

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 768**

51 Int. Cl.:

G01H 1/00 (2006.01)

G01M 13/00 (2006.01)

G01P 3/44 (2006.01)

G06F 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.01.2013 PCT/SE2013/050079**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.08.2013 WO13115716**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2013 E 13744257 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2017 EP 2810027**

54 Título: **Aparato y procedimiento para analizar la condición de una máquina con una parte rotativa**

30 Prioridad:

30.01.2012 SE 1250061
30.01.2012 US 201261592070 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.10.2017

73 Titular/es:

S.P.M. INSTRUMENT AB (100.0%)
Box 504
645 25 Strängnäs, SE

72 Inventor/es:

HEDIN, LARS-OLOV

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 639 768 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

Aparato y procedimiento para analizar la condición de una máquina con una parte rotativa

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para analizar la condición de una máquina, y a un aparato para analizar la condición de una máquina. La invención también se refiere a un sistema que incluye tal aparato y tal procedimiento de operación de tal aparato. La invención también se refiere a un programa informático para hacer que un ordenador realice una función de análisis.

Descripción de la técnica relacionada

10 Las máquinas con partes móviles están sometidas a desgaste con el paso del tiempo, lo que a menudo provoca la condición de que la máquina se deteriore. Los ejemplos de tales máquinas con partes móviles son motores, bombas, generadores, compresores, tornos y máquinas CNC. Las partes móviles pueden comprender un árbol y cojinetes.

Para evitar el fallo de la máquina, tales máquinas deberían someterse a mantenimiento, dependiendo de la condición de la máquina. Por tanto, la condición operativa de tal máquina se evalúa preferentemente de vez en cuando.

15 El documento US 2009/0164142 desvela un sistema para uso al analizar vibraciones de un cuerpo rotativo de velocidad variable para detectar condiciones que pueden requerir mantenimiento. De acuerdo con el documento US 2009/0164142 un procesador usa una señal de vibración desde un acelerómetro que actúa como un sensor de vibración y pulsa un tacómetro. El procesador también calcula una velocidad del cuerpo rotativo en un comienzo de cada revolución del cuerpo rotativo, y en cada final de cada revolución del cuerpo rotativo. Estos valores de
20 velocidad se usan para calcular una posición angular para cada muestra de vibración entre los dos puntos de tacómetro, y un valor complejo que representa un componente de vibración espectral en una frecuencia fundamental para cada revolución se calcula usando dos circunvoluciones ponderadas de muestras de vibración que se multiplican por el coseno (para el componente real) o el seno (para el componente imaginario) de las posiciones angulares interpoladas.

25 **Sumario**

Un aspecto de la invención se refiere al problema de permitir la prevención de una avería inesperada de la máquina debido a un desgaste o daño mecánico en una máquina que tiene una parte rotativa con una velocidad de rotación. En particular, un aspecto de la invención se refiere al problema de permitir una capacidad mejorada para detectar el desgaste o daño mecánico en una máquina que tiene una parte que rota con una velocidad de rotación variable.

30 Este problema se aborda mediante un aparato para analizar la condición de una máquina con una parte rotativa con una velocidad de rotación, que comprende:

- un primer sensor adaptado para generar una señal de medición eléctrica analógica dependiente de vibraciones mecánicas que emanan de la rotación de dicha parte;
- un convertidor de analógico a digital adaptado para muestrear dicha señal de medición eléctrica analógica en una frecuencia de muestreo inicial para general una señal de datos de medición digital en respuesta a dicha señal de medición eléctrica analógica recibida;
- un dispositivo para generar una señal de posición que tiene una secuencia de valores de señal de posición para indicar posiciones rotativas momentáneas de dicha parte rotativa;
- y un generador de valor de velocidad adaptado para registrar

- 40
- una secuencia temporal de valores de muestra de medición de dicha señal de datos de medición digital, y
 - una secuencia temporal de dichos valores de señal de posición de manera que existen distancias angulares y duraciones correspondientes entre al menos tres señales de posición consecutivas, e
 - información de tiempo de manera que un valor de datos de medición individual puede asociarse con datos indicativos de tiempo y posición angula; y en el que

45 el generador de valor de velocidad opera para establecer al menos dos valores de velocidad momentánea basándose en dichas distancias angulares y dichas duraciones correspondientes, y en el que el generador de valor de velocidad opera para establecer valores de velocidad momentánea adicionales para la parte rotativa mediante interpolación entre los al menos dos valores de velocidad momentánea de manera que un valor de velocidad momentánea adicional interpolado es indicativo de la velocidad rotativa en el momento de
50 detección de al menos uno de dichos valores de muestra de medición registrados; y

un decimador para generar una segunda señal digital, teniendo una frecuencia de muestreo reducida, en respuesta a dicha señal de datos de medición digital, estando adaptado dicho decimador para realizar dicha decimación dependiente de dicho valor de velocidad momentánea adicional interpolado; y mediante
55 un evaluador para realizar una función de análisis de condición para analizar la condición de la máquina dependiente de dicha segunda señal digital.

Esta solución permite ventajosamente el suministro de una secuencia temporal de valores de muestra de medición en el que un valor de muestra de medición individual se asocia con un valor de velocidad indicativo de una velocidad de rotación de dicha parte rotativa en el momento de detección del valor de señal de sensor correspondiente al valor de datos. El uso de interpolación para generar la velocidad de valores de rotación permite un nivel pequeño
5 ventajosamente de imprecisión incluso durante una fase de aceleración.

De acuerdo con una realización el generador de valor de velocidad opera para establecer dichos valores de velocidad momentánea adicionales mediante interpolación lineal. De acuerdo con otra realización el generador de valor de velocidad opera para establecer dichos valores de velocidad momentánea adicionales mediante interpolación no lineal.

10 La provisión de una secuencia de valores de muestra de medición asociados con correspondientes valores de velocidad de rotación que tiene niveles pequeños de imprecisión permite un rendimiento mejorado, en términos de corrimiento reducido o eliminado de los valores de muestra de medición, mediante el posterior procedimiento de decimación durante fases de aceleración. La reducción o eliminación del corrimiento de los valores de muestra de medición que resulta del procedimiento de decimación permite un rendimiento mejorado de la función de análisis de
15 condición. Por tanto, las características de esta solución interactúan para permitir una capacidad mejorada para detectar desgaste o daño mecánico en una máquina que tiene una parte rotativa con una velocidad variable de rotación.

Breve descripción de los dibujos

20 Para un simple entendimiento de la presente invención, esta se describirá mediante ejemplos y en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la **Figura 1** muestra un diagrama de bloques esquemático de una realización de un sistema 2 de análisis de condición de acuerdo con una realización de la invención.

La **Figura 2A** es un diagrama de bloques esquemático de una realización de una parte del sistema 2 de análisis de condición mostrado en la Figura 1.

25 La **Figura 3** es una ilustración simplificada de un sensor de medición de pulso de impacto de acuerdo con una realización de la invención.

La **Figura 4** es una ilustración simplificada de una realización de la memoria 60 y su contenido.

La **Figura 5** es un diagrama de bloques esquemático de una realización del aparato de análisis en una ubicación de cliente con una máquina 6 que tiene un árbol móvil.

30 La **Figura 6** ilustra un diagrama de bloques esquemático de una realización del preprocesador de acuerdo con una realización de la presente invención.

La **Figura 7** ilustra una realización del evaluador 230.

La **Figura 8** ilustra otra realización del evaluador 230.

La **Figura 9** ilustra otra realización del preprocesador 200.

35 La **Figura 10A** es un diagrama de flujo que ilustra realizaciones de un procedimiento para mejorar patrones de señal repetitivos de señales.

La **Figura 10B** es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de generación de señal de salida digital.

La **Figura 10C** ilustra una realización de un dispositivo de mejora.

La **Figura 10D** ilustra señales de acuerdo con una realización del procedimiento mejorador.

40 La **Figura 10E** ilustra una realización de un procedimiento de operación de una interfaz de usuario del dispositivo de mejora.

La **Figura 10F** ilustra una realización de un procedimiento de operación del dispositivo de mejora.

La **Figura 10G** ilustra otra realización del dispositivo de mejora 320.

La **Figura 10H** es una tabla para ilustrar una parte del cálculo de los valores de señal de salida.

45 La **Figura 11** es una ilustración esquemática de una primera memoria que tiene posiciones de memoria plurales.

La **Figura 12** es una ilustración esquemática de una segunda memoria que tiene posiciones t de memoria plurales.

La **Figura 13** es una ilustración esquemática de una señal de salida de ejemplo S_{MDP} que comprende dos firmas de señales repetitivas.

50 La **Figura 14A** ilustra un número de valores de muestra en la señal suministrada a la entrada del decimador 310.

La **Figura 14B** ilustra valores de muestra de salida del periodo de tiempo correspondiente.

La **Figura 15A** ilustra un decimador de acuerdo con una realización de la invención.

La **Figura 15B** ilustra otra realización de la invención.

55 La **Figura 16** ilustra una realización de la invención que incluye un decimador y un dispositivo de mejora, como se ha descrito antes, y un decimador fraccionario.

La **Figura 17** ilustra una realización del decimador fraccionario.

La **Figura 18** ilustra otra realización del decimador fraccionario.

La **Figura 19A** ilustra el decimador y otra realización del decimador fraccionario.

La **Figura 19B** es un diagrama de bloques de una realización de un generador 601 de valor de velocidad.

60 La **Figura 19C** es una ilustración simplificada de una realización de la memoria 602 y sus contenidos.

La **Figura 19D** es un diagrama de flujo que ilustra una realización de un procedimiento de operación del generador 601 de valor de velocidad de la Figura 19B.

La **Figura 19E** es un diagrama de flujo que ilustra una realización de un procedimiento para realizar la etapa S#40 de la Figura 19D.

La **Figura 19F** es un diagrama de flujo que ilustra otra realización de un procedimiento para realizar la etapa S#40 de la Figura 19D.

5 La **Figura 19G** es un gráfico que ilustra una serie de señales de posición consecutivas temporalmente y efectos ventajosos del procedimiento de acuerdo con una realización de un generador de valor de velocidad.

La **Figura 20** es un diagrama de bloques de un decimador y otra realización adicional del decimador fraccionario.

La **Figura 21** es un diagrama de flujo que ilustra una realización de un procedimiento de operación del decimador y el decimador fraccionario de la Figura 20.

10 Las **Figuras 22A, 22B y 22C** describen un procedimiento que puede implementarse como un programa informático.

La **Figura 23** es una vista delantera que ilustra un sistema de engranaje epicíclico.

La **Figura 24** es una vista lateral esquemática del sistema 700 de engranaje epicíclico de la Figura 23, como se ve en la dirección de la flecha SW en la Figura 23.

15 La **Figura 25** ilustra una versión analógica de una señal ejemplar producida y emitida por el preprocesador 200 (véase la Figura 5 o la Figura 16) en respuesta a señales detectadas por el al menos un sensor 10 tras la rotación del sistema de engranaje epicíclico.

La **Figura 26** ilustra un ejemplo de una porción de la región 702A de amplitud alta de la señal mostrada en la Figura 25.

20 La **Figura 27** ilustra un espectro de frecuencia ejemplar de una señal que comprende una pequeña perturbación 903 periódica como se ilustra en la Figura 26.

La **Figura 28** ilustra un ejemplo de una porción de la señal ejemplar mostrada en la Figura 25.

La **Figura 29** ilustra otra realización de un sistema de análisis de condición de acuerdo con una realización de la invención.

25 La **Figura 30** es un diagrama de bloques que ilustra las partes de la disposición de procesamiento de señal de la Figura 29 junto con la interfaz de usuario y el sistema de representación.

La **Figura 31** es una ilustración esquemática de un controlador de parámetro.

Descripción detallada de las realizaciones

30 En la siguiente descripción, las características similares en diferentes realizaciones pueden indicarse mediante los mismos números de referencia.

La **Figura 1** muestra un diagrama de bloques esquemático de una realización de un sistema 2 de análisis de condición de acuerdo con una realización de la invención. El número de referencia 4 se refiere a una ubicación de cliente con una máquina 6 que tiene una parte 8 móvil. La parte móvil puede comprender cojinetes 7 y un árbol 8 que, cuando la máquina está en operación, rota. La condición operativa del árbol 8 o de un cojinete 7 puede determinarse en respuesta a vibraciones que emanan del árbol y/o del cojinete cuando el árbol rota. La ubicación 4 de cliente, que también puede denominarse parte de cliente o parte de usuario, puede por ejemplo ser las instalaciones de un parque eólico, es decir un grupo de turbinas eólicas en una ubicación, o las instalaciones de una planta de molino de papel, o alguna otra planta de fabricación que tenga máquinas con partes móviles.

40 Una realización del sistema 2 de análisis de condición es operativa cuando un sensor 10 está unido en o sobre un punto 12 de medición en el cuerpo de la máquina 6. Aunque la Figura 1 solo ilustra dos puntos 12 de medición, debe entenderse que una ubicación 4 puede comprender cualquier número de puntos 12 de medición. El sistema 2 de análisis de condición mostrado en la Figura 1, comprende un aparato 14 de análisis para analizar la condición de una máquina basándose en los valores de medición suministrados por el sensor 10.

45 El aparato 14 de análisis tiene un puerto 16 de comunicación para intercambio de datos bidireccional. El puerto 16 de comunicación es conectable a una red 18 de comunicaciones, por ejemplo mediante una interfaz 19 de datos. La red 18 de comunicaciones puede ser las tres www, también conocido como Internet. La red 18 de comunicaciones también puede comprender una red de teléfono conmutada pública.

50 Un ordenador 20 de servidor se conecta a la red 18 de comunicaciones. El servidor 20 puede comprender una base 22 de datos, interfaces 24 de entrada/salida de usuario y hardware 26 de procesamiento de datos, y un puerto 29 de comunicaciones. El ordenador 20 de servidor se ubica en una ubicación 28, que está geográficamente separada de la ubicación 4 de cliente. La ubicación 28 de servidor puede estar en una primera ciudad, tal como la capital de Suecia, Estocolmo, y la ubicación de cliente puede estar en otra ciudad, tal como Stuttgart, Alemania, o Detroit en Michigan, Estados Unidos. Como alternativa, la ubicación 28 de servidor puede estar en una primera parte de una ciudad y la ubicación de cliente puede estar en otra parte de la misma ciudad. La ubicación 28 de servidor también puede denominarse parte 28 de suministrador o ubicación 28 de parte de suministrador.

60 De acuerdo con una realización de la invención, una ubicación 31 de control central comprende un ordenador 33 de control que tiene hardware de procesamiento de datos y software para supervisar una pluralidad de máquinas en la ubicación 4 de cliente. Las máquinas 6 pueden ser turbinas eólicas o cajas de engranaje usadas en turbinas eólicas. Como alternativa, las máquinas pueden incluir maquinaria en por ejemplo un molino de papel. El ordenador 33 de control puede comprender una base 22B de datos, interfaces 24B de entrada/salida de usuario y hardware 26B de

- procesamiento de datos y un puerto 29B de comunicaciones. La ubicación 31 de control central puede separarse de la ubicación 4 de cliente mediante una distancia geográfica. Mediante el puerto 29B de comunicaciones, el ordenador 33 de control puede acoplarse para comunicarse con el aparato 14 de análisis por medio del puerto 16. El aparato 14 de análisis puede suministrar datos de medición que se procesan parcialmente para producir un procesamiento de señal adicional y/o análisis a realizar en la ubicación 31 central por el ordenador 33 de control.
- Una compañía suministradora ocupa la ubicación 28 de parte de suministrador. La compañía suministradora puede vender y suministrar aparatos 14 de análisis y/o software para el uso en el aparato 14 de análisis. La compañía suministradora también puede vender y suministrar software de análisis para el uso en el ordenador de control en la ubicación 31 de control central. Tal software 94, 105 de análisis se analiza en relación con la Figura 4 a continuación. Tal software 94, 105 de análisis puede suministrarse para transmisión sobre dicha red 18 de comunicaciones.
- De acuerdo con una realización del sistema 2, el aparato 14 es un aparato portátil que puede conectarse a la red 18 de comunicaciones de vez en cuando.
- De acuerdo con otra realización del sistema 2, el aparato 14 puede recibir sustancial y continuamente una señal de medición desde un sensor 10 para poder monitorizar continuamente o sustancialmente continuamente la condición de la máquina. El aparato 14 de acuerdo con esta realización también puede ser capaz sustancialmente y continuamente de comunicarse con el ordenador 33 de control en la ubicación 31 de control. Por tanto, el aparato 14 de acuerdo con esta realización puede sustancialmente siempre estar disponible en línea para comunicación con el ordenador 33 de control en la ubicación 31 de control.
- De acuerdo con una realización del sistema 2, el aparato 14 se conecta a la red 18 de comunicaciones sustancialmente continuamente. Por tanto, el aparato 14 de acuerdo con esta realización puede estar sustancialmente siempre “en línea” disponible para comunicación con el ordenador 20 de suministrador y/o con el ordenador 33 de control en la ubicación 31 de control.
- La **Figura 2A** es un diagrama de bloques esquemático de una realización de una parte del sistema 2 de análisis de condición mostrado en la Figura 1. El sistema de análisis de condición, como se ilustra en la Figura 2A, comprende una unidad 10 sensora para producir un valor medido. El valor medido puede ser dependiente del movimiento o más precisamente, dependiente de vibraciones o pulsos de impacto provocados por cojinetes cuando rota el árbol.
- Una realización del sistema 2 de análisis de condición está operativa cuando un dispositivo 30 se monta firmemente en o sobre un punto de medición de una máquina 6. El dispositivo 30 montado en el punto de medición puede denominarse clavija 30. Una clavija 30 puede comprender un acoplamiento 32 de conexión al que la unidad 10 sensora se une de manera removible. El acoplamiento 32 de conexión puede por ejemplo comprender roscas de doble inicio para permitir que la unidad sensora se acople mecánicamente con la clavija mediante una rotación de $\frac{1}{4}$ de vuelta.
- Un punto 12 de medición puede comprender un rebaje roscado en la caja de la máquina. Una clavija 30 puede tener una parte sobresaliente con roscas correspondientes a las del rebaje para permitir que la clavija se una firmemente al punto de medición mediante la introducción en el rebaje como un perno.
- Como alternativa, un punto de medición puede comprender un rebaje roscado en la caja de la máquina, y la unidad 10 sensora puede comprender roscas correspondientes para que se introduzcan directamente en el rebaje. Como alternativa, el punto de medición se marca en la caja de la máquina únicamente con una marca pintada.
- La máquina 6 ejemplificada en la Figura 2A puede tener un árbol rotativo con un diámetro d_1 de árbol determinado. El árbol en la máquina 24 puede rotar con una velocidad de rotación V_1 cuando la máquina 6 está en uso.
- La unidad 10 sensora puede acoplarse al aparato 14 para analizar la condición de la máquina. En referencia a la Figura 2A, el aparato 14 de análisis comprende una interfaz 40 de sensor para recibir una señal medida o datos de medición, producidos por el sensor 10. La interfaz 40 de sensor se acopla a un medio 50 de procesamiento de datos capaz de controlar la operación del aparato 14 de análisis de acuerdo con el código de programa. El medio 50 de procesamiento de datos también se acopla a una memoria 60 para almacenar dicho código de programa.
- De acuerdo con una realización de la invención, la interfaz 40 de sensor comprende una entrada 42 para recibir una señal analógica, conectada la entrada 42 con un convertidor 44 de analógico a digital (A/D), cuya salida 48 digital está acoplada al medio 50 de procesamiento de datos. El convertidor 44 A/D muestrea la señal analógica recibida con una cierta frecuencia de muestreo f_s para suministrar una señal de datos de medición digital S_{MD} que tiene una cierta frecuencia de muestreo f_s y en el que la amplitud de cada muestra depende de la amplitud de la señal analógica recibida en el momento del muestreo.
- De acuerdo con una realización de la invención, el sensor es un sensor de medición de pulso de impacto. La **Figura 3** es una ilustración simplificada de un sensor 10 de medición de pulso de impacto de acuerdo con una realización de la invención. De acuerdo con esta realización el sensor comprende una parte 110 que tiene una cierta masa o peso y un elemento 120 piezoeléctrico. El elemento 120 piezoeléctrico es algo flexible para que pueda contraerse y

expandirse cuando se ejerce una fuerza externa. El elemento 120 piezoeléctrico está provisto de capas 130 y 140 de conducción eléctricamente, respectivamente, en superficies opuestas. Cuando el elemento 120 piezoeléctrico se contrae y se expande genera una señal eléctrica que se recoge mediante las capas 130 y 140 de conducción. Por consiguiente, una vibración mecánica se transforma en una señal de medición eléctrica analógica S_{EA} , que se suministra a los terminales 145, 150 de salida. El elemento 120 piezoeléctrico puede colocarse entre el peso 110 y una superficie 160 que, durante la operación, está físicamente unida al punto 12 de medición como se ilustra en la Figura 3.

El sensor 10 de medición de pulso de impacto tiene una frecuencia de resonancia mecánica predeterminada que depende de las características mecánicas del sensor, tal como la masa m de la parte 110 de peso y la resiliencia del elemento 120 piezoeléctrico. Por tanto, el elemento piezoeléctrico tiene una elasticidad y una constante de resorte k . La frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} para el sensor es por tanto también dependiente de la masa m y de la constante de resorte k .

De acuerdo con una realización de la invención la frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} para el sensor puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$f_{RM} = 1/(2\pi) \sqrt{k/m} \quad (ec1)$$

De acuerdo con otra realización, la frecuencia de resonancia mecánica actual para un sensor 10 de medición de pulso de impacto también puede depender de otros factores, tal como la naturaleza de la unión del sensor 10 al cuerpo de la máquina 6.

El sensor 10 de medición de pulso de impacto resonante es por tanto particularmente sensible a vibraciones con una frecuencia en o cerca de la frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} . El sensor 10 de medición de pulso de impacto puede diseñarse para que la frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} esté en algún lugar en el intervalo de 28 kHz a 37 kHz. De acuerdo con otra realización la frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} está en algún lugar en el intervalo de 30 kHz a 35 kHz.

Por consiguiente, la señal de medición eléctrica analógica tiene una amplitud eléctrica que puede variar sobre el espectro de frecuencia. Para el fin de describir el antecedente teórico, puede asumirse que si el sensor 10 de medición de pulso de impacto se sometiera a vibraciones mecánicas con amplitud idéntica en todas las frecuencias desde por ejemplo 1 Hz a por ejemplo 200 000 kHz, entonces la amplitud de la señal analógica S_{EA} desde el sensor de medición de pulso de impacto tendrá un máximo en la frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} , ya que el sensor resonará cuando se "empuje" con esa frecuencia.

El convertidor 44 A/D muestrea la señal analógica recibida S_{EA} con una cierta frecuencia de muestreo f_S para suministrar una señal de datos de medición digital S_{MD} con una cierta frecuencia de muestreo f_S y en el que la amplitud de cada muestra depende de la amplitud de la señal analógica recibida en el momento del muestreo.

De acuerdo con realizaciones de la invención la señal de datos de medición digital S_{MD} se suministra a un medio 180 para procesamiento de señal digital (véase la Figura 5).

De acuerdo con una realización de la invención, el medio 180 para procesamiento de señal digital comprende un procesador 50 de datos y código de programa para provocar que el procesador 50 de datos realice el procesamiento de señal digital. De acuerdo con una realización de la invención, el procesador 50 se incorpora mediante un procesador de señal digital. El procesador de señal digital también puede denominarse DSP.

En referencia a la Figura 2A, el medio 50 de procesamiento de datos se acopla a una memoria 60 para almacenar dicho código de programa. La memoria 60 de programa es preferiblemente una memoria no volátil. La memoria 60 puede ser una memoria de leer/escribir, es decir que permite tanto leer datos desde la memoria como escribir nuevos datos en la memoria 60. De acuerdo con una realización la memoria 60 de programa se incorpora mediante una memoria FLASH. La memoria 60 de programa puede comprender un primer segmento 70 de memoria para almacenar un primer conjunto de código 80 de programa que es ejecutable para controlar el aparato 14 de análisis para realizar operaciones básicas (Figura 2A y Figura 4). La memoria de programa también puede comprender un segundo segmento 90 de memoria para almacenar un segundo conjunto de código 94 de programa. El segundo conjunto de código 94 de programa en el segundo segmento 90 de memoria puede incluir código de programa para provocar que el aparato de análisis procese la señal detectada, o señales para generar una señal preprocesada o un conjunto de señales preprocesadas. La memoria 60 también puede incluir un tercer segmento 100 de memoria para almacenar un tercer conjunto de código 104 de programa. El conjunto de código 104 de programa en el tercer segmento 100 de memoria puede incluir código de programa para provocar que el aparato de análisis realice una función 105 de análisis seleccionada. Cuando una función de análisis se ejecuta, puede provocarse que el aparato de análisis presente un resultado de análisis correspondiente en una interfaz 106 de usuario o suministrar el resultado de análisis en el puerto 16 (véase la Figura 1 y la Figura 2A y la Figura 7 y la Figura 8).

El medio 50 de procesamiento de datos también se acopla a una memoria 52 para leer/escribir para almacenamiento de datos. Además, el medio 50 de procesamiento de datos puede acoplarse a una interfaz 54 de comunicaciones de aparato de análisis. La interfaz 54 de comunicaciones de aparato de análisis proporciona

comunicación bidireccional con una interfaz 56 de comunicación de punto de medición que puede unirse en, o sobre o en la proximidad del punto de medición en la máquina.

El punto 12 de medición puede comprender un acoplamiento 32 de conexión, un soporte 58 de información legible y para escribir y una interfaz 56 de comunicación de punto de medición.

- 5 El soporte 58 de información para escribir, y la interfaz 56 de comunicación de punto de medición pueden proporcionarse en un dispositivo 59 separado colocado en la proximidad de la clavija 30 como se ilustra en la Figura 2. Como alternativa, el soporte 58 de información para escribir y la interfaz 56 de comunicación de punto de medición pueden proporcionarse dentro de la clavija 30. Esto se describe en más detalle en el documento WO 98/01831, cuyo contenido se incorpora por referencia en el presente documento.
- 10 El sistema 2 está dispuesto para permitir la comunicación bidireccional entre la interfaz 56 de comunicación de punto de medición y la interfaz 54 de comunicación de aparato de análisis. La interfaz 56 de comunicación de punto de medición y la interfaz 54 de comunicación de aparato de análisis se construyen preferentemente para permitir la comunicación inalámbrica. De acuerdo con una realización la interfaz de comunicación de punto de medición y la interfaz de comunicación de aparato de análisis se construyen para comunicarse entre sí mediante señales de radio
- 15 frecuencia (RF). Esta realización incluye una antena en la interfaz 56 de comunicación de punto de medición y otra antena en la interfaz 54 de comunicación de aparato de análisis.

La **Figura 4** es una ilustración simplificada de una realización de la memoria 60 y sus contenidos. La ilustración simplificada pretende transportar el entendimiento de la idea general de almacenar diferentes funciones de programa en la memoria 60, y no es necesariamente una enseñanza técnica correcta de la manera en la que un programa se almacenaría en un circuito de memoria real. El primer segmento 70 de memoria almacena código de programa para controlar el aparato 14 de análisis para realizar operaciones básicas. Aunque la ilustración simplificada de la Figura 4 muestra pseudocódigo, se entiende que el código 80 de programa puede constituirse mediante un código de máquina, o cualquier código de programa de nivel que puede ejecutarse o interpretarse mediante el medio 50 de procesamiento de datos (Figura 2A).

20

25 El segundo segmento 90 de memoria, ilustrado en la Figura 4, almacena un segundo conjunto de código 94 de programa. El código 94 de programa en el segmento 90, cuando se ejecuta en el medio 50 de procesamiento de datos, provocará que el aparato 14 de análisis realice una función, tal como función de procesamiento de señal digital. La función puede comprender un procesamiento matemático avanzado de la señal de datos de medición digital S_{MD} . De acuerdo con realizaciones de la invención, el código 94 de programa se adapta para provocar que el medio 50 de procesador realice funciones de procesamiento de señal descritas en relación con las Figuras 5, 6, 9 y/o la Figura 16 en este documento.

30

Como se ha mencionado antes en relación con la Figura 1, un programa informático para controlar la función del aparato de análisis puede descargarse desde el ordenador 20 de servidor. Esto significa que el programa a descargar puede transmitirse sobre la red 18 de comunicaciones. Esto puede realizarse modulando una onda portadora para transportar el programa sobre la red 18 de comunicaciones. Por consiguiente, el programa a descargar puede descargarse en una memoria digital, tal como la memoria 60 (véanse las Figuras 2A y 4). Por tanto, un programa 94 de procesamiento de señal y/o un programa 104, 105 de función de análisis puede recibirse por medio del puerto de comunicaciones, tal como el puerto 16 (Figuras 1 y 2A), para cargarlo en la memoria 60. De manera similar, un programa 94 de procesamiento de señal y/o un programa 104, 105 de función de análisis pueden recibirse por medio del puerto 29B de comunicaciones (Figura 1), para cargarlo en una ubicación de memoria de programa en el ordenador 26B o en la base 22B de datos.

35

40

Un aspecto de la invención se refiere a un producto de programa informático, tal como un medio 94 de código de programa y/o un medio 104, 105 de código de programa que pueden cargarse en una memoria digital de un aparato. El producto de programa informático comprendiendo porciones de código de software para analizar procedimientos y/o funciones de análisis de procesamiento de señal cuando dicho producto se ejecuta en una unidad 50 de procesamiento de datos de un aparato para analizar la condición de una máquina. El término "ejecutarse en una unidad de procesamiento de datos" significa que el programa informático más la unidad de procesamiento de datos lleva a cabo un procedimiento del tipo descrito en este documento.

45

Las palabras "producto de programa informático, que puede cargarse en una memoria digital de un aparato de análisis de condición" significa que un programa informático puede introducirse en una memoria digital de un aparato de análisis de condición para lograr un aparato de análisis de condición programado para ser capaz de, o adaptado para llevar a cabo un procedimiento del tipo descrito antes. El término "cargado en una memoria digital de un aparato de análisis de condición" significa que el aparato de análisis de condición programado de esta manera es capaz de, o se adapta para, llevar a cabo un procedimiento del tipo antes descrito.

50

55 El producto de programa informático antes mencionado también puede cargarse en un medio legible informático, tal como un disco compacto o DVD. Tal medio legible informático puede usarse para el suministro de programa a un cliente.

De acuerdo con una realización del aparato 14 de análisis (Figura 2A), este comprende una interfaz 102 de entrada

de usuario, por lo que un operador puede interactuar con el aparato 14 de análisis. De acuerdo con una realización, la interfaz 102 de entrada de usuario comprende un conjunto de botones 104. Una realización del aparato 14 de análisis comprende una interfaz 106 de salida de usuario. La interfaz de salida de usuario puede comprender una unidad 106 de representación. El medio 50 de procesamiento de datos, cuando ejecuta una función básica de programa proporcionada en el código 80 de programa básico, proporciona la interacción de usuario mediante la interfaz 102 de entrada de usuario y la unidad 106 de representación. El conjunto de botones 104 puede limitarse a unos cuantos botones, tal como por ejemplo cinco botones, como se ilustra en la Figura 2A. Un botón 107 central puede usarse para una función de INTRODUCCIÓN o SELECCIÓN, mientras que otros botones periféricos pueden usarse para mover un cursor en el sistema 106 de representación. De esta manera debe entenderse que los símbolos y el texto pueden introducirse en el aparato 14 con la interfaz de usuario. La unidad 106 de representación puede por ejemplo representar un número de símbolos tal como letras del alfabeto, mientras que el cursor puede moverse en el sistema de representación en respuesta a la entrada de usuario para permitir que el usuario introduzca información.

La **Figura 5** es un diagrama de bloques esquemático de una realización del aparato 14 de análisis en una ubicación 4 de cliente con una máquina 6 que tiene un árbol 8 móvil. El sensor 10, que puede ser un sensor de medición de pulso de impacto, se muestra unido al cuerpo de la máquina 6 para recoger vibraciones mecánicas para suministrar una señal de medición analógica S_{EA} indicativa de las vibraciones mecánicas detectadas en la interfaz 40 de sensor. La interfaz 40 de sensor puede diseñarse como se describe en relación con la Figura 2A o 2B. La interfaz 40 de sensor suministra una señal de datos de medición digital S_{MD} a un medio 180 para procesamiento de señal digital.

La señal de datos de medición digital S_{MD} tiene una frecuencia de muestreo f_s , y el valor de amplitud de cada muestra depende de la amplitud de la señal de medición analógica recibida S_{EA} en el momento del muestreo. De acuerdo con una realización, la frecuencia de muestreo f_s de la señal de datos de medición digital S_{MD} puede fijarse a un cierto valor f_s , tal como por ejemplo $f_s = 102\ 400$ Hz. La frecuencia de muestreo f_s puede controlarse mediante una señal de reloj suministrada por un reloj 190 como se ilustra en la Figura 5. La señal de reloj también puede suministrarse al medio 180 para procesamiento de señal digital. El medio 180 para procesamiento de señal digital puede producir información sobre la duración temporal de la señal de datos de medición digital recibida S_{MD} en respuesta a la señal de datos de medición digital recibida S_{MD} , la señal de reloj y la relación entre la frecuencia de muestreo f_s y la señal de reloj, ya que la duración entre dos valores de muestra consecutivos es igual a $T_s = 1/f_s$.

De acuerdo con realizaciones de la invención, el medio 180 para procesamiento de señal digital incluye un preprocesador 200 para realizar un preprocesamiento de la señal de datos de medición digital S_{MD} para suministrar una señal digital preprocesada S_{MDP} en una salida 210. La salida 210 se acopla a una entrada 220 de un evaluador 230. El evaluador 230 se adapta para evaluar la señal digital preprocesada S_{MDP} para suministrar un resultado de elaboración a una interfaz 106 de usuario. Como alternativa, el resultado de la evaluación puede suministrarse a un puerto 16 de comunicación para permitir la transmisión del resultado por ejemplo a un ordenador 33 de control en un sitio 31 de control (véase la Figura 1).

De acuerdo con una realización de la invención, las funciones descritas en relación con los bloques funcionales en el medio 180 para procesamiento de señal digital, el preprocesador 200 y el evaluador 230 pueden incorporarse mediante un código 94 y/o 104 de programa informático como se describe en relación con los bloques 90 y 100 de memoria en conexión con la Figura 4 anterior.

Un usuario puede necesitar solo unas cuantas funciones básicas de monitorización para la detección de si la condición de una máquina es normal o anormal. Al detectar una condición anormal, el usuario puede llamar a personal de mantenimiento profesional especializado para establecer la naturaleza exacta del problema, y para realizar el trabajo de mantenimiento necesario. El personal de mantenimiento profesional a menudo necesita y usa un amplio intervalo de funciones de evaluación que hacen posible establecer la naturaleza de, y la causa de, una condición de máquina anormal. Por tanto, diferentes usuarios de un aparato 14 de análisis pueden suponer demandas muy diferentes de la función del aparato. El término función de monitorización de condición se usa en este documento para una función de detección de si la condición de una máquina es normal o está algo deteriorada o anormal. El término función de monitorización de condición también comprende una función de evaluación que hace posible establecer la naturaleza y la causa de una condición de máquina anormal.

Ejemplos de funciones de monitorización de condición de máquina

Las funciones de monitorización de condición $F_1, F_2 \dots F_n$ incluyen funciones como: análisis de vibración, análisis de temperatura, medición de pulso de impacto, análisis de espectro de datos de medición de pulso de impacto, transformada rápida de Fourier de datos de medición de vibración, presentación gráfica de datos de condición en una interfaz de usuario, almacenamiento de datos de condición en un soporte de información para escribir en dicha máquina, almacenamiento de datos de condición en un soporte de información para escribir en dicho aparato, tacometría, detección de desequilibrio y detección de desalineación.

De acuerdo con una realización, el aparato 14 incluye las siguientes funciones:

F1 = análisis de vibración;

- F2= análisis de temperatura,
- F3= medición de pulso de impacto,
- F4= análisis de espectro de datos de medición de pulso de impacto,
- F5= transformada rápida de Fourier de datos de medición de vibración,
- 5 F6= presentación gráfica de datos de condición en una interfaz de usuario,
- F7= almacenamiento de datos de condición en un soporte de información para escribir en dicha máquina,
- F8= almacenamiento de datos de condición en un soporte 52 de información para escribir en dicho aparato,
- F9= tacometría,
- F10= detección de desequilibrio y
- 10 F11= detección de desalineación.
- F12= recuperación de datos de condición desde el soporte 58 de información para escribir en dicha máquina.
- F13 = realización de función de análisis de vibración F1 y función de realización F12 "Recuperación de datos de condición desde un soporte 58 de información para escribir en dicha máquina" para permitir una comparación o tendencia basándose en datos de medición de vibración actuales y datos de medición de vibración históricos.
- 15 F14 = realización de análisis de temperatura F2; y función de realización "Recuperación de datos de condición desde un soporte 58 de información para escribir en dicha máquina" para permitir una comparación o tendencia basándose en los datos de medición de temperatura actual y los datos de medición de temperatura históricos.
- F15= recuperación de datos de identificación desde un soporte 58 de información para escribir en dicha máquina.

20 Las realizaciones de la función F7 "almacenamiento de datos de condición en un soporte de información para escribir en dicha máquina", y F13 análisis de vibración y recuperación de datos de condición se describen en más detalle en el documento WO 98/01831, cuyo contenido se incorpora por referencia en el presente documento.

La **Figura 6** ilustra un diagrama de bloques esquemático de una realización del preprocesador 200 de acuerdo con una realización de la presente invención. En esta realización la señal de datos de medición digital S_{MD} se acopla a un filtro 240 de paso de banda digital que tiene una frecuencia de desconexión inferior f_{LC} , una frecuencia de desconexión superior f_{UC} y un ancho de banda de paso entre las frecuencias de desconexión superior e inferior.

La salida del filtro 240 de paso de banda digital se conecta a una envolvente 250 digital. De acuerdo con una realización de la invención la salida de señal de la envolvente 250 se suministra a una salida 260. La salida 260 del preprocesador 200 se acopla a la salida 210 del medio 180 de procesamiento de señal digital para el suministro a la entrada 220 del evaluador 230.

Las frecuencias de desactivación superior e inferior del filtro 240 de paso de banda digital pueden seleccionarse para que el componente de frecuencia de la señal S_{MD} en la frecuencia de resonancia f_{RM} para el sensor estén en el ancho de banda de banda de paso. Como se ha mencionado antes, una amplificación de la vibración mecánica se logra mediante el sensor que es mecánicamente resonante en la frecuencia de resonancia f_{RM} . Por lo tanto, la señal de medición analógica S_{EA} refleja un valor de amplitud de las vibraciones en y alrededor de la frecuencia de resonancia f_{RM} . Por tanto, el filtro de paso de banda de acuerdo con la Figura 6 en la realización suprime ventajosamente la señal en las frecuencias por debajo y por encima de la frecuencia de resonancia f_{RM} , por lo que una mejora adicional de los componentes de la señal de medición se logra en la frecuencia de resonancia f_{RM} . Además, el filtro 240 de paso de banda digital ventajosamente reduce además el ruido inherentemente incluido en la señal de medición, ya que cualquier componente de ruido por debajo de la frecuencia de desconexión inferior f_{LC} , y por encima de la frecuencia de desconexión superior f_{UC} también se elimina o reduce. Por tanto, cuando se usa un sensor 10 de medición de pulso de impacto resonante con una frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} en un intervalo desde un valor de frecuencia de resonancia inferior f_{RML} a un valor de frecuencia de resonancia superior f_{RMU} , el filtro 240 de paso de banda digital puede diseñarse para tener una frecuencia de desactivación inferior $f_{LC} = f_{RML}$, y una frecuencia de desactivación superior $f_{UC} = f_{RMU}$. De acuerdo con una realización, la frecuencia de desactivación inferior $f_{LC} = f_{RML} = 28$ kHz, y la frecuencia de desactivación superior $f_{UC} = f_{RMU} = 37$ kHz.

