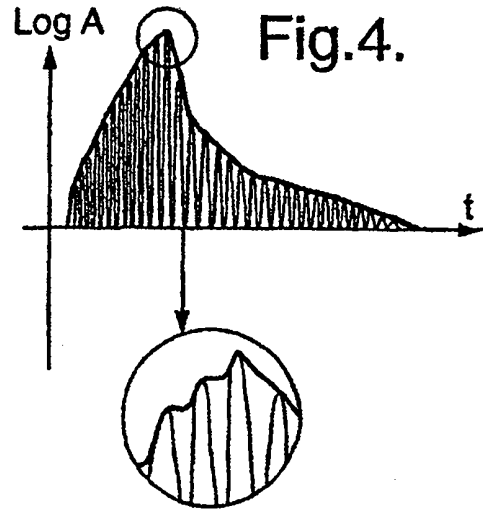
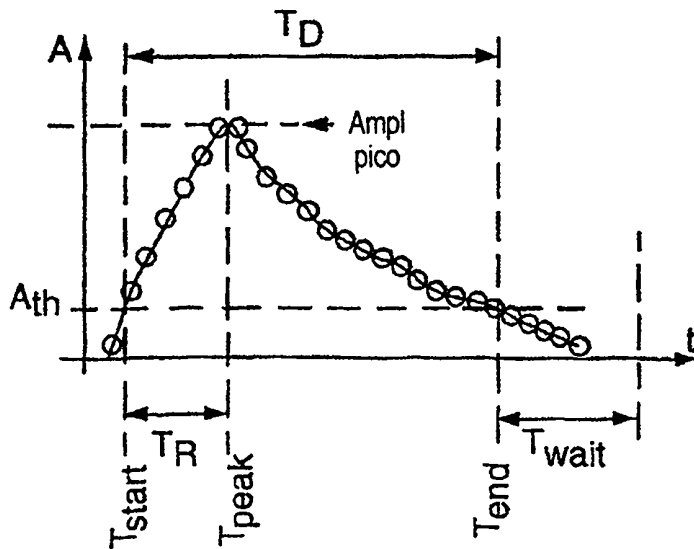


Fig.5.