De acuerdo con otra realización, la frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} está en algún lugar en el intervalo de 30 kHz a 35 kHz, y el filtro 240 de paso de banda digital puede diseñarse para tener una frecuencia de desactivación inferior $f_{LC} = 30$ kHz y una frecuencia de desactivación superior $f_{UC} = 35$ kHz.

De acuerdo con otra realización, el filtro 240 de paso de banda digital puede diseñarse para tener una frecuencia de desactivación inferior f_{LC} que es menor que el valor de frecuencia de resonancia inferior f_{RM} , y una frecuencia de desactivación superior f_{UC} que es mayor que el valor de frecuencia de resonancia mayor f_{RMU} . Por ejemplo, la frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} puede ser una frecuencia en el intervalo de 30 kHz a 35 kHz, y el filtro 240 de paso de banda digital puede diseñarse para tener una frecuencia de desactivación inferior $f_{LC} = 17$ kHz y una frecuencia de desactivación superior $f_{UC} = 36$ kHz.

Por consiguiente, el filtro 240 de paso de banda digital suministra una señal de datos de medición digital de banda S_F con un contenido de ruido bajo ventajosamente y que refleja vibraciones mecánicas en la banda de paso. La señal de datos de medición digital de banda de paso S_F se suministra a la envolvente 250.

La envolvente 250 digital recibe por consiguiente la señal de datos de medición digital de banda de paso S_F que puede reflejar una señal que tiene amplitudes positivas así como negativas. En referencia a la Figura 6, la señal recibida se rectifica mediante un rectificador 270 digital y la señal rectificada puede filtrarse mediante un filtro 280 de paso bajo opcional para producir una señal de envolvente digital S_{ENV} .

- 5 Por consiguiente, la señal S_{ENV} es una representación digital de una señal de envolvente que se produce en respuesta a la señal de datos de medición filtrada S_F . De acuerdo con algunas realizaciones de la invención el filtro 280 de paso bajo opcional puede eliminarse. Una de tales realizaciones se analiza en relación con la Figura 9 a continuación. Por consiguiente, el filtro 280 de paso bajo opcional en la envolvente 250 puede eliminarse cuando el decimador 310, analizado en relación con la Figura 9 a continuación, incluye una función de filtro de paso bajo.
- 10 De acuerdo con la Figura 6, en la realización de la invención, la señal S_{ENV} se suministra a la salida 260 del preprocesador 200. Por tanto, de acuerdo con una realización de la invención la señal digital preprocesada S_{MDP} suministrada en la salida 210 (Figura 5) es la señal de envolvente digital S_{ENV} .

Aunque los dispositivos analógicos de la técnica anterior para general una señal de envolvente en respuesta a una señal de medición emplean un rectificador analógico que conduce inherentemente a un error de desviación cuando se introduce en la señal resultante, la envolvente 250 digital producirá ventajosamente una auténtica rectificación sin errores de desviación. Por consiguiente, la señal de envolvente digital S_{ENV} tendrá una buena relación de señal respecto a ruido, ya que el sensor que es mecánicamente resonante en la frecuencia de resonancia en la banda de paso del filtro 240 de paso de banda digital conduce a una mayor amplitud de señal y el procesamiento de señal que se realiza en el dominio digital elimina la adición de ruido y elimina la adición de errores de desviación.

- 20 En referencia a la Figura 5, la señal digital preprocesada S_{MDP} se suministra a la entrada 220 del evaluador 230.

De acuerdo con otra realización, el filtro 240 es un filtro de paso alto que tiene una frecuencia de desconexión f_{LC} . Esta realización simplifica el diseño sustituyendo el filtro de paso de banda por un filtro 240 de paso alto, dejando por tanto el filtro de paso bajo para otro filtro de paso bajo corriente abajo, tal como el filtro 280 de paso bajo. La frecuencia de desconexión f_{LC} del filtro 240 de paso alto se selecciona para aproximadamente el valor del valor de frecuencia de resonancia mecánica esperado más bajo f_{RMU} del sensor 10 de medición de pulso de impacto resonante. Cuando la frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} está en algún lugar en el intervalo de 30 kHz a 35 kHz, el filtro 240 de paso alto puede diseñarse para tener una frecuencia de desconexión inferior $f_{LC} = 30$ kHz. La señal filtrada de paso alto pasa por el rectificador 270 y sigue al filtro 280 de paso bajo. De acuerdo con una realización, debería ser posible usar sensores 10 con una frecuencia de resonancia en el intervalo de 20 kHz a 35 kHz. Para lograr esto, el filtro 240 de paso alto puede diseñarse para tener una frecuencia de desconexión inferior $f_{LC} = 20$ kHz.

- La **Figura 7** ilustra una realización del evaluador 230 (véase también la Figura 5). La realización de la Figura 7 del evaluador 230 incluye un analizador 290 de condición adaptado para recibir una señal digital preprocesada S_{MDP} indicativa de la condición de la máquina 6. El analizador 290 de condición puede controlarse para realizar una función de análisis de condición seleccionada mediante una señal de selección suministrada en una entrada 300 de control. La señal de selección suministrada en la entrada 300 de control puede generarse mediante la interacción del usuario con la interfaz 102 de usuario (véase la Figura 2A). Cuando la función de análisis seleccionada incluye la transformada rápida de Fourier, el analizador 290 se ajustará mediante la señal 300 de selección para operar en una señal de entrada en el dominio de frecuencia.

- Dependiendo de qué tipo de análisis se realice, el analizador 290 de condición puede operar en una señal de datos preprocesada de entrada S_{MDP} en el dominio de tiempo, o en una señal digital preprocesada de entrada S_{MDP} en el dominio de frecuencia. Por consiguiente, dependiendo de la señal de selección suministrada en la entrada 300 de control, la FFT 294 puede incluirse como se muestra en la Figura 8, o la señal S_{MDP} puede suministrarse directamente al analizador 290 como se ilustra en la Figura 7.

- La **Figura 8** ilustra otra realización del evaluador 230. En la realización de la Figura 8, el evaluador 230 incluye un transformador 294 rápido de Fourier opcional acoplada para recibir la señal desde la entrada 220 del evaluador 230. La salida desde el transformador 294 FF puede suministrarse al analizador 290.

- Para analizar la condición de la parte rotativa se desean monitorizar las vibraciones detectadas durante un tiempo suficientemente largo para poder detectar señales repetitivas. Ciertas firmas de señales repetitivas son indicativas de una condición deteriorada de la parte rotativa. Un análisis de una firma de señal repetitiva también puede ser indicativo del tipo de condición deteriorada. Tal análisis puede tener como resultado la detección del grado de condición deteriorada.

- Por tanto, la señal de medición puede incluir al menos un componente de señal de vibración S_D dependiente del movimiento de vibración de la parte 8 móvil rotativamente; en el que dicho componente de señal de vibración tiene una frecuencia de repetición f_D que depende de la velocidad de rotación F_{ROT} de la parte 8 móvil rotativamente. El componente de señal de vibración es dependiente del movimiento de vibración de la parte 8 móvil rotativamente y puede por tanto ser indicativo de la condición deteriorada o del daño de la máquina monitorizada. De hecho, una relación entre la frecuencia de repetición f_D del componente de señal de vibración S_D y la velocidad de rotación F_{ROT} de la parte 8 móvil rotativamente puede ser indicativa de qué parte mecánica tiene un daño. Por tanto, en una

máquina con una pluralidad de partes rotativas puede ser posible identificar una parte individual ligeramente dañada mediante el procesamiento de la señal de medición usando una función 105 de análisis, incluyendo análisis de frecuencia.

5 Tal análisis de frecuencia puede incluir una transformada rápida de Fourier de la señal de medición que incluye el componente de señal de vibración S_D . La transformada rápida de Fourier (FFT), usa una cierta resolución de frecuencia. Esa cierta resolución de frecuencia, que puede expresarse en términos de celdas de frecuencia, determina el límite para discernir diferentes frecuencias. El término “celdas de frecuencia” se denomina a menudo “líneas”. Si una resolución de frecuencia que proporciona Z celdas de frecuencia hasta la velocidad del árbol se desea, entonces es necesario registrar la señal que dura X revoluciones del árbol.

10 En conexión con el análisis de las partes rotativas, puede ser interesante analizar las frecuencias de señal que son mayores que la frecuencia de rotación F_{ROT} de la parte rotativa. La parte rotativa puede incluir un árbol y cojinetes. La frecuencia de rotación del árbol F_{ROT} se denomina a menudo “orden 1”. Las señales de cojinete interesantes pueden ocurrir alrededor de diez veces por revolución del árbol (orden 10), es decir, frecuencia de repetición de daño f_D (medida en Hz) dividida por la velocidad rotativa F_{ROT} (medida en rps) igual a 10 Hz/rps, es decir, orden $y = f_D / F_{ROT} = 10$ Hz/rps. Además, puede ser interesante analizar matices de las señales de cojinete, por lo que puede ser interesante medir hasta el orden 100. En referencia a un orden máximo como Y, y el número total de celdas de frecuencia en la FFT a usarse como Z, se aplica lo siguiente: $Z = X * Y$. Al contrario, $X = Z / Y$, en el que

20 X es el número de revoluciones del árbol monitorizado durante el que la señal digital se analiza; e
Y es un orden máximo; y
Z es la resolución de frecuencia expresada como un número de celdas de frecuencia

Se considera un caso cuando la señal de medición digital decimada S_{MDP} (véase la Figura 5) se suministra al analizador 294 FFT, como se describe en la Figura 8: en tal caso, cuando el analizador 294 FFT se establece para Z = 1600 celdas de frecuencia, y el usuario se interesa en analizar frecuencias de hasta el orden Y= 100, entonces el valor para X se vuelve $X = Z / Y = 1600 / 100 = 16$.

25 Por tanto, es necesario medir durante X= 16 revoluciones de árbol cuando Z= 1600 celdas de frecuencia se desea y el usuario se interesa en analizar frecuencias de hasta el orden Y= 100.

La resolución de frecuencia Z del analizador 204 FFT puede ajustarse usando la interfaz 102, 106 de usuario (Figura 2A).

30 Por tanto, el valor de resolución de frecuencia Z para la función 105 de análisis de condición y/o la función 94 de procesamiento de señal (Figura 4) puede ajustarse usando la interfaz 102, 106 de usuario (Figura 2A).

De acuerdo con una realización de la invención, la resolución Z de frecuencia puede ajustarse seleccionando un valor Z de un grupo de valores. El grupo de valores seleccionables para la resolución de frecuencia Z puede incluir

35 Z= 400
Z= 800
Z=1600
Z= 3200
Z= 6400

40 Como se ha mencionado antes, la frecuencia de muestreo f_s puede fijarse a un valor determinado tal como por ejemplo $f_s = 102\ 400$ kHz, y el factor k puede ajustarse a 2,56, proporcionando por tanto la frecuencia máxima a analizar $f_{SEAmáx}$ que es:

$$f_{SEAmáx} = f_s / k = 102\ 400 / 2,56 = 40\ \text{kHz}$$

Para una máquina que tiene un árbol con velocidad rotativa $F_{ROT} = 1715$ rpm = 28,58 rps, un valor de orden seleccionado Y= 100 proporciona una frecuencia máxima a analizar que es

$$f_{ROT} * Y = 28,58\ \text{rps} * 100 = 2858\ \text{Hz}.$$

45 El transformador 294 FF puede adaptarse para realizar una transformada rápida de Fourier en una señal de entrada recibida que tiene un cierto número de valores de muestra. Esto es ventajoso cuando un cierto número de valores de muestra se establece en un número entero par que puede dividirse por dos (2) sin proporcionar un número fraccionario.

50 Por consiguiente, una señal digital que representa vibraciones mecánicas que emanan de la rotación de un árbol puede incluir patrones de señal repetitivos. Un cierto patrón de señal puede repetirse así un cierto número de veces por revolución del árbol que se monitoriza. Además, las señales repetitivas pueden ocurrir con una frecuencia de repetición mutuamente diferente.

En el libro “*Machinery Vibration Measurements and Analysis*” de Victor Wowk (ISBN 0-07-071936-5), se proporciona

una pareja de ejemplos de frecuencias de repetición mutuamente diferentes en la página 149:

- 5 "Frecuencia de entrenamiento fundamental (FTF)
Frecuencia de giro de bola (BS)
Pista exterior (OR)
Pista interior (IR)"

10 El libro también proporciona fórmulas para calcular estas frecuencias específicas en la página 150. El contenido del libro "*Machinery Vibration Measurements and Analysis*" de Victor Wowk, se incorpora por referencia en el presente documento. En particular, las fórmulas antes mencionadas para calcular estas frecuencias específicas se incorporan por referencia en el documento. Una tabla en la página 151 del mismo libro indica que estas frecuencias también varían dependiendo del fabricante de cojinetes y que

FTF puede tener un factor de frecuencia de cojinete de 0,378;
BS puede tener un factor de frecuencia de cojinete de 1,928;
OR puede tener un factor de frecuencia de cojinete de 3,024; e
IR puede tener un factor de frecuencia de cojinete de 4,976

15 El factor de frecuencia se multiplica por la velocidad rotativa del árbol para obtener la frecuencia de repetición. El libro indica que para un árbol que tiene una velocidad rotativa de 1715 rpm, es decir 28,58 Hz, la frecuencia de repetición para un pulso que emana de la pista exterior (OR) de un cojinete de tipo estándar 6311 puede ser aproximadamente 86 Hz.; y la frecuencia de repetición FTF puede ser 10,8 Hz.

20 Cuando el árbol monitorizado rota a una velocidad rotativa constante tal frecuencia de repetición puede analizarse en términos de repetición por unidad de tiempo o términos de repetición por revolución del árbol que se monitoriza, sin distinguir entre las dos. Sin embargo, si la parte de la máquina rota a una velocidad rotativa variable el asunto es más complicado, como se analiza después en conexión con las Figuras 16, 17 y 20.

Maquinaria que presenta daños repentinos

25 Algunos tipos de maquinaria pueden sufrir fallos o averías de máquina completas muy abruptamente. Para algunos tipos de máquina, tales como partes rotativas en una estación de energía eólica, se conoce que la avería ocurre de manera súbita y como una sorpresa completa para el personal de mantenimiento y el propietario de la máquina. Tales averías repentinas provocan muchos costes al propietario de la máquina y provocan otros efectos colaterales negativos, por ejemplo si algunas partes de la máquina se caen como resultado de un fallo mecánico inesperado.

30 El inventor apreció que hay un nivel de ruido particularmente alto en las vibraciones mecánicas de cierta maquinaria, y que tales niveles de ruido dificultan la detección de los daños de la máquina. Por tanto, para algunos tipos de maquinaria, los procedimientos convencionales para evitar la monitorización de condición han fallado en proporcionar un aviso suficientemente temprano y/o eficaz de las condiciones de deterioro próximas. El inventor concluyó que puede existir una vibración mecánica V_{MD} indicativa de una condición deteriorada en tal maquinaria, pero que los procedimientos convencionales para medir vibraciones hasta la fecha han sido inadecuados.

35 El inventor apreció que las máquinas que tienen partes rotativas lentas estaban entre los tipos de maquinaria que parecen ser particularmente propensos a tales fallos repentinos. El inventor también apreció que a velocidad rotativa baja F_{ROT} puede conducir a amplitudes menores de la vibración mecánica V_{MD} . Cuando la vibración mecánica V_{MD} indicativa de un daño incipiente de la máquina tiene una amplitud baja, el contenido de ruido en la señal de medición será mayor en términos relativos. Cuando se mide en una máquina que tiene una velocidad relativa de menos de 50 rpm, la señal de medición digital decimada y de envolvente S_{RED} suministrada por el decimador 310 puede ser tan ruidosa para evitar un análisis de monitorización de condición exitoso si la señal de medición digital decimada S_{RED} se suministra directamente al analizador 290. En otras palabras, la relación de señal respecto a ruido SNR de la señal de medición digital decimada S_{RED} también puede ser baja para evitar la detección de cualquier componente de señal de vibración S_D .

45 Habiendo apreciado que un nivel de ruido particularmente alto en las vibraciones mecánicas de ciertas maquinarias dificulta la detección de los daños de máquina, al inventor se le ocurrió un procedimiento para permitir la detección de señales mecánicas débiles en un entorno ruidoso. Como se ha mencionado antes, la frecuencia de repetición f_D del componente de señal de vibración S_D en una señal de medición ruidosa S_{EA} depende de la vibración mecánica V_{MD} que es indicativa de un daño incipiente de una parte 8 rotativa de la máquina 6 monitorizada. El inventor apreció que puede ser posible detectar un daño incipiente, es decir un daño que está comenzando a desarrollarse, si una señal débil correspondiente puede discernirse.

55 Por tanto, la señal de medición puede incluir al menos un componente de señal de vibración S_D dependiente de un movimiento de vibración de la parte 8 móvil rotativamente; en el que dicho componente de señal de vibración tiene una frecuencia de repetición f_D que depende de la velocidad de rotación f_{ROT} de la parte 8 móvil rotativamente. La existencia de un componente de señal de vibración que depende del movimiento de vibración de la parte 8 móvil rotativamente puede proporcionar por tanto una indicación temprana de la condición de deterioro o un daño incipiente de la máquina monitorizada.

- En una aplicación de turbina eólica el árbol cuyo cojinete se analiza puede rotar a una velocidad menor de 120 revoluciones por minuto, es decir la frecuencia rotativa del árbol F_{ROT} es menor de 2 revoluciones por segundo (rps). Algunas veces tal árbol a analizar rota a una velocidad menor de 50 revoluciones por minuto (rpm), es decir una frecuencia rotativa de árbol F_{ROT} menor de 0,83 rps. De hecho, la velocidad de rotación puede ser normalmente
- 5 menor de 15 rpm. Mientras que un árbol con una velocidad rotativa de 1715 rpm, como se analizó en el mencionado libro, produce 500 revoluciones en solo 17,5 segundos; un árbol que rota a 50 revoluciones por minuto tarda diez minutos en producir 500 revoluciones. Algunas estaciones de energía eólica grandes tienen árboles que pueden rotar típicamente a 12 RPM = 0,2 rps.
- Por consiguiente, cuando un cojinete a analizar se asocia con un árbol rotativo lento, y el cojinete se monitoriza
- 10 mediante un detector que genera una señal de medición analógica S_{EA} que se muestrea usando una frecuencia de muestreo f_S de aproximadamente 100 KHz, el número de valores muestreados asociados con una revolución completa del árbol se vuelve muy grande. Como ejemplo ilustrativo, hacen falta 60 millones (60.000.000) de valores de muestra a una frecuencia de muestreo de 100 kHz para describir 500 revoluciones cuando rota el árbol a 50 rpm.
- Además, la realización del análisis matemático avanzado de la señal requiere mucho tiempo cuando la señal incluye
- 15 tantas muestras. Por consiguiente, se desea reducir el número de muestras por segundo antes de un procesamiento adicional de la señal S_{ENV} .
- La **Figura 9** ilustra otra realización del preprocesador 200. La Figura 9 en la realización del preprocesador 200
- 20 incluye un filtro 240 de paso de banda digital y una envolvente 250 digital como se describe en relación con la Figura 6. Como se ha dicho antes, la señal S_{ENV} es una representación digital de una señal de envolvente que se produce en respuesta a la señal de datos de medición de entrada S_F .
- De acuerdo con la realización de la Figura 9 del preprocesador 200, la señal de envolvente digital S_{ENV} se suministra
- 25 a un decimador 310 adaptado para producir una señal digital S_{RED} que tiene una frecuencia de muestreo reducida f_{SR1} . El decimador 310 opera para producir una señal digital de salida en el que la duración temporal entre dos valores de muestra consecutivos es mayor que la duración temporal entre dos valores de muestra consecutivos en la señal de entrada. El decimador se describe en más detalle en relación con la Figura 14 a continuación. De acuerdo con una realización de la invención, el filtro 280 de paso bajo opcional puede eliminarse como se ha dicho
- antes. Cuando, en la realización de la Figura 9, la señal producida por el rectificador 270 digital se suministra al decimador 310, que incluye un filtrado de paso bajo, el filtro 280 de paso bajo puede eliminarse.
- Una salida 312 del decimador 310 suministra la señal digital S_{RED} a una entrada 315 del dispositivo de mejora 320.
- 30 El dispositivo de mejora 320 es capaz de recibir la señal digital S_{RED} y en respuesta a ello generar una señal de salida S_{MDP} . La señal de salida S_{MDP} se suministra al puerto 260 de salida del preprocesador 200.
- La **Figura 10A** es un diagrama de flujo que ilustra realizaciones de un procedimiento para mejorar patrones de señal
- 35 repetitivos en señales. Este procedimiento puede usarse ventajosamente para mejorar patrones de señal repetitivos en señales que representan la condición de una máquina con un árbol rotativo. Un dispositivo de mejora 320 puede diseñarse para operar de acuerdo con el procedimiento ilustrado en la Figura 10A.
- Las etapas de procedimiento S1000 a S1040 en la Figura 10A representan acciones preparatorias a tomar para
- realizar ajustes antes de generar actualmente los valores de señal de salida.
- Cuando se han ejecutado las acciones preparatorias, los valores de señal de salida pueden calcularse como se
- describe en referencia a la etapa S 1050.
- 40 La **Figura 10B** es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de generación de señal de salida digital. Más en particular, la Figura 10B ilustra una realización de un procedimiento para generar una señal de salida digital cuando las acciones preparatorias descritas en referencia a las etapas S1000 a S1040 en la Figura 10A se han realizado.
- En referencia a la etapa S1000 en la Figura 10A, una longitud deseada $O_{LONGITUD}$ de una señal de salida S_{MDP} se
- determina.
- 45 La **Figura 11** es una ilustración esquemática de una primera memoria con posiciones de memoria plurales i . las posiciones de memoria i de la primera memoria contienen una señal de entrada de ejemplo I que comprende una secuencia de valores digitales. La señal de entrada de ejemplo se usa para calcular la señal de salida S_{MDP} de acuerdo con realizaciones de la invención. La Figura 11 muestra algunos de muchos valores digitales consecutivos para la señal de entrada I . Los valores digitales 2080 en la señal de entrada I solo ilustran algunos de los valores
- 50 digitales que se presentan en la señal de entrada. En la Figura 11 dos valores digitales cercanos en la señal de entrada se separan mediante una duración t_{delta} . El valor t_{delta} es el inverso de la frecuencia de muestreo f_{SR} de la señal de entrada recibida por el dispositivo de mejora 320 (véanse la Figura 9 y la Figura 16).
- La **Figura 12** es una ilustración esquemática de una segunda memoria que tiene posiciones de memoria plurales t .
- 55 Las posiciones de memoria t de la segunda memoria contienen una señal de salida de ejemplo S_{MDP} que comprende una secuencia de valores digitales. Por tanto, la Figura 12 ilustra una porción de una memoria con valores digitales 3090 almacenados en posiciones de memoria consecutivas. La Figura 12 muestra los valores digitales consecutivos

para la señal de salida S_{MDP} . Los valores 3090 digitales en la señal de salida S_{MDP} solo ilustran algunos de los valores digitales que están presentes en la señal de salida. En la Figura 12, dos valores digitales cercanos en la señal de salida pueden separarse temporalmente por la duración t_{delta} .

5 En referencia a la etapa S1000 en la Figura 10, la longitud deseada O_{LONGITUD} 3010 de la señal de salida S_{MDP} puede elegirse para que sea posible usar la señal de salida S_{MDP} para analizar algunas frecuencias en la señal de salida. Si por ejemplo las frecuencias inferiores son de interés, una señal de salida más larga se requiere que si las frecuencias superiores son de interés. La frecuencia más baja puede analizarse usando la señal de salida que es $1/(O_{\text{LONGITUD}} * t_{\text{delta}})$, donde O_{LONGITUD} es el número de valores de muestra en la señal de salida. Si f_{SR} es el índice de muestreo de la señal de entrada I , entonces el tiempo t_{delta} entre cada valor de muestra digital será $1/f_{\text{SR}}$. Como se ha dicho antes, los patrones de señal repetitivos pueden ocurrir en una señal de datos que representa vibraciones mecánicas. Por consiguiente, una señal de medición, tal como la señal S_{ENV} suministrada por la envolvente 250 y la señal S_{RED} suministrada al dispositivo de mejora 320 pueden incluir al menos un componente de señal de vibración S_{D} dependiente del movimiento de vibración de la parte 8 móvil rotativamente; en el que dicho componente de señal de vibración S_{D} tiene una frecuencia de repetición f_{D} que depende de la velocidad de rotación F_{ROT} de la parte 8 móvil rotativamente. Por tanto, para estar seguro de detectar la aparición de patrones de señal repetitivos con una frecuencia de repetición $f_{\text{REP}} = f_{\text{D}} = 1/(O_{\text{LONGITUD}} * t_{\text{delta}})$ la señal de salida S_{MDP} debe incluir al menos O_{LONGITUD} valores digitales, cuando los valores digitales consecutivos en la señal de salida S_{MDP} se separan por la duración t_{delta} .

20 De acuerdo con una realización, el usuario puede introducir un valor que representa una frecuencia de repetición inferior f_{REPMIN} a detectar así como información sobre una velocidad de rotación esperada inferior del árbol a monitorizar. El sistema 2 de análisis (Figura 1) incluye funcionalidad para calcular un valor adecuado para la variable O_{LONGITUD} en respuesta a estos valores.

Como alternativa, en referencia a la Figura 2A, un usuario de un aparato 14 de análisis puede ajustar el valor O_{LONGITUD} 3010 de la señal de salida S_{MDP} mediante la entrada de un valor correspondiente por la interfaz 102 de usuario.

25 En la siguiente etapa S1010, un factor de longitud L se elige. El factor de longitud L determina cómo de bien las señales estocásticas se suprimen en la señal de salida S_{MDP} . Un valor mayor de L proporciona menos señales estocásticas en la señal de salida S_{MDP} que un valor inferior de L . Por tanto, el factor de longitud L puede denominarse valor mejorador de relación de señal respecto a ruido, y también valor mejorador de SNR. De acuerdo con una realización del procedimiento, L es un número entero entre 1 y 10, pero L también puede ajustarse a otros valores. De acuerdo con una realización del procedimiento, el valor L puede preajustarse en el dispositivo de mejora 320. De acuerdo con otra realización del procedimiento, el valor L se introduce mediante el usuario del procedimiento a través de la interfaz 102 de usuario (Figura 2A). El valor del factor L también tiene un impacto en el cálculo del tiempo necesario para calcular la señal de salida. Un valor mayor de L requiere un tiempo de cálculo mayor que un valor menor de L .

35 A continuación, en la etapa S1020, una posición de inicio S_{INICIO} se ajusta. La posición de inicio S_{INICIO} puede indicar una posición en la señal de entrada I .

40 La posición de inicio S_{INICIO} se ajusta para evitar o reducir la aparición de patrones no repetitivos en la señal de salida S_{MDP} . Cuando la posición de inicio S_{INICIO} se ajusta para que una parte 2070 de la señal de entrada antes de la posición de inicio tenga una longitud que se corresponde con un cierto intervalo de tiempo $T_{\text{ESTOCÁSTICO_MÁX}}$ entonces las señales estocásticas con la frecuencia correspondiente $f_{\text{ESTOCÁSTICA_MÁX}}$ y las frecuencias superiores se atenuarán en la señal de salida O_{SMDP} .

En la siguiente etapa S1030, la longitud requerida de la señal de datos de entrada se calcula. La longitud requerida de la señal de datos de entrada se calcula en la etapa S1030 de acuerdo con la fórmula (1) a continuación:

$$(1) I_{\text{LONGITUD}} = O_{\text{LONGITUD}} * L + S_{\text{INICIO}} + O_{\text{LONGITUD}}$$

45 A continuación, en la etapa S1040, una longitud C_{LONGITUD} en la señal de entrada de datos se calcula. La longitud C_{LONGITUD} es la longitud sobre la cual el cálculo de la señal de entrada de datos se realiza. Esta longitud C_{LONGITUD} se calcula de acuerdo con la fórmula (3) a continuación.

$$(3) C_{\text{LONGITUD}} = I_{\text{LONGITUD}} - S_{\text{INICIO}} - O_{\text{LONGITUD}}$$

La Fórmula (3) también puede escribirse como $I_{\text{LONGITUD}} = C_{\text{LONGITUD}} + S_{\text{INICIO}} + O_{\text{LONGITUD}}$

50 La señal de salida se calcula entonces en la etapa S1050. La señal de salida se calcula de acuerdo con la Fórmula (5) a continuación. En la Fórmula (5) un valor para la señal de salida se calcula para un valor de tiempo t en la señal de salida.

$$(5) S_{\text{MDP}}(t) = \sum_{i=C_{\text{LONGITUD}}} I(i) * I(i + S_{\text{INICIO}} + t) \quad \text{donde} \quad 1 \leq t \leq O_{\text{LONGITUD}}$$

$$i=1$$

La señal de salida S_{MDP} tiene una longitud $O_{LONGITUD}$ como se ha dicho antes. Para adquirir la señal de salida entera S_{MDP} , un valor para cada valor de tiempo desde $t = 1$ a $t = O_{LONGITUD}$ debe calcularse con la fórmula (5). En la Figura 11 un valor 2081 digital ilustra un valor digital que se usa en el cálculo de la señal de salida. El valor 2081 digital ilustra un valor digital que se usa en el cálculo de la señal de salida donde $i=1$. El valor 2082 digital ilustra otro valor digital que se usa en el cálculo de la señal de salida. El número de referencia 2082 se refiere al valor digital $I(1 + S_{INICIO} + t)$ en la Fórmula (5) anterior, cuando $i=1$ y $t=1$. Por tanto, el número de referencia 2082 ilustra el valor de muestra digital en la posición del número P en la señal de entrada:

$$P = 1 + S_{INICIO} + 1 = S_{INICIO} + 2.$$

10 En la Figura 12, el número de referencia 3091 se refiere al valor de muestra digital $S_{MDP}(t)$ en la señal de salida donde $t=1$.

Otra realización del procedimiento para operar el dispositivo de mejora 320 para mejorar patrones repetitivos en señales que representan la condición de una máquina con un árbol rotativo se describirá ahora. De acuerdo con una realización, la longitud $O_{LONGITUD}$ puede preajustarse en el dispositivo de mejora 320. De acuerdo con otras realizaciones del procedimiento la longitud $O_{LONGITUD}$ puede ajustarse mediante la entrada del usuario a través de la interfaz 102 de usuario (Figura 2A). De acuerdo con una realización preferente del procedimiento la variable $O_{LONGITUD}$ se ajusta a un número entero par que puede dividirse por dos (2) sin producir un número fraccionario. La selección de la variable $O_{LONGITUD}$ de acuerdo con esta regla adapta ventajosamente el número de muestras en la señal de salida para que sea adecuada para su uso en el transformador 294 rápido de Fourier. Por tanto, de acuerdo con realizaciones del procedimiento, la variable $O_{LONGITUD}$ puede ajustarse preferentemente a un número tal como por ejemplo 1024, 2048, 4096.

En una realización particularmente ventajosa el valor S_{INICIO} se ajusta, en la etapa S1020, por lo que la parte 2070 de la señal de entrada antes de la posición de inicio tiene la misma longitud que la señal 3040 de salida, es decir $S_{INICIO} = O_{LONGITUD}$.

25 Como se ha mencionado en relación con la ecuación (1) anterior, la longitud requerida de la señal de datos de entrada es

$$I_{LONGITUD} = O_{LONGITUD} * L + S_{INICIO} + O_{LONGITUD}$$

Por tanto, ajustar $S_{INICIO} = O_{LONGITUD}$ en la ecuación (1) produce

$$I_{LONGITUD} = O_{LONGITUD} * L + O_{LONGITUD} + O_{LONGITUD} = O_{LONGITUD} * L + O_{LONGITUD} * 2$$

30 Por consiguiente, la longitud requerida de la señal de entrada puede expresarse en términos de la longitud de la señal de salida de acuerdo con la ecuación (6) a continuación.

$$(6) I_{LONGITUD} = (L+2) * O_{LONGITUD}$$

donde L es el factor de longitud antes analizado, y $O_{LONGITUD}$ es el número de valores digitales en la señal de salida, como se ha mencionado antes.

35 La longitud $C_{LONGITUD}$ puede calcularse, en esta realización de la invención, de acuerdo con la fórmula (7) a continuación.

$$(7) C_{LONGITUD} = L * O_{LONGITUD}$$

Cuando las acciones preparatorias descritas en referencia a las etapas S1000 a S1040 en la Figura 10A se han realizado, la señal de salida digital puede generarse mediante el procedimiento descrito en referencia a la **Figura 10B**. De acuerdo con una realización de la invención, el procedimiento descrito en referencia a la Figura 10B se realiza mediante un DSP 50 (Figura 2A).

En una etapa S1100 (Figura 10B), el dispositivo de mejora 320 recibe una señal de entrada digital I con una primera pluralidad $I_{LONGITUD}$ de valores de muestra en una entrada 315 (véase la Figura 9 y/o la Figura 16). Como se ha dicho antes, la señal de entrada digital I puede representar vibraciones mecánicas que emanan de la rotación de un árbol para provocar la aparición de una vibración que tiene un periodo de repetición T_R .

Los valores de señal recibidos se almacenan (etapa S1120) en una porción de almacenamiento de señal de entrada de una memoria de datos asociada con el dispositivo de mejora 320. De acuerdo con una realización de la invención la memoria de datos puede incorporarse mediante la memoria 52 de leer/escribir (Figura 2A).

En una etapa S1130, la variable t, usada en la ecuación (5) anterior, se ajusta a un valor inicial. El valor inicial puede ser 1 (uno).

En la etapa S1140, un valor de muestra de salida $S_{MDP}(t)$ se calcula para el número de muestra t . El cálculo puede emplear la siguiente ecuación:

$$S_{MDP}(t) = \sum_{i=1}^{i=C_{LONGITUD}} I(i) * I(i + S_{INICIO} + t)$$

El valor de muestra resultante $S_{MDP}(t)$ se almacena (etapa S1150, Figura 10B) en una porción de almacenamiento de señal de salida de la memoria 52 (véase la Figura 12).

En una etapa S1160, el procedimiento comprueba el valor de la variable t y si el valor de t representa un número inferior que el número deseado de valores de muestra de salida $O_{LONGITUD}$ una etapa S1160 se realiza para incrementar el valor de la variable t , antes de repetir las etapas S1140, S1150 y S1160.

Si en la etapa S1160, el valor de t representa un número igual al número deseado de valores de muestra de salida $O_{LONGITUD}$, se realiza una etapa S1180.

En la etapa S1180, la señal de salida O , S_{MDP} se suministra en la salida 260 (véase la Figura 9 y/o la Figura 16).

Como se ha mencionado antes, una señal de datos que representa vibraciones mecánicas que emanan de la rotación de un árbol puede incluir firmas de señal repetitivas, y una cierta firma de señal puede repetirse así un cierto número de veces por revolución del árbol que se monitoriza. Además, varias firmas de señal repetitivas mutuamente diferentes pueden ocurrir, en el que las firmas de señal repetitivas mutuamente diferentes pueden tener una frecuencia de repetición mutuamente diferente. El procedimiento para mejorar firmas de señal repetitivas en señales, como se ha descrito antes, permite ventajosamente una detección simultánea de muchas firmas de señal repetitivas que tienen una frecuencia de repetición mutuamente diferente. Esto permite ventajosamente la detección simultánea de, por ejemplo, una firma de daño de pista interior de cojinete y una firma de daño de pista exterior de cojinete en una única sesión de análisis y medición, como se describe a continuación.

La **Figura 13** es una ilustración esquemática de una señal de salida de ejemplo S_{MDP} que comprende dos firmas 4010 y 4020 de señales repetitivas. La señal de salida S_{MDP} puede comprender más firmas de señales repetitivas que las ilustradas en la Figura 13, pero por motivos ilustrativos solo dos firmas de señal repetitivas se muestran. Solo algunos de muchos valores digitales para las firmas 4010 y 4020 de señales repetitivas se muestran en la Figura 13.

En la Figura 13 la señal 4020 de frecuencia de pista exterior (OR) y la señal 4010 de frecuencia de pista interior (IR) se ilustran. Como puede verse en la Figura 13 la señal 4020 de frecuencia de pista exterior (OR) tiene una frecuencia menor que la señal 4010 de frecuencia de pista interior (IR). La frecuencia de repetición de la señal 4020 de frecuencia de pista exterior (OR) y la señal 4010 de frecuencia de pista interior (IR) son respectivamente $1/T_{OR}$ y $1/T_{IR}$.

En las realizaciones antes descritas del procedimiento de operación del dispositivo de mejora 320 para mejorar patrones de señal repetitivos, los patrones de señal repetitivos se amplifican cuando se calcula la señal de salida en la etapa S1050. Una mayor amplificación de los patrones de señal repetitivos se logra si al factor L se le proporciona un mayor valor, en la etapa S1010, que si L tiene un valor inferior. Un mayor valor de L significa que una señal de entrada más larga $I_{LONGITUD}$ se requiere en la etapa S1030. Una señal de entrada más larga $I_{LONGITUD}$ resulta por tanto en una mayor amplificación de los patrones de señal repetitivos en la señal de salida. Por tanto, una señal de entrada más larga $I_{LONGITUD}$ provoca el efecto de mejor atenuación de las señales estocásticas en relación con los patrones de señal repetitivos en la señal de salida.

De acuerdo con una realización de la invención, el valor entero $I_{LONGITUD}$ puede seleccionarse en respuesta a una cantidad deseada de atenuación de señales estocásticas. En tal realización el factor de longitud L puede determinarse dependiendo del valor entero seleccionado $I_{LONGITUD}$.

Ahora se considera una realización de ejemplo del procedimiento para operar el dispositivo de mejora 320 para mejorar patrones de señal repetitivos donde el procedimiento se usa para amplificación de un patrón de señal repetitivo con una cierta frecuencia inferior. Para poder analizar el patrón de señal repetitivo con la frecuencia más baja determinada, una cierta longitud de la señal de salida se necesita.

Como se ha mencionado antes, usar una señal de datos de entrada más larga en el cálculo de la señal de salida tiene como resultado que el patrón de señal repetitivo se amplifique más que si se usa una señal de datos de entrada más corta. Si una cierta amplificación del patrón de señal repetitivo se necesita es por tanto posible usar una cierta longitud de la señal de entrada para lograr esta cierta amplificación del patrón de señal repetitivo.

Para ilustrar la realización antes mencionada se considera el siguiente ejemplo:

Un patrón de señal repetitivo con una frecuencia de repetición inferior f_i es de interés. Para asegurar la detección

de tal señal repetitiva será necesario producir una señal de salida capaz de indicar un ciclo completo, es decir, se necesita representar una duración de $T_1 = 1/f_i$. Cuando los valores de muestra de señal de salida consecutivos se separan mediante un periodo de muestra t_{delta} , el número mínimo de valores de muestra en la señal de salida será $O_{\text{Longitudmín}} = T_1 / t_{\text{delta}}$.

- 5 Como se ha mencionado antes, la cantidad de amplificación de la señal repetitiva se incrementará con la longitud de la señal de entrada.

Como se ha mencionado antes, el procedimiento descrito en referencia a las Figuras 10 a 13 anteriores opera para mejorar firmas de señal repetitivas en una secuencia de datos de medición que emanan de un árbol rotativo. Las palabras "firma de señal repetitiva" se entienden como valores de muestra $[x(t), x(t+T), x, (t+2T), \dots \dots x(t+nT)]$ que incluyen un componente de amplitud que tiene un valor de amplitud no estocástico y en el que una duración T entre estos valores de muestra es constante, siempre y cuando el árbol rote a una velocidad de rotación constante. En referencia a la Figura 13 debe entenderse que los valores 4010 digitales resultan de la mejora de valores de señal repetitivos plurales en la señal de entrada I (véase la Figura 11), en el que los valores de señal de entrada se separan en tiempo mediante una duración T_{IR} . Por tanto, en ese caso puede deducirse que "la firma de señal repetitiva" se refiere a un daño en el anillo interior en el conjunto de cojinetes, cuando el periodo de repetición T_{IR} se corresponde a un índice de paso de bola en el anillo interior. Por supuesto esto presume el conocimiento del diámetro del árbol y la velocidad de rotación. Además, cuando existe un componente de señal "de firma de señal repetitiva", puede existir un valor de componente de señal repetitiva x de manera que $x(t)$ tiene una amplitud similar a $x(t+T)$ que tiene una amplitud similar a $x(t+2T)$, que tiene una amplitud similar a $x(t+nT)$, etc. Cuando existe tal "firma de señal repetitiva" presente en la señal de entrada, puede detectarse ventajosamente usando el anterior procedimiento descrito, incluso cuando la firma de señal repetitiva es tan débil que se genera un componente de amplitud menor que el de los componentes de señal estocástica.

El procedimiento descrito en conexión con las Figuras 10-13 puede realizarse mediante el aparato 14 de análisis cuando el procesador 50 ejecuta el código 94 de programa correspondiente, como se analiza junto con la Figura 4 anterior. El procesador 50 de datos puede incluir una unidad de procesamiento central para controlar la operación del aparato 14 de análisis así como el procesador de señal digital (DSP). El DSP puede estar dispuesto para ejecutar actualmente el código 90 de programa para provocar que el aparato 14 de análisis ejecute el programa 94 provocando que el proceso antes descrito en conexión con las Figuras 10-13 se ejecute. El procesador de señal digital puede por ejemplo ser del tipo TMS320C6722, fabricado por Texas Instruments. De esta manera el aparato 14 de análisis puede operar para ejecutar todas las funciones 94 de procesamiento de señal, incluyendo una función 240 de filtrado, una función 250 de envolvente, una función 310 y 470 de decimación y una función 320 de mejora.

De acuerdo con otra realización de la invención, el procesamiento de señal puede compartirse entre el aparato 14 y el ordenador 33, como se ha mencionado antes. Por tanto, el aparato 14 puede recibir la señal de medición analógica S_{EA} y generar una señal digital correspondiente S_{MD} , y después suministrar la señal digital S_{MD} al ordenador 33 de control, permitiendo una función 94 de procesamiento de señal adicional que se realiza en la ubicación 31 de control.

La **Figura 10C** ilustra una realización del dispositivo de mejora 320. El dispositivo de mejora 320 tiene una entrada 315 en la que puede recibir una señal digital S_{RED} que tiene un índice de muestreo f_{SRED} . El dispositivo de mejora 320 puede incluir un manipulador 325 de señal adaptado para recibir la señal digital S_{RED} en el puerto 326. El manipulador 325 de señal también incluye un puerto 327 para recibir un valor de control indicativo de la longitud deseada I_{LONGITUD} de la señal de entrada I .

El dispositivo de mejora 320 también puede incluir un medio 330 de ajuste de parámetro. El medio 330 de ajuste de parámetro opera para generar valores de control relevantes para realizar la mejora de señal deseada. Por tanto, el medio 330 de ajuste de parámetro tiene una salida 332 para suministrar el valor de control I_{LONGITUD} al manipulador 325 de señal.

El dispositivo de mejora 320 puede recibir instrucciones de ajuste en las entradas 335. Las instrucciones de ajuste recibidas en las entradas 335 pueden incluir datos indicativos de un valor de orden Y , datos indicativos de una resolución de frecuencia Z y datos indicativos de un valor L mejorador de SNR. Las entradas 335 pueden acoplarse para suministrar los datos recibidos al medio 330 de ajuste de parámetros (véase la Figura 10C).

- 50 El dispositivo de mejora 320 puede integrarse en un aparato 14 de análisis como se ha descrito antes en referencia a la Figura 1.

Como alternativa, el dispositivo de mejora 320 puede ser parte del ordenador 33 de control en la ubicación 31 de control central (véase la Figura 1). Por consiguiente, la señal digital S_{RED} que tiene un índice de muestra f_{SRED} puede suministrarse al ordenador 33 de control en el puerto 29B, por ejemplo desde el aparato 14 de análisis por medio de la red 18 de comunicaciones.

La **Figura 10D** ilustra señales de acuerdo con una realización del procedimiento mejorador. Una señal de entrada digital I que tiene un índice de muestra f_{SR} se ilustra esquemáticamente en la parte superior de la Figura 10D. La señal de entrada digital I incluye al menos I_{LONGITUD} valores de muestra, en el que I_{LONGITUD} es un número entero

positivo.

La ejecución de un cálculo como el descrito en la ecuación (5) anterior, puede ilustrarse como una operación que implica una primera porción de señal S1 y una segunda porción de señal S2.

La primera porción de señal S1 incluye una copia de los primeros valores de muestra S_{1L} en la señal de entrada I.

$$5 \quad S_{1L} = I_{LONGITUD} - O_{LONGITUD}$$

La segunda porción de señal S2 incluye una copia de los últimos valores de muestra S_{2L} en la señal de entrada I.

$$S_{2L} = I_{LONGITUD} - S_{INICIO}$$

La señal O_{S1} en la parte inferior de la Figura 10D es una ilustración esquemática de una señal de salida O_{S1} obtenida en respuesta al cálculo que implica la primera porción de señal S1 y la segunda porción de señal S2.

10 La **Figura 10E** ilustra una realización de un procedimiento de operación del dispositivo de mejora 320.

En una etapa S310, la interfaz 24B, 102, 104 de usuario hace que el usuario introduzca valores de ajuste del dispositivo de mejora. De acuerdo con una realización, la interfaz de usuario se adapta para solicitar al usuario que indique una resolución de frecuencia deseada Z; y una frecuencia de repetición mayor deseada f_{Dmáx} a detectar, e información indicativa de una mejora de relación de señal respecto a ruido. La información indicativa de la mejora SNR deseada puede introducirse en la forma de un valor L mejorador de SNR. La frecuencia de repetición mayor deseada puede introducirse en la forma de un número de orden O_{VALTO}, Y. En este contexto el número de orden O_{VALTO}, Y es igual a la relación (Y, O_v, O_{VALTO}) entre una frecuencia de repetición mayor (f_{Dmáx}) para ser detectable y dicha velocidad de rotación (f_{ROT}):

$$O_{VALTO}=Y = f_{Dmáx} / f_{ROT}$$

20 De acuerdo con una realización de la invención, la interfaz 24B, 102, 104 de usuario hace que el usuario introduzca una resolución de frecuencia deseada Z (etapa S310) y después se adapte para esperar la entrada (etapa S320) en la forma de datos indicativos de una resolución de frecuencia deseada Z o la entrada en la forma de datos que dan instrucciones al dispositivo de mejora 320 para ajustar la resolución de frecuencia Z automáticamente. Si los datos indicativos de una resolución de frecuencia deseada Z se introducen por el usuario, entonces los datos introducidos se suministrarán al ajustador 330 de parámetros (etapa S330). Si el usuario introduce datos que indican el deseo de dejar que la resolución de frecuencia Z se ajuste automáticamente, la interfaz de usuario indicará (etapa S340) al ajustador 330 de parámetros que establezca la resolución de frecuencia Z en el valor por defecto.

30 Después, la interfaz 24B, 102, 104 de usuario hace que el usuario (S350) introduzca una frecuencia de repetición superior deseada a detectar. La interfaz 24B, 102, 104 de usuario se adapta para esperar la entrada (etapa S360) indicativa de una frecuencia de repetición superior deseada o entrada en la forma de datos que dan instrucciones al dispositivo de mejora 320 para establecer la frecuencia de repetición superior automáticamente. Si los datos indicativos de una frecuencia de repetición superior deseada se introducen por el usuario, entonces los datos introducidos se recibirán y suministrarán al ajustador 330 de parámetros (etapa S370). Si el usuario introduce datos que indican el deseo de dejar que la frecuencia de repetición superior se ajuste automáticamente, la interfaz de usuario indicará (etapa S380) al ajustador 330 de parámetros que establezca la frecuencia de repetición superior en un valor por defecto. La frecuencia de repetición superior puede introducirse y/o ajustarse en la forma de un número de orden O_{VALTO}, Y. Como se ha dicho antes, el valor de orden O_{VALTO}, Y es un ajuste de la frecuencia de repetición superior a detectar en la señal de salida O_S a generar. Cuando por ejemplo las señales de cojinete interesantes pueden ocurrir aproximadamente y veces por revolución del árbol 8, 801A, 801B, 801C, 803 monitorizado, el valor de orden O_{VALTO}, Y debería ajustarse a al menos y. Usando números, esto significa que cuando las señales de cojinete interesantes pueden ocurrir aproximadamente 100 veces por revolución del árbol 8, 801A, 801B, 801C, 803 monitorizado, el valor de orden O_{VALTO}, Y debería establecerse al menos en 100.

45 Por tanto, la interfaz 24B, 102, 104 de usuario hace que el usuario (S390) introduzca una mejora de SNR deseada. La interfaz 24B, 102, 104 de usuario se adapta entonces para esperar la entrada (etapa S400) indicativa de una mejora de SNR deseada o entrada en la forma de datos que dan instrucciones al dispositivo de mejora 320 para ajustar la mejora de SNR automáticamente. Si los datos indicativos de la mejora de SNR se introducen por el usuario, entonces los datos introducidos se recibirán y suministrarán al ajustador 330 de parámetros (etapa S410). Si el usuario introduce datos que indican el deseo de dejar que la mejora de SNR se ajuste automáticamente, la interfaz de usuario indicará (etapa S420) al ajustador 330 de parámetros que deje la mejora de SNR en un valor por defecto. La mejora de SNR puede introducirse en la forma de un valor L mejorador de SNR.

Los valores de control se suministran al ajustador 320 de parámetros en los puertos 335 (Figuras 10C y 10E).

El ajustador 330 de parámetros incluye un calculador 340 de revolución acoplado para recibir los valores de control Z e Y. El calculador 340 de revolución opera para calcular un valor X_E. El valor X_E indica a cuántas "revoluciones mejoradas" del árbol 8, 801A, 801B, 801C, 803 monitorizado deberían corresponder las muestras en la señal de

salida O_{S1} (véase la Figura 10D y/o la Figura 12 y/o la Figura 13). Por ejemplo, cuando la resolución de frecuencia Z se ajusta a 1600 y el valor de orden se ajusta a $Y = 100$, entonces de acuerdo con una realización de la invención las muestras en la señal de salida O_{S1} deberían corresponder a $X_E = Z / Y = 16$ "revoluciones mejoradas" del árbol 8, 801A, 801B, 801C, 803 monitorizado. Por tanto, el calculador 340 de revolución tiene entradas para recibir datos
 5 indicativos de un valor de ajuste de resolución de frecuencia Z y datos indicativos de un valor de orden de ajuste Y . El calculador 340 de revolución genera un valor de datos X_E en respuesta al valor de ajuste de resolución de frecuencia Z y datos indicativos de un valor de orden de ajuste Y .

El calculador 340 de revolución suministra el valor de datos X_E a un calculador 345 de longitud de señal de salida.

Como se ilustra en la Figura 10C, el dispositivo de mejora tiene una entrada 350 para recibir datos indicativos de un
 10 índice de muestra f_{SR} de la señal S_{RED} recibida en la entrada 315. En referencia a la Figura 9, la Figura 16 y Figura 30, el valor de índice de muestra f_{SR} puede corresponder al valor f_{SR1} o f_{SR2} .

El dispositivo de mejora 320 también puede tener una entrada 360 para recibir datos indicativos de una velocidad
 15 rotativa F_{ROT} . Para algunas máquinas la velocidad de rotación está preestablecida a un valor constante, y en tales casos el valor de velocidad puede proporcionarse a la entrada 360. Como alternativa, un detector 420 de velocidad (véase la Figura 1 y la Figura 5 y la Figura 29) puede proporcionarse para suministrar una señal indicativa de una velocidad de rotación f_{ROT} del árbol 8. La velocidad de rotación f_{ROT} del árbol 8 puede proporcionarse en términos de revoluciones por segundo, rps, es decir hercios (Hz). Tal como se analiza en relación con la Figura 19B y la Figura 30, los valores de velocidad de rotación $f_{ROT}(j)$ pueden generarse mediante el generador 601 de valor de velocidad dependiendo de la señal de posición, de acuerdo con realizaciones de la invención.

El calculador 345 de longitud de señal de salida opera para calcular un valor O_L indicativo del número de valores de
 20 muestra $O_{LONGITUD}$ necesarios en la señal de salida O_{S1} (véase la Figura 10D) en respuesta a los datos recibidos, es decir, en respuesta al valor X_E de "revoluciones mejoradas" del árbol, el valor F_{ROT} de velocidad rotativa del árbol y el valor f_{SR} de índice de muestra.

Por tanto, si $X_E = 16$, el valor f_{SR} de índice de muestra = 30,72 Hz y el valor de velocidad rotativa del árbol $F_{ROT} =$
 25 0,12 rps, entonces el número de valores de muestra necesarios en la señal de salida O_{S1} será $O_L = X_E * f_{SR} / F_{ROT} = 4096$.

Por tanto, de acuerdo con una realización, el número mínimo de valores de muestra O_L necesarios en la señal de
 30 salida O_{S1} , S_{MDP} para permitir un análisis posterior de frecuencias de repetición hasta el orden O_{VALTO} , Y con una resolución de frecuencia Z puede calcularse dependiendo de los parámetros Y , Z , f_{ROT} y f_{SR} , en el que f_{SR} es un valor de índice de muestra de manera que un número de muestras por revolución del árbol 8, 801A, 801B, 801C, 803 monitorizado es constante. El número de muestras por revolución del árbol monitorizado es constante cuando la velocidad rotativa es constante, y/o cuando un decimador fraccionario se usa para compensar la velocidad de árbol variable, como se analiza en más detalle a continuación en este documento.

Por consiguiente, el número de valores de muestra $O_{LONGITUD}$ a generar debe ser O_L o superior, en el que $O_L = X_E *$
 35 f_{SR} / F_{ROT} .

El calculador 345 de longitud de señal de salida opera para calcular un valor O_L y para ajustar el valor $O_{LONGITUD}$. El
 valor $O_{LONGITUD}$ se establece a un valor igual o mayor que el valor calculado O_L .

El calculador 345 de longitud de señal de salida opera para suministrar el valor $O_{LONGITUD}$ a la entrada 364 del
 40 calculador 365 de longitud de señal de entrada. El calculador 345 de longitud de señal de salida también opera para suministrar el valor $O_{LONGITUD}$ a un operador 370 de ajuste de atenuador de frecuencia de señal estocástica. El operador 370 de ajuste de atenuador de frecuencia de señal estocástica está dispuesto para ajustar una variable S_{INICIO} . La variable S_{INICIO} controla el límite de frecuencia para la atenuación de señales estocásticas.

Como puede verse a partir de la Figura 10D, el valor S_{INICIO} dividido por el índice de muestra f_{SR} corresponde a un
 periodo de tiempo T_S :

$$T_S = S_{INICIO} / f_{SR} = S_{INICIO} * T_{SR}$$

En el que T_{SR} puede representar la duración de tiempo entre dos muestras consecutivas.

S_{INICIO} es el número de muestras de retraso o desplazamiento entre señales $S1$ y $S2$ a correlacionar, como puede
 verse en la Figura 10D.

Cuando la variable S_{INICIO} se ajusta al mismo valor que $O_{LONGITUD}$ entonces las señales estocásticas con una
 50 frecuencia correspondiente $f_{ESTOCÁSTICA_MÁX} = 1/T_S$ y las mayores frecuencias se atenuarán en la señal de salida O , S_{MDP} . Por consiguiente, es ventajoso ajustar la variable S_{INICIO} a un valor igual a $O_{LONGITUD}$ o a un valor mayor que $O_{LONGITUD}$. Por tanto, el operador 370 de ajuste de atenuador de frecuencia de señal estocástica está dispuesto para ajustar la variable S_{INICIO} a un valor igual a $O_{LONGITUD}$ o a un valor superior que $O_{LONGITUD}$.

El calculador 365 de longitud de señal de entrada opera para calcular un valor I_L y ajustar el valor $I_{LONGITUD}$. El valor

variable I_L se genera dependiendo de la información indicativa de mejora de SNR deseada que puede recibirse en el puerto 366, el valor de la variable S_{INICIO} que puede recibirse en el puerto 367 y el valor $O_{LONGITUD}$ que puede recibirse en el puerto 364.

- 5 Por tanto, para poder generar una señal de salida O , S_{MDP} desde el dispositivo de mejora 320 que tiene los valores de muestra $O_{LONGITUD}$, el dispositivo de mejora debe recibir al menos I_L valores de muestra en el puerto 315. De acuerdo con una realización el valor de la variable I_L es:

$$I_L = O_{LONGITUD} * L + S_{INICIO} + O_{LONGITUD}$$

- 10 Por consiguiente, es ventajoso ajustar la variable $I_{LONGITUD}$ a un valor igual a I_L o a un valor mayor que I_L . Por tanto, el calculador 365 de longitud de señal de entrada está dispuesto para ajustar la variable $I_{LONGITUD}$ a un valor igual a I_L o a un valor mayor que I_L . El calculador 365 de longitud de señal de entrada está dispuesto para suministrar el valor de control $I_{LONGITUD}$ en la salida 332 al manipulador 325 de señal (véase la Figura 10C).

- 15 El calculador 365 de longitud de señal de entrada está dispuesto para suministrar el valor de control $I_{LONGITUD}$ a una entrada de un determinador 375 de suma. El determinador 375 de suma también tiene una entrada para recibir datos indicativos de la variable S_{INICIO} . Además, el determinador 375 de suma también tiene una entrada para recibir datos indicativos del número de valores de muestra $O_{LONGITUD}$ a generar en la forma de señal de salida O_{S1} , S_{MDP} . Por consiguiente, el operador 370 de ajuste de atenuador de frecuencia de señal estocástica está dispuesto para suministrar datos indicativos de la variable S_{INICIO} al determinador 375 de suma, y el calculador 345 de longitud de señal de salida está dispuesto para suministrar datos indicativos del valor $O_{LONGITUD}$ al determinador 375 de suma.

- 20 El determinador 375 de suma está dispuesto para generar un valor $C_{LONGITUD}$ dependiendo de los valores $I_{LONGITUD}$, $O_{LONGITUD}$ y S_{INICIO} .

El valor $C_{LONGITUD}$ se establece a un valor sustancialmente igual a la diferencia entre el valor $I_{LONGITUD}$ y la suma de valores S_{INICIO} y $O_{LONGITUD}$. Por tanto, el determinador 375 de suma puede suministrar un valor $C_{LONGITUD} = I_{LONGITUD} - S_{INICIO} - O_{LONGITUD}$.

- 25 El determinador 375 de suma puede estar dispuesto para suministrar el valor $C_{LONGITUD}$ en una salida 377 del medio 330 de ajuste de parámetro.

- 30 La **Figura 10G** ilustra otra realización del dispositivo de mejora 320, en el que una realización 375B del determinador de suma tiene una entrada para recibir datos indicativos del número de valores de muestra $O_{LONGITUD}$ a generar, y otra entrada para recibir un valor L mejorador de SNR. El determinador 375B de suma se adapta para generar un valor $C_{LONGITUD}$ dependiendo de los valores $O_{LONGITUD}$ y el valor L mejorador de SNR. El determinador 375B de suma se adapta para ajustar $C_{LONGITUD} = L * O_{LONGITUD}$.

El determinador 375B de suma puede estar dispuesto para suministrar el valor $C_{LONGITUD}$ en la salida 377 del medio 330 de ajuste de parámetro.

El calculador 345 de longitud de señal de salida también opera para suministrar el valor $O_{LONGITUD}$ en una salida 379 del medio 330 de ajuste de parámetro.

- 35 Como se ha mencionado antes, el manipulador 325 de señal incluye un puerto 326 para recibir la señal de dominio de tiempo digital S_{RED} , y un puerto 327 para recibir un valor de control indicativo de la longitud deseada $I_{LONGITUD}$ de la señal de entrada I .

- 40 El manipulador 325 de señal coopera con una memoria 380 que tiene porciones de memoria plurales. De acuerdo con una realización, la memoria puede incluir una porción 382 de memoria para almacenar al menos $I_{LONGITUD}$ valores de muestra consecutivos de la señal S_{RED} . Por tanto, el manipulador 325 de señal puede, en respuesta a la recepción de una señal de activación en una entrada 384, operar para leer el valor $I_{LONGITUD}$ en la entrada 327 y por tanto opera para recibir $I_{LONGITUD}$ valores de muestra consecutivos en el puerto 326. El manipulador 325 de señal también puede, en respuesta a la recepción de una señal de activación en una entrada 384 de activación, en cooperación con la memoria 380 operar para almacenar estos valores de muestra en la porción 382 de memoria. Por tanto, el contenido de la porción 382 de memoria representa una señal de entrada I , como se representa en la Figura 10D.

Un generador 386 de valor de muestra de salida opera para generar una primera porción de señal $S1$ y una segunda porción de señal $S2$ dependiendo de la señal de entrada I .

- 50 En respuesta a recibir la señal de activación en la entrada 388 de activación, el generador 386 de valor de muestra de salida puede operar para leer muestras $I(i_0)$ a $I(i_0 + C_{LONGITUD})$, y para almacenar estas muestras en una segunda porción 390 de memoria como la porción de señal $S1$; y el generador 386 de valor de muestra de salida puede operar para leer muestras $I(i_0 + S_{INICIO} + 1 + 1)$ a $I(S_{INICIO} + C_{LONGITUD} + O_{LONGITUD})$ y almacenar estas muestras en una tercera porción 392 de memoria, en la que i_0 es un número entero positivo constante.

Por tanto, el contenido de las porciones 390 y 392 de memoria respectivamente puede representar la primera

porción de señal S1 y la segunda porción de señal S2, como se representa en la Figura 10D. Por tanto, el generador 386 de valor de muestra de salida puede operar para correlacionar las señales S1 y S2 de forma cruzada.

Como alternativa, la correlación implica leer los valores de muestra de la señal de entrada I como se almacenan en la porción 382 de memoria, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 10C y en la parte superior de la Figura 10D. En referencia a la **Figura 10F**, el generador 386 de valor de muestra de salida puede operar para realizar las siguientes etapas:

Etapa S500: ajustar una variable t a un primer valor t₀. El primer valor t₀ puede ser t₀=1.

Etapa S510: calcular un valor de muestra de salida:

$$S_{MDP(t)} = \sum_{i=i_0}^{i=i_0+C_{LONGITUD}-1} I(i) * I(i + S_{INICIO} + t)$$

Etapa S520: suministrar el valor de muestra de salida generado S_{MDP}(t) en el puerto 394 de salida.

Etapa S530: aumentar el valor contador t, es decir ajustar t: t = t + 1;

Etapa S540: comprobar si el valor t es mayor que el valor O_{LONGITUD} + t₀-1. Si el valor t es mayor que el valor O_{LONGITUD} + t₀-1 entonces generar una señal para indicar que la señal de salida completa se ha generado (etapa S550). Si el valor t no es mayor que el valor O_{LONGITUD} + t₀-1 entonces repetir la etapa S510 usando el valor t incrementado.

La **Figura 10H** es una tabla para ilustrar una realización de una parte del cálculo en la etapa S510. El dispositivo de mejora 320 se adapta para generar un valor de muestra de salida S_{MDP}(t) dependiendo de la pluralidad C_{LONGITUD} de productos de señal de entrada P(i, t). C_{LONGITUD} es un número entero positivo.

En referencia a la tabla 1 (véase la Figura 10H) un producto de señal de entrada P(i, t) para una posición de muestra de salida t se obtiene multiplicando un primer valor de muestra de entrada I(i) en una primera posición i por un segundo valor de muestra de entrada I(i + t + S_{INICIO}). El segundo valor de muestra de entrada se encuentra en una segunda posición de muestra i + t + S_{INICIO} en el vector de señal de entrada I (véase la Figura 10D o la Figura 11). Por tanto, el segundo valor de muestra de entrada se separa del primer valor de muestra de entrada por un número determinado N_C de posiciones de muestra. Ese número determinado de posiciones de muestra puede ser N_C = (i + t + S_{INICIO}) - i = t + S_{INICIO}. Por tanto, el número determinado N_C puede ser igual a la suma del valor de posición de muestra de salida t y el **valor determinado** S_{INICIO}.

Como se ha indicado antes en relación con la descripción de la Figura 10D, el valor determinado S_{INICIO} es un número de posiciones de muestra que se pueden corresponder con un periodo de tiempo T_S. Cuando el valor determinado S_{INICIO} se ajusta al mismo valor que O_{LONGITUD}, entonces las señales estocásticas con una frecuencia correspondiente f_{ESTOCÁSTICA_MÁX} y las mayores frecuencias se atenuarán en la señal de salida S_{MDP}. El valor de este valor de frecuencia límite f_{ESTOCÁSTICA_MÁX} es:

$$f_{ESTOCÁSTICA_MÁX} = 1/T_S,$$

en el que

$$T_S = S_{INICIO} / f_{SR}$$

en el que

f_{SR} = el índice de muestra de la señal de entrada I.

Por tanto, de acuerdo con una realización preferente, el número determinado N_C es igual a o mayor que el **valor determinado** S_{INICIO}. Por tanto, de acuerdo con una realización preferente, la diferencia N_C entre dos valores de índice de los dos términos en un producto de señal de entrada P(i, t) es igual a o mayor que el **valor determinado** S_{INICIO}.

En el anterior ejemplo, un término es el primer valor de muestra de entrada I(i) que tiene un índice i, y el otro término es un segundo valor de muestra de entrada I(i + t + S_{INICIO}) que tiene un valor de índice i + t + S_{INICIO}. En esta conexión es de importancia que los valores de índice i e i + t + S_{INICIO}, respectivamente son valores asociados con valores de muestra dentro del vector de señal de entrada I. Por tanto, el intervalo I_{LONGITUD} de los valores de muestra de entrada y los valores de indexación i e i + t + S_{INICIO}, respectivamente deben seleccionarse para que los valores de índice sean valores dentro del vector de señal de entrada. En referencia a la porción superior de la Figura 10D, que ilustra una realización del vector de señal de entrada I, esto significa que los valores de índice i e i + t + S_{INICIO}, respectivamente deben ser valores en el intervalo desde i_{INICIO} a i_{INICIO} + I_{LONGITUD} - 1. Por tanto, si la constante i_{INICIO} se ajusta a i_{INICIO} = 1, entonces los valores de índice i e i + t + S_{INICIO}, respectivamente deben ser valores en el intervalo desde i=1 a i = I_{LONGITUD}.

La señal de entrada I puede incluir I_{LONGITUD} valores de muestra como se ha mencionado antes.

El dispositivo de mejora recibe un vector de señal de entrada que tiene una **primera pluralidad** I_{LONGITUD} de valores de muestra de entrada. La primera pluralidad I_{LONGITUD} de valores de muestra de entrada se procesan para generar una secuencia de señal de salida S_{MDP} con una **segunda pluralidad** O_{LONGITUD} de valores de muestra de salida S_{MDP}(t); dicha segunda pluralidad es un número entero positivo.

Un valor de muestra de salida S_{MDP}(t) se calcula dependiendo de una **tercera pluralidad** C_{LONGITUD} de productos de señal de entrada P(i, t); dicha tercera pluralidad (C_{LONGITUD}) es un número entero positivo.

Como se ha indicado antes en las ecuaciones (1) y (3), la siguiente relación puede usarse de acuerdo con una realización:

$$(1) I_{LONGITUD} = O_{LONGITUD} * L + S_{INICIO} + O_{LONGITUD}$$

y

$$(3) C_{LONGITUD} = I_{LONGITUD} - S_{INICIO} - O_{LONGITUD}$$

Como un ejemplo, los siguientes valores numéricos pueden usarse:

$$\begin{aligned} L &= 10 \\ O_{LONGITUD} &= 1024 \\ S_{INICIO} &= 1024 \\ C_{LONGITUD} &= 10240 \\ I_{LONGITUD} &= 12288 \end{aligned}$$

Por tanto, si por ejemplo S_{INICIO} = 1024 y t varía desde t = t_{MIN} = 1 a t = t_{MÁX} = O_{LONGITUD} = 1024, y se usa la siguiente ecuación (8):

$$(8) S_{MDP}(t) = \sum_{i=i_0}^{i=i_0+C_{LONGITUD}-1} I(i) * I(i + S_{INICIO} + t)$$

entonces la diferencia N_C entre dos valores de índice de los dos términos variará desde N_C = 1025 a N_C = 2048. Esto es ya que la diferencia de valor de índice mayor será N_CMÁX = S_{INICIO} + t_{MÁX} = S_{INICIO} + O_{LONGITUD} = 1024 + 1024 = 2048; y la diferencia de valor de índice menor será N_CMIN = S_{INICIO} + t_{MIN} = 1024 + 1 = 1025.

Por tanto, si la constante i₀ = 1, el vector de señal de entrada I debe tener entonces valores de índice que varían desde i = i₀ = 1 a i = I_{LONGITUD} = 12288.

En referencia a la Figura 10C, los valores de muestra de salida S_{MDP}(t) suministrados al puerto 394 de salida pueden suministrarse a la memoria 396, y la memoria 396 puede almacenar los valores de muestra recibidos para que puedan leerse como una secuencia de valores de muestra de salida O_{S1}, S_{MDP}, como se ilustra esquemáticamente en la esquina inferior izquierda en la Figura 10D.

Como alternativa, los valores de muestra de salida S_{MDP}(t) suministrados al puerto 394 de salida del generador 386 de valor de muestra de salida pueden suministrarse directamente al puerto 398 de salida del dispositivo de mejora 320.

De acuerdo con otra realización, la ecuación para generar un valor de muestra de salida S_{MDP}(t) puede modificarse para leer:

$$(9) S_{MDP}(t) = \sum_{i=I_{LONGITUD} - O_{LONGITUD}}^{i=I_{LONGITUD} - O_{LONGITUD} + S_{INICIO}} I(i - S_{INICIO}) * I(i + t)$$

La anterior ecuación (9) proporcionará una secuencia de señal de salida O, S_{MDP} que es equivalente a la secuencia de señal de salida O, S_{MDP} generada por las ecuaciones (5) y (8) anteriores. Puede mostrarse que la ecuación (9) es una manera alternativa de expresar la ecuación (5).

Por tanto, también de acuerdo con la realización de la ecuación (9) para generar un valor de muestra de señal de salida individual S_{MDP}(t), el número de posiciones de muestra N_C entre los valores de muestra a multiplicar será N_C = t + S_{INICIO}.

Decimación de índice de muestreo

Puede ser aconsejable proporcionar un decimador 310 para reducir la frecuencia de muestreo de la señal digital antes del suministro al dispositivo de mejora 320. Tal decimador 310 reduce ventajosamente el número de muestras en la señal a analizar, reduciendo así la cantidad de espacio de memoria necesario para almacenar la señal a usar. La decimación también permite un procesamiento más rápido en el posterior dispositivo de mejora 320.

5 La **Figura 14A** ilustra un número de valores de muestra en la señal suministrada a la entrada del decimador 310, y la **Figura 14B** ilustra los valores de muestra de salida del periodo de tiempo correspondiente. La señal que se introduce en el decimador 310 puede tener una frecuencia de muestreo f_s . Tal como puede verse, la señal de salida tiene una frecuencia de muestra reducida f_{SR1} . El decimador 310 se adapta para realizar una decimación de la señal envuelta digitalmente S_{ENV} para suministrar una señal digital S_{RED} que tiene un índice de muestra reducido f_{SR1} de manera que el índice de muestra de salida se reduce mediante un factor de número entero M en comparación con el índice de muestra de entrada f_s .

10 Por tanto, la señal de salida S_{RED} incluye solo cada valor de muestra M:ésimo presente en la señal de entrada S_{ENV} . La Figura 14B ilustra un ejemplo donde M es 4, pero M podría ser cualquier número entero positivo. De acuerdo con una realización de la invención el decimador puede operar como se describe en el documento US 5.633.811, cuyo contenido se incorpora por referencia en el presente documento.

15 La **Figura 15A** ilustra un decimador 310 de acuerdo con una realización de la invención. En la realización 310A del decimador 310 de acuerdo con la Figura 15A, un filtro 400 de peine filtra y decima la señal entrante en una relación de 16:1. Es decir, el índice de muestreo de salida se reduce mediante un primer factor de número entero M1 de dieciséis ($M1 = 16$) en comparación con el índice de muestreo de entrada. Un filtro 401 de respuesta de impulso finita (FIR) recibe la salida del filtro 400 de peine y proporciona otra reducción del índice de muestreo mediante un segundo factor de número entero M2. Si el factor de número entero $M2 = 4$, el filtro 401 FIR produce una reducción de 4:1 del índice de muestreo, y por tanto el decimador 310A proporciona una decimación total de 64:1.

20 La **Figura 15B** ilustra otra realización de la invención, en la que la realización 310B del decimador 310 incluye un filtro 402 de paso bajo, seguido por un selector 403 de muestra. El selector 403 de muestra se adapta para elegir cada muestra M:ésima de la señal recibida desde el filtro 402 de paso bajo. La señal resultante S_{RED1} tiene un índice de muestra de $f_{SR1} = f_s / M$, donde f_s es el índice de muestra de la señal recibida S_{ENV} . La frecuencia de desconexión del filtro 402 de paso bajo se controla por el valor M.

25 De acuerdo con una realización, el valor M se preajusta a un valor determinado. De acuerdo con otra realización, el valor M puede ser ajustable. El decimador 310 puede ser ajustable para realizar una decimación seleccionada M:1, en la que M es un número entero positivo. El valor M puede recibirse en un puerto 404 del decimador 310.

La frecuencia de desconexión del filtro 402 de paso bajo es $f_{SR1} / (G * M)$ hercios. El factor G puede seleccionarse en un valor de dos (2,0) o un valor mayor que dos (2,0). De acuerdo con una realización el valor G se selecciona de un valor entre 2,5 y 3. Esto permite ventajosamente evitar la generación de alias. El filtro 402 de paso bajo puede incorporarse mediante un filtro FIR.

35 La señal suministrada por el filtro 402 de paso bajo se suministra al selector 403 de muestra. El selector de muestra recibe el valor M en un puerto y la señal del filtro 402 de paso bajo en otro puerto, y genera una secuencia de valores de muestra en respuestas a esas entradas. El selector de muestra se adapta para recoger cada muestra M:ésima de la señal recibida desde el filtro 402 de paso bajo. La señal resultante S_{RED1} tiene un índice de muestra $f_{SR1} = 1/M * f_s$, donde f_s es el índice de muestra de la señal S_{ENV} recibida en el puerto 405 del decimador 310.

40 Un procedimiento para compensar la velocidad de árbol variable

Como se ha dicho antes, una firma de señal repetitiva que está presente en la señal de entrada puede ventajosamente detectarse usando el procedimiento antes descrito, incluso cuando la firma de señal repetitiva es tan débil que se genera un componente de amplitud menor que el de los componentes de señal estocástica.

45 Sin embargo, en algunas aplicaciones la velocidad rotativa del árbol puede variar. Realizar una autocorrelación usando una secuencia de medición de entrada en la que la velocidad de la rotación del árbol varía conduce a una calidad deteriorada de la señal de salida resultante S_{MDP} .

Por consiguiente, un objeto de un aspecto de la invención es lograr una calidad igualmente alta de la señal de salida S_{MDP} resultante desde la autocorrelación cuando la velocidad rotativa del árbol varía, como cuando la velocidad rotativa del árbol es constante durante la secuencia de medición completa, cuyos datos se autocorrelacionan.

50 La **Figura 16** ilustra una realización de la invención que incluye un decimador 310 y un dispositivo de mejora 320, como se ha descrito antes y un decimador 470 fraccionario.

De acuerdo con una realización de la invención, mientras que el decimador 310 opera para decimar el índice de muestreo mediante M:1, en el que M es un número entero, la realización de la Figura 16 incluye un decimador 470 fraccionario para decimar el índice de muestreo mediante U/N, en el que tanto U como N son números enteros positivos. Por tanto, el decimador 470 fraccionario permite ventajosamente la decimación del índice de muestreo

mediante un número fraccionario. De acuerdo con una realización los valores para U y N pueden seleccionarse en el intervalo de 2 a 2000. De acuerdo con una realización, los valores para U y N pueden seleccionarse en el intervalo de 500 a 1500. De acuerdo con otra realización adicional, los valores para U y N pueden seleccionarse para estar en el intervalo de 900 a 1100.

- 5 En la realización de la Figura 16, la señal de salida del decimador 310 se suministra a un selector 460. El selector permite una selección de la señal a introducir en el dispositivo de mejora 320. Cuando la monitorización de condición se realiza en una parte rotativa que tiene una velocidad de rotación constante, el selector 460 puede establecerse en la posición para suministrar la señal S_{RED} que tiene una frecuencia de muestra f_{SR1} a la entrada 315 del dispositivo de mejora 320, y el decimador 470 fraccionario puede deshabilitarse. Cuando la monitorización de condición se realiza en la parte rotativa que tiene una velocidad de rotación variable, el decimador 470 fraccionario puede activarse y el selector 460 se ajusta en la posición para suministrar la señal S_{RED2} que tiene una frecuencia de muestra f_{SR2} a la entrada 315 del dispositivo de mejora 320.

15 El decimador 470 fraccionario tiene una entrada 480. La entrada 480 puede acoplarse para recibir la salida de señal desde el decimador 310. El decimador 470 fraccionario también tiene una entrada 490 para recibir información indicativa de la velocidad rotativa del árbol 8.

20 Un detector 420 de velocidad (véase la Figura 5 y la Figura 1 y la Figura 29) puede proporcionarse para suministrar una señal indicativa de la velocidad de rotación f_{ROT} del árbol 8. La señal de velocidad puede recibirse en un puerto 430 del medio 180 de procesamiento, permitiendo así que el medio 180 de procesamiento suministre la señal de velocidad a la entrada 490 del decimador 470 fraccionario. La velocidad de rotación f_{ROT} del árbol 8 puede proporcionarse en términos de rotaciones por segundo, es decir hercios (Hz).

La **Figura 17** ilustra una realización de un decimador 470 fraccionario que permite la alteración del índice de muestra mediante un número fraccionario U/N, en el que U y N son números enteros positivos. Esto permite un control muy preciso del índice de muestra f_{SR2} a suministrar al dispositivo de mejora 320, permitiendo así una detección muy buena de firmas de señal repetitivas débiles incluso cuando varía la velocidad del árbol.

- 25 La señal de velocidad, recibida en la entrada 490 del decimador 470 fraccionario, se suministra a un generador 500 de número fraccionario. El generador 500 de número fraccionario genera salidas de números enteros U y N en salidas 510 y 520 respectivamente. La salida U se suministra a un muestreador 530 ascendente. El muestreador 530 ascendente recibe la señal S_{RED} (véase la Figura 16) por medio de la entrada 480. El muestreador 530 ascendente incluye un introductor 540 de muestra para introducir valores de muestra U-1 entre cada valor de muestra recibido en el puerto 480. Cada uno de tales valores de muestra añadidos se proporciona con un valor de amplitud. De acuerdo con una realización cada valor de muestra añadido es de amplitud cero (0).

La señal resultante se suministra a un filtro 550 de paso bajo cuya frecuencia de desconexión se controla mediante el valor U suministrado al generador 500 de número fraccionario. La frecuencia de desconexión del filtro 550 de paso bajo es $f_{SR2}/(K*U)$ hercios. El factor K puede seleccionarse en un valor de dos (2) o un valor mayor de dos (2).

- 35 La señal resultante se suministra a un decimador 560. El decimador 560 incluye un filtro 570 de paso bajo cuya frecuencia de desconexión se controla mediante el valor N suministrado por el generador 500 de número fraccionario. La frecuencia de desconexión del filtro 570 de paso bajo es $f_{SR2}/(K*N)$ hercios. El factor K puede seleccionarse a un valor de dos (2) o un valor mayor de dos (2).