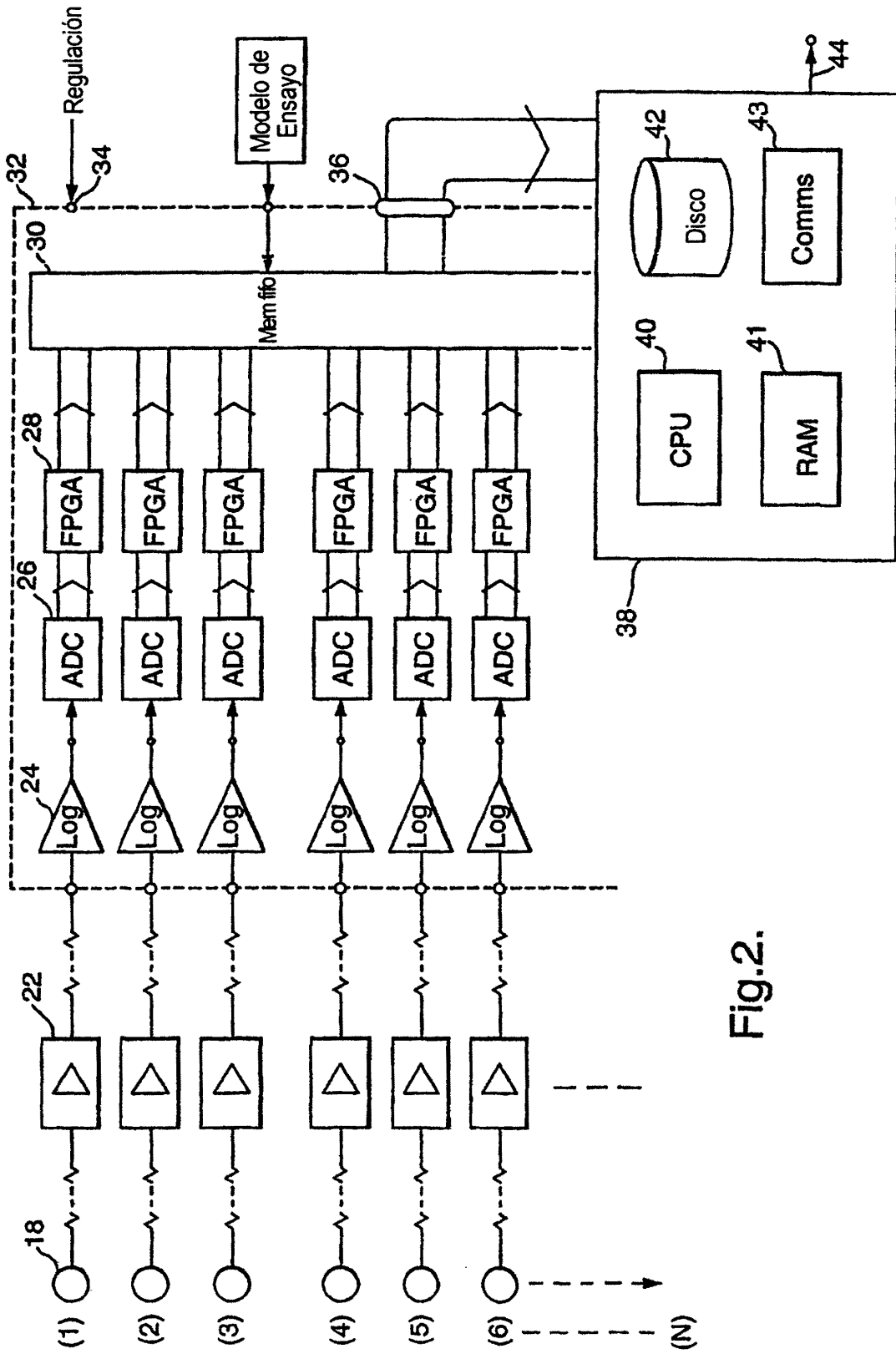
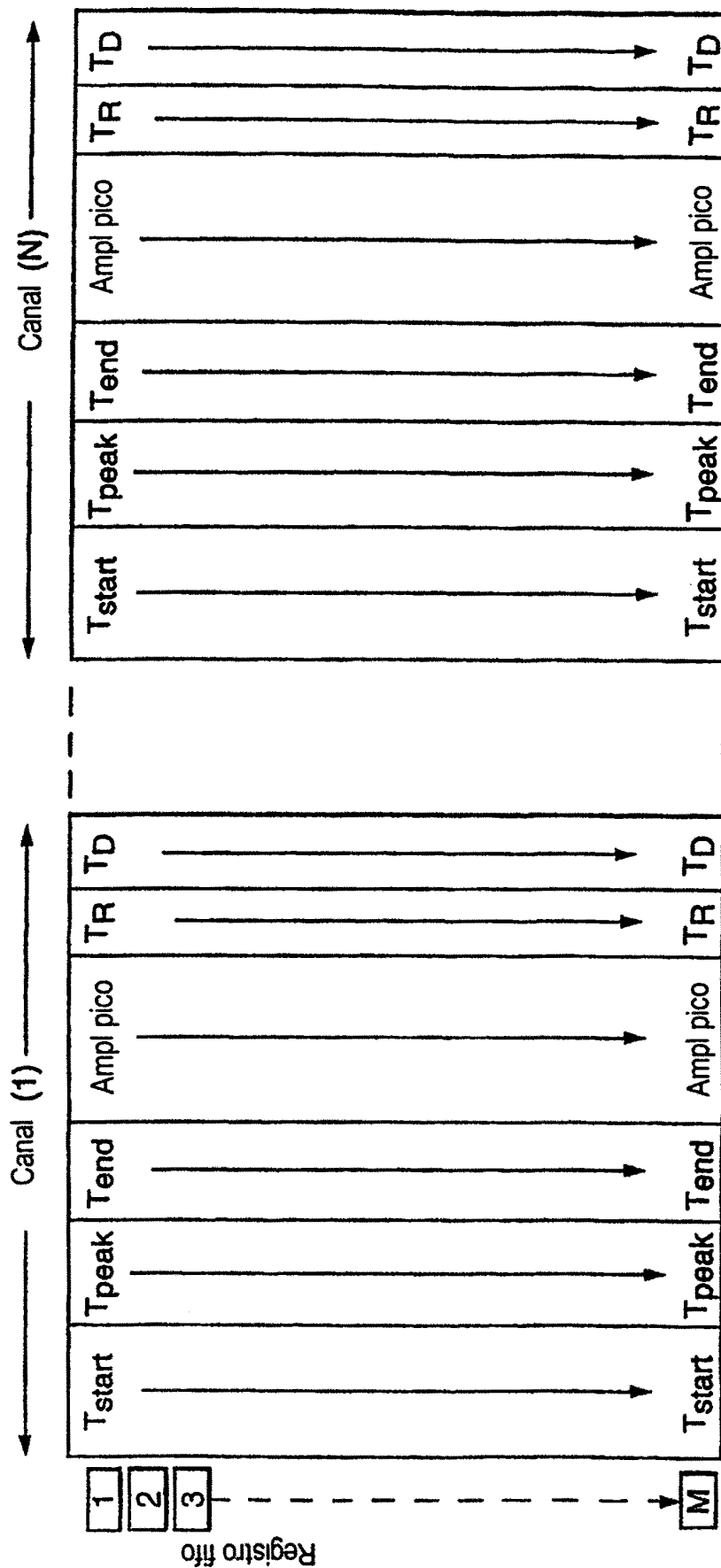