40 La señal suministrada mediante el filtro 570 de paso bajo se suministra a un selector 580 de muestra. El selector de muestra recibe el valor N en un puerto y la señal desde el filtro 570 de paso bajo en otro puerto, y genera una secuencia de valores de muestra en respuesta a estas entradas. El selector de muestra se adapta para recoger cada muestra N-ésima de la señal recibida del filtro 570 de paso bajo. La señal resultante S_{RED2} tiene un índice de muestra de $f_{SR2} = U/N * f_{SR1}$, donde f_{SR1} es el índice de muestra de la señal S_{RED} recibida en el puerto 480. La señal resultante S_{RED2} se suministra en un puerto 590 de salida.

- 45 Los filtros 550 y 570 de paso bajo pueden incorporarse mediante filtros FIR. Esto elimina ventajosamente la necesidad de realizar multiplicaciones con valores de amplitud cero introducidos por el introductor 540 de muestra.

La **Figura 18** ilustra otra realización del decimador 470 fraccionario. La realización de la Figura 18 reduce ventajosamente la cantidad de cálculo necesario para producir la señal S_{RED2} .

- 50 En la realización de la Figura 18, el filtro 570 de paso bajo se ha eliminado, por lo que la señal suministrada por el filtro 550 de paso bajo se suministra directamente al selector 580 de muestra. Cuando el decimador 470 fraccionario se incorpora mediante el hardware de la realización de la Figura 18 ventajosamente se reduce una cantidad de hardware, reduciendo así el coste de producción.

55 Cuando el decimador 470 fraccionario se incorpora mediante el software en la realización de la Figura 18 se reduce ventajosamente una cantidad de código de programa que necesita ejecutarse, reduciendo así la carga en el procesador e incrementando la velocidad de ejecución.

En referencia a las Figuras 17 y 18, la señal resultante S_{RED2} , que se suministra en el puerto de salida del decimador 470 fraccionario, tiene un índice de muestra de $f_{SR2} = U/N * F_{SR1}$, donde F_{SR1} es el índice de muestra de una señal S_{RED} recibida en el puerto 480. El valor fraccionario U/N es dependiente de una señal de control de índice recibida en el puerto 490 de entrada. Como se ha mencionado antes, la señal de control de índice puede depender de una
 5 señal indicativa de la velocidad de rotación del árbol 8, que puede suministrarse mediante el detector 420 de velocidad (véase la Figura 1 y/o la Figura 5). El detector 420 de velocidad puede incorporarse mediante un dispositivo 420 que proporciona una señal de pulso con una resolución seleccionada adecuadamente para permitir la precisión deseada de la señal de velocidad. En una realización, el dispositivo 420 se adapta para suministrar una señal de marcador de revolución completa una vez por revolución completa de árbol 8. Tal señal de marcador de
 10 revolución puede estar en la forma de un pulso eléctrico que tiene un borde que puede detectarse adecuadamente e indicativo de una cierta posición relativa del árbol 8 monitorizado. De acuerdo con otra realización, el dispositivo 420 puede suministrar muchas señales de pulso por revolución del árbol monitorizado.

De acuerdo con una realización, el generador 500 de número fraccionario controla los valores de U y N por lo que el índice de muestra reducido F_{SR2} tiene tal valor que se proporciona una señal S_{RED2} en la que el número de muestras por revolución del árbol 8 es sustancialmente constante, independientemente de cualquier variación de velocidad del árbol 8. Por consiguiente, cuanto mayor sean los valores de U y N , mejor será la capacidad del decimador 470 fraccionario de mantener el número de valores de muestra por revolución del árbol 8 en un valor sustancialmente
 15 constante.

La **Figura 19A** ilustra el decimador 310 y otra realización del decimador 470 fraccionario. El decimador 310 recibe la señal S_{ENV} que tiene una frecuencia de muestreo f_s en el puerto 405, y un número entero M en un puerto 404, como se ha descrito antes. El decimador 310 suministra una señal S_{RED1} con una frecuencia de muestreo f_{SR1} en la salida 312, que se acopla a la entrada 480 del decimador 470A fraccionario. La frecuencia de muestreo de salida f_{SR1} es

$$f_{SR1} = f_s / M$$

en la que M es un número entero.

El decimador 470A fraccionario recibe la señal S_{RED1} , con una frecuencia de muestreo f_{SR1} , como una secuencia de valores de datos $S(j)$ y suministra una señal de salida S_{RED2} como otra secuencia de valores de datos $R(q)$ en su salida 590.

El decimador 470A fraccionario puede incluir una memoria 604 adaptada para recibir y almacenar valores de datos $S(j)$ así como información indicativa de la velocidad de rotación correspondiente f_{ROT} de la parte rotativa monitorizada. Por tanto, la memoria 604 puede almacenar cada valor de datos $S(j)$ por lo que se asocia con un valor indicativo de la velocidad de rotación del árbol monitorizado en el momento de la detección del valor S_{EA} de señal de sensor correspondiente al valor de datos $S(j)$.

Establecer un valor de velocidad mejorado

Cuando se generan valores de datos de salida $R(q)$, el decimador 470A fraccionario se adapta para leer valores de datos $S(j)$ así como información indicativa de la velocidad de rotación f_{ROT} correspondiente desde la memoria 604.

En referencia a las Figuras 17 y 18, la señal resultante S_{RED2} , que se suministra en el puerto de salida del decimador 470 fraccionario tiene un índice de muestra de

$$f_{SR2} = U/N * f_{SR1}$$

donde F_{SR1} es el índice de muestra de la señal S_{RED} recibida en el puerto 480.

El valor fraccionario U/N es dependiente de una señal de control de índice recibida en el puerto 490 de entrada. Como se ha mencionado antes, la señal de control de índice puede ser una señal indicativa de la velocidad de rotación del árbol 8, que puede suministrarse mediante el detector 420 de velocidad (véase la Figura 1 y/o la Figura 5).

Como se ha mencionado antes, la señal de control de índice puede depender de una señal indicativa de la velocidad de rotación del árbol 8, que puede suministrarse mediante el detector 420 de velocidad (véase la Figura 1 y/o la Figura 5). El detector 420 de velocidad puede incorporarse mediante un dispositivo 420 que proporciona una señal de pulso con una resolución seleccionada adecuadamente para permitir la precisión deseada de la señal de velocidad. En una realización, el dispositivo 420 se adapta para suministrar una señal de marcador de revolución completa una vez por revolución completa de árbol 8. Tal señal de marcador de revolución puede estar en la forma de un pulso eléctrico que tiene un borde que puede detectar con precisión y ser indicativo de una posición rotativa determinada del árbol 8 monitorizado. De acuerdo con otra realización, el dispositivo 420 puede suministrar muchas
 50 señales de pulso por revolución del árbol 8 monitorizado.

La señal de posición, que puede denominarse pulso de índice, puede producirse en una salida del dispositivo 420 en respuesta a la detección de un patrón de ángulo cero en un disco de codificación que rota cuando rota el árbol

monitorizado. Esto puede lograrse de varias maneras, así como conocen los expertos en la materia. El disco de codificación puede por ejemplo proporcionarse con un patrón de ángulo cero que producirá una señal de ángulo cero con cada revolución del disco. Una correcta interpretación de la señal de posición puede también requerir **información de relación de engranaje**. La información de relación de engranaje puede ser indicativa de aproximadamente la relación de engranaje entre la parte 8 monitorizada y la parte rotativa del dispositivo 420 que genera la señal de posición.

Las variaciones de velocidad pueden detectarse por ejemplo mediante el registro de "un marcador de revolución completa" en la memoria 604 cada vez que el árbol monitorizado pasa por la posición rotativa determinada, y asociando el "marcador de revolución completa" con un valor de muestra $s(j)$ recibido en el mismo instante. De esta manera, la memoria 604 almacenará un mayor número de muestras entre dos marcadores de revolución completa consecutivos cuando rote más lento el árbol, ya que el convertidor A/D suministra un número constante f_S o f_{RED1} o muestras por segundo.

En efecto, el aparato 14, 920 de análisis de condición puede adaptarse para registrar valores de datos de medición $S(j)$, señales de pulso de codificador P_i e información de tiempo de manera que cada valor de datos de medición $S(j)$ puede asociarse con datos indicativos del tiempo y la posición angular. Esto a su vez hace posible asociar un valor de velocidad muy preciso con cada valor de datos de medición $S(j)$.

De acuerdo con una realización, la información sobre los bordes positivos de la señal P de codificador se procesa en paralelo con el filtrado 240, la envolvente 250 y la decimación 310 de manera que se mantiene la relación de tiempo entre los bordes positivos de la señal de codificador P y correspondientes valores de muestra de vibración $Se(i)$ y $S(j)$. Este procesamiento de señal se ilustra esquemáticamente en la Figura 30.

La **Figura 19B** es un diagrama de bloques de una realización de un generador 601 de valor de velocidad. De acuerdo con una realización, el generador 601 de valor de velocidad comprende una memoria 602. El generador 601 de valor de velocidad se adapta para recibir una secuencia de valores de medición $S(j)$ y una secuencia de señales de posición, junto con relaciones temporales entre ambas, y el generador 601 de valor de velocidad se adapta para proporcionar, en su salida, una secuencia de pares SP de valores de medición $S(j)$ asociados con valores de velocidad correspondientes $f_{ROT(j)}$. Esto se describe en detalle a continuación.

La **Figura 19C** es una ilustración simplificada de una realización de la memoria 602 y sus contenidos, y las columnas #01, #02, #03, #04 y #05 en el lado a mano izquierda de la ilustración de la memoria 602, proporcionan una imagen explicativa destinada a ilustrar la relación temporal entre el tiempo de detección de las señales de pulso de codificador P_i (véase la columna #02) y los valores de medición de vibración correspondientes $S(j)$ (véase la columna #05).

Como se ha mencionado antes, el convertidor 40, 44 de analógico a digital muestrea la señal de medición eléctrica analógica S_{EA} en una frecuencia de muestreo inicial f_S para generar una señal de datos de medición digital S_{MD} . La señal de codificador P también puede detectarse con sustancialmente la misma resolución temporal inicial f_S , como se ilustra en la columna #02 de la Figura 19C. El procesamiento de señal también se ilustra en la Figura 30, como se analiza en detalle en relación con la descripción de la Figura 30 a continuación. La columna #01 ilustra la progresión de tiempo como una serie de franjas de tiempo, teniendo cada franja de tiempo una duración $dt = 1/f_{Muestra}$; en el que $f_{Muestra}$ es una frecuencia de muestra que tiene una relación de número entero con la frecuencia de muestra inicial f_S con la que la señal de medición eléctrica analógica S_{EA} se muestrea. De acuerdo con una realización preferente, la frecuencia de muestra $f_{Muestra}$ es la frecuencia de muestra inicial f_S . De acuerdo con otra realización, la frecuencia de muestra $f_{Muestra}$ es la primera frecuencia de muestreo reducida f_{SR1} , que se reduce mediante un factor M de número entero en comparación con la frecuencia de muestreo inicial f_S .

En la columna #02 de la Figura 19B cada borde positivo de la señal de codificador P se indica mediante una figura "1". En este ejemplo, un borde positivo de la señal de codificador P se detecta en la franja de tiempo 3ª, la 45, la 78 y en la franja de tiempo 98, como se indica en la columna #02. De acuerdo con otra realización, los bordes negativos de la señal de posición se detectan, lo que proporciona un resultado equivalente para detectar los bordes positivos. De acuerdo con otra realización adicional, tanto los bordes positivo como negativo de la señal de posición se detectan, para obtener una redundancia que permite una selección posterior de si usar o no el borde positivo o negativo.

La columna #03 ilustra una secuencia de valores de muestra de vibración $Se(i)$, tal como se genera mediante el convertidor 40, 44 de analógico a digital y la columna #05 ilustra la secuencia correspondiente de valores de muestra de vibración $S(j)$, como se genera por el decimador 310 de número entero. Por tanto, cuando el decimador de número entero se ajusta para proporcionar un factor de decimación total $M=10$, se proporcionará un valor de muestra de vibración $S(j)$ por el decimador 310 para cada diez muestras $Se(i)$ suministradas al decimador 310 de número entero. De acuerdo con una realización, una posición muy precisa e información de tiempo PT , referentes al valor de muestra de vibración decimado $S(j)$, se mantiene ajustando la amplitud de la señal de tiempo de posición en la columna #04 al valor $PT = 3$, para indicar que el borde positivo (véase la columna #02) se detectó en la franja de tiempo #03. Por tanto, el valor de amplitud de la señal de tiempo de posición después de la fase 310 de decimación de número entero es indicativa del tiempo de detección del borde de señal de posición P en relación con el valor de

muestra S(1).

En el ejemplo de la Figura 19B, el valor de amplitud de la señal de tiempo de posición en la muestra $i=3$ es $PT=3$, y ya que el factor de decimación $M=10$ por lo que la muestra S(1) se suministra en la franja de tiempo 10, esto significa que el borde se detectó $M-PT=10-3=7$ franjas antes de la franja de la muestra S(1).

- 5 Por consiguiente, como se ilustra en la Figura 30, el aparato 14, 920 puede operar para procesar la información sobre los bordes positivos de la señal de codificador P en paralelo con el filtrado 240, la envolvente 250 y la decimación 310 de las muestras de vibración de una manera que se mantiene la relación de tiempo entre los bordes positivos de la señal del codificador P y los valores de muestra de vibración correspondientes $S_e(i)$ y $S(j)$ a través del procesamiento de señal antes mencionado desde la detección de las señales analógicas al establecimiento de los valores de velocidad para usar mediante el decimador fraccionario.

La **Figura 19D** es un diagrama de flujo que ilustra una realización de un procedimiento de operación del generador 601 de valor de velocidad de la Figura 19B.

- 15 De acuerdo con una realización, el generador 601 de valor de velocidad analiza (etapa S#10) la relación temporal entre tres señales de posición recibidas sucesivamente, para establecer si la parte 8 rotativa monitorizada está en una fase de velocidad constante o en una fase de aceleración. Este análisis puede realizarse basándose en la información en la memoria 602 como se ha descrito antes (véase la Figura 19C).

Si el análisis revela que existe un número idéntico de franjas de tiempo entre las señales de posición, el generador de valor de velocidad concluye (en la etapa #20) que la velocidad es constante en cuyo caso la etapa S#30 se realiza.

- 20 En la etapa S#30, el generador de valor de velocidad puede calcular la duración entre dos señales de posición sucesivas, por multiplicación de la duración de una franja de tiempo $dt=1/fs$ con el número de franjas de tiempo entre las dos señales de posición sucesivas. Cuando la señal de posición se proporciona una vez por revolución completa de la parte 8 monitorizada, la velocidad de revolución puede calcularse como

$$V=1/(n_{diff} * dt),$$

- 25 en el que n_{diff} = el número de franjas de tiempo entre dos señales de posición sucesivas. Durante la fase de velocidad constante, todos los valores de muestra $S(j)$ (véase la columna #05 en la Figura 19C) asociados con las tres señales de posición analizadas pueden asignarse al mismo valor de velocidad $V=1/(n_{diff} * dt)$ como se ha dicho antes. Por tanto, la etapa S#10 puede realizarse de nuevo en las tres siguientes señales de posición recibidas sucesivamente. Como alternativa, cuando se repite la etapa S#10, la tercera señal de posición P3 anterior se usará como la primera señal de posición P1 (es decir $P1: = P3$), por lo que se determina si cualquier cambio de velocidad está por llegar.

Si el análisis (etapa S#10) revela que el número de franjas de tiempo entre la 1ª y la 2ª señal de posición difiere del número de franjas de tiempo entre la 2ª y 3ª señal de posición, el generador de valor de velocidad concluye, en la etapa S#20, que la parte 8 rotativa monitorizada está en la fase de aceleración.

- 35 En una siguiente etapa S#40, el generador 601 de valor de velocidad opera para establecer valores de velocidad momentánea durante la fase de aceleración y para asociar cada uno de los valores de datos de medición $S(j)$ con un valor de velocidad momentánea V_p que es indicativo de la velocidad de rotación de la parte monitorizada en el momento de detección del valor de señal del sensor (S_{EA}) correspondiente a ese valor de datos $S(j)$.

- 40 De acuerdo con una realización, el generador 601 de valor de velocidad opera para establecer valores de velocidad momentánea mediante interpolación lineal. De acuerdo con otra realización, el generador 601 de valor de velocidad opera para establecer valores de velocidad momentánea mediante interpolación no lineal.

- La **Figura 19E** es un diagrama de flujo que ilustra una realización de un procedimiento para realizar la etapa S#40 de la Figura 19D. De acuerdo con una realización, **se asume que la aceleración tiene un valor constante** para la duración entre dos indicadores de posición mutuamente adyacentes P (véase la columna #02 en la Figura 19C). Por tanto, cuando

- el indicador de posición P se suministra una vez por revolución, y
- la relación de engranaje es 1/1: entonces

- 50 - la distancia angular recorrida entre dos indicadores de posición mutuamente adyacentes P es 1 revolución, que puede expresarse también como 360 grados, y
 - la duración es $T = n_{diff} * dt$,

- donde n_{diff} es el número de franjas de duración dt entre los dos indicadores de posición mutuamente adyacentes P.

En referencia a la Figura 19C, un primer indicador de posición P se detectó en la franja $i1= #03$ y el siguiente

indicador de posición P se detectó en la franja $i_2=45$. Por tanto, la duración fue $n_{diff1} = i_2 - i_1 = 45 - 3 = 42$ franjas de tiempo.

Por tanto, en la etapa S#60 (véase la Figura 19E junto con la Figura 19C), el generador 601 de valor de velocidad opera para establecer un primer número de franjas n_{diff1} entre las dos primeras señales de posición sucesivas P1 y P2, es decir entre la señal de posición P($i=3$) y la señal de posición P($i=45$).

En la etapa S#70, el generador 601 de valor de velocidad opera para calcular un primer valor de velocidad de revolución VT1. El primer valor de velocidad de revolución VT1 puede calcularse como

$$VT1 = 1 / (n_{diff1} * dt),$$

en el que VT1 es la velocidad expresada como revoluciones por segundo,
 n_{diff1} = el número de franjas de tiempo entre las dos señales de posición sucesivas; y
 dt es la duración de una franja de tiempo, expresada en segundos.

Ya que se asume que la aceleración tiene un valor constante para la duración entre dos indicadores de posición mutuamente adyacentes P, **el primer valor de velocidad calculado VT1 se asigna a la franja de tiempo en la parte media entre las dos señales de posición sucesivas (etapa S#80).**

Por tanto, en este ejemplo en el que el primer indicador de posición P1 se detectó en la franja $i_{P1} = 3$ y el siguiente indicador de posición P2 se detectó en la franja $i_{P2} = 45$; **la primera franja de tiempo media es**

$$\text{franja } i_{P1-2} = i_{P1} + (i_{P2} - i_{P1})/2 = 3 + (45 - 3)/2 = 3 + 21 = 24.$$

Por tanto, en la etapa S#80 el **primer valor de velocidad de revolución VT1 puede asignarse a una franja de tiempo (por ejemplo franja de tiempo $i = 24$) que representa un punto en el tiempo que está antes que el punto en el tiempo de detección del segundo borde de señal de posición P($i=45$), véase la Figura 19C.**

La asignación retroactiva de un valor de velocidad a una franja de tiempo que representa un punto en el tiempo entre dos señales de posición sucesivas permite ventajosamente una reducción significativa de la imprecisión del valor de velocidad. Mientras los procedimientos del estado de la técnica de lograr un valor de velocidad momentánea han sido satisfactorios para establecer valores de velocidad constante en varias velocidades de rotación mutuamente diferentes, las soluciones del estado de la técnica han demostrado ser poco satisfactorias cuando se usan para establecer valores de velocidad para una parte rotativa durante una fase de aceleración.

En comparación, los procedimientos de acuerdo con realizaciones de la invención permiten el establecimiento de valores de velocidad con un nivel ventajosamente pequeño de imprecisión incluso durante una fase de aceleración.

En la siguiente etapa S#90, el generador 601 de valor de velocidad opera para establecer un segundo número de franjas n_{diff2} entre dos señales de posición sucesivas. En el ejemplo de la Figura 19C, ese es el número de franjas n_{diff2} entre la franja 45 y la franja 78, es decir $n_{diff2} = 78 - 45 = 33$.

En la etapa S#100, el generador 601 de valor de velocidad opera para calcular un segundo valor de velocidad de revolución VT2. El segundo valor de velocidad de revolución VT2 puede calcularse como

$$VT2 = Vp61 = 1 / (n_{diff2} * dt),$$

en el que n_{diff2} = el número de franjas de tiempo entre las dos señales de posición sucesivas siguientes P2 y P3. Por tanto, en el ejemplo de la Figura 19C, $n_{diff2} = 33$, es decir el número de franjas de tiempo entre la franja 45 y la franja 78.

Ya que la aceleración puede asumirse como que tiene un valor constante para la duración entre dos indicadores de posición mutuamente adyacentes P, el valor de velocidad segundo calculado VT2 se asigna (etapa S#110) para la franja de tiempo en la parte intermedia entre las dos señales de posición sucesivas.

Por tanto, en el ejemplo de la Figura 19C, el valor de velocidad segundo calculado VT2 se asigna a una franja 61. Por tanto, la velocidad en la franja 61 se establece en

$$V(61) := VT2.$$

Por tanto, en la etapa S#110, el segundo valor de velocidad VT2 **puede asignarse a una franja de tiempo (por ejemplo franja de tiempo $i = 61$) que representa un punto en el tiempo que es anterior al punto en el tiempo de detección del tercer borde de señal de posición P($i=78$), véase la Figura 19C.**

Por tanto, en este ejemplo en el que un indicador de posición P se detectó en la franja $i_2 = 45$ y el siguiente indicador de posición P se detectó en la franja $i_3 = 78$; la segunda franja de tiempo intermedia es la parte de número entero de:

$$i_{P2-3} = i_{P2} + (i_{P3} - i_{P2})/2 = 45 + (78 - 45)/2 = 45 + 33/2 = 61,5$$

ES 2 639 768 T3

Por tanto, la franja 61 es la franja de tiempo intermedia segunda i_{P2-3} .

En la siguiente etapa S#120, un primer valor de aceleración se calcula para el periodo de tiempo relevante. El primer valor de aceleración puede calcularse como:

$$a_{12} = (VT2-VT1)/((i_{VT2}- i_{VT1}) * dt)$$

- 5 En el ejemplo de la Figura 19C, el segundo valor de velocidad VT2 se asignó a la franja 61, por lo que $i_{VT2} = 61$ y el primer valor de velocidad VT1 se asignó a la franja 24, por lo que $i_{VT1} = 24$. Por tanto, ya que $dt=1/fs$, el valor de aceleración puede ajustarse a

$$a_{12} = fs * (VT2-VT1)/(i_{VT2}- i_{VT1})$$

para el periodo de tiempo entre la franja 24 y la franja 60, en el ejemplo de la Figura 19C.

- 10 En la siguiente etapa S#130, el generador 601 de valor de velocidad opera para asociar el primer valor de aceleración establecido a_{12} con las franjas de tiempo para las que el valor de aceleración establecido a_{12} es válido. Estas pueden ser todas las franjas de tiempo entre la franja del primer valor de velocidad VT1 y la franja del segundo valor de velocidad VT2. Por tanto, el primer valor de aceleración establecido a_{12} puede asociarse con cada franja de tiempo de la duración entre la franja del primer valor de velocidad VT1 y la franja del segundo valor de velocidad VT2. En el ejemplo de la Figura 19C son las franjas 25 a 60. Esto se ilustra en la columna #07 de la Figura 19C.
- 15

En la siguiente etapa S#140, el generador 601 de valor de velocidad opera para establecer valores de velocidad para valores de medición $s(j)$ asociados con la duración para la que es válido el valor de aceleración establecido. Por tanto, los valores de velocidad se establecen para cada franja de tiempo que está

- 20 asociada con un valor de medición $s(j)$, y asociada con el primer valor de aceleración establecido a_{12} .

Durante la aceleración lineal, es decir cuando la aceleración a es constante, la velocidad en cualquier punto determinado en el tiempo se proporciona con la ecuación:

$$V(i) = V(i-1) + a * dt,$$

en el que

- 25 $V(i)$ es la velocidad momentánea en el punto de tiempo de la franja i
 $V(i-1)$ es la velocidad momentánea en el punto de tiempo de la franja inmediatamente anterior a la franja i
 a es la aceleración
 dt es la duración de una franja de tiempo.

- 30 De acuerdo con una realización, la velocidad para cada franja desde la franja 25 a la franja 60 puede calcularse sucesivamente de esta manera, como se ilustra en la columna #08 en la Figura 19C. Por tanto, los valores de velocidad momentánea para asociarse con los valores de medición detectados $S(3)$, $S(4)$, $S(5)$ y $S(6)$ asociados con el valor de aceleración a_{12} pueden establecerse de esta manera.

De acuerdo con otra realización, la velocidad momentánea para la franja 30 referente al valor de medición primero $s(j)= S(3)$ puede calcularse como:

- 35
$$V(i=30) = V_{p30} = VT1 + a * (30-24) * dt = V_{p24} + a * 6 * dt$$

La velocidad momentánea para la franja 40 referente al primer valor de medición $s(j)= S(4)$ puede calcularse como:

$$V(i=40) = V_{p40} = VT1 + a * (40-24) * dt = V_{p40} + a * 16 * dt$$

o como:

$$V(i=40) = V_{p40} = V(30) + (40-30) * dt = V_{p30} + a * 10 * dt$$

- 40 La velocidad momentánea para la franja 50 referente al primer valor de medición $s(j)= S(5)$ puede posteriormente calcularse como:

$$V(i=50) = V_{p50} = V(40) + (50-40) * dt = V_{p40} + a * 10 * dt$$

y la velocidad momentánea para la franja 60 referente al primer valor de medición $s(j)= S(6)$ puede posteriormente calcularse como:

- 45
$$V(i=60) = V_{p60} = V(50) + a * 10 * dt$$

Cuando los valores de muestra de medición $S(j)$ asociados con el valor de aceleración establecido se han asociado

con un valor de velocidad momentánea, como se ha descrito antes, un conjunto de datos que incluye una secuencia temporal de valores de muestra de medición S(j), asociado cada valor con un valor de velocidad V(j), fROT(j), se suministra en una salida de dicho generador 601 de valor de velocidad.

5 La secuencia temporal de los valores de muestra de medición S(j), con valores de velocidad asociados V(j), fROT(j) puede usarse mediante el decimador 470, 470B fraccionario de las Figuras 17, 18 o 19A, por ejemplo cuando se realiza el procedimiento descrito en referencia a las Figuras 21 y 22.

En referencia a la Figura 19H, otra realización del procedimiento se describe. De acuerdo con esta realización, el generador de valor de velocidad opera para registrar (véase la etapa S#160 en la Figura 19H) una secuencia temporal de valores de señal de posición P_(i) de la señal de posición (Ep) de manera que existe una primera relación temporal n_{diff1} entre al menos algunos de los valores de señal de posición registrados (P_(i)), tal como por ejemplo 10 entre un primer valor de señal de posición P1_(i) y un segundo valor de señal de posición P2_(i). De acuerdo con una realización, el segundo valor de señal de posición P2_(i) se recibe y se registra en una franja de tiempo (i) que llega ndiff1 franjas después de recibir el primer valor de señal de posición P1_(i) (véase la etapa S#160 en la Figura 19H). Después, el tercer valor de señal de posición P3_(i) se recibe y se registra (véase la etapa S#170 en la Figura 19H) en 15 una franja de tiempo (i) que llega ndiff2 franjas después de recibir el segundo valor de señal de posición P2_(i).

Como se ilustra por la etapa S#160 en la Figura 19H, el generador de valor de velocidad puede operar para calcular el valor de relación

$$a_{12} = n_{diff1} / n_{diff2}$$

20 Si el valor de relación es igual a la unidad, o sustancialmente la unidad, entonces el generador de valor de velocidad opera para establecer que la velocidad es constante, y puede continuar con el cálculo de la velocidad de acuerdo con un procedimiento de fase de velocidad constante.

Si el valor de relación a₁₂ es mayor que la unidad, el valor de relación es indicativo de un incremento de velocidad porcentual.

25 Si el valor de relación a₁₂ es menor que la unidad, el valor de relación es indicativo de una disminución de velocidad porcentual.

La **Figura 19F** es un diagrama de flujo que ilustra una realización de un procedimiento para realizar la etapa S#40 de la Figura 19D. De acuerdo con una realización, **se asume que la aceleración tiene un valor constante** para la duración entre dos indicadores de posición mutuamente adyacentes P (véase la columna #02 en la Figura 19C). Por tanto, cuando

- 30 • el indicador de posición P se suministra una vez por revolución, y
- la relación de engranaje es 1/1: entonces

- 35 - la distancia angular recorrida entre dos indicadores de posición mutuamente adyacentes P es 1 revolución, que puede expresarse también como 360 grados, y
- la duración es T = n*dt,

- donde n es el número de franjas de duración dt entre los primeros dos indicadores de posición mutuamente adyacentes P1 y P2.

En una etapa S#200, el primer valor de velocidad de revolución VT1 puede calcularse como

$$VT1 = 1 / (n_{diff1} * dt),$$

40 en el que VT1 es la velocidad expresada como revoluciones por segundo, n_{diff1} = el número de franjas de tiempo entre las dos señales de posición sucesivas; y dt es la duración de una franja de tiempo expresada en segundos. El valor de dt puede ser por ejemplo la inversa de la frecuencia de muestra inicial fs.

45 Ya que se asume que la aceleración tiene un valor constante para la duración entre dos indicadores de posición mutuamente adyacentes P, el **primer valor de velocidad calculado VT1 se asigna a la primera franja de tiempo intermedia en la parte media entre las dos señales de posición sucesivas P1 y P2.**

En una etapa S#210, un segundo valor de velocidad VT2 puede calcularse como

$$VT2 = 1 / (n_{diff2} * dt),$$

50 en el que VT2 es la velocidad expresada como revoluciones por segundo, n_{diff2} = el número de franjas de tiempo entre las dos señales de posición sucesivas; y dt es la duración de una franja de tiempo expresada en segundos. El valor de dt puede ser por ejemplo la inversa de la frecuencia de muestra inicial fs.

Ya que se asume que la aceleración tiene un valor constante para la duración entre dos indicadores de posición mutuamente adyacentes P, **el segundo valor de velocidad calculado VT2 se asigna a la segunda franja de tiempo intermedia en la parte media entre las dos señales de posición sucesivas P2 y P3.**

Por tanto, la diferencia de velocidad V_{Delta} puede calcularse como

5
$$V_{\text{Delta}} = VT2 - VT1$$

Este valor V_{Delta} de velocidad diferencial puede dividirse por el número de franjas de tiempo entre la segunda franja de tiempo intermedia y la primera franja de tiempo intermedia. El valor resultante es indicativo de la diferencia de velocidad dV entre franjas adyacentes.

10 El valor de velocidad momentánea a asociar con franjas de tiempo seleccionadas puede calcularse entonces dependiendo de dicho primer valor de velocidad de revolución VT1, y el valor indicativo de la diferencia de velocidad entre franjas adyacentes.

15 Cuando los valores de muestra de medición S(j), asociados con las franjas de tiempo entre la primera franja de tiempo intermedia y la segunda franja de tiempo intermedia, se han asociado con un valor de velocidad momentánea, como se ha descrito antes, un grupo de datos que incluyen una secuencia de datos de tiempo de valores de muestra de medición S(j), asociado cada valor con un valor de velocidad V(j), se suministra en una salida de dicho generador 601 de valor de velocidad. El valor de velocidad momentánea V(j) también puede denominarse $f_{\text{ROT}}(j)$.

20 La secuencia temporal de valores de muestras de medición S(j) con valores de velocidad asociados V(j), $f_{\text{ROT}}(j)$ puede usarse mediante el decimador 470, 470B fraccionario, por ejemplo cuando se realiza el procedimiento descrito en referencia a las Figuras 21 y 22.

En resumen, de acuerdo con realizaciones de la invención, un primer valor de velocidad momentánea VT1 puede establecerse dependiendo de

la distancia angular delta-Fl_{p1-p2} entre una primera señal posicional P1 y una segunda señal posicional P2 y dependiendo de

25 la duración correspondiente

$$\text{la duración correspondiente } \text{delta-T}_{p1-p2} = t_{P2} - t_{P1}.$$

Por tanto, un segundo valor de velocidad momentánea VT2 puede establecerse dependiendo de

la distancia angular delta-Fl_{p2-p3} entre la segunda señal posicional P2 y la tercera señal posicional P3 y dependiendo de

30 la duración correspondiente

$$\text{la duración correspondiente } \text{delta-T}_{p2-p3} = t_{P2} - t_{P1}.$$

Por tanto, los valores de velocidad momentánea para la parte 8 rotativa pueden establecerse mediante interpolación entre el primer valor de velocidad momentánea VT1 y el segundo valor de velocidad momentánea VT2.

35 En otras palabras, de acuerdo con realizaciones de la invención, dos valores de velocidad momentánea VT1 y VT2 pueden establecerse basándose en las distancias angulares delta-Fl_{p1-p2} , delta-Fl_{p2-p3} y las duraciones correspondientes entre tres señales de posición consecutivas, y por tanto los valores de velocidad momentánea para la parte 8 rotativa pueden establecerse mediante interpolación entre el primer valor de velocidad momentánea VT1 y el segundo valor de velocidad momentánea VT2.

40 La **Figura 19G** es un gráfico que ilustra una serie de señales de posición consecutivas temporalmente P1, P2, P3, ..., cada señal de posición P siendo indicativa de una revolución completa de la parte 8 monitorizada. Por tanto, el valor de tiempo, contado en segundos, se incrementa a lo largo del eje horizontal hacia la derecha.

El eje vertical es indicativo de la velocidad de rotación, y se gradúa en revoluciones por minuto (RPM).

Con referencia a la Figura 19G, los efectos del procedimiento de acuerdo con una realización de la invención se ilustran. Un primer valor de velocidad momentánea $V(t_1) = VT1$ puede establecerse dependiendo de

45 la distancia angular delta-Fl_{p1-p2} entre la primera señal posicional P1 y la segunda señal posicional P2 y dependiendo de

la duración correspondiente $\text{delta-T}_{1-2} = t_{P2} - t_{P1}$. El valor de velocidad obtenido dividiendo la distancia angular delta-Fl_{p1-p2} por la duración correspondiente $(t_{P2} - t_{P1})$ representa la velocidad $V(t_1)$ de la parte 8 rotativa en el primer punto de tiempo medio t_1 también denominado **mtp** (punto de tiempo medio), como se ilustra en la figura 19G.

50

Por tanto, un segundo valor de velocidad momentánea $V(t_2) = VT_2$ puede establecerse dependiendo de

la distancia angular delta-FI entre la segunda señal posicional P2 y la tercera señal posicional P3, y dependiendo de la duración correspondiente

5 la duración correspondiente $\text{delta-T2-3} = t_{P3} - t_{P2}$.

El valor de velocidad obtenido dividiendo la distancia angular delta-FI por la duración correspondiente ($t_{P3} - t_{P2}$) representa la velocidad $V(t_2)$ de la parte de 8 rotativa en el segundo punto de tiempo medio t_2 (2º mtp) como se ilustra en la figura 19G.

10 Por tanto, los valores de velocidad momentánea para los valores de tiempo entre el primer punto de tiempo medio y el segundo punto de tiempo medio pueden establecerse mediante interpolación entre el primer valor de velocidad momentánea VT1 y el segundo valor de velocidad momentánea VT2, como se ilustra por la curva f_{ROTint} .

Matemáticamente, esto puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$V(t_{12}) = V(t_1) + a * (t_{12} - t_1)$$

15 Por tanto, si la velocidad del árbol 8 puede detectarse en dos puntos de tiempo (t_1 y t_2), y la aceleración a es constante, entonces la velocidad momentánea en cualquier punto de tiempo puede calcularse. En particular, la velocidad $V(t_{12})$ del árbol en el tiempo t_{12} que es un punto en el tiempo después de t_1 y antes de t_2 , puede calcularse por

$$V(t_{12}) = V(t_1) + a * (t_{12} - t_1)$$

en el que

20 a es la aceleración, y
 t_1 es el primer punto de tiempo medio t_1 (véase la Figura 19G).

25 El establecimiento de un valor de velocidad como se ha descrito antes, así como la decimación fraccionaria como se ha descrito en referencia a las Figuras 17, 18, 19A, 21 y 22 puede lograrse realizando las etapas de procedimiento correspondientes, y esto puede lograrse mediante un programa 94 informático almacenado en la memoria 60, como se ha descrito antes. El programa informático puede ejecutarse mediante un DSP 50. Como alternativa, el programa informático puede ejecutarse mediante un circuito de Matriz de Compuerta Programable en Campo (FPGA).

30 El establecimiento de un valor de velocidad descrito antes, así como la decimación fraccionaria como se describe en referencia a las Figuras 17, 18, 19A, 21 y 22, puede realizarse mediante el aparato 14 de análisis cuando el procesador 50 ejecuta el código 94 de programa correspondiente, como se analiza junto con la Figura 4 anterior. El procesador 50 de datos puede incluir una unidad 50 de procesamiento central para controlar el funcionamiento del aparato 14 de análisis. Como alternativa, el procesador 50 puede incorporarse mediante un Procesador 50B de Señal Digital (DSP). El DSP 50B puede estar dispuesto para ejecutar actualmente el código 90 de programa para provocar que el aparato 14 de análisis ejecute el programa 94 provocando la ejecución de los procesos antes descritos. De acuerdo con otra realización, el procesador 50B es un circuito de Matriz de Compuerta Programable en Campo (FPGA).

Decimación fraccionaria

40 Los valores de datos $S(j)$ leídos desde la memoria 604 se suministran al introductor 540 de muestra para introducir $U-1$ valores de muestra entre cada valor de muestra recibido en el puerto 480. Cada uno de tales valores de muestra añadidos se proporciona con un valor de amplitud. De acuerdo con una realización, cada valor de muestra añadido es una amplitud cero (0).

La señal resultante se suministra a un filtro 550 de paso bajo cuya frecuencia de desconexión se controla por el valor U suministrado por el generador 500 de Número Fraccionario, como se ha descrito antes.

45 La señal resultante se suministra a un selector 580 de muestra. El selector de muestra recibe el valor N en un puerto y la señal desde el filtro 550 de paso bajo en otro puerto, y genera una secuencia de valores de muestra en respuesta a estas entradas. El selector de muestra se adapta para recoger cada N :ésima muestra de la señal recibida desde el filtro 550 de paso bajo. La señal resultante S_{RED2} tiene un índice de muestra de $f_{\text{SR2}} = U/N * f_{\text{SR1}}$, donde f_{SR1} es el índice de muestra de una señal S_{RED} recibida en el puerto 480. La señal resultante S_{RED2} se suministra al puerto 590 de salida.

50 Por tanto, la frecuencia de muestreo f_{SR2} para los valores de datos de salida $R(q)$ es menor que la frecuencia de muestreo de entrada f_{SR1} por el factor D . D puede ajustarse a un número arbitrario mayor que 1 y puede ser un número fraccionario. De acuerdo con realizaciones preferentes, el factor D es ajustable a valores entre 1,0 y 20,0. En una realización preferente, el factor D es un número fraccionario ajustable a un valor entre aproximadamente 1,3

y aproximadamente 3,0. El factor D puede obtenerse mediante el ajuste de los números enteros U y N a valores adecuados. El factor D es igual a N dividido por U:

$$D = N/U$$

5 De acuerdo con una realización de la invención, los números enteros U y N son ajustables a números enteros grandes para permitir que el factor $D = N/U$ siga variaciones de velocidad con un mínimo de imprecisión. La selección de variables U y N a los números enteros mayores que 1000 proporciona ventajosamente una alta precisión al adaptar la frecuencia de muestra de salida para rastrear cambios en la velocidad rotativa del árbol motorizado. Así, por ejemplo, ajustar N a 500 y U a 1001 proporciona $D = 2,002$.

10 La variable D se ajusta a un valor adecuado en el comienzo de la medición y ese valor se asocia con una cierta velocidad de rotación de una parte rotativa a monitorizar. Por tanto, durante la sesión de monitorización de condición, el valor fraccionario D se ajusta automáticamente en respuesta a la velocidad de rotación de la parte rotativa a monitorizar por lo que la señal enviada en el puerto 590 proporciona un número sustancialmente constante de valores de muestra por revolución de la parte rotativa monitorizada.

15 Como se ha mencionado antes, el codificador 420 puede suministrar una señal de marcador de revolución completa una vez por revolución completa del árbol 8. Tal señal de marcador de revolución completa puede estar en la forma de un pulso eléctrico que tiene un borde que puede detectar con precisión y ser indicativo de una posición rotativa determinada del árbol 8 monitorizado. La señal de marcador de revolución completa, que puede denominarse pulso de índice, puede producirse en una salida del codificador 420 en respuesta a la detección de un patrón de ángulo cero en un disco de codificación que rota cuanto rota el árbol monitorizado. Esto puede lograrse de varias maneras, así como es conocido por los expertos en la materia. El disco de codificación puede por ejemplo proporcionarse con un patrón de ángulo cero que producirá una señal de ángulo cero con cada revolución del disco. Las variaciones de velocidad pueden detectarse por ejemplo registrando un "marcador de revolución completa" en la memoria 604 cada vez que el árbol monitorizado pasa por la posición rotativa determinada, y asociando el "marcador de revolución completa" con un valor de muestra $s(j)$ recibido en el mismo instante. De esta manera, la memoria 604 almacenará un número mayor de muestras entre dos marcadores de revolución completa consecutivos cuando el árbol rota más despacio, ya que el convertidor A/D suministra un número constante de muestras f_s por segundo.

20 La **Figura 20** es un diagrama de bloques del decimador 310 y otra realización adicional del decimador 470 fraccionario. Esta realización del decimador fraccionario se indica con 470B. El decimador 470B fraccionario puede incluir una memoria 604 adaptada para recibir y almacenar valores de datos $S(j)$ así como información indicativa de la velocidad de rotación correspondiente f_{ROT} de la parte rotativa monitorizada. Por tanto, la memoria 604 puede almacenar cada valor de datos $S(j)$ por lo que se asocia con un valor indicativo de la velocidad de rotación $f_{ROT(j)}$ del árbol monitorizado en el momento de la detección del valor S_{EA} de señal de sensor correspondiente al valor de datos $S(j)$. La provisión de valores de datos $S(j)$ asociados con valores de velocidad de rotación correspondientes $f_{ROT(j)}$ se describe con referencia a las Figuras 19A-19G anteriores.

35 El decimador 470B fraccionario recibe la señal S_{RED1} , con una frecuencia de muestreo f_{SR1} , como una secuencia de valores de datos $S(j)$ y suministra una señal de salida S_{RED2} , con una frecuencia de muestreo f_{SR2} como otra secuencia de valores de datos $R(q)$ en la salida 590.

40 El decimador 470B fraccionario puede incluir una memoria 604 adaptada para recibir y almacenar valores de datos $S(j)$ así como información indicativa de la velocidad de rotación f_{ROT} correspondiente de la parte rotativa monitorizada. La memoria 604 puede almacenar valores de datos $S(j)$ en bloques por lo que cada bloque se asocia con un valor indicativo de una velocidad de rotación relevante del árbol monitorizado, como se describe después en relación con la Figura 21.

45 El decimador 470B fraccionario también puede incluir un generador 606 variable de decimación fraccionaria, que se adapta para generar un valor D fraccionario. El valor D fraccionario puede ser un número flotante. Por tanto, el número fraccionario puede ser controlado por un valor de número flotante en respuesta a un valor de velocidad recibido f_{ROT} por lo que un valor de número flotante es indicativo del valor de velocidad f_{ROT} con una cierta imprecisión. Cuando se implementa mediante un DSP programado adecuadamente, como se ha mencionado antes, la imprecisión del valor de número flotante puede depender de la capacidad del DSP para generar valores de números flotantes.

50 Además, el decimador 470B fraccionario también puede incluir un filtro 608 FIR. El filtro 608 FIR es un filtro FIR de paso bajo que tiene una cierta frecuencia de desconexión de paso bajo adaptada para la decimación por un factor $D_{MÁX}$. El factor $D_{MÁX}$ puede ajustarse a un valor adecuado, por ejemplo 20 000. Además, el decimador 470B fraccionario también puede incluir un generador 610 de parámetro de filtro.

La operación del decimador 470B fraccionario se describe en referencia a las Figuras 21 y 22 a continuación.

55 La **Figura 21** es un diagrama de flujo que ilustra una realización de un procedimiento de operación del decimador 310 y el decimador 470B fraccionario de la Figura 20.

- En una primera etapa S2000, la velocidad de rotación f_{ROT} de la parte cuya condición se va a monitorizar se registra en la memoria 604 (Figura 20 y 21), y esto puede realizarse sustancialmente al mismo tiempo que la medición de vibraciones o pulsos de impacto comienza. De acuerdo con otra realización, la velocidad de rotación de la parte en la que se va a monitorizar la condición se supervisa durante un periodo de tiempo. La velocidad detectada superior $F_{ROTmáx}$ y la velocidad detectada inferior $F_{ROTmín}$ pueden registrarse por ejemplo en la memoria 604 (Figura 20 y 21).
- En la etapa S2010, los valores de velocidad registrados se analizan, con el fin de establecer si la velocidad de rotación varía. Si la velocidad se determina como constante, el selector 460 (Figura 16) puede ajustarse automáticamente en la posición para suministrar la señal S_{RED} con una frecuencia de muestra F_{SR1} en la entrada 315 del dispositivo de mejora 320, y el decimador 470, 470B fraccionario puede deshabilitarse. Si la velocidad se determina como variable, el decimador 470, 470B fraccionario puede activarse automáticamente y el selector 460 se establece automáticamente en la posición para suministrar la señal S_{RED2} que tiene la frecuencia de muestra F_{SR2} en la entrada 315 del dispositivo de mejora 320.
- En la etapa S2020, la interfaz 102, 106 de usuario representa el valor de velocidad registrado f_{ROT} o valores de velocidad $f_{ROTmín}$, $f_{ROTmáx}$ y solicita a un usuario que introduzca un valor de orden deseado O_V . Como se ha mencionado antes, la frecuencia de rotación del árbol f_{ROT} se denomina a menudo "orden 1". Las señales interesantes pueden ocurrir aproximadamente diez veces por revolución del árbol (Orden 10). Además, puede ser interesante analizar matices de algunas señales, por lo que puede ser interesante medir hasta el orden 100 o el orden 500 o incluso superior. Por tanto, un usuario puede introducir un número de orden O_V usando la interfaz 102 de usuario.
- En la etapa S2030, un índice de muestra de salida adecuado f_{SR2} se determina. De acuerdo con una realización, un índice de muestra de salida f_{SR2} se establece en $f_{SR2} = C * O_V * f_{ROTmín}$ en el que
- C es una constante que tiene un valor mayor que 2,0
 - O_V es un número indicativo de la relación entre la velocidad de rotación de la parte monitorizada y la frecuencia de repetición de la señal a analizar.
 - $F_{ROTmín}$ es una velocidad de rotación inferior de la parte monitorizada que se espera durante una sesión de medición futura.
- De acuerdo con una realización, el valor $f_{ROTmín}$ es un valor de rotación inferior detectado en la etapa S2020, como se ha descrito anteriormente.
- La constante C puede seleccionarse a un valor de 2,00 (dos) o mayor a la vista del muestreo de la misma. De acuerdo con realizaciones de la invención la Constante C puede preajustarse a un valor entre 2,40 y 2,70. en el que
- k es un factor que tiene un valor mayor de 2,0.
- Por consiguiente, el factor k puede seleccionarse a un valor mayor que 2,0. De acuerdo con una realización, el factor C se selecciona ventajosamente de manera que $100 * C / 2$ proporciona un número entero. De acuerdo con una realización, el factor C puede ajustarse a 2,56. La selección de C a 2,56 produce $100 * C = 256 = 2$ elevado a 8.
- En la etapa S2040, el valor entero M se selecciona dependiendo de la velocidad de rotación detectada f_{ROT} de la parte a monitorizar. El valor de M puede seleccionarse automáticamente dependiendo de la velocidad de rotación detectada de la parte a monitorizar de manera que la frecuencia de muestreo reducida intermedia f_{SR1} será mayor que la frecuencia de muestreo de señal de salida deseada f_{SR2} . El valor de la frecuencia de muestreo reducida F_{SR1} también se selecciona dependiendo de cuánto de la variación de velocidad rotativa se espera que exista durante la sesión de medición. De acuerdo con una realización, el índice de muestra f_s del convertidor A/D puede ser 102,4 kHz. De acuerdo con una realización, el valor entero M puede ser ajustable a un valor entre 100 y 512 para proporcionar valores f_{SR1} de frecuencia de muestreo reducida intermedia entre 1024 Hz y 100 Hz.
- En la etapa S2050, un valor D variable de decimación fraccionaria se determina. Cuando la velocidad de rotación de la parte cuya condición se va a motorizar varía, el valor D variable de decimación fraccionaria puede variar dependiendo del valor de velocidad detectada momentánea.
- De acuerdo con otra realización de las etapas S2040 y S2050, el valor entero M se ajusta de manera que la frecuencia de muestreo reducida intermedia f_{SR1} es al menos un tanto por ciento tan superior que f_{SR2} (como se determina en la etapa S2030 anterior) que la relación entre el valor de velocidad detectado superior $f_{ROTmáx}$ dividido por el valor de velocidad detectado inferior $f_{ROTmín}$. De acuerdo con esta realización, un valor $D_{MÁX}$ variable de decimación fraccionaria máximo se ajusta a un valor de $D_{MÁX} = f_{ROTmáx} / f_{ROTmín}$, y un valor $D_{MÍN}$ variable de decimación fraccionaria mínimo se ajusta a 1,0. Por tanto, una medición en tiempo real momentánea del valor de velocidad actual f_{ROT} se realiza y un valor fraccionario momentáneo D se ajusta por consiguiente. f_{ROT} es un valor indicativo de una velocidad de rotación medida de la parte rotativa a monitorizar.
- En la etapa S2060, la medición actual se inicia, y una duración total deseada de la medición puede determinarse. Esta duración puede determinarse dependiendo del grado de atenuación de las señales estocásticas necesarias en el dispositivo de mejora. Por tanto, la duración total deseada de la medición puede ajustarse para que se corresponda con, o para que supere, la duración necesaria para obtener la señal de entrada $I_{LONGITUD}$, tal como se

ha descrito antes en relación con las Figuras 10A a 13. Como se ha mencionado antes en relación con las Figuras 10A a 13, una señal de entrada más larga $L_{LONGITUD}$ proporciona el efecto de mejor atenuación de señales estocásticas en relación con los patrones de señal repetitivos en la señal de salida.

5 La duración total de la medición también puede determinarse dependiendo del número deseado de revoluciones de la parte monitorizada.

Cuando la medición se inicia, el decimador 310 recibe la señal digital S_{ENV} en un índice f_s y suministra una señal digital S_{RED1} a un índice reducido $F_{SR1} = f_s/M$ a la entrada 480 del decimador fraccionario. A continuación, la señal S_{RED1} se analiza en términos de una señal que tiene valores de muestra $S(j)$, donde j es un número entero.

10 En la etapa S2070, se registran valores de datos $S(j)$ en la memoria 604, y se asocia cada valor de datos con un valor de velocidad de rotación F_{ROT} . De acuerdo con una realización de la invención, el valor de velocidad de rotación f_{ROT} se lee y se registra en un índice $f_{RR} = 1000$ veces por segundo. El índice de leer y registrar f_{RR} puede ajustarse a otros valores, dependiendo de cuánto varía la velocidad f_{ROT} de la parte monitorizada rotativa.

15 En una etapa posterior S2080, se analizan los valores de velocidad de rotación registrados, y se dividen los valores de datos registrados $S(j)$ en bloques de datos dependientes de los valores de velocidad de rotación. De esta manera, un número de bloques del bloque de valores de datos $S(j)$ puede generarse, cada bloque de valores de datos $S(j)$ asociándose con un valor de velocidad de rotación. El valor de velocidad de rotación indica la velocidad de rotación de la parte monitorizada, cuando estos valores de datos de bloque particulares $S(j)$ se registraron. Los bloques individuales de datos pueden ser de tamaño mutuamente diferente, es decir, los bloques individuales pueden contener números mutuamente diferentes de valores de datos $S(j)$.

20 Si, por ejemplo, la parte rotativa monitorizada primero rota a una primera velocidad F_{ROT1} durante un primer período de tiempo, y después cambia la velocidad para rotar a una segunda velocidad f_{ROT2} durante un segundo período de tiempo más corto, los valores de datos registrados $S(j)$ pueden dividirse en dos bloques de datos, el primer bloque de valores de datos asociándose con el primer valor de velocidad f_{ROT1} y el segundo bloque de valores de datos asociándose con el segundo valor de velocidad f_{ROT2} . En este caso, el segundo bloque de datos contendría menos valores de datos que el primer bloque de datos ya que el segundo período de tiempo fue más corto.

25 De acuerdo con una realización, cuando todos los valores de datos registrados $S(j)$ se han dividido en bloques, y todos los bloques se han asociado con un valor de velocidad de rotación, entonces el procedimiento continúa a ejecutar la etapa S2090.

30 En la etapa S2090, se selecciona un primer bloque de valores de datos $S(j)$ y se determina un valor D de decimación fraccionaria correspondiente al valor de velocidad de rotación F_{ROT} asociado. Se asocia este valor D de decimación fraccionaria con el primer bloque de valores de datos $S(j)$. De acuerdo con una realización, cuando todos los bloques se han asociado con un valor D de decimación fraccionaria correspondiente, entonces el procedimiento continúa a ejecutar la etapa S2090. Por tanto, el valor del valor D de decimación fraccionaria se adapta en dependencia de la velocidad F_{ROT} .

35 En la etapa S2100, se selecciona un bloque de valores de datos $S(j)$ y el valor D de decimación fraccionaria asociado como se describe en la etapa S2090 anterior.

En la etapa S2110, se genera un bloque de valores de salida R en respuesta al bloque seleccionado de valores de entrada S y el valor D de decimación fraccionaria asociado. Esto puede realizarse como se describe en referencia a la Figura 22.

40 En la etapa S2120, se comprueba si existe cualquier valor de datos de entrada restante a procesar. Si existe otro bloque de valores de datos de entrada a procesar, entonces se repite la etapa S2100. Si no existe ningún bloque restante de valores de datos de entrada a procesar, entonces la sesión de medición se completa.

Las Figuras 22A, 22B y 22C ilustran un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento para operación del decimador 470B fraccionario de la Figura 20.

45 En la etapa S2200, se recibe un bloque de valores de datos de entrada $S(j)$ y un valor D de decimación fraccionaria específica asociado. De acuerdo con una realización, los datos recibidos son como se describe en la etapa S2100 para la Figura 21 anterior. Los valores de datos de entrada $S(j)$ en el bloque recibido de valores de datos de entrada S están todos asociados con el valor D de decimación fraccionaria específico.

50 En las etapas S2210 a S2390 el filtro 608 FIR se adapta para el valor D de decimación fraccionaria específico como se recibe en la etapa S2200 y un conjunto de valores de señal de salida correspondientes $R(q)$ se generan. Esto se describe más específicamente a continuación.

En la etapa S2210, los ajustes de filtro adecuados para el valor D de decimación fraccionaria específico se seleccionan. Como se ha mencionado en relación con la Figura 20 anterior, el filtro 608 FIR es un filtro FIR de paso bajo que tiene una cierta frecuencia de desconexión de paso bajo adaptada para decimación mediante un factor

$D_{M\acute{A}X}$. El factor $D_{M\acute{A}X}$ puede ajustarse a un valor adecuado, por ejemplo 20.

Un valor F_R de relación de filtro se establece en un valor dependiente del factor $D_{M\acute{A}X}$ y el valor D de decimación fraccionaria específico como se recibe en la etapa S2200. La etapa S2210 puede realizarse mediante el generador 610 de parámetro de filtro (Figura 20).

5 En una etapa S2220, se selecciona un valor x de posición de inicio en el bloque de datos de entrada recibido $s(j)$. Debe apreciarse que el valor x de posición de inicio no necesita ser un número entero. El filtro 608 FIR tiene una longitud $F_{LONGITUD}$ y el valor x de posición inicial se selecciona entonces dependiendo de la longitud del filtro $F_{LONGITUD}$ y el valor F_R de relación de filtro. El valor F_R de relación de filtro es como se establece en la etapa S2210 anterior. De acuerdo con una realización, el valor x de posición inicial puede ajustarse a $x := F_{LONGITUD}/F_R$.

10 En una etapa S2230, un valor de suma de filtro SUM se prepara, y se ajusta a un valor inicial, tal como por ejemplo $SUM := 0,0$.

En una etapa S2240, una posición j en los datos de entrada recibidos adyacentes y antes de la posición x se selecciona. La posición j puede seleccionarse como una porción de número entero de x .

15 En una etapa S2250 se selecciona una posición F_{pos} en el filtro FIR que corresponde a la posición seleccionada j en los datos de entrada recibidos. La posición F_{pos} puede ser un número fraccionario. La posición F_{pos} de filtro, en relación con la posición media del filtro, puede determinarse como

$$F_{pos} = [(x-j) * F_R]$$

en donde F_R es el valor de relación de filtro.

20 En la etapa S2260 se comprueba si el valor F_{pos} de posición de filtro determinado está fuera de los valores de límite permisibles, es decir, puntos en una posición fuera del filtro. Si ocurre eso, entonces se continúa con la etapa S2300 a continuación. De lo contrario, se continúa con la etapa S2270.

25 En una etapa S2270, un valor de filtro se calcula mediante interpolación. Debe apreciarse que los valores de coeficiente de filtro adyacentes en un filtro de paso bajo FIR generalmente tendrán valores numéricos similares. Por tanto, un valor de interpolación será ventajosamente preciso. Primero, un valor IF_{pos} de posición de número entero se calcula:

$$IF_{pos} := \text{porción de número entero de } F_{pos}$$

El valor F_{val} de filtro para la posición F_{pos} será:

$$F_{val} = A(IF_{pos}) + [A(IF_{pos}+1) - A(IF_{pos})] * [F_{pos} - IF_{pos}]$$

30 en el que $A(IF_{pos})$ y $A(IF_{pos}+1)$ son valores en un filtro de referencia, y la posición F_{pos} de filtro es una posición entre estos valores.

En una etapa S2280, se calcula una actualización del valor SUM de suma de filtro en respuesta a la posición de señal j :

$$SUM := SUM + F_{val} * S(j)$$

En una etapa S2290 se mueve a otra posición de señal:

35 $Ajustar\ j := j-1$

Después se va a la etapa S2250.

En una etapa 2300, una posición j en los datos de entrada recibidos adyacentes a y posteriores a la posición x se selecciona. Esta posición j puede seleccionarse como la porción de número entero de x más 1 (uno), es decir $j := 1 +$ porción de número entero de x .

40 En una etapa S2310 se selecciona una posición en el filtro FIR que corresponde a la posición seleccionada j en los datos de entrada recibidos. La posición F_{pos} puede ser un número fraccionario. La posición F_{pos} de filtro, en relación con la posición media del filtro, puede determinarse como

$$F_{pos} = [(j-x) * F_R]$$

en donde F_R es el valor de relación de filtro.

45 En la etapa S2320, se comprueba si el valor F_{pos} de posición de filtro determinado está fuera de valores de límite permisible, es decir puntos en una posición fuera del filtro. Si ocurre eso, se continúa con la etapa S2360 a continuación. De lo contrario, se continúa con la etapa S2330.

En una etapa S2330, se calcula un valor de filtro mediante interpolación. Se aprecia que unos valores de coeficiente de filtro adyacentes en un filtro de paso bajo FIR generalmente tendrán valores numéricos similares. Por tanto, un valor de interpolación será ventajosamente preciso. Primero, un valor IFpos de posición de número entero se calcula:

5
$$\text{IFpos} := \text{porción de número entero de Fpos}$$

El valor de filtro para la posición Fpos será:

$$\text{Fval}(\text{Fpos}) = \text{A}(\text{IFpos}) + [\text{A}(\text{IFpos}+1) - \text{A}(\text{IFpos})] * [\text{Fpos} - \text{lfpos}]$$

en el que A(IFpos) y A(lfpos+1) son valores en un filtro de referencia, y la posición Fpos de filtro es una posición entre estos valores.

10 En una etapa S2340, se calcula una actualización del valor SUM de suma de filtro en respuesta a la posición de señal j:

$$\text{SUM} := \text{SUM} + \text{Fval} * \text{S}(j)$$

En una etapa S2350 se mueve a otra posición de señal:

$$\text{Ajustar } j := j+1$$

15 Después se va a la etapa S2310.

En una etapa S2360, se suministra un valor de datos de salida R(j). El valor de datos de salida R(j) puede suministrarse a una memoria para que unos valores de datos de salida consecutivos se almacenen en posiciones de memoria consecutivas. El valor numérico de valor de datos de salida R(j) es:

$$\text{R}(j) := \text{SUM}$$

20 En una etapa S2370, se actualiza el valor x de posición:

$$x := x + D$$

En una etapa S2380, se actualiza el valor j de posición

$$j := j+1$$

25 En una etapa S2390, se comprueba si el número deseado de valores de datos de salida se ha generado. Si el número deseado de valores de datos de salida no se ha generado, entonces se va a la etapa S2230. Si el número deseado de valores de datos de salida se ha generado, se va a la etapa S2120 en el procedimiento descrito en relación con la Figura 21.

30 En efecto, la etapa S2390 se diseña para asegurar que un bloque de valores de señal de salida R(q), correspondiente al bloque de valores de datos de entrada S recibidos en la etapa S2200, se genere, y que cuando los valores de señal de salida R correspondientes a los valores de datos de entrada S se han generado, entonces la etapa S2120 en la Figura 21 debería ejecutarse.

El procedimiento descrito en referencia a la Figura 22 puede implementarse como una subrutina de programa informático, y las etapas S2100 y S2110 pueden implementarse como un programa principal.

Monitorización de condición de sistemas de engranaje

35 Debería apreciarse que las realizaciones de la invención también pueden usarse para supervisar, monitorizar y detectar la condición de sistemas de engranaje. Algunas realizaciones proporcionan efectos particularmente ventajosos cuando se monitorizan sistemas de engranaje epicíclicos que comprenden transmisiones, engranajes y/o cajas de engranajes epicíclicas. Esto se describirá en más detalle a continuación. Las transmisiones, engranajes y/o cajas de engranajes epicíclicas también pueden denominarse transmisiones, engranajes y/o cajas de engranajes planetarias.

45 La **Figura 23** es una vista delantera que ilustra un sistema 700 de engranaje epicíclico. El sistema 700 de engranaje epicíclico comprende al menos uno o más engranajes 702, 703, 704 exteriores que giran alrededor de un engranaje 701 central. Los engranajes 702, 703, 704 exteriores se denominan comúnmente engranajes planetarios, y el engranaje 701 central se denomina comúnmente engranaje solar. El sistema 700 de engranaje epicíclico también puede incorporar el uso de un engranaje 705 de anillo exterior, denominado comúnmente anillo. Los engranajes 702, 703, 704 planetarios pueden comprender un número P de dientes 707, el engranaje 701 solar puede comprender un número S de dientes 708, y el anillo 705 puede comprender un número A de dientes 706. El número A de dientes del anillo 705 están dispuestos para engranar con el número P de dientes de los engranajes 702, 703, 704 planetarios, que a su vez también están dispuestos para engranar con el número S de dientes del engranaje 701 solar. Sin

embargo, debería apreciarse que el engranaje 701 solar es normalmente mayor que los engranajes 702, 703, 704 planetarios, por lo que la ilustración mostrada en la Figura 23 no debería interpretarse como limitante en este sentido. Cuando existen diferentes tamaños en el engranaje 701 solar y los engranajes 702, 703, 704 planetarios, el aparato 14 de análisis puede también distinguir entre condiciones detectadas de diferentes árboles y engranajes del sistema 700 de engranaje epicíclico, como será aparente a partir de lo siguiente.

En muchos sistemas de engranaje epicíclico, uno de estos tres componentes básicos, es decir, el engranaje 701 solar, los engranajes 702, 703, 704 planetarios o el anillo 705 se mantiene estacionario. Uno de los dos componentes restantes puede funcionar entonces como entrada y proporcionar energía al sistema 700 de engranaje epicíclico. El último componente restante puede funcionar entonces como una salida y recibir energía desde el sistema 700 de engranaje epicíclico. La relación de rotación de entrada con rotación de salida depende del número de dientes en cada engranaje, y de qué componente se mantenga estacionario.

La **Figura 24** es una vista lateral esquemática del sistema 700 de engranaje epicíclico de la Figura 23, como se ve en la dirección de la flecha SW en la Figura 23. Una disposición 800 ejemplar, que incluye el sistema 700 de engranaje epicíclico, puede comprender al menos un sensor 10 y al menos un aparato 14 de análisis de acuerdo con la invención como se ha descrito antes. La disposición 800 puede por ejemplo usarse como caja de engranajes para turbinas eólicas.

En una realización de la disposición 800, el anillo 705 se mantiene fijo. Un árbol 801 rotativo tiene varios brazos móviles o soportes 801A, 801B, 801C dispuestos para acoplarse a los engranajes 702, 703, 704 planetarios. Al proporcionar una rotación 802 de entrada al árbol 801 rotativo, el árbol 801 rotativo y los brazos 801A, 801B y 801C móviles y los engranajes 702, 703, 704 planetarios pueden funcionar como una entrada y proporcionar energía al sistema 700 de engranaje epicíclico. El árbol 801 rotativo y los engranajes 702, 703, 704 planetarios pueden entonces rotar en relación con el engranaje 701 solar. El engranaje 701 solar, que puede montarse en un árbol 803 rotativo puede funcionar entonces como una salida y recibir energía desde el sistema 700 de engranaje epicíclico.

$$G = 1 + \frac{A}{S}$$

Esta configuración producirá un incremento en la relación de engranaje G cuando se usa una caja de engranajes en una turbina eólica puede estar dispuesta de manera que la rotación de salida es aproximadamente 5-6 veces la rotación de entrada. Los engranajes 702, 703, 704 planetarios pueden montarse, mediante cojinetes 7A, 7B y 7C, respectivamente, en los brazos móviles o soportes 801A, 801B y 801C (tal como se muestra en ambas Figuras 23-24). El árbol 801 rotativo puede montarse en cojinetes 7D. De manera similar, el árbol 803 rotativo puede montarse en cojinetes 7E, y el engranaje 701 solar puede montarse mediante cojinetes 7F en el árbol 803 rotativo.

De acuerdo con una realización de la invención, el al menos un sensor 10 puede unirse en o sobre un punto 12 de medición del anillo 705 fijo del sistema 700 de engranaje epicíclico. El sensor 10 también puede estar dispuesto para comunicarse con el aparato 14 de análisis. El aparato 14 de análisis puede estar dispuesto para analizar la condición del sistema 700 de engranaje epicíclico basándose en los datos de medición o valores de señal suministrados por el sensor 10 tal como se ha descrito antes en este documento. El aparato 14 de análisis puede incluir un evaluador 230 como se ha dicho antes.

La **Figura 25** ilustra una versión analógica de una señal ejemplar producida por y emitida por el preprocesador 200 (véase la Figura 5 o la Figura 16) en respuesta a las señales detectadas por el al menos un sensor 10 tras la rotación del sistema 700 de engranaje epicíclico en la disposición 800. La señal se muestra para una duración de T_{REV} , que representa valores de señal detectados durante una revolución del árbol 801 rotativo. Debe entenderse que la señal suministrada por el preprocesador 200 en el puerto 260 (véase la Figura 5 y la Figura 16) puede suministrarse a la entrada 220 del evaluador 230 (véase la Figura 8 o la Figura 7).

Tal como puede verse a partir de la señal en la Figura 25, la amplitud o salida de señal de la señal se incrementa a medida que cada engranaje 702, 703, 704 planetario pasa el punto 12 de medición del sensor 10 en la disposición 800. Estas porciones de la señal se denominan a continuación regiones 702A, 703A, 704A de alta amplitud, que pueden comprender puntas 901 de amplitud alta. También puede mostrarse que la cantidad total de puntas 901, 902 en la señal sobre una revolución del árbol 801 rotativo, es decir, durante el período de tiempo T_{REV} , se correlaciona directamente con la cantidad de dientes del anillo 705. Por ejemplo, si el número de dientes en el anillo 705 es $A = 73$, el número total de puntas en la señal durante un período de tiempo T_{REV} será 73; o si el número de dientes en el anillo 705 es $A = 75$, el número de puntas en la señal durante un período de tiempo T_{REV} será 75, etc. Esto ha demostrado ser cierto teniendo en cuenta que no hay errores o fallos en los engranajes 702, 703, 704, 705 de la disposición 800.

La **Figura 26** ilustra un ejemplo de una porción de la región 702A de amplitud alta de la señal mostrada en la Figura 25. Esta porción de señal puede generarse cuando el engranaje 702 planetario pasa por su posición mecánicamente más cercana al punto 12 de medición y el sensor 10 (véanse las Figuras 23-24). Se ha apreciado que unas pequeñas vibraciones o perturbaciones 903 periódicas, que se ilustran en la Figura 26, pueden ocurrir a veces. En este caso, las pequeñas perturbaciones 903 periódicas se han vinculado con la aparición de errores, fallos o desgarros en los cojinetes 7A, como se muestra en las Figuras 23-24, que pueden montarse en uno de los brazos

801A móviles. Las perturbaciones 903 periódicas pequeñas puede propagarse así (o trasladarse) desde un cojinete 7A a través del engranaje 702 planetario del sistema 700 de engranaje epicíclico, al anillo 705 donde unas pequeñas perturbaciones 903 periódicas pueden recogerse por el sensor 10 como se ha descrito antes, por ejemplo en relación con las Figuras 1-24. De manera similar, unos errores, fallos o desgarros en los cojinetes 7B o 7C montados en uno de los brazos 801B u 801C móviles también pueden generar tales pequeñas perturbaciones 903 periódicas que de la misma manera de antes pueden recogerse por el sensor 10. También debería apreciarse que las pequeñas perturbaciones 903 periódicas también pueden emanar de errores, fallos o desgarros en los cojinetes 7F que pueden montarse en el árbol 803 rotativo. La detección de estas pequeñas perturbaciones periódicas en la señal puede ser indicativa de que los cojinetes 7A, 7B, 7C y/o 7F comienzan a deteriorarse, o indicativa de que están en el límite de su vida útil activa. Esto puede por ejemplo ser importante ya que puede ayudar a predecir cuando el sistema 700 de engranaje epicíclico y/o la disposición 800 tienen necesidad de mantenimiento o sustitución.

De acuerdo con una realización de la invención, el analizador 290 de condición en el evaluador 230 del aparato 14 de análisis puede estar dispuesto para detectar estas pequeñas perturbaciones 903 periódicas en la señal recibida desde el sensor 10. Esto se hace posible mediante las realizaciones de la invención antes descritas. Las pequeñas perturbaciones 903 periódicas también pueden denominarse pulsos 903 de impacto o vibraciones 903. De acuerdo con una realización de la invención, el aparato 14 de análisis que emplea un dispositivo de mejora 320 como se ha descrito antes permite la detección de estos pulsos 903 de impacto o vibraciones 903 que se originan de los cojinetes 7A (o 7B, 7C o 7F) usando un sensor 10 montado en el anillo 705 como se ha descrito antes. Aunque el pulso de impacto mecánico o señal de vibración como se recoge por el sensor 10 unido al anillo 705 puede ser débil, la provisión de un dispositivo de mejora 320 como se ha descrito antes hace posible monitorizar la condición de los cojinetes 7A (o 7B, 7C o 7F) incluso aunque el pulso de impacto mecánico o señal de vibración se haya propagado por medio de uno o varios engranajes 702, 703 o 704 planetarios.

Como se ha mencionado previamente y mostrado en las Figuras 7-9, el analizador 290 de condición puede estar dispuesto para realizar un análisis adecuado operando en una señal en el dominio de tiempo, o una señal en el dominio de frecuencia. Sin embargo, la detección de pequeñas perturbaciones 903 periódicas en la señal recibida del sensor 10 se describe de manera más adecuada en el dominio de frecuencia, como se muestra en la Figura 27.

La **Figura 27** ilustra un espectro de frecuencia ejemplar de una señal que comprende una pequeña perturbación 903 periódica como se ilustra en la Figura 26. El espectro de frecuencia de la señal comprende un máximo 904 en una frecuencia que está directamente correlacionada con el acoplamiento o engranaje de los dientes de los engranajes 702, 703, 704 planetarios y el anillo 705. De hecho, la frecuencia del máximo 904 en el espectro de frecuencia se ubicará en $A \times \Omega$, donde

A es el número total de dientes del anillo 705, y

Ω es el número de revoluciones por segundo mediante el árbol 801 rotativo, cuando la rotación 802 ocurre a una velocidad constante de rotación.

Además del máximo 904 en el espectro de frecuencia, la pequeña perturbación 903 periódica tal como se ilustra en la Figura 26 puede generar máximos 905, 906 en las frecuencias f_1, f_2 centradas alrededor del máximo 904 en el espectro de frecuencia. Los máximos 905, 906 en las frecuencias f_1, f_2 pueden entonces denominarse bandas laterales simétricas alrededor del máximo 904 central. De acuerdo con una realización ejemplar de la invención, el analizador 290 de condición puede estar dispuesto para detectar uno o varios máximos en el espectro de frecuencia, y estar dispuesto así para detectar pequeñas perturbaciones periódicas en la señal recibida del sensor 10. También puede mostrarse que los máximos 905, 906 en las frecuencias f_1, f_2 se relacionan con el máximo 904 central de acuerdo con las ecuaciones Ec. 1-2:

$$f_1 = (A \times \Omega) - (f_D \times f_{702}) \text{ (Ec. 1)}$$

$$f_2 = (A \times \Omega) + (f_D \times f_{702}) \text{ (Ec. 2)}$$

en las que

A es el número total de dientes del anillo 705;

Ω es el número de revoluciones por segundo mediante el árbol 801 rotativo; y

f_D es una frecuencia de repetición de la firma de señal repetitiva que puede ser indicativa de una condición deteriorada; y

f_{702} es el número de revoluciones por segundo mediante el planeta 702 alrededor de su propio centro.

La frecuencia de repetición f_D de la firma de señal repetitiva es indicativa de que una de las piezas rotativas es el origen de la firma de señal repetitiva. La frecuencia de repetición f_D de la firma de señal repetitiva también puede usarse para distinguir entre diferentes tipos de condiciones deterioradas, tal como se ha analizado por ejemplo en

conexión con la Figura 8. Por consiguiente, una frecuencia de repetición detectada f_D de la firma de señal repetitiva puede ser indicativa de una frecuencia de entrenamiento fundamental (FTF), una frecuencia de giro de bola (BS), una frecuencia de pista exterior (OR) o una frecuencia de pista interior (IR) referente a un cojinete 7A, 7B, 7C o 7F en el sistema 700 de engranaje epicíclico en la disposición 800 de la Figura 24.

5 Por tanto como se ha descrito antes, una señal de datos que representa vibraciones mecánicas que emanan de la rotación de uno o varios árboles, tal como el árbol 801 rotativo, y/o el árbol 803 rotativo (véanse las Figuras 23-24), puede incluir varias firmas de señal repetitivas, y una firma de señal determinada puede de esta manera repetirse un cierto número de veces por revolución de uno de los árboles monitorizados. Además, varias firmas de señal repetitivas mutuamente diferentes pueden ocurrir, en el que las firmas de señal repetitivas mutuamente diferentes
10 pueden tener frecuencias de repetición mutuamente diferentes. El procedimiento para mejorar las firmas de señal repetitivas en las señales, como se ha descrito antes, permite ventajosamente la detección simultánea de muchas firmas de señal repetitivas que tienen frecuencias de repetición mutuamente diferentes. Esto permite ventajosamente la monitorización simultánea de varios cojinetes 7A, 7B, 7C, 7F asociados con diferentes árboles 801, 803 usando un único detector 10. La monitorización simultánea también puede usar el hecho de que el tamaño
15 del engranaje 701 solar y los engranajes 702, 703, 704 planetarios normalmente son de tamaños diferentes, lo que puede permitir además una fácil detección de cuál de los cojinetes 7A, 7B, 7C, 7F en las Figuras 23-24 es el que está generando la pequeña perturbación 903 periódica, y de esta manera cuál de los cojinetes 7A, 7B, 7C, 7F en las Figuras 23-24 puede necesitar mantenimiento o sustitución. El procedimiento para mejorar firmas de señal repetitivas en las señales, como se ha descrito antes, también puede hacer ventajosamente posible distinguir entre
20 por ejemplo una firma de daño de Pista Interior de Cojinete y una firma de daño de Pista Exterior de Cojinete en una única sesión de análisis y medición.

El valor relevante para Ω , que representa la velocidad de rotación de los engranajes 702, 703, 704 planetarios puede indicarse mediante un sensor 420 (véase la Figura 24). El sensor 420 puede adaptarse para generar una señal indicativa de la rotación del árbol 803 en relación con el anillo 705, y desde esta señal el valor relevante para Ω
25 puede calcularse cuando el número de dientes del anillo 705, los engranajes 702, 703, 704 planetarios y el engranaje 701 solar se conocen.

La **Figura 28** ilustra un ejemplo de una porción de la señal ejemplar mostrada en la Figura 25. Esta porción ejemplar demuestra otro ejemplo de un error o fallo que el analizador 290 de condición también puede estar dispuesto para detectar de manera similar a como se ha descrito antes. Si un diente en uno o varios de los engranajes 701, 702, 703, 704, 705 se rompe o se desgasta sustancialmente, el analizador 290 de condición puede estar dispuesto para
30 detectar qué diente está roto o desgastado ya que también generará una perturbación periódica, es decir, debido a la falta de acoplamiento o engranaje de diente del diente gastado o que falta. Esto puede detectarse mediante el analizador 290 de condición, por ejemplo en el espectro de frecuencia de la señal recibida desde el sensor 10. También debería apreciarse que este tipo de error o fallo puede detectarse mediante el analizador 290 de condición
35 en cualquier tipo de engranaje y/o sistema de engranaje. La frecuencia de este tipo de error de acoplamiento de dientes, o error de engranaje, en un engranaje y/o sistema de engranaje se ubica a menudo en una frecuencia sustancialmente mayor que por ejemplo las frecuencias f_1, f_2 en la Figura 27.

La **Figura 29** ilustra otra realización adicional de un sistema 2 de análisis de condición de acuerdo con una realización de la invención. El sensor 10 está físicamente asociado con una máquina 6 que puede incluir un sistema
40 700 de engranaje que tiene partes rotativas plurales (véase la Figura 1 y la Figura 29). El sistema de engranaje de la Figura 29 puede ser un sistema 700 de engranaje epicíclico de la Figura 24. El sistema 700 de engranaje epicíclico puede por ejemplo usarse como una caja de engranajes para turbinas eólicas.

La unidad 10 sensora puede ser un Sensor de Medición de Pulso de Impacto adaptado para producir una señal analógica S_{EA} que incluye un componente de señal de vibración que depende de un movimiento de vibración de la
45 parte rotativamente móvil en el sistema 700 de engranaje. El sensor 10 suministra la señal analógica S_{EA} a una disposición 920 de procesamiento de señal.

La disposición 920 de procesamiento de señal puede incluir una interfaz 40 de sensor y un medio 50 de procesamiento de datos. La interfaz 40 de sensor incluye un convertidor 44 A/D (Figura 2A, Figura 2B) que genera la
50 señal de medición digital S_{MD} . El convertidor 44 A/D se acopla al medio 50 de procesamiento de datos para suministrar la señal de datos de medición digital S_{MD} al medio 50 de procesamiento de datos.