Fig.2.

Fig.6.



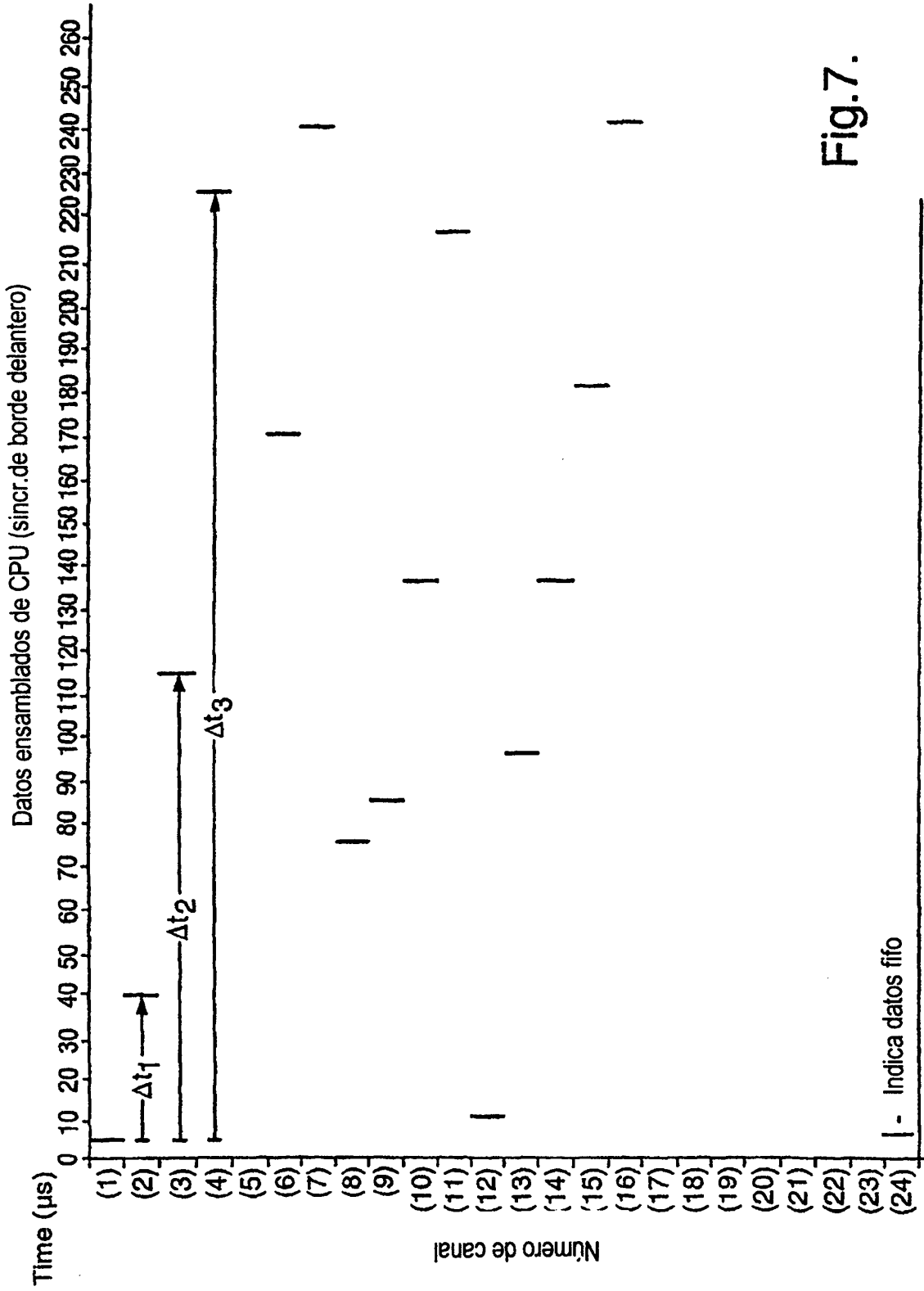


Fig.7.