El medio 50 de procesamiento de datos se acopla a la interfaz 102 de usuario. La interfaz 102 de usuario puede incluir un medio 104 de entrada de usuario que permite al usuario proporcionar entrada de usuario. Tal entrada de usuario puede incluir la selección de una función 105, 290, 290T, 290F de análisis deseada (Figura 4, Figura 7,
55 Figura 8) y/o ajustes de las funciones 94, 250, 310, 470, 470A, 470B, 320, 294 de procesamiento de señal (véase la Figura 4 y la Figura 30).

La interfaz 102 de usuario también puede incluir una unidad 106 de representación, como se describe por ejemplo en relación con la Figura 2A y la Figura 5.

La **Figura 30** es un diagrama de bloques que ilustra las partes de la disposición 920 de procesamiento de señal de

la Figura 29 junto con la interfaz 102, 104 de usuario y el sistema 106 de representación.

La interfaz 40 de sensor comprende una entrada 42 para recibir una señal analógica S_{EA} del sensor 10, y un convertidor 44 A/D. Un acondicionador 43 de señal (Figura 2B) también puede proporcionarse opcionalmente. El sensor puede ser un sensor de medición de pulso de impacto. El convertidor 44 A/D muestrea la señal analógica recibida con una cierta frecuencia de muestreo f_s para suministrar una señal de datos de medición digital S_{MD} que tiene una cierta frecuencia de muestreo f_s .

La frecuencia de muestreo f_s puede ajustarse a

$$f_s = k * f_{SEAm\acute{a}x}$$

en la que

10 k es un factor que tiene un valor superior a 2,0.

Por consiguiente, el factor k puede seleccionarse como un valor superior que 2,0. Preferentemente, el factor k puede seleccionarse en un valor entre 2,0 y 2,9 para evitar efectos de generación de alias. La selección del factor k en un valor superior que 2,2 proporciona un margen de seguridad con respecto a los efectos de generación de alias, como se ha mencionado antes en este documento. El factor k puede seleccionarse en un valor entre 2,2 y 2,9 para proporcionar dicho margen de seguridad mientras se evita generar innecesariamente muchos valores de muestra. De acuerdo con una realización, el factor k se selecciona ventajosamente de manera que $100*k/2$ proporciona un número entero. De acuerdo con una realización, el factor k puede ajustarse a 2,56. La selección k en 2,56 proporciona $100*k = 256 = 2$ elevado a 8.

De acuerdo con una realización, la frecuencia de muestreo f_s de la señal de datos de medición digital S_{MD} puede fijarse a un cierto valor f_s , tal como por ejemplo $f_s = 102,4$ kHz.

Por tanto, cuando la frecuencia de muestreo f_s se fija en un determinado valor f_s , la frecuencia $f_{SEAm\acute{a}x}$ de la señal analógica S_{EA} será:

$$f_{SEAm\acute{a}x} = f_s / k$$

en la que $f_{SEAm\acute{a}x}$ es la frecuencia mayor a analizar en la señal muestreada.

25 Por tanto, cuando la frecuencia de muestreo f_s se fija a un cierto valor $f_s = 102,4$ kHz y el factor k se ajusta en 2,56, la frecuencia máxima $f_{SEAm\acute{a}x}$ de la señal analógica S_{EA} será:

$$f_{SEAm\acute{a}x} = f_s / k = 102\ 400/2,56 = 40\ \text{kHz}$$

La señal de datos de medición digital S_{MD} que tiene frecuencia de muestreo f_s se recibe por el filtro 240. De acuerdo con una realización, el filtro 240 es un filtro de paso alto que tiene una frecuencia de desconexión f_{LC} . Esta realización simplifica el diseño sustituyendo el filtro de paso de banda, descrito en relación con la Figura 6, por un filtro 240 de paso alto. La frecuencia de desconexión f_{LC} del filtro 240 de paso alto se selecciona aproximadamente en el valor del valor de frecuencia de resonancia mecánica esperado más bajo f_{RMU} del sensor 10 de medición de pulso de impacto resonante. Cuando la frecuencia de resonancia mecánica f_{RM} está en algún lugar en el intervalo de 30 kHz a 35 kHz, el filtro 240 de paso alto puede diseñarse para tener una frecuencia de desconexión inferior $f_{LC} = 30$ kHz. La señal filtrada de paso alto pasa entonces al rectificador 270 y después al filtro 280 de paso bajo.

De acuerdo con una realización, debería ser posible usar sensores 10 que tienen una frecuencia de resonancia en el intervalo de 20 kHz a 35 kHz. Para lograr esto, el filtro 240 de paso alto puede diseñarse para tener una frecuencia de desconexión inferior $f_{LC} = 20$ kHz.

La señal de salida del filtro 240 digital se suministra a una envolvente 250 digital.

40 Mientras que los dispositivos analógicos de la técnica anterior para generar una señal de envolvente en respuesta a la señal de medición emplean un rectificador analógico que inherentemente conduce a un error de desviación que se introduce en la señal resultante, la envolvente 250 digital producirá ventajosamente una auténtica rectificación sin errores de desviación. Por consiguiente, la señal de envolvente digital S_{ENV} tendrá una buena Relación de Señal respecto a Ruido, ya que el sensor que es mecánicamente resonante en la frecuencia de resonancia en la banda de paso del filtro 240 digital conduce a una amplitud de señal alta. Además, el procesamiento de señal que se realiza en el dominio digital elimina la adición de ruido y elimina la adición de errores de desviación.

De acuerdo con una realización de la invención, el filtro 280 de paso bajo opcional en la envolvente 250 puede eliminarse. En efecto, el filtro 280 de paso bajo opcional en la envolvente 250 se elimina ya que el decimador 310 incluye una función de filtro de paso bajo. Por tanto, la envolvente 250 de la Figura 30 comprende eficazmente un rectificador 270 digital, y la señal producida por el rectificador 270 digital se suministra al decimador 310 de número entero, que incluye el filtrado de paso bajo.

El decimador 310 de número entero se adapta para realizar una decimación de la señal digitalmente envuelta S_{ENV}

para suministrar una señal digital S_{RED} que tiene un índice de muestra reducido f_{SR1} de manera que el índice de muestra de salida se reduce mediante un factor de número entero M en comparación con el índice de muestra de entrada f_s .

5 El valor M puede ajustarse en dependencia de la velocidad de rotación detectada F_{ROT} . El decimador 310 puede ajustarse para realizar una decimación seleccionada $M:1$, en el que M es un número entero positivo. El valor M puede recibirse en un puerto 404 del decimador 310. La decimación de número entero se realiza ventajosamente en varias etapas usando filtros de respuesta de impulso finito de paso bajo, en el que cada filtro FIR es ajustable a un grado de decimación deseado. Una ventaja asociada con la realización de la decimación en varios filtros es que solo el último filtro tendrá una pendiente inclinada. Un filtro FIR de pendiente inclinada debe tener inherentemente muchas canillas, es decir un filtro FIR inclinado debe ser un filtro largo. El número de canillas de FIR es una indicación de

10 1) la cantidad de memoria requerida para implementar el filtro,
2) el número de cálculos requeridos, y
15 3) la cantidad de "filtrado" que el filtro debe hacer; en efecto, muchas canillas significan más atenuación de banda de tope, menos ondas, filtros más estrechos etc. Por tanto, cuanto más corto sea el filtro más rápido se ejecutará mediante el DSP 50. La longitud del filtro FIR también es proporcional al grado de decimación que puede lograrse. Por tanto, de acuerdo con una realización del decimador de número entero, la decimación se realiza en más de dos etapas.

20 De acuerdo con una realización preferente, la decimación de número entero se realiza en cuatro etapas: $M1$, $M2$, $M3$ y $M4$. La decimación total M es igual a $M1 * M2 * M3 * M4$. Esto puede lograrse proporcionando un banco de diferentes filtros FIR, que pueden combinarse en varias combinaciones para lograr una decimación total deseada M . De acuerdo con una realización, existen ocho filtros FIR diferentes en el banco.

25 Ventajosamente, el grado máximo de decimación en la última etapa, la 4ª, es cinco ($M4 = 5$), proporcionando un filtro razonablemente corto que tiene solo 201 canillas. De esta manera, los filtros FIR en las etapas 1, 2 y 3 pueden permitirse tener un número incluso menor de canillas. De hecho, esto permite que los filtros en las etapas 1, 2 y 3 tengan 71 canillas cada uno o menos. Para lograr una decimación total de $M = 4000$, es posible seleccionar los tres filtros FIR que proporcionan una decimación $M1 = 10$, $M2 = 10$ y $M3 = 10$, y el filtro FIR que proporciona la decimación $M4 = 4$. Esto proporciona un índice de muestra de salida $f_{SR1} = 25,6$, cuando $f_s = 102\ 400$ Hz, y un intervalo de frecuencia de 10 Hz. Estos cuatro filtros FIR tendrán un total de 414 canillas, y aún una atenuación de tope de banda resultante muy buena. De hecho, si la decimación de $M = 4000$ fuera a realizarse en una única etapa se requerirían alrededor de 160 000 canillas para lograr una atenuación de banda de tope igualmente buena.

30 La salida 312 del decimador 310 de número entero se acopla al generador 610 de valor de velocidad (véase la Figura 30 junto con la Figura 19B).

35 Tal como se ilustra en la Figura 30, la señal de indicador de posición P , generada por el generador 420 de señal de posición, puede procesarse en paralelo con el filtrado 240, la envolvente 250 y la decimación 310 de manera que se mantenga sustancialmente una relación de tiempo inicial entre bordes positivos de la señal de indicador de posición P y valores de la muestra de vibración correspondientes $Se(i)$ y $S(j)$. Este procesamiento paralelo de la señal de indicador de posición P que se origina desde el generador 420 de señal de posición y los valores de muestra de vibración que se originan desde el sensor 10 de señal de vibración asegura ventajosamente que cualquier retraso debido al procesamiento de señal afectará a los valores de señal de indicador de posición $P(i)$ y los valores de muestra de vibración correspondientes $Se(i)$ en un grado igual sustancialmente. De hecho, el aparato 14, 920 se adapta para procesar la señal de indicador de posición P para mantener una relación de tiempo inicial entre los valores de señal de indicador de posición $P(i)$ y los valores de muestra de vibración correspondientes $Se(i)$ desde el tiempo de detección por los respectivos sensores 420 y 10, respectivamente hasta el momento de suministro de la secuencia temporal de valores de muestra de medición $Se(i)$ de dicha señal de datos de medición digital S_{RED1} (véase la Figura 30 junto con la Figura 19C).

40 Por tanto, el generador 610 de valor de velocidad puede adaptarse para recibir valores de muestra de vibración $Se(i)$ y valores de señal de indicador de posición correspondientes $P(i)$ desde el decimador 310 de número entero. Tal como se analiza en relación con las Figuras 19B y 19C, el generador 601 de valor de velocidad se adapta para recibir una secuencia de valores de medición $Se(i)$ y una secuencia de señales de posición $P(i)$, junto con relaciones temporales entremedias, y el generador 601 de valor de velocidad se adapta para proporcionar, en la salida, una secuencia de parejas SP de valores de medición $S(j)$ asociados con valores de velocidad correspondientes $F_{ROT}(j)$.

Estas parejas SP de valores de medición $S(j)$ y valores de velocidad correspondientes $f_{ROT}(j)$ pueden suministrarse a entradas del decimador 470, 470B, 94 fraccionario como se ilustra en la Figura 30.

55 La salida 312 del decimador 310 de número entero también puede acoplarse a una entrada del selector 460. El selector permite una selección de la señal a introducir en el dispositivo de mejora 320.

Cuando la monitorización de condición se realiza en una parte rotativa que tiene una velocidad de rotación constante, el selector 460 puede establecerse en la posición para suministrar la señal S_{RED} con una frecuencia de

muestra f_{SR1} a la entrada 315 del dispositivo de mejora 320, y el decimador 470 fraccionario puede deshabilitarse. Cuando la monitorización de condición se realiza en la parte rotativa que tiene una velocidad de rotación variable, el decimador 470 fraccionario puede activarse y el selector 460 se ajusta en la posición para suministrar la señal S_{RED2} que tiene una frecuencia de muestra f_{SR2} a la entrada 315 del dispositivo de mejora 320.

- 5 El decimador 470 fraccionario puede incorporarse mediante un decimador 470B, 94 fraccionario que incluye un filtro 608 FIR adaptable como se describe en relación con las Figuras 20, 21 y 22 y la Figura 4.

10 El decimador 470 fraccionario se acopla para suministrar una señal decimada S_{RED2} que tiene un índice de muestra menor f_{SR2} al selector 460, por lo que cuando el analizador de condición se establece para monitorizar una máquina con velocidad de rotación variable, la salida del decimador 470B fraccionario se suministra al dispositivo de mejora 320.

15 El dispositivo de mejora 320, 94 puede incorporarse como se describe en relación con las Figuras 10A, 10B, 11, 12 y 13 y la Figura 4. La entrada de señal de medición al dispositivo de mejora 320 es la señal S_{RED} (véase la Figura 30), que también se ilustra en la Figura 11 como con valores de muestra $L_{LONGITUD}$. La señal S_{RED} también se denomina I además de 2060 en la descripción de la Figura 11. El procesamiento de señal de dispositivo de mejora implica la autocorrelación discreta para la señal de entrada discreta S_{RED} . De acuerdo con una realización, el dispositivo de mejora opera en el dominio de tiempo para lograr una autocorrelación discreta para la señal de entrada discreta S_{RED} . Por tanto, de acuerdo con la realización, el procesamiento de señal de dispositivo de mejora no incluye una transformada de Fourier ni incluye tampoco una Transformada Rápida de Fourier. La señal de salida O , también denominada S_{MDP} , se ilustra en las Figuras 12 y 13.

20 La señal de medición S_{RED1} , S_{RED} , a introducir en el dispositivo de mejora, puede incluir al menos un componente de señal de vibración S_D dependiente del movimiento de vibración de dicha parte móvil rotativamente; en el que dicho componente de señal de vibración tiene una frecuencia de repetición f_D que depende de la velocidad de rotación f_{ROT} de dicha primera parte. La frecuencia de repetición f_D del componente de señal S_D puede ser proporcional a la velocidad de rotación f_{ROT} de la parte rotativa monitorizada.

25 Dos firmas de daño diferentes $SD1$, $SD2$ pueden tener frecuencias diferentes $fd1$, $fd2$ y todavía mejorarse, es decir mejorarse con SNR, mediante el dispositivo de mejora. Por tanto, el dispositivo de mejora 320 se adapta ventajosamente para mejorar diferentes firmas S_{D1} , S_{D2} que tienen frecuencias de repetición mutuamente diferentes f_{D1} y f_{D2} . Ambas frecuencias de repetición f_{D1} y f_{D2} son proporcionales a la velocidad de rotación f_{ROT} de la parte rotativa monitorizada, mientras que f_{D1} es diferente de f_{D2} ($f_{D1} \neq f_{D2}$). Esto puede expresarse matemáticamente de la siguiente manera:

$$f_{D1} = k_1 * f_{ROT},$$

y

$$f_{D2} = k_2 * f_{ROT},$$

35 en las que

k_1 y k_2 son valores positivos reales, y
 $k_1 \neq k_2$, y
 k_1 mayor que o igual a uno (1), y
 k_2 mayor que o igual a uno (1)

40 El dispositivo de mejora suministra una secuencia de señal de salida a una entrada del analizador 290T de dominio de tiempo, por lo que cuando un usuario selecciona mediante la interfaz 102, 104 de usuario realizar un análisis de dominio de tiempo, el analizador 290T, 105 de dominio de tiempo (Figura 30 y Figura 4) ejecutará la función 105 seleccionada y suministrará datos relevantes al sistema 106 de representación. Una ventaja con el dispositivo de mejora 320 es que suministra la señal de salida en el dominio de tiempo. Por tanto, las funciones 105, 290T de monitorización de condición que requieren una señal de entrada en el dominio de tiempo pueden ajustarse para operar directamente en los valores de señal de la salida de señal ilustrada en las Figuras 12 y 13.

50 Cuando un usuario selecciona mediante la interfaz 102, 104 de usuario realizar un análisis de dominio de frecuencia, el dispositivo de mejora suministrará la secuencia de señal de salida al transformador 294 rápido de Fourier, y el transformador FF suministrará los datos de dominio de frecuencia resultantes al analizador 290F, 105 de dominio de frecuencia (Figura 30 y Figura 4). El analizador 290F, 105 de dominio de frecuencia ejecutará la función 105 seleccionada y suministrará datos relevantes al sistema 106 de representación.

En la realización mostrada en la Figura 29 y 30, es ventajosamente fácil para el usuario realizar un análisis que emplea el dispositivo de mejora y el decimador fraccionario. Como se ilustra en la Figura 30, la interfaz 102, 104, 24B de usuario coopera con un controlador 930 de parámetro adaptado para proporcionar ajustes para la

disposición 920. La **Figura 31** es una ilustración esquemática del controlador 930 de parámetro.

Lo siguiente es un ejemplo de ajustes de parámetro

Para realizar un análisis en el dominio de frecuencia el usuario puede introducir los siguientes datos mediante la interfaz 102, 104, 24B de usuario:

- 5 1) información indicativa de la frecuencia de repetición mayor f_D de interés. La frecuencia de repetición f_D es la frecuencia de repetición de una firma SD de interés. Esta información puede introducirse en la forma de frecuencia o en la forma de un **número de orden** O_{VAlto} indicativo de la frecuencia de repetición mayor de la firma de daño SD de interés.
- 10 2) Información indicativa de la mejora deseada del valor SNR para una firma de señal repetitiva S_D . Esta información puede introducirse en la forma de un valor **L** mejorador de SNR. El valor L mejorador de SNR también se analiza a continuación y en relación con la Figura 10A anterior.
- 15 3) Información indicativa de la resolución de frecuencia deseada en la FFT 294, cuando se desea realizar una FFT de la salida de señal del dispositivo de mejora. Esto puede ajustarse como celdas de frecuencia de valor **Z**. De acuerdo con una realización de la invención, la resolución de frecuencia Z es ajustable seleccionando un valor Z de un grupo de valores. El grupo de valores seleccionables para la resolución de frecuencia Z puede incluir
 - Z= 400
 - Z= 800
 - Z= 1600
 - 20 Z= 3200
 - Z= 6400

Por tanto, aunque el procesamiento de señal es bastante complejo, la disposición 920 se ha diseñado para proporcionar una interfaz de usuario simple ventajosamente en términos de información requerida por el usuario. Cuando el usuario introduce o selecciona valores para los tres parámetros anteriores, todos los otros valores se establecen o predeterminan automáticamente en la disposición 920.

El valor L mejorador de SNR

La señal a introducir en el dispositivo de mejora puede incluir un componente de señal de vibración dependiente del movimiento de vibración de la parte móvil rotativamente; en el que dicho componente de señal de vibración tiene una frecuencia de repetición f_D que depende de la velocidad de rotación f_{ROT} de dicha primera parte; incluyendo dicha señal de medición ruido así como dicho componente de señal de vibración por lo que dicha señal de medición tiene una primera relación de señal respecto a ruido respecto a dicho componente de señal de vibración. El dispositivo de mejora produce una secuencia de señal de salida (O) que tiene componentes de señal repetitivos que se corresponden con dicho al menos un componente de señal de vibración por lo que dicha secuencia de señal de salida (O) tiene un segundo valor de relación de señal respecto a ruido con respecto a dicho componente de señal de vibración. El inventor ha establecido mediante mediciones que el segundo valor de relación de señal respecto a ruido es significativamente mayor que la primera relación de señal respecto a ruido cuando el valor L mejorador de SNR se establece en un valor uno (1).

Además, el inventor ha establecido mediante mediciones que cuando el valor L mejorador de SNR se incrementa a $L = 4$, entonces el valor SNR resultante respecto a dicho componente de señal de vibración en la señal de salida se dobla en comparación con el valor SNR asociado con $L = 1$. Incrementar el valor L mejorador de SNR a $L = 10$ parece proporcionar una mejora del valor SNR asociado mediante un factor de 3 para el componente de señal de vibración en la señal de salida, en comparación con el valor SNR para la misma señal de entrada cuando $L = 1$. Por tanto, cuando se incrementa el valor L mejorador de SNR desde $L_1=1$ a L_2 , el valor SNR resultante puede incrementarse mediante la raíz cuadrada de L_2 .

Adicionalmente, el usuario puede introducir un ajuste para hacer que la disposición 920 repita la medición. El usuario puede ajustarla para repetir la medición con un cierto período de repetición T_{PM} , es decir empezar siempre una nueva medición cuando el tiempo T_{PM} ha pasado. T_{PM} puede establecerse en una semana, una hora o diez minutos. El valor a seleccionar para esta frecuencia de repetición depende de las condiciones de medición relevantes.

Ya que el procedimiento mejorador requiere muchos valores de entrada de datos, es decir, el número de valores de muestra de entrada puede ser alto, y se adapta para medir solo partes rotativas lentamente, la duración de la medición a veces será bastante larga. Por tanto, existe el riesgo de que los ajustes del usuario para la frecuencia de repetición de mediciones sea incompatible con la duración de mediciones. Por tanto, una de las etapas realizadas por la disposición 920, inmediatamente tras recibir la entrada de usuario anterior, es calcular una estimación de la duración de mediciones esperada T_M . La duración T_M es:

$$T_M = I_{Longitud} / f_{SR2},$$

En la que $I_{Longitud}$ es el número de muestras en la señal a introducir en el dispositivo de mejora para lograr

mediciones de acuerdo con ajustes del usuario seleccionados como se define a continuación, y fSR2 es como se define a continuación.

5 La disposición 920 también se adapta para comparar la duración de mediciones T_M con el valor del periodo de repetición T_{PM} como se selecciona por el usuario. Si el valor de periodo de repetición T_{PM} es más corto o aproximadamente igual que la duración esperada de mediciones T_M , un controlador 930 de parámetros se adapta para proporcionar una indicación de aviso por medio de la interfaz 102, 106 de usuario, por ejemplo, mediante un texto adecuado en el sistema de representación. El aviso también puede incluir un sonido, o una luz parpadeante.

De acuerdo con una realización, la disposición 920 se adapta para calcular un valor mínimo sugerido para el valor de periodo de repetición T_{PM} dependiendo de la estimación calculada de duración de las mediciones T_M .

10 Basándose en los anteriores ajustes del usuario, el controlador 930 de parámetro de la disposición 920 de procesamiento de señal es capaz de ajustar todos los parámetros para la función 94 de procesamiento de señal (Figura 4), es decir, ajustes de decimador de número entero y ajustes del dispositivo de mejora. Además, el controlador 930 de parámetro es capaz de ajustar todos los parámetros para el decimador fraccionario cuando es necesario. El controlador 930 de parámetro es capaz de ajustar el parámetro para la FFT 294 cuando se desea un análisis de frecuencia.

15 El siguiente parámetro puede preestablecerse en la disposición 920 (Figura 30):

frecuencia de muestra f_s del convertidor 40,44 A/D.

El siguiente parámetro puede medirse: f_{ROT}

20 Como se ha mencionado antes, el valor de parámetro f_{ROT} puede medirse y almacenarse en asociación con los valores de muestra correspondientes de la señal S_{RED1} cuyos valores de muestra se suministran al decimador 470B fraccionario.

Los siguientes parámetros pueden ajustarse automáticamente en la disposición 920:

Índice de muestra en la salida de señal desde el dispositivo de mejora 320:

$$f_{SR2} = C * O_v * f_{ROT}$$

25 en el que

C es una constante de valor mayor que 2,0

O_v es el número de orden introducido por el usuario, o calculado en respuesta al valor de frecuencia mayor a monitorizar tal como se selecciona por el usuario

30 f_{ROT} es la velocidad rotativa medida momentánea de la parte rotativa durante la monitorización de condición actual;

M = el valor decimador de número entero para uso en el decimador 310 se selecciona a partir de una tabla que incluye un conjunto de valores predeterminados para la decimación total de número entero. Para seleccionar el valor M más adecuado, el controlador 930 de parámetro (Figura 30) primero calcula un valor bastante cercano

$$M_{_calc} = f_s / f_{SR2} * f_{ROTmin} / f_{ROTmax}$$

35 en el que

f_s y f_{SR2} se definen anteriormente y

f_{ROTmin} / f_{ROTmax} es un valor indicativo de la relación

40 entre la velocidad de rotación inferior y superior que se permite durante la medición. Basándose en el valor $M_{_calc}$, el selector elige entonces un valor M adecuado de la lista de valores preestablecidos. Esto puede realizarse por ejemplo seleccionando el valor M más cercano que es inferior que $M_{_calc}$ de la tabla antes mencionada.

f_{SR1} = el índice de muestra a suministrar desde el decimador 310 de número entero. f_{SR1} se ajusta a $f_{SR1} = f_s / M$.

D es el valor del decimador fraccionario para el decimador fraccionario. D puede establecerse en $D = f_{sr1} / f_{sr2}$, en el que f_{sr1} y f_{sr2} se definen como anteriormente.

$$O_{LONGITUD} = C * Z$$

45 en el que

C es una constante de valor superior que 2,0 tal como por ejemplo 2,56 como se ha mencionado antes

Z es el número seleccionado de celdas de frecuencia, es decir, información indicativa de la resolución de

frecuencia deseada en la FFT 294, cuando se desea realizar una FFT de la salida de señal del dispositivo de mejora.

S_{INICIO} = $O_{LONGITUD}$ o un valor superior que $O_{LONGITUD}$, en el que $O_{LONGITUD}$ es como se ha definido inmediatamente antes.

5
$$I_{Longitud} = O_{LONGITUD} * L + S_{INICIO} + O_{LONGITUD}$$

$$C_{Longitud} = I_{LONGITUD} - S_{INICIO} - O_{LONGITUD}$$

SMDP(t) = los valores de las muestras de la señal de salida, como se ha definido en la ecuación (5) (véase la Figura 10A).

10 Por tanto, el controlador 930 de parámetro se adapta para generar los valores de ajuste correspondientes como se ha definido antes, y para suministrarlos a las funciones 94 de procesamiento de señal relevantes (Figura 30 y Figura 4).

15 Una vez que la señal de salida se ha generado por el dispositivo de mejora 320, el analizador 290 de condición puede controlarse para realizar una función 105, 290, 290T, 290F de análisis de condición seleccionada mediante una **señal de selección suministrada en una entrada 300 de control (Figura 30)**. La señal de selección suministrada a la entrada 300 de control puede generarse mediante una interacción de usuario con la interfaz 102 de usuario (véanse las Figuras 2A y 30). Cuando la función de análisis seleccionada incluye la Transformada Rápida de Fourier, el analizador 290F se ajustará mediante la señal 300 de selección para operar en una señal de entrada en el dominio de frecuencia.

20 El transformador 294 FF puede adaptarse para realizar la Transformada Rápida de Fourier en un señal de entrada recibida que tiene un cierto número de valores de muestra. Esto es ventajoso cuando el cierto número de valores de muestra se ajusta a un número entero par que puede dividirse por dos (2) sin proporcionar un número fraccionario.

25 De acuerdo con una realización ventajosa de la invención, el número de muestras $O_{LONGITUD}$ en la señal de salida desde el dispositivo de mejora se ajusta dependiendo de la resolución de frecuencia Z. La relación entre la resolución de frecuencia Z y el número de muestras $O_{LONGITUD}$ en la señal de salida desde el dispositivo de mejora es:

$$O_{LONGITUD} = k * Z$$

en el que

30 $O_{LONGITUD}$ es el número de muestra de valores de muestra en la señal suministrada desde el dispositivo de mejora 320.
k es un factor que tiene un valor mayor que 2,0.

Preferentemente, el factor k puede seleccionarse a un valor entre 2,0 y 2,9 para proporcionar un buen margen de seguridad mientras se evita generar muchos valores de muestra innecesariamente.

35 De acuerdo con una realización, el factor k se selecciona ventajosamente de manera que $100*k/2$ produce un número entero. Esta selección produce valores para $O_{LONGITUD}$ que se adaptan para ser adecuados como entrada en el transformador 294 FF. De acuerdo con una realización, el factor k puede ajustarse a 2,56. La selección de k en 2,56 proporciona $100*k = 256 = 2$ elevado a 8.

La Tabla A indica ejemplos de valores de resolución de frecuencia seleccionables Z y valores correspondientes para $O_{LONGITUD}$.

Tabla A.

k	Z	$O_{LONGITUD}$
2,56	400	1024
2,56	800	2048
2,56	1600	4096
2,56	3200	8192
2,56	6400	16384
2,56	12800	32768

2,56 25600 65536

2,56 51200 131072

Una realización de la invención se refiere a un aparato para analizar la condición de una máquina que tiene una primera parte que es móvil rotativamente a una velocidad de rotación en relación con la segunda parte de máquina; incluyendo dicho aparato:

- 5 un sensor para monitorizar dicha parte móvil para generar al menos una señal de medición analógica que incluye al menos un componente de señal de vibración dependiente de un movimiento de vibración de dicha parte móvil rotativamente; en el que dicho componente de señal de vibración tiene una frecuencia de repetición (f_D) que depende de la velocidad de rotación (f_{ROT}) de dicha primera parte; incluyendo dicha señal de medición ruido así como el componente de señal de vibración por lo que dicha señal de medición tiene un primer valor de relación de señal respecto a ruido con respecto a dicho componente de señal de vibración;
- 10 un convertidor (40, 44) A/D para generar una secuencia de datos de medición digital (S_{MD}) en respuesta a dicha señal de medición; teniendo dicha secuencia de datos de medición digital (S_{MD}) un primer índice de muestra (f_S); un primer filtro (240) digital para realizar un filtrado digital de la secuencia de datos de medición digital (S_{MD}) para obtener una señal de medición filtrada (S_F);
- 15 una envolvente para generar una primera señal digital (S_{ENV} , S_{MDP}) en respuesta a la señal de medición filtrada (S_F); un decimador para realizar una decimación de la primera señal digital (S_{ENV} , S_{MDP}) para lograr una señal digital decimada (S_{RED}) que tiene una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1} , f_{SR2}); teniendo dicho decimador (470, 470A, 470B)
- 20 una primera entrada para recibir dicha primera señal digital (S_{ENV} , S_{MDP}); y una segunda entrada para recibir una señal indicativa de dicha velocidad de rotación variable (f_{ROT}); una tercera entrada para recibir una señal indicativa de una señal de ajuste de índice de muestra de salida; dicho decimador (470, 470A, 470B) estando adaptado para generar dicha señal digital decimada (S_{RED}) dependiendo de
- 25 dicha primera señal digital (S_{MD} , S_{ENV}), dicha señal indicativa de dicha velocidad de rotación (f_{ROT}), y dicha señal indicativa de una señal de ajuste de índice de muestra de salida; en el que dicho decimador (470, 470A, 470B) se adapta para generar dicha señal digital decimada (S_{RED}) de manera que el número de valores de muestra por revolución de dicha parte rotativa se mantiene sustancialmente a un valor constante cuando
- 30 dicha velocidad de rotación varía; y un dispositivo de mejora (320) que tiene una entrada para recibir dicha señal digital decimada (S_{RED}); estando adaptado dicho dispositivo de mejora para producir una secuencia de señal de salida (O) que tiene componentes de señal repetitivos correspondientes a dicho al menos un componente de señal de vibración por lo que dicha secuencia de señal de salida (O) tiene un segundo valor de relación de señal respecto a ruido con respecto a dicho componente de señal de vibración; dicho segundo valor de relación de señal respecto a ruido siendo mayor que dicho primer valor de relación de señal respecto a ruido; y
- 35 un analizador (105; 290; 290T; 294, 290F) para indicar una condición de la máquina dependiente de dicho movimiento de vibración de dicha parte rotativamente móvil en respuesta a dicha secuencia de señal de salida (O). Esta solución proporciona ventajosamente una solución muy austera minimizando la complejidad de los filtros mientras se logra una mejora de rendimiento significativa.
- 40

Diversas realizaciones se describen a continuación.

Una realización E1 comprende: un procedimiento para análisis de condición de una máquina que tiene una parte rotativa que comprende:

- 45 generar una señal de posición (P , $P_{(i)}$; $P_{(1)}$, $P_{(2)}$, $P_{(3)}$, E_p) indicativa de una posición de rotación de dicha parte rotativa; generar una señal de medición analógica (S_{EA}) dependiente de vibraciones mecánicas que emanan de la rotación de dicha parte; muestrear dicha señal de medición analógica (S_{EA}) para generar una señal de datos de medición digital (S_{MD}) con una frecuencia de muestreo (f_S , f_{SR1}) en respuesta a dicha señal de medición analógica (S_{EA});
- 50 realizar una decimación de la señal de datos de medición digital (S_{MD}) para lograr una señal digital (S_{RED1} , S_{RED2}) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2}); realizar una función de análisis de condición ($F1$, $F2$, F_n) para analizar la condición de la máquina dependiente de dicha señal digital (S_{RED} , S_{RED2} , O) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1} , f_{SR2}); en el que dicha decimación incluye
- 55 registrar una secuencia temporal de valores de muestra de medición ($S_{e(i)}$, $S_{(i)}$) de dicha señal de datos de medición digital (S_{RED1} , S_{MD}) y

registrar una secuencia temporal de dichos valores de señal de posición ($P_{(i)}$) de dicha señal de posición (E_p) de manera que existe

- 5 una primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2}) entre al menos alguno de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$) y de manera que existe
 una segunda relación temporal entre al menos uno de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$) y al menos uno de los valores de muestra de medición registrados ($Se(i)$, $S_{(j)}$);

generar un valor indicativo de una aceleración (a , a_{1-2} , a_{2-3}) de dicha parte (8) rotativa dependiendo de dicha primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2});

- 10 generar un valor de velocidad ($VT1$, $VT2$, f_{ROT}) indicativo de una velocidad de rotación momentánea de dicha parte (8) rotativa dependiendo de

dicho valor indicativo de una aceleración (a , a_{1-2} , a_{2-3}) y un cierto valor de tiempo

- 15 de manera que el valor de velocidad ($VT1$, $VT2$, f_{ROT}) es indicativo de la velocidad rotativa en el momento de detección de al menos uno de dichos valores de muestra de medición registrados ($Se(i)$, $S_{(j)}$); y en el que

dicha decimación se realiza dependiendo de dicho valor de velocidad ($VT1$, $VT2$, f_{ROT}).

Realización E2. El procedimiento de acuerdo con la realización E1, en el que dicho valor de tiempo determinado depende de dicha segunda relación temporal.

- 20 Realización E3. El procedimiento de acuerdo con la realización E1, en el que dicho valor de tiempo determinado es dicha segunda relación temporal.

Realización E4. Un procedimiento para analizar la condición de una máquina con una parte rotativa, que comprende:

- 25 generar una señal de posición (E_p) indicativa de la posición rotativa de dicha parte rotativa;
 generar una señal de medición analógica (S_{EA}) dependiente de vibraciones mecánicas que emanan de la rotación de dicha parte;
 muestrear dicha señal de medición analógica (S_{EA}) para generar una señal de datos de medición digital (S_{MD}), con una frecuencia de muestreo (f_s , f_{SR1}) en respuesta a dicha señal de medición analógica (S_{EA});
 realizar una decimación de la señal de datos de medición digital (S_{MD}) para lograr una señal digital (S_{RED2}) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2});
 30 realizar una función de análisis de condición ($F1$, $F2$, F_n) para analizar la condición de la máquina dependiendo de dicha señal digital (S_{RED} , S_{RED2} , O) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1} , f_{SR2}); en el que
 dicha decimación incluye

- 35 registrar una secuencia temporal de valores de muestra de medición ($Se(i)$, $S_{(j)}$) de dicha señal de datos de medición digital (S_{MD}) y registrar una secuencia temporal de dichos valores de señal de posición ($P_{(i)}$) de dicha señal de posición (E_p) de manera que existe

- 40 una primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2}) entre al menos alguno de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$) y de manera que existe
 una segunda relación temporal entre al menos uno de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$) y al menos uno de los valores de muestra de medición registrados ($Se(i)$, $S_{(j)}$);

generar un valor indicativo de un cambio de velocidad de (df_{ROT} , a , a_{1-2} , a_{2-3}) de dicha parte (8) rotativa dependiendo de dicha primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2});

- 45 generar un valor de velocidad indicativo de una velocidad de rotación momentánea de dicha parte (8) rotativa dependiendo de

dicho valor indicativo de un cambio de velocidad (df_{ROT} , a , a_{1-2} , a_{2-3}) y un cierto valor de tiempo

de manera que el valor de velocidad es indicativo de la velocidad rotativa en el momento de detección de al menos uno de dichos valores de muestra de medición registrados ($Se(i)$, $S_{(j)}$) y en el que dicha decimación se realiza dependiendo de dicho valor de velocidad ($VT1$, $VT2$, f_{ROT}).

- 50 Realización E5. El procedimiento de acuerdo con la realización E4, en el que dicho valor de tiempo determinado depende de dicha segunda relación temporal.

Realización E6. El procedimiento de acuerdo con la realización E4, en el que dicho valor de tiempo determinado es dicha segunda relación temporal.

Realización E7. El procedimiento de acuerdo con cualquier realización E1 a E6 anterior, en el que la etapa de

5 registrar una secuencia temporal de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) de dicha señal de posición (E_p) comprende las etapas de:

registrar un primer valor de señal de posición ($P1_{(i)}$) de dicha señal de posición (E_p) e información indicativa del tiempo de aparición de dicho primer valor de señal de posición ($P1_{(i)}$);

registrar un segundo valor de señal de posición ($P2_{(i)}$) de dicha señal de posición (E_p) e información indicativa del tiempo de aparición de dicho segundo valor de señal de posición ($P2_{(i)}$);

10 incluyendo el procedimiento además la etapa de:
establecer un primer valor de velocidad ($VT1$) indicativo de una velocidad de rotación momentánea de dicha parte (8) rotativa en **un primer momento** en el tiempo entre la aparición de dicho primer valor de señal de posición ($P1_{(i)}$) y la aparición de dicho segundo valor de señal de posición ($P2_{(i)}$).

Realización E8. El procedimiento de acuerdo con la realización E7,

15 identificar un valor de datos de medición registrado seleccionado ($S(j)$), e identificar el momento de detección (i, j) de dicho valor de datos de medición registrado seleccionado ($Se(i), S(j)$); establecer un valor (Δt) indicativo de una primera duración de tiempo desde **dicho primer momento** a dicho momento de detección (i, j) de dicho valor de datos de medición registrado seleccionado ($Se(i), S(j)$);

20 establecer un segundo valor de velocidad ($Vp30, Vp40, Vp50, Vp60, f_{ROT}$) indicativo de una velocidad de rotación momentánea de dicha parte rotativa en dicho momento de detección (i, j) dependiendo de dicho primer valor de velocidad ($VT1$), dicha primera duración e información indicativa de un cambio de velocidad durante dicha primera duración.

25 Realización E9. El procedimiento de acuerdo con la realización E8, en el que dicha información indicativa de un cambio de velocidad durante dicha primera duración es dicho valor indicativo de una aceleración (a, a_{1-2}, a_{2-3}).

Realización E10. El procedimiento de acuerdo con la realización E8, en el que dicha información indicativa de un cambio de velocidad durante dicha primera duración es dicho valor indicativo de un cambio de velocidad ($df_{ROT}, a, a_{1-2}, a_{2-3}$).

30 Realización E11. El procedimiento de acuerdo con cualquier realización E1 a E10 anterior, en el que la etapa de realizar una función de análisis de condición ($F1, F2, F_n$) incluye

35 realizar una autocorrelación de dicha señal digital (S_{RED}, S_{RED2}) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1}, f_{SR2}) para obtener una señal digital autocorrelacionada (O) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2}); y realizar la función de análisis ($F1, F2, F_n, 290T$) usando la señal digital autocorrelacionada (O) como entrada al analizador (290T) de condición.

Realización E12. El procedimiento de acuerdo con cualquier realización E1 a E11 anterior, en el que la etapa de realizar una función de análisis de condición ($F1, F2, F_n$) incluye

40 realizar una autocorrelación de dicha señal digital (S_{RED}, S_{RED2}) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1}, f_{SR2}) para obtener una señal digital autocorrelacionada (O) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2}); y realizar una transformada (294, 94) rápida de Fourier, usando la señal digital autocorrelacionada (O) como entrada al transformador (294, 94) rápido de Fourier para obtener una señal digital autocorrelacionada en el dominio de frecuencia; y realizar una función de análisis ($F1, F2, F_n, 290F$) usando la señal digital autocorrelacionada en el dominio de frecuencia como entrada al analizador (290F) de condición.

45 Realización E13. Un aparato para analizar la condición de una máquina que tiene una parte rotativa con una velocidad de rotación (f_{ROT}) que comprende:

un primer sensor (10) adaptado para generar una señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) dependiente de vibraciones mecánicas (V_{MD}) que emanan de la rotación de dicha parte;
50 un convertidor (40, 44) de analógico a digital adaptado para muestrear dicha señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) en una frecuencia de muestreo inicial (f_s) para generar una señal de datos de medición digital (S_{MD}, S_{ENV}) en respuesta a dicha señal de medición eléctrica analógica recibida (S_{EA});
un dispositivo (420) para generar una señal de posición (E_p) que tiene una secuencia de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) para indicar posiciones rotativas momentáneas de dicha parte rotativa;

- un primer decimador (310) para realizar una decimación de la señal de datos de medición digital (S_{MD} , S_{ENV}) para lograr una primera señal digital (S_{RED1}) con una primera frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1}) de manera que la primera frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1}) se reduce mediante un factor de número entero (M) en comparación con la frecuencia de muestreo inicial (f_s);
- 5 un segundo decimador (470, 470B) para generar una segunda señal digital (S_{RED2} , R), que tiene una segunda frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2}) en respuesta a dicha primera señal digital (S_{RED1}), y un evaluador (230; 290, 290T; 294, 290, 290F) para realizar una función de análisis de condición ($F1$, $F2$, F_n) para analizar la condición de la máquina dependiendo de dicha segunda señal digital (S_{RED2}) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1} , f_{SR2}); **en el que**
- 10 un generador de valor de velocidad se adapta para registrar una secuencia temporal de valores de medición de muestra ($Se(i)$, $S_{(i)}$) de dicha señal de datos de medición digital (S_{MD}) y dicho generador de valor de velocidad se adapta para registrar una secuencia temporal de dichos valores de señal de posición ($P_{(i)}$) de dicha señal de posición (Ep) de manera que existe una primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2}) entre al menos algunos de los valores de señal de posición
- 15 registrados ($P_{(i)}$) y de manera que existe una segunda relación temporal entre al menos uno de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$) y al menos uno de los valores de muestra de medición registrados ($Se(i)$, $S_{(i)}$); estando adaptado dicho generador de valor de velocidad para generar un valor indicativo de una aceleración (a , a_{1-2} , a_{2-3}) de dicha parte (8) rotativa dependiendo de dicha primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2});
- 20 dicho generador de valor estando adaptado para generar un valor de velocidad ($VT1$, $VT2$, f_{ROT}) indicativo de una velocidad de rotación momentánea de dicha parte (8) rotativa dependiendo de dicho valor indicativo de una aceleración (a , a_{1-2} , a_{2-3}) y un determinado valor de tiempo
- de manera que el valor de velocidad ($VT1$, $VT2$, f_{ROT}) es indicativo de la velocidad rotativa en el momento de la detección de al menos uno de dichos valores de muestra de medición registrados ($Se(i)$, $S_{(i)}$); y en el que dicho segundo decimador (470, 470B) se adapta para realizar dicha decimación dependiente de dicho valor de velocidad ($VT1$, $VT2$, f_{ROT}).
- 25

Realización E14. Un aparato para analizar la condición de una máquina con una parte rotativa con una velocidad de rotación (f_{ROT}), que comprende:

- 30 un primer sensor (10) adaptado para generar una señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) dependiente de vibraciones mecánicas (V_{MD}) que emanan de la rotación de dicha parte; un convertidor (40, 44) de analógico a digital adaptado para muestrear dicha señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) a una frecuencia de muestreo inicial (f_s) para generar una señal de datos de medición digital (S_{MD} , S_{ENV}) en respuesta a dicha señal de medición eléctrica analógica recibida (S_{EA});
- 35 un dispositivo (420) para generar una señal de posición (Ep) con una secuencia de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) para indicar posiciones rotativas momentáneas de dicha parte rotativa; un primer decimador (310) para realizar una decimación de la señal de datos de medición digital (S_{MD} , S_{ENV}) para lograr una primera señal digital (S_{RED1}) con una primera frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1}) de manera que la primera frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1}) se reduce mediante un factor de número entero (M) en comparación con la frecuencia de muestreo inicial (f_s);
- 40 un segundo decimador (470, 470B) para generar una segunda señal digital (S_{RED2} , R) con una segunda frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2}) en respuesta a dicha primera señal digital (S_{RED1}) y un evaluador (230; 290, 290T; 294, 290, 290F) para realizar una función de análisis de condición ($F1$, $F2$, F_n) para analizar la condición de la máquina dependiendo de dicha segunda señal digital (S_{RED2}) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1} , f_{SR2}); **en el que**
- 45 un generador de valor de velocidad se adapta para registrar una secuencia temporal de valores de muestra de medición ($Se(i)$, $S_{(i)}$) de dicha señal de datos de medición digital (S_{MD}); en el que dicho generador de valor de velocidad se adapta para registrar una secuencia temporal de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) de dicha señal de posición (Ep) de manera que existe
- 50 una primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2}) entre al menos algunos de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$) y de manera que existe una segunda relación temporal entre al menos uno de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$) y al menos uno de los valores de muestra de medición registrados ($Se(i)$, $S_{(i)}$); en el que
- dicho generador de valor de velocidad se adapta para generar un valor indicativo de un cambio de velocidad (df_{ROT} , a , a_{1-2} , a_{2-3}) de dicha parte (8) rotativa dependiendo de dicha primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2}); y dicho generador de valor de velocidad se adapta para generar un valor de velocidad indicativo de una velocidad de rotación momentánea de dicha parte (8) rotativa dependiendo de
- 55 dicho valor indicativo de un cambio de velocidad (df_{ROT} , a , a_{1-2} , a_{2-3}) y

un cierto valor de tiempo

de manera que el valor de velocidad es indicativo de la velocidad rotativa en el momento de la detección de al menos uno de dichos valores de muestra de medición registrados ($S_e(i)$, $S_{(i)}$); y en el que

5 dicho segundo decimador (470, 470B) se adapta para realizar dicha decimación dependiente de dicho valor de velocidad ($VT1$, $VT2$, f_{ROT}).

Realización E15. Un aparato para analizar la condición de una máquina que tiene una parte rotativa con una velocidad de rotación (f_{ROT}) que comprende:

10 un primer sensor (10) adaptado para generar una señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) dependiente de vibraciones mecánicas (V_{MD}) que emanan de la rotación de dicha parte;
 un convertidor (40, 44) de analógico a digital adaptado para muestrear dicha señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) a una frecuencia de muestreo inicial (f_S) para generar una señal de datos de medición digital (S_{MD} , S_{ENV}) en respuesta a dicha señal de medición eléctrica analógica recibida (S_{EA});
 un dispositivo (420) para generar una señal de posición (E_p) con una secuencia de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) para indicar posiciones rotativas momentáneas de dicha parte rotativa;

15 un generador (601) de valor de velocidad adaptado para registrar una secuencia temporal de valores de muestra de medición ($S_e(i)$, $S_{(i)}$) de dicha señal de datos de medición digital (S_{MD}); en el que dicho generador de valor de velocidad se adapta para registrar una secuencia temporal de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) de dicha señal de posición (E_p) de manera que existe

20 una primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2}) entre al menos algunos de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$) y de manera que existe
 una segunda relación temporal entre al menos uno de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$) y al menos uno de los valores de muestra de medición registrados ($S_e(i)$, $S_{(i)}$); en el que

25 dicho generador de valor de velocidad se adapta para generar un valor indicativo de un cambio de velocidad (df_{ROT} , a , a_{1-2} , a_{2-3}) de dicha parte (8) rotativa dependiendo de dicha primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2}); y dicho generador de valor de velocidad se adapta para generar un valor de velocidad indicativo de una velocidad de rotación momentánea de dicha parte (8) rotativa dependiendo de

dicho valor indicativo de un cambio de velocidad (df_{ROT} , a , a_{1-2} , a_{2-3}) y un cierto valor de tiempo

30 de manera que el valor de velocidad es indicativo de la velocidad rotativa en el momento de detección de al menos uno de dichos valores de muestra de medición registrados ($S_e(i)$, $S_{(i)}$).

Realización E16. Un aparato para analizar la condición de una máquina que tiene una parte rotativa con una velocidad de rotación (f_{ROT}) que comprende:

35 un primer sensor (10) adaptado para generar una señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) dependiente de vibraciones mecánicas (V_{MD}) que emanan de la rotación de dicha parte;
 un convertidor (40, 44) de analógico a digital adaptado para muestrear dicha señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) en una frecuencia de muestreo inicial (f_S) para generar una señal de datos de medición digital (S_{MD} , S_{ENV}) en respuesta a dicha señal de medición eléctrica analógica recibida (S_{EA});
 un dispositivo (420) para generar una señal de posición (E_p) con una secuencia de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) para indicar posiciones rotativas momentáneas de dicha parte rotativa; y

40 un generador (601) de valor de velocidad adaptado para registrar una secuencia temporal de dichos valores de señal de posición ($P_{(i)}$) de manera que existe una primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2}) entre al menos algunos de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$); en el que

45 dicho generador de valor de velocidad comprende funcionalidad adaptada para distinguir entre una fase de velocidad constante ($S\#30$) y una fase de aceleración ($S\#40$) en respuesta a dicha primera relación temporal (n_{diff} , n_{diff1} , n_{diff2}) entre al menos algunos de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$).

Realización E17. Un aparato para analizar la condición de una máquina con una parte rotativa con una velocidad de rotación (f_{ROT}) que comprende:

50 un primer sensor (10) adaptado para generar una señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) dependiente de vibraciones mecánicas (V_{MD}) que emanan de la rotación de dicha parte;
 un convertidor (40, 44) de analógico a digital adaptado para muestrear dicha señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) en una frecuencia de muestreo inicial (f_S) para generar una señal de datos de medición digital (S_{MD} , S_{ENV}) en respuesta a dicha señal de medición eléctrica analógica recibida (S_{EA});
 un dispositivo (420) para generar una señal de posición (E_p) que tiene una secuencia de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) para indicar posiciones rotativas momentáneas de dicha parte rotativa; y
 55 un generador (601) de valor de velocidad adaptado para registrar una secuencia temporal de dichos valores de

señal de posición ($P_{(i)}$) de manera que existen distancias angulares (ΔF_{p1-p2} , ΔF_{p2-p3}) y duraciones correspondientes (ΔT_{p1-p2} ; ΔT_{p2-p3}) entre al menos tres señales de posición consecutivas (P1, P2, P3) en el que

- 5 el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer al menos dos valores de velocidad momentánea (VT1, VT2) basándose en dichas distancias angulares (ΔF_{p1-p2} , ΔF_{p2-p3}) y dichas duraciones correspondientes (ΔT_{p1-p2} ; ΔT_{p2-p3}).

Realización E18. El aparato de acuerdo con la realización E17, en el que unos valores de velocidad momentánea adicionales para la parte (8) rotativa se establecen mediante interpolación entre los al menos dos valores de velocidad momentánea (VT1, VT2).

- 10 Realización E19. El aparato de acuerdo con la realización E17, en el que una diferencia de velocidad (V_{Δ}) se genera dependiendo de dichos al menos dos valores de velocidad momentánea (VT1; VT2), tal como por ejemplo calculando

$$V_{\Delta} = VT2 - VT1$$

Realización E20. El aparato de acuerdo con la realización E17, E18 o E19, en el que

- 15 el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer (S#70) **un primer valor de velocidad de revolución (VT1)** en dependencia de

la distancia angular (ΔF_{p1-p2}) entre una primera señal de posición (P1) y una segunda señal de posición (P2) y dependiendo de

- 20 una primera duración correspondiente (ΔT_{p1-p2}); y en el que el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer (S#100) **un segundo valor de velocidad momentánea (VT2)** dependiendo de

la distancia angular (ΔF_{p2-p3}) entre la segunda señal de posición (P2) y la tercera señal de posición (P3) y dependiendo de

una segunda duración correspondiente (ΔT_{p2-p3}).

Realización E21. El aparato (14, 920) de acuerdo con la realización E20, en el que

- 25 el generador (601) de valor de velocidad opera para asignar (S#80) el primer valor de velocidad calculado (VT1, $V_{(t1)}$) a una primera franja de tiempo ($t1$) en la parte intermedia entre la primera señal de posición (P1) y la segunda señal de posición (P2); y en el que

- 30 el generador (601) de valor de velocidad opera para asignar (S#110) el segundo valor de velocidad calculado (VT2, $V_{(t2)}$) a una segunda franja de tiempo media ($t2$) en la parte media entre la segunda señal de posición (P2) y la tercera señal de posición (P3).

Realización E22. El aparato (14, 920) de acuerdo con la realización E21 cuando incluye la realización E19, en el que la diferencia de velocidad (V_{Δ}) se divide por el número de franjas de tiempo entre la segunda franja de tiempo media y la primera franja de tiempo media para generar un valor de diferencia de velocidad dV indicativo de una
35 diferencia de velocidad entre franjas adyacentes.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (14, 920) para analizar la condición de una máquina que tiene una parte rotativa con una velocidad de rotación (f_{ROT}), que comprende:

5 un primer sensor (10) adaptado para generar una señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) dependiente de vibraciones mecánicas (V_{MD}) que emanan de la rotación de dicha parte;
 un convertidor (40, 44) de analógico a digital adaptado para muestrear dicha señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) en una frecuencia de muestreo inicial (f_s) para generar una señal de datos de medición digital (S_{MD} , S_{ENV} , S_{RED1}) en respuesta a dicha señal de medición eléctrica analógica (S_{EA}) recibida;
 10 un dispositivo (420) para generar una señal de posición (E_p) que tiene una secuencia de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) para indicar posiciones rotativas momentáneas de dicha parte rotativa; y
 un generador (601) de valor de velocidad que está adaptado para registrar

- una secuencia temporal de valores de muestra de medición ($S_e(i)$, $S_{(j)}$) de dicha señal de datos de medición digital (S_{MD} , S_{ENV} , S_{RED1}), y
 15 - una secuencia temporal de dichos valores de señal de posición ($P_{(i)}$) de manera que existen distancias angulares (ΔF_{p1-p2} , ΔF_{p2-p3}) y duraciones correspondientes (ΔT_{p1-p2} , ΔT_{p2-p3}) entre al menos tres señales de posición consecutivas (P_1 , P_2 , P_3) e
 - información de tiempo (i , dt ; j) de manera que un valor de muestra de medición individual ($S_{(j)}$) puede ser asociado con datos indicativos de tiempo (i , dt ; j) y posición angular ($P_{(i)}$); y en el que

20 el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer al menos dos valores de velocidad momentánea (VT_1 , VT_2) basándose en dichas distancias angulares (ΔF_{p1-p2} , ΔF_{p2-p3}) y dichas duraciones correspondientes (ΔT_{p1-p2} ; ΔT_{p2-p3}); y
 un evaluador (230; 290, 290T; 294, 290, 290F) para realizar una función de análisis de condición (F_1 , F_2 , F_n);

caracterizado por

25 el generador (601) de valor de velocidad que opera para establecer valores de velocidad momentánea adicionales ($f_{ROT(i)}$) para la parte (8) rotativa mediante interpolación entre los al menos dos valores de velocidad momentánea (VT_1 , VT_2) de manera que un valor de velocidad momentánea interpolado ($F_{ROT(i)}$) adicional es indicativo de la velocidad rotativa en el momento de detección de al menos uno de dichos valores de muestra de medición registrados ($S_e(i)$, $S_{(j)}$); y **por**
 30 un decimador (310, 470, 470B) para generar una segunda señal digital (S_{RED2} , R), que tiene una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2}) en respuesta a dicha señal de datos de medición digital (S_{MD} , S_{ENV} , S_{RED1}) y **por**
 dicho decimador (470, 470B) que está adaptado para realizar dicha decimación dependiente de dicho valor de velocidad momentánea interpolado adicional ($f_{ROT(j)}$, VT_1 , VT_2 , f_{ROT}); y por
 dicho evaluador (230, 290, 290T; 294, 290, 290F) que está adaptado para realizar dicha función de análisis de condición (F_1 , F_2 , F_n) dependiente de dicha segunda señal digital (S_{RED2}).

35 2. El aparato (14, 920) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que

el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer ($S\#70$) un primer valor de velocidad momentánea (VT_1) dependiendo de

40 la distancia angular (ΔF_{p1-p2}) entre una primera señal de posición (P_1) y una segunda señal de posición (P_2), y dependiendo de
 una primera duración correspondiente (ΔT_{p1-p2}); y en el que

el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer ($S\#100$) un segundo valor de velocidad momentánea (VT_2) dependiendo de

45 la distancia angular (ΔF_{p2-p3}) entre la segunda señal de posición (P_2) y una tercera señal de posición (P_3), y dependiendo de
 una segunda duración correspondiente (ΔT_{p2-p3}); y en el que

el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer ($S\#140$) los valores de velocidad momentánea adicionales para la parte (8) rotativa mediante interpolación entre el primer valor de velocidad momentánea (VT_1) y el segundo valor de velocidad momentánea (VT_2).

50 3. El aparato (14, 920) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que
 el generador (601) de valor de velocidad opera para calcular el primer valor de velocidad momentánea (VT_1) como

$$VT_1 = 1 / (n_{diff1} * dt),$$

en la que

VT_1 es el primer valor de velocidad momentánea,

n_{diff1} = el número de franjas de tiempo entre la primera señal de posición (P1) y la segunda señal de posición (P2); y
 dt es la duración de una franja de tiempo.

5 4. El aparato (14, 920) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en el que el generador (601) de valor de velocidad opera para asignar (S#80) el primer valor de velocidad momentánea ($VT1$, $V_{(t1)}$) a una primera franja de tiempo media ($t1$) en la parte media entre la primera señal de posición (P1) y la segunda señal de posición (P2).

10 5. El aparato (14, 920) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1, 2, 3 o 4, en el que el generador (601) de valor de velocidad opera para calcular (S100) el segundo valor de velocidad momentánea ($VT2$) como

$$VT2 = 1 / (n_{diff2} * dt),$$

en la que

15 $VT2$ es el segundo valor de velocidad momentánea,
 n_{diff2} = el número de franjas de tiempo entre la segunda señal de posición (P2) y la tercera señal de posición (P3), y
 dt es la duración de una franja de tiempo.

20 6. El aparato (14, 920) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que el generador (601) de valor de velocidad opera para asignar (S#110) el segundo valor de velocidad momentánea ($VT2$, $V_{(t2)}$) a una segunda franja de tiempo media ($t2$) en la parte media entre la segunda señal de posición (P2) y la tercera señal de posicional (P3).

7. El aparato (14, 920) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer (S#120) un primer valor de aceleración (**a12**) como:

$$a12 = (VT2 - VT1) / ((i_{VT2} - i_{VT1}) * dt),$$

en la que

25 i_{VT1} es un número indicativo de la franja de tiempo asociada con el primer valor de velocidad momentánea $VT1$,
 i_{VT2} es un número indicativo de la franja de tiempo asociada con el segundo valor de velocidad momentánea $VT2$;
 y
 dt es la duración de una franja de tiempo.

30 8. El aparato (14, 920) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer (S#140) dichos valores de velocidad momentánea adicionales ($V_{(t12)}$) dependiendo de dicho primer valor de aceleración (**a12**).

9. El aparato (14, 920) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer (S#140) dichos valores de velocidad momentánea adicionales ($V_{(t12)}$) mediante la siguiente ecuación:

35
$$V_{(t12)} = V_{(t1)} + a * (t12 - t1),$$

en la que

$t12$ es un punto en el tiempo después de la primera franja de tiempo media $t1$ y antes de la segunda franja de tiempo media ($t2$); y

40 $V_{(t12)}$ es un valor de velocidad indicativo de una velocidad de rotación en el punto de tiempo $t12$; y $V_{(t1)}$ es el primer valor de velocidad momentánea.

10. El aparato (14, 920) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer (S#140) dichos valores de velocidad momentánea adicionales mediante interpolación lineal.

45 11. El aparato (14, 920) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que el generador (601) de valor de velocidad opera para establecer (S#140) dichos valores de velocidad momentánea adicionales mediante interpolación no lineal.

12. El aparato (14, 920) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-11, que comprende además:

un dispositivo de mejora adaptado para realizar autocorrelación de dicha segunda señal digital (S_{RED2}) para obtener una señal digital autocorrelacionada (O) que tiene una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2}); en el que

50 dicho evaluador (290T) está adaptado para realizar dicha función de análisis (F1, F2, Fn, 290T) usando la señal

digital autocorrelacionada (O).

13. El aparato (14, 920) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-11, que comprende además:

un dispositivo de mejora adaptado para realizar autocorrelación de dicha segunda señal digital (S_{RED2}) para obtener una señal digital autocorrelacionada (O) que tiene una frecuencia de muestreo reducida (f_{SF2});
 5 un transformador (294, 94) rápido de Fourier adaptado para realizar una transformada (294, 94) rápida de Fourier usando la señal digital autocorrelacionada (O) como señal de entrada para obtener una señal digital autocorrelacionada en el dominio de frecuencia; y en el que

dicho evaluador (290T) está adaptado para realizar dicha función de análisis (F1, F2, Fn, 290F) usando la señal digital autocorrelacionada en el dominio de frecuencia.

10 14. Un procedimiento para analizar la condición de una máquina que tiene una parte rotativa, que comprende:

generar una señal de posición (E_p) indicativa de una posición rotativa de dicha parte rotativa;
 generar una señal de medición analógica (S_{EA}) dependiente de vibraciones mecánicas que emanan de la rotación de dicha parte;
 15 muestrear dicha señal de medición analógica (S_{EA}) para generar una señal de datos de medición digital (S_{MD}), con una frecuencia de muestreo (f_s, f_{SR1}) en respuesta a dicha señal de medición analógica (S_{EA});
 realizar una decimación de la señal de datos de medición digital (S_{MD}) para lograr una señal digital (S_{RED2}) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2});
 realizar una función de análisis de condición (F1, F2, Fn) para analizar la condición de la máquina dependiendo de dicha señal digital (S_{RED}, S_{RED2}, O) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR1}, f_{SR2}); en el que
 20 dicha decimación incluye

registrar una secuencia temporal de valores de muestra de medición ($S_e(i), S_{(i)}$) de dicha señal de datos de medición digital (S_{MD}) y
 registrar una secuencia temporal de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) de dicha señal de posición (E_p) de manera que existe

25 una primera relación temporal ($n_{diff}, n_{diff1}, n_{diff2}$) entre al menos algunos de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$), y de manera que existe
 una segunda relación temporal entre al menos uno de los valores de señal de posición registrados ($P_{(i)}$) y al menos uno de los valores de muestra de medición registrados ($S_e(i), S_{(i)}$);

30 generar un valor indicativo de un cambio de velocidad ($df_{ROT}, a, a_{1-2}, a_{2-3}$) de dicha parte (8) rotativa dependiendo de dicha primera relación temporal ($n_{diff}, n_{diff1}, n_{diff2}$);
 generar, por interpolación, un valor de velocidad ($V(j), F_{ROT(j)}$) indicativo de una velocidad de rotación momentánea de dicha parte (8) rotativa dependiendo de

dicho valor indicativo de un cambio de velocidad ($df_{ROT}, a, a_{1-2}, a_{2-3}$) y un determinado valor de tiempo

35 de manera que el valor de velocidad generado ($V(j), F_{ROT(j)}$) es indicativo de la velocidad rotativa en el momento de detección de al menos uno de dichos valores de muestra de medición registrados ($S_e(i), S_{(i)}$); y en el que dicha decimación se realiza dependiendo de dicho valor de velocidad ($VT1, VT2, f_{ROT}$).

15. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14, en el que dicho cierto valor de tiempo depende de dicha segunda relación temporal.

40 16. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14, en el que Dicho cierto valor de tiempo es dicha segunda relación temporal.

17. El procedimiento de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa de

registrar una secuencia temporal de valores de señal de posición ($P_{(i)}$) de dicha señal de posición (E_p) comprende las etapas de:

45 registrar un primer valor de señal de posición ($P1_{(i)}$) de dicha señal de posición (E_p) e información indicativa del tiempo de aparición de dicho primer valor de señal de posición ($P1_{(i)}$);
 registrar un segundo valor de señal de posición ($P2_{(i)}$) de dicha señal de posición (E_p) e información indicativa del tiempo de aparición de dicho segundo valor de señal de posición ($P2_{(i)}$);

incluyendo el procedimiento además la etapa de:

50 establecer un primer valor de velocidad ($VT1$) indicativo de una velocidad de rotación momentánea de dicha parte (8) rotativa en un primer momento en el tiempo entre la aparición de dicho primer valor de señal de posición ($P1_{(i)}$) y la aparición de dicho segundo valor de señal de posición ($P2_{(i)}$).

18. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 17,
- 5 identificar un valor de datos de medición registrado seleccionado ($S(j)$), e
 identificar el momento de detección (i, j) de dicho valor de datos de medición registrado seleccionado ($S_e(i), S(j)$);
 establecer un valor (Δt) indicativo de una primera duración de tiempo desde dicho primer momento a dicho
 momento de detección (i, j) de dicho valor de datos de medición registrado seleccionado ($S_e(i), S(j)$);
- 10 establecer un segundo valor de velocidad ($V_{p30}, V_{p40}, V_{p50}, V_{p60}, f_{ROT}$) indicativo de una velocidad de
 rotación momentánea de dicha parte rotativa en dicho momento de detección (i, j) dependiendo de
 dicho primer valor de velocidad (V_{T1}),
 dicha primera duración e
 información indicativa de un cambio de velocidad durante dicha primera duración.
19. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 18, en el que
 dicha información indicativa de un cambio de velocidad durante dicha primera duración es dicho valor indicativo de
 una aceleración (a, a_{1-2}, a_{2-3}).
- 15 20. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 18, en el que
 dicha información indicativa de un cambio de velocidad durante dicha primera duración es dicho valor indicativo de
 un cambio de velocidad ($df_{ROT}, a, a_{1-2}, a_{2-3}$).
21. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14-20, en el que la etapa de realizar una
 función de análisis de condición ($F1, F2, F_n$) incluye
- 20 realizar una autocorrelación de dicha señal digital (S_{RED}, S_{RED2}) con una frecuencia de muestreo reducida ($f_{SR1},$
 F_{SR2}) para obtener una señal digital autocorrelacionada (O) que tiene una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2});
 y
 realizar una función de análisis ($F1, F2, F_n, 290T$) usando la señal digital autocorrelacionada (O) como entrada al
 analizador ($290T$) de condición.
- 25 22. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14-20, en el que la etapa de realizar una
 función de análisis de condición ($F1, F2, F_n$) incluye
- 30 realizar una autocorrelación de dicha señal digital (S_{RED}, S_{RED2}) con una frecuencia de muestreo reducida ($f_{SR1},$
 F_{SR2}) para obtener una señal digital autocorrelacionada (O) con una frecuencia de muestreo reducida (f_{SR2}); y
 realizar una transformada ($294, 94$) rápida de Fourier, usando la señal digital autocorrelacionada (O) como
 entrada al transformador ($294, 94$) rápido de Fourier, para obtener una señal digital autocorrelacionada en el
 dominio de frecuencia; y
 realizar la función de análisis ($F1, F2, F_n, 290F$) usando la señal digital autocorrelacionada en el dominio de
 frecuencia como entrada al analizador ($290F$) de condición.
23. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14-22, en el que
 dicha interpolación es una interpolación lineal.
- 35 24. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 14-22, en el que
 dicha interpolación es una interpolación no lineal.