Fig.8.

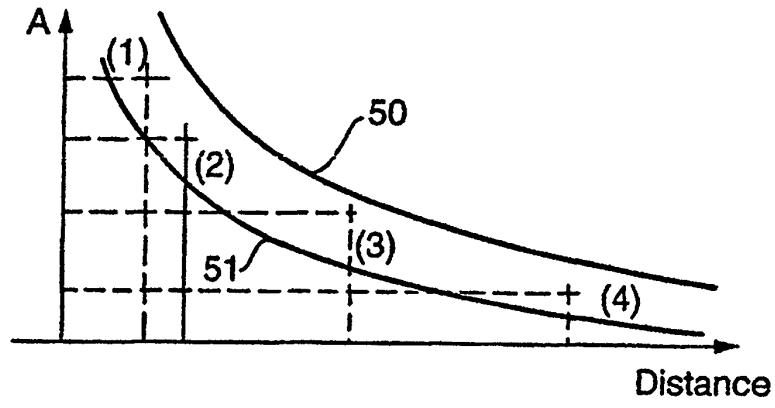


Fig.9.

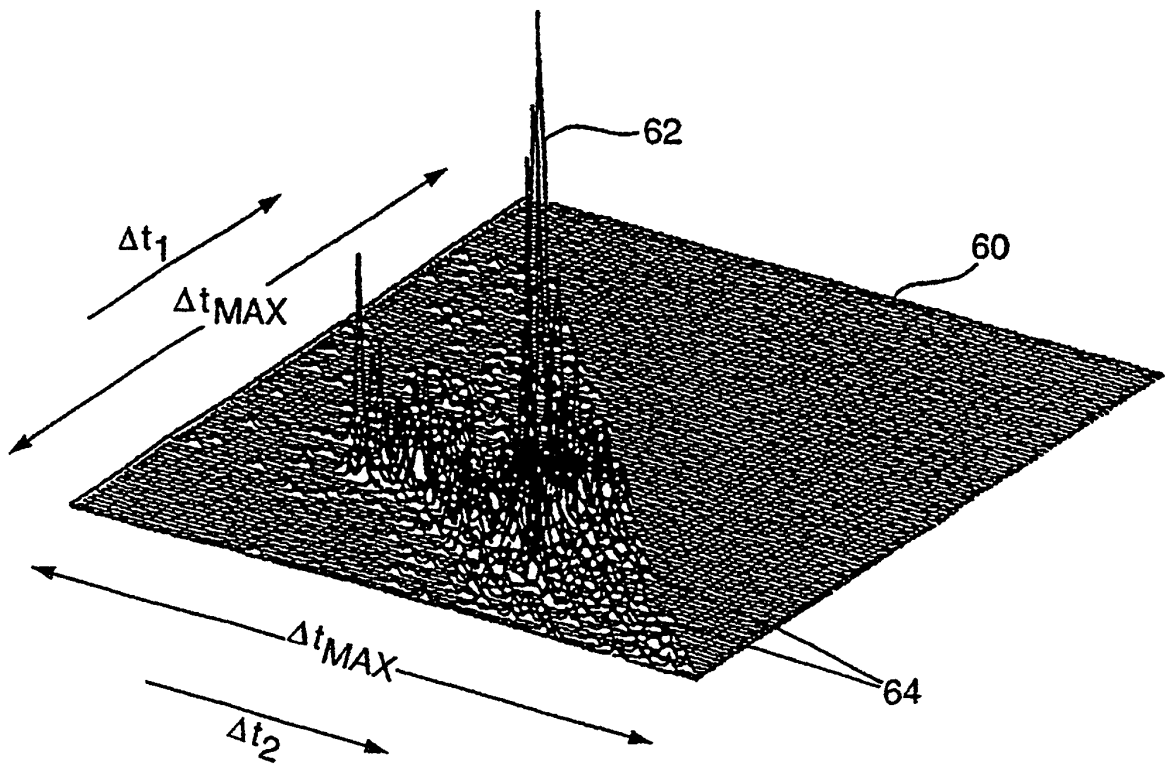


Fig.10.