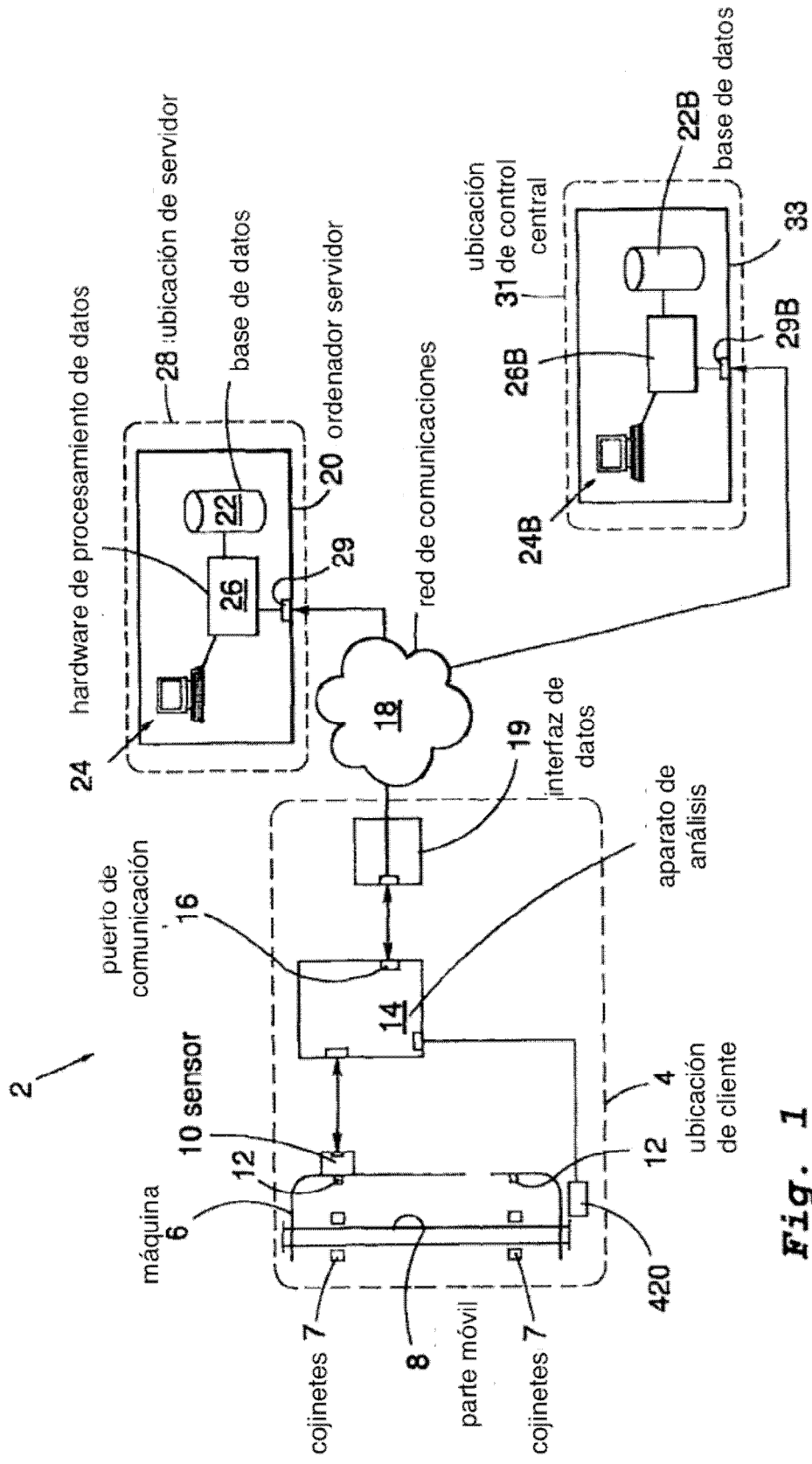


Fig. 1

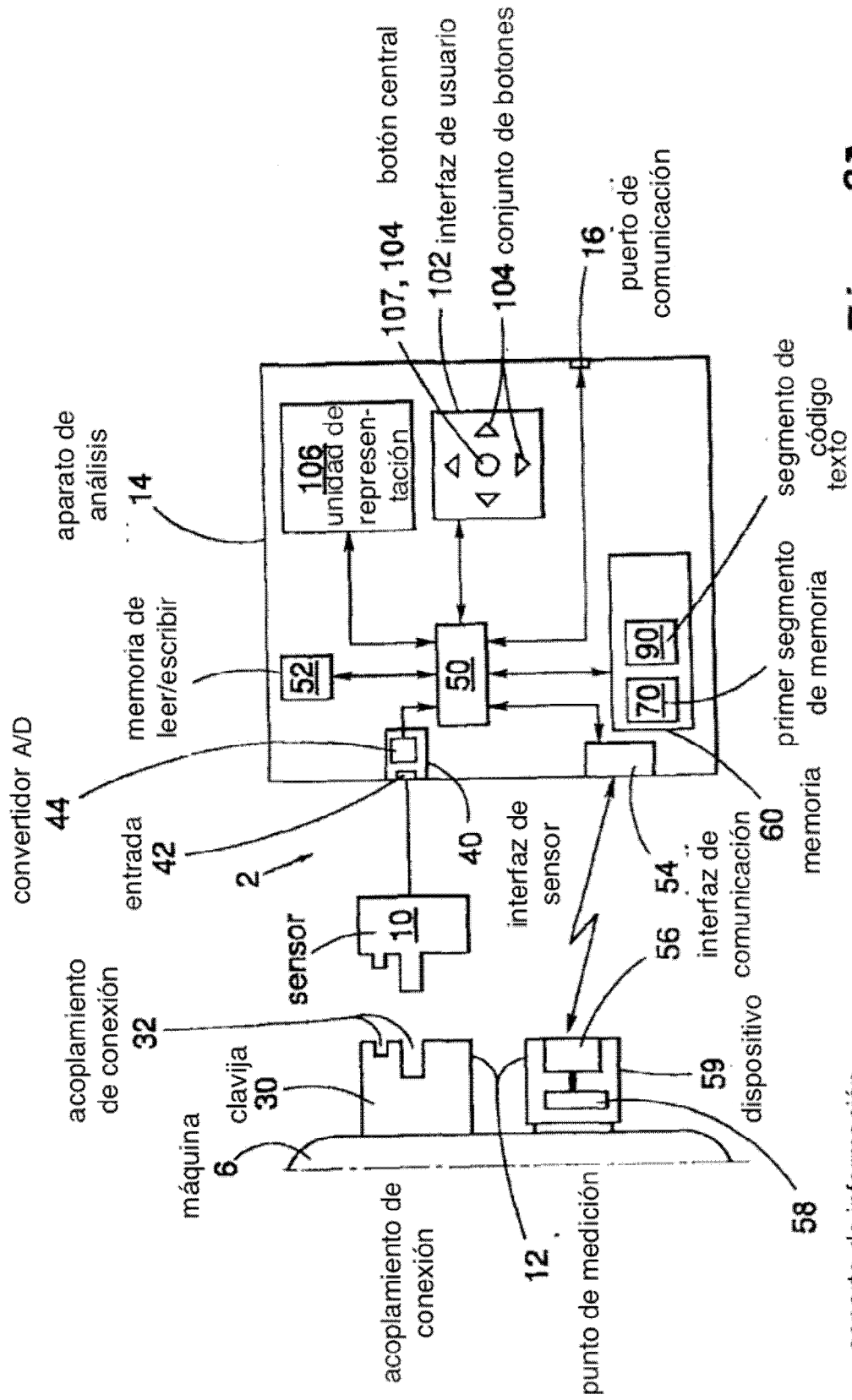


Fig. 2A

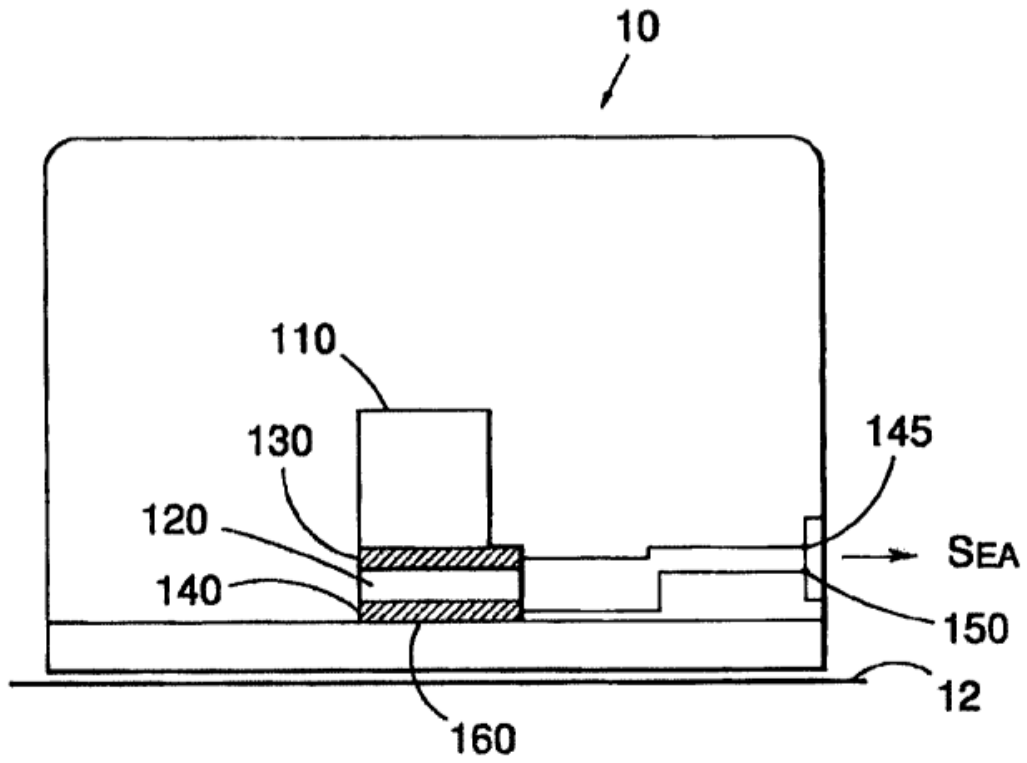


Fig. 3

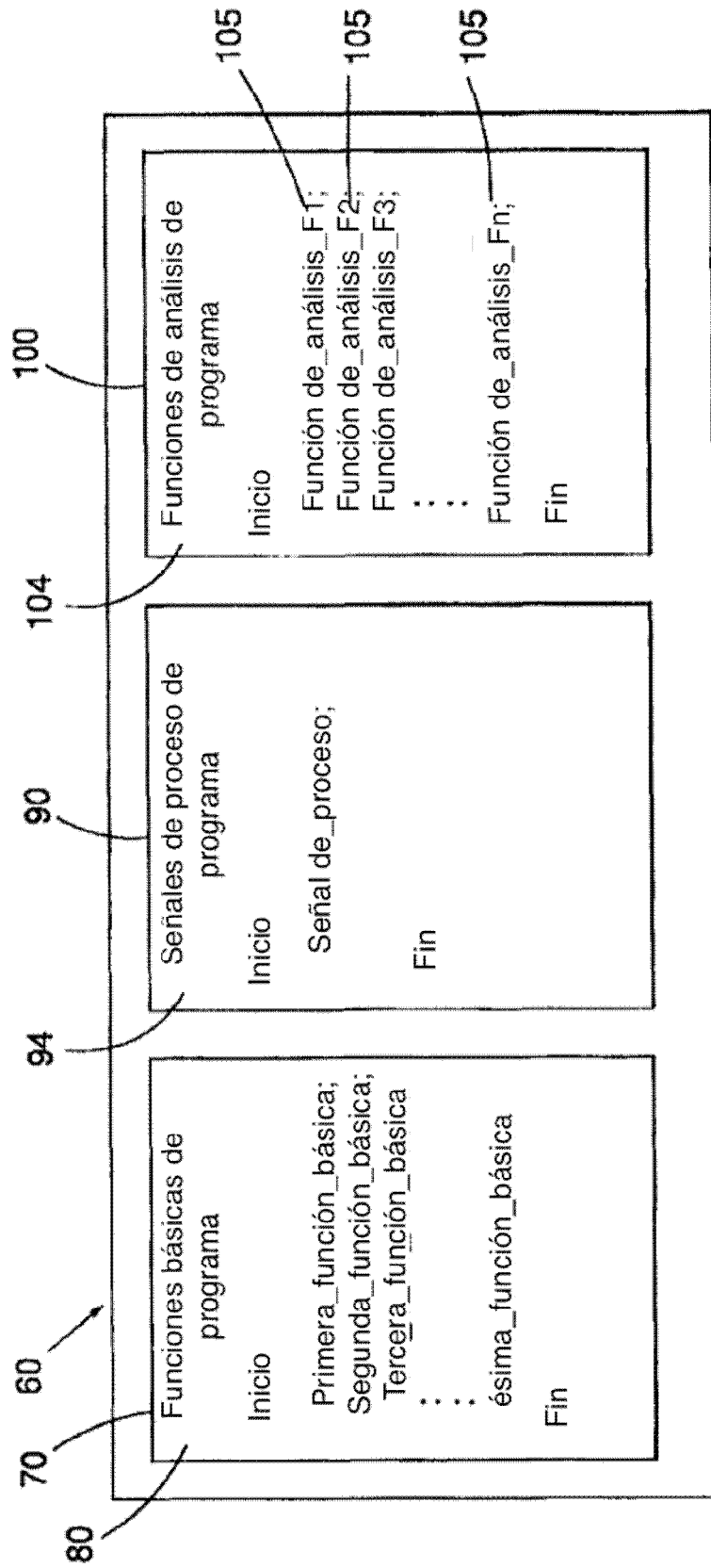


Fig. 4

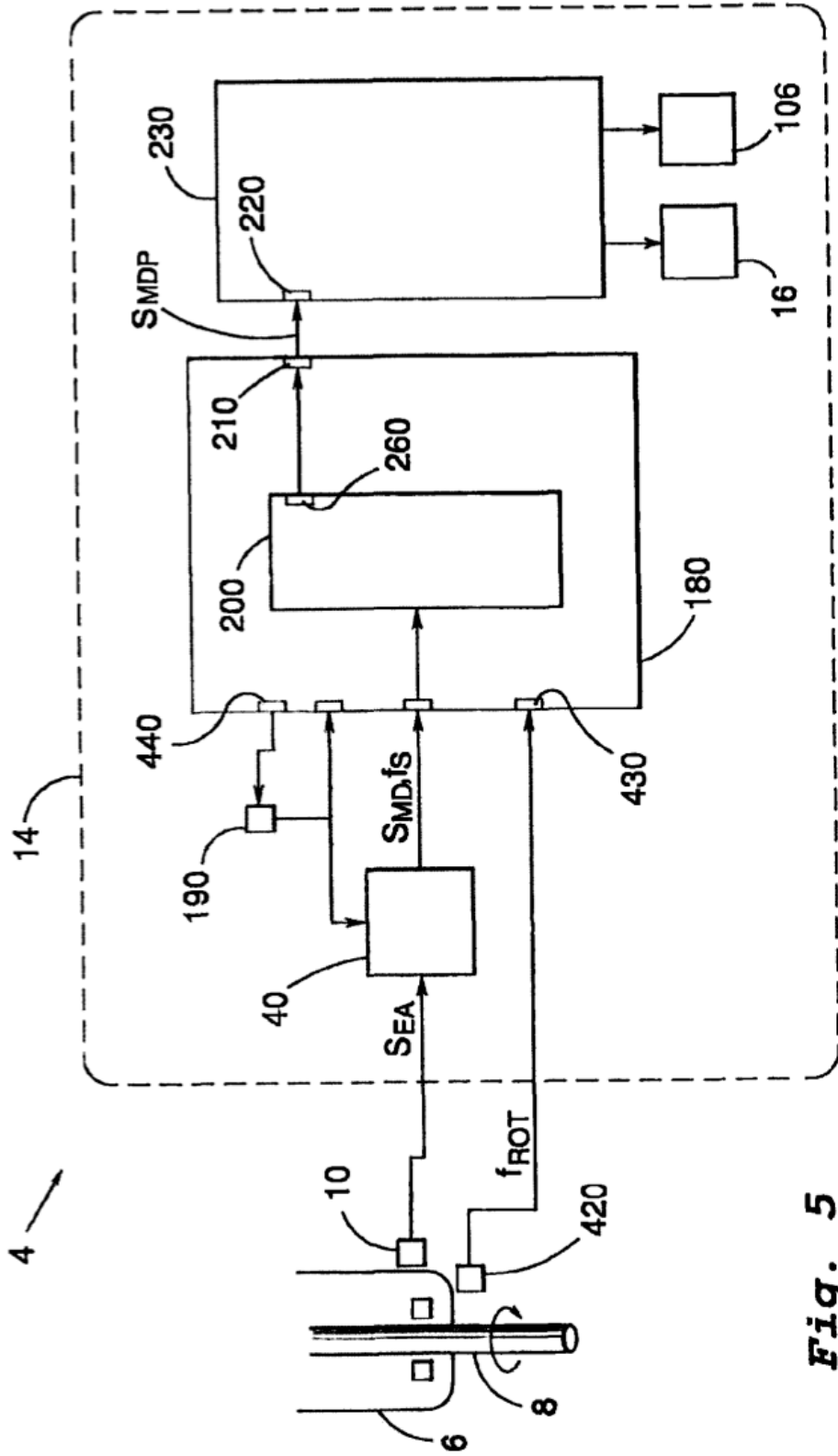
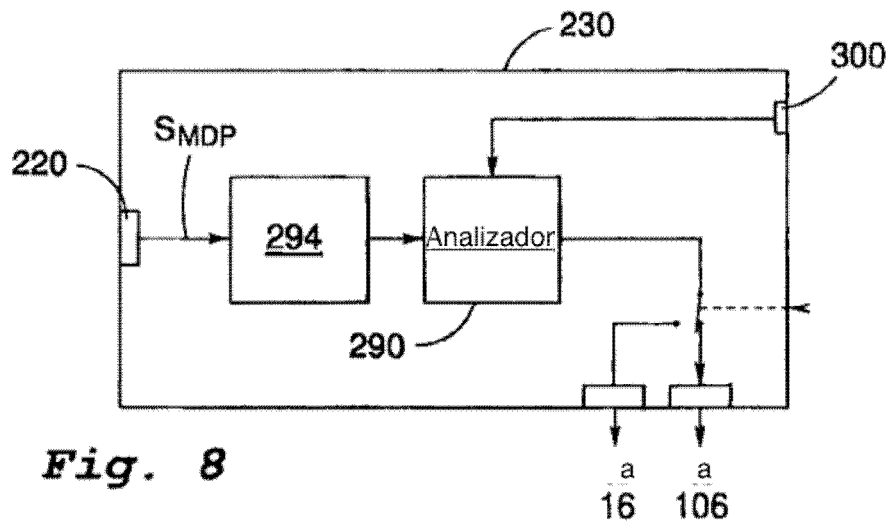
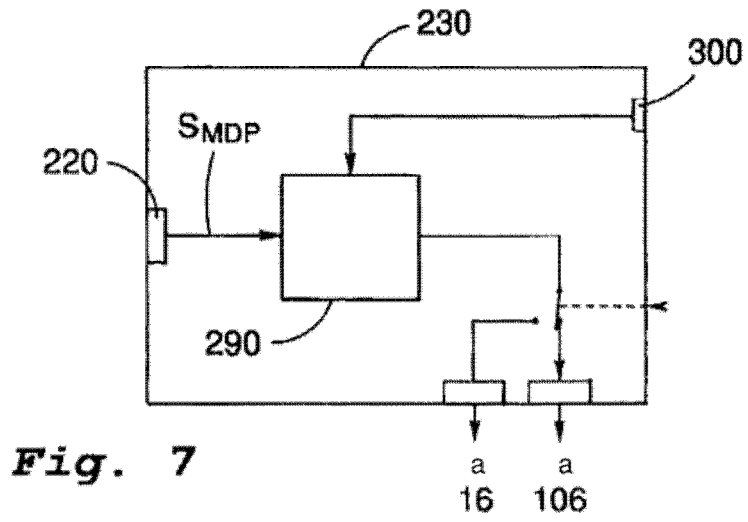
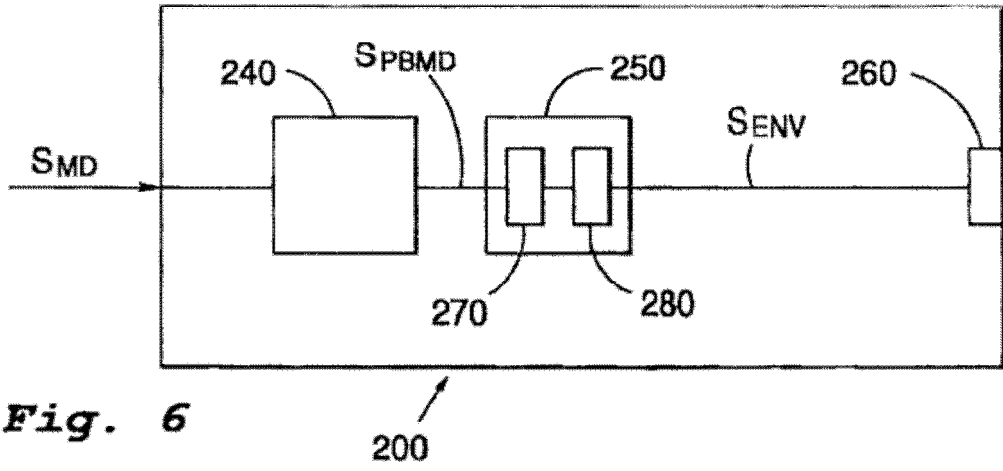


Fig. 5



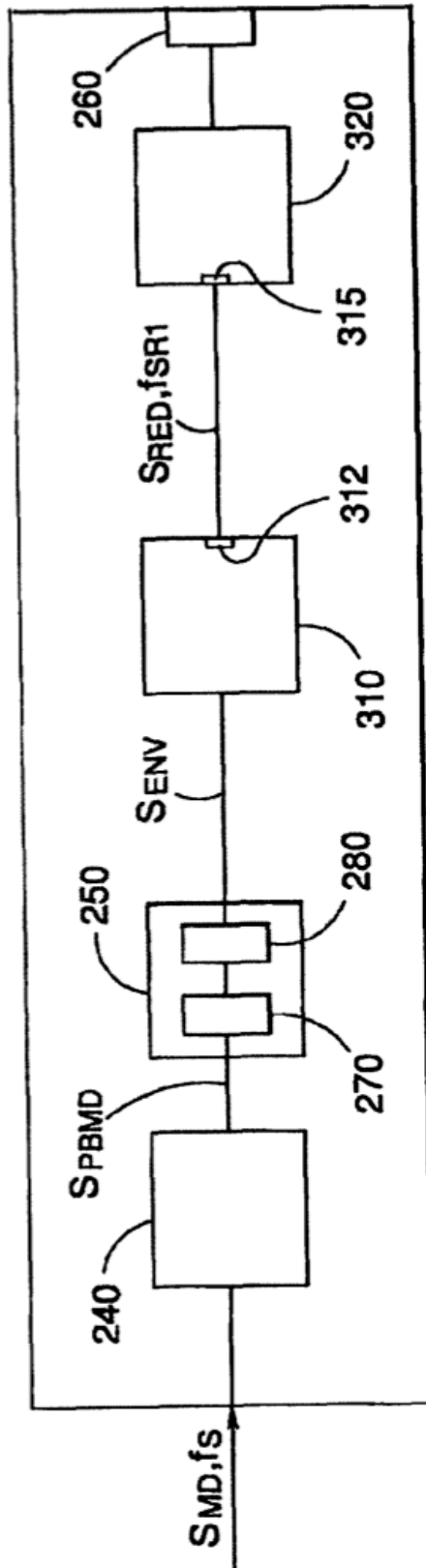


Fig. 9

200

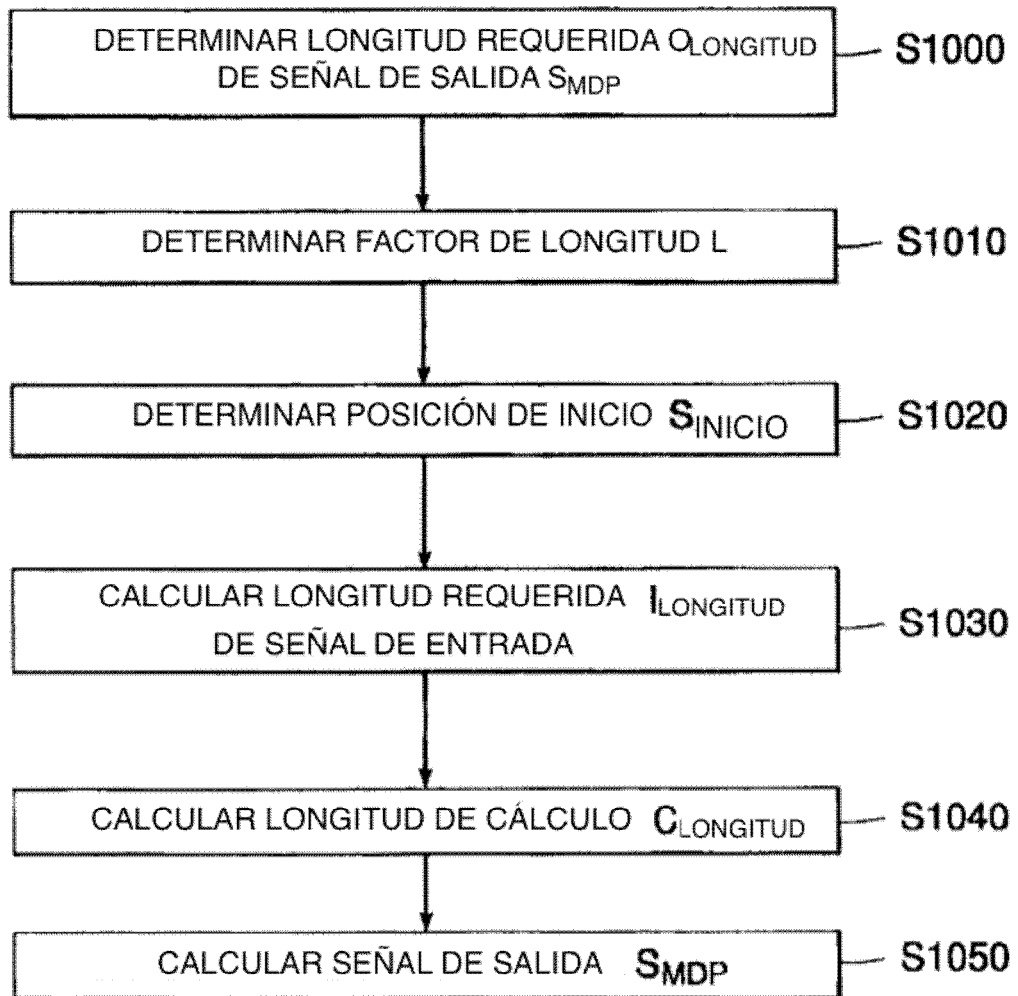


Fig. 10A

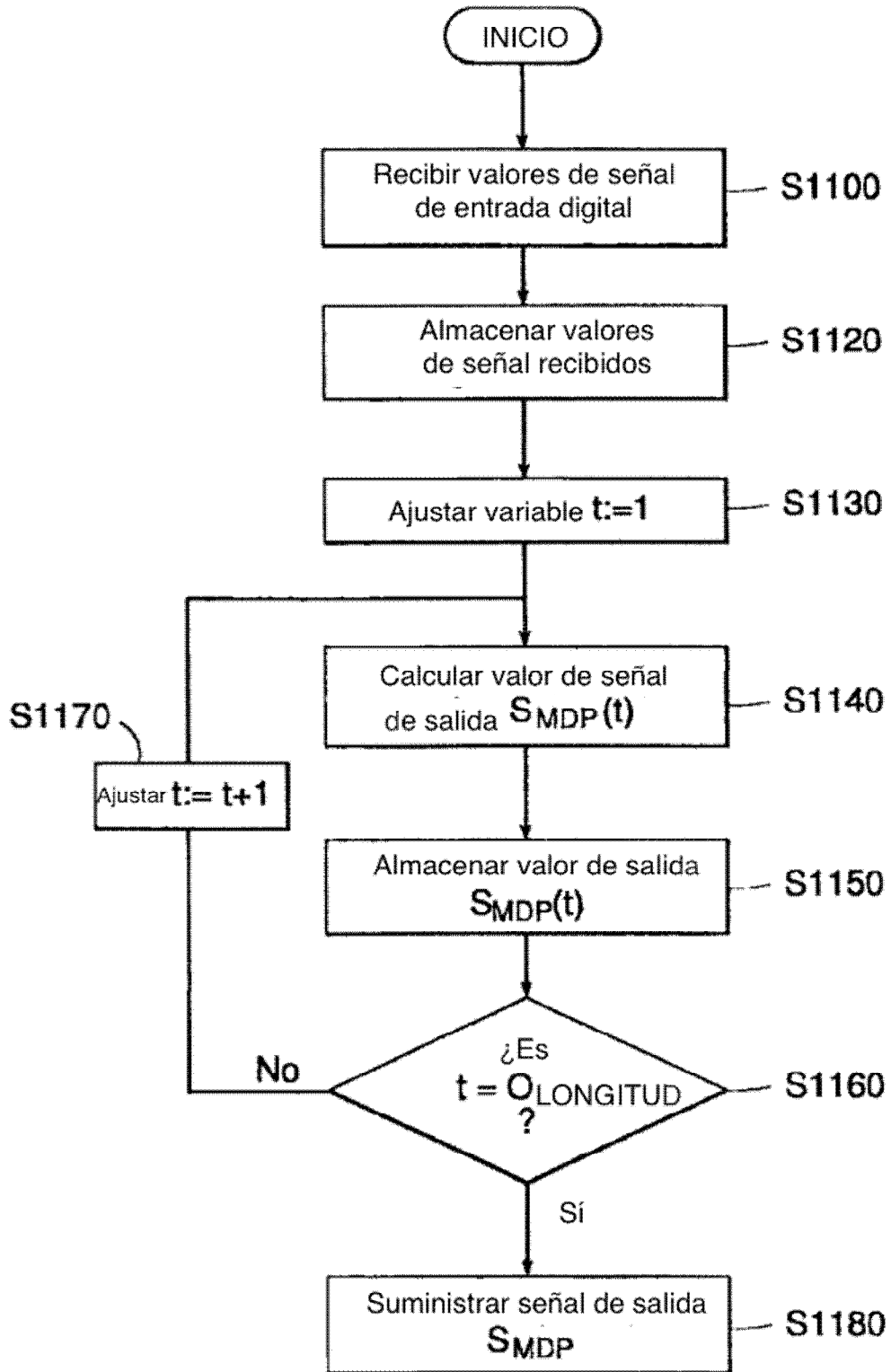


Fig. 10B

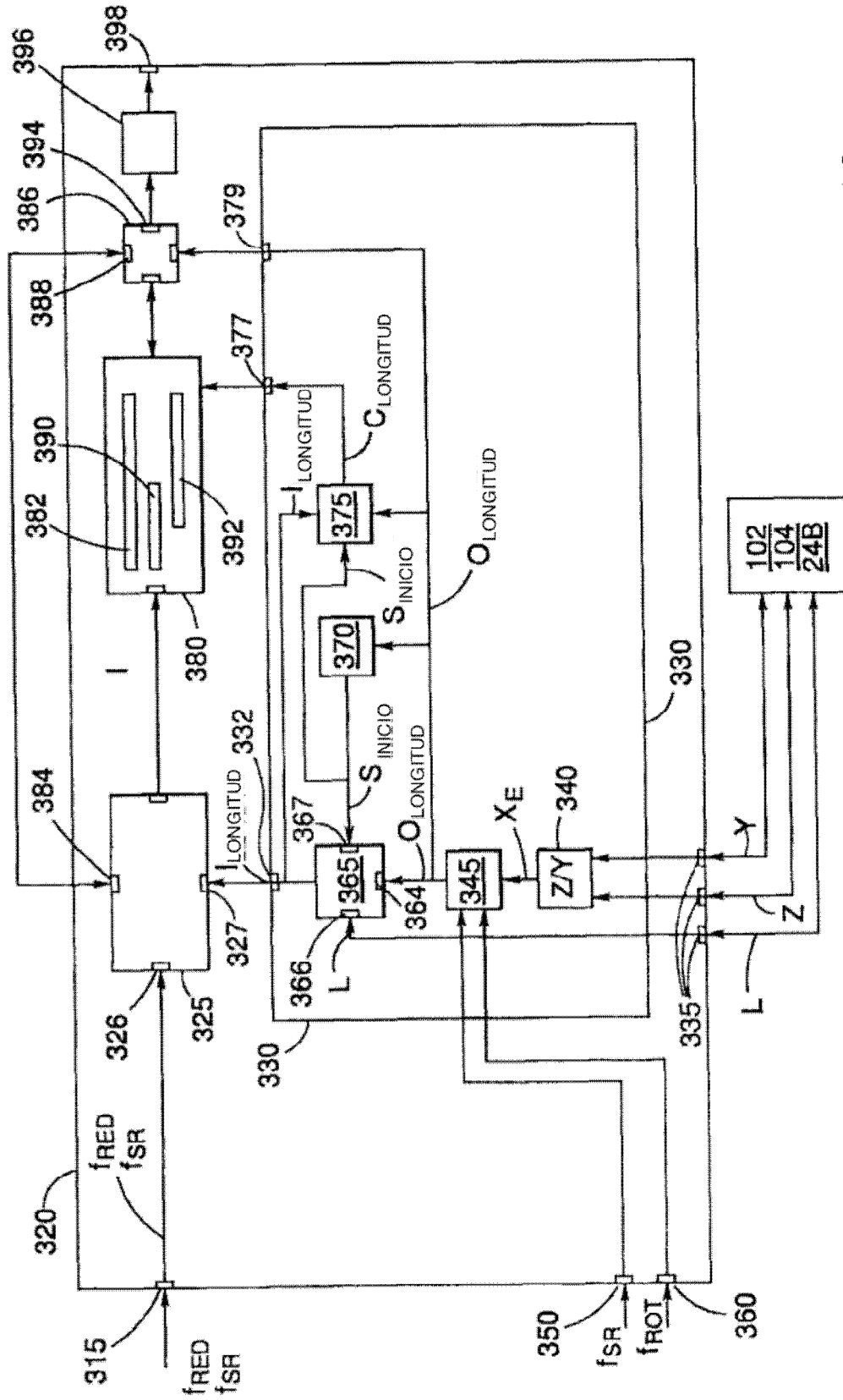


Fig. 10C

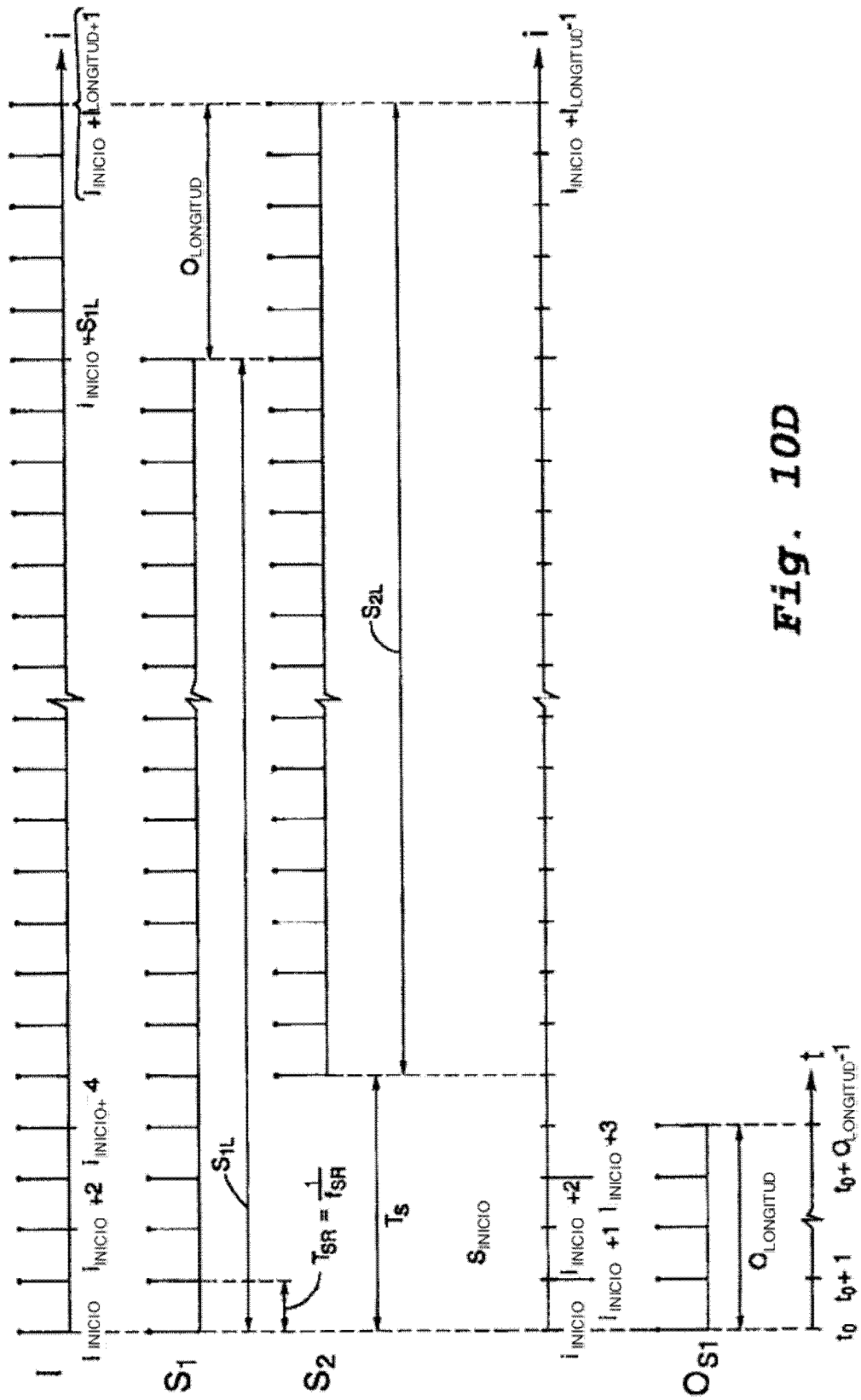


Fig. 10D

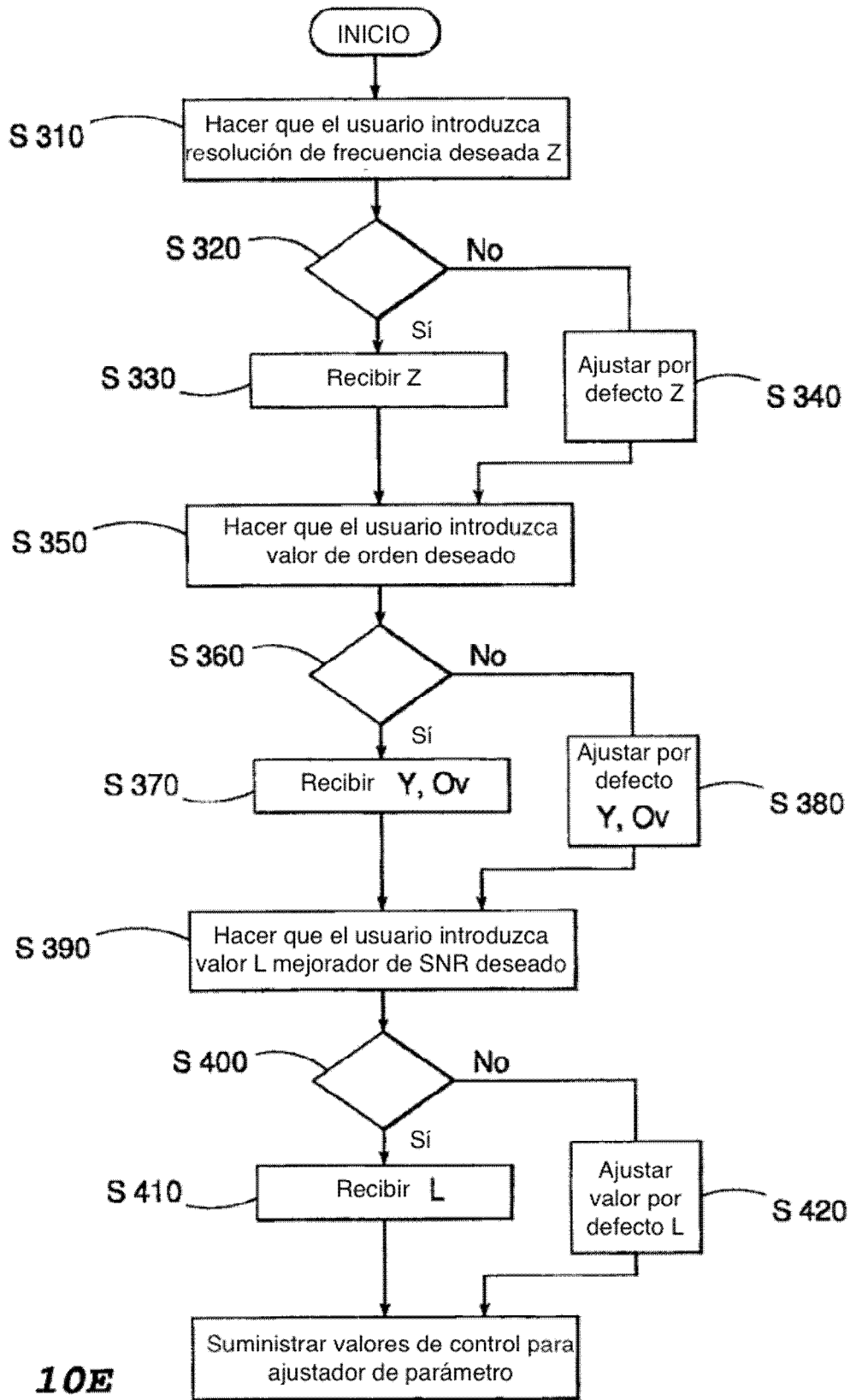


Fig. 10E

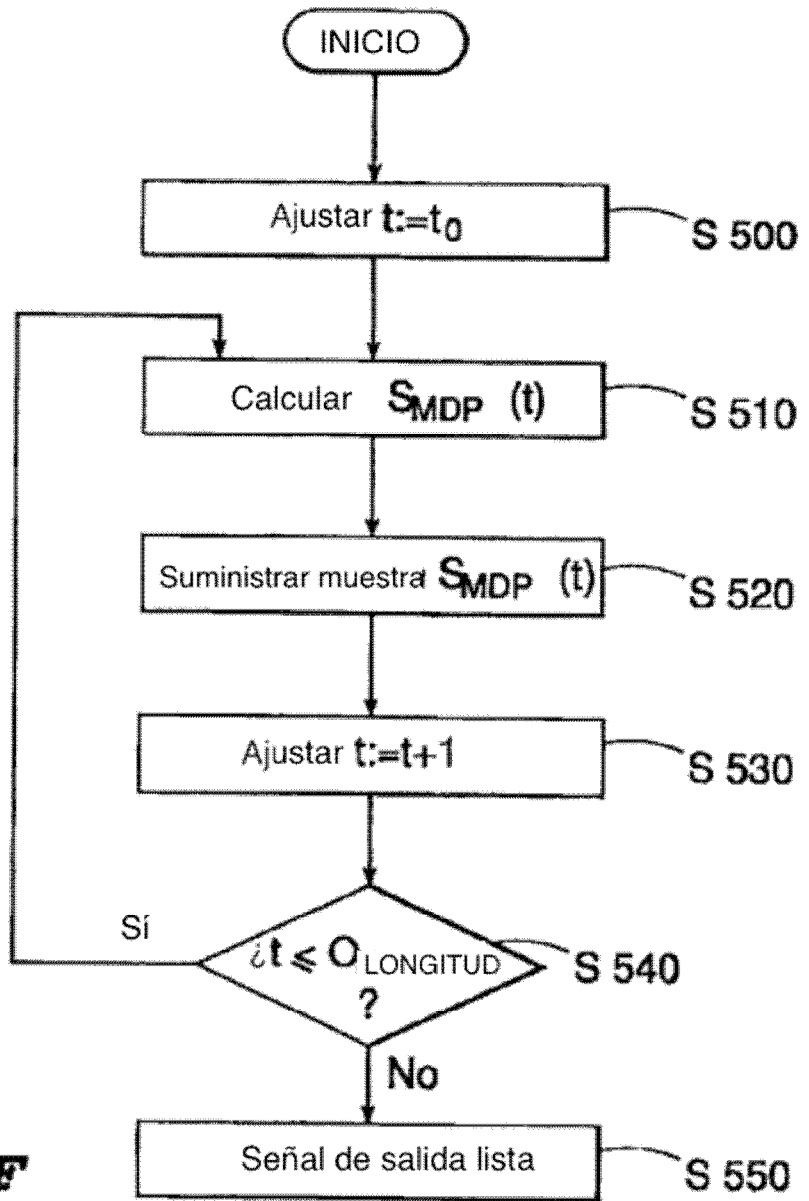


Fig. 10F

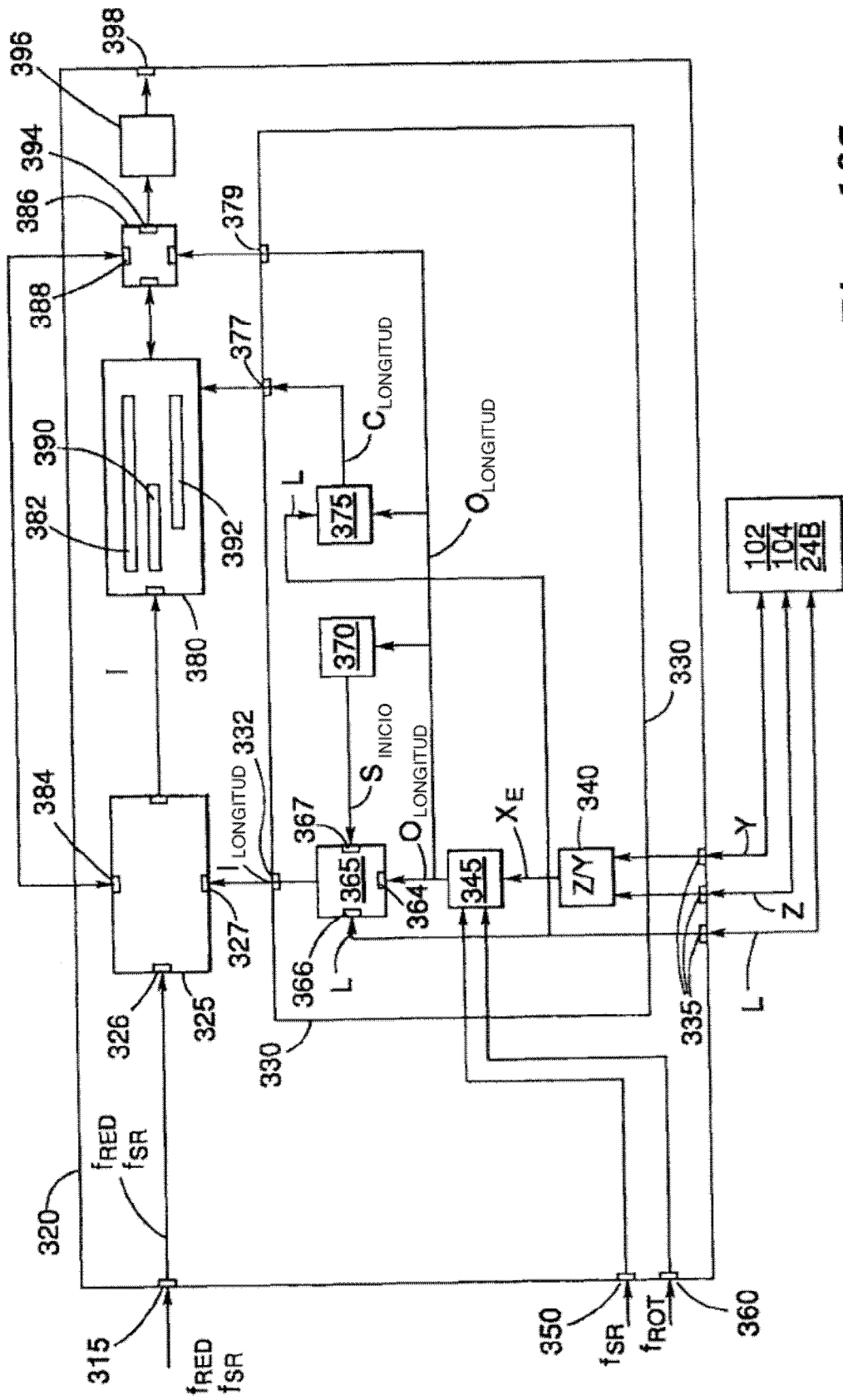
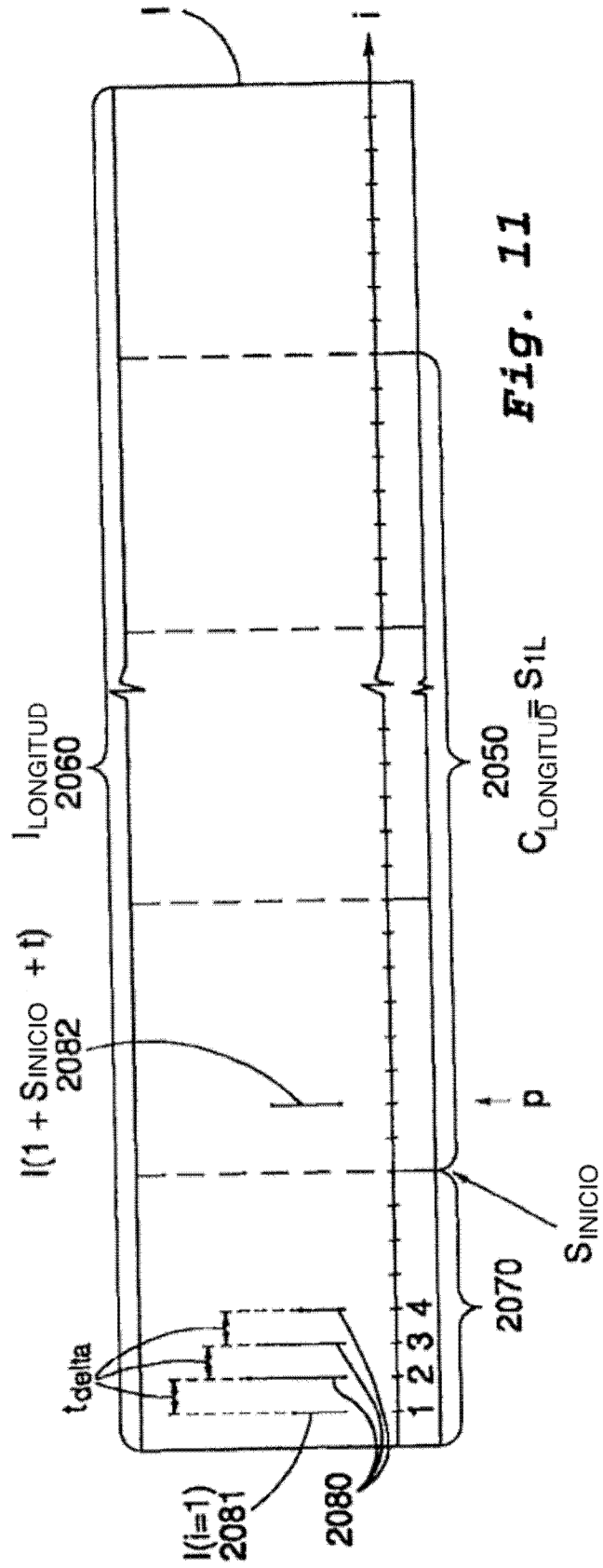


Fig. 10G

i	t	P(i, t)	S_{MDP}(t)
i_0	t_0	$I(i_0) * I(i_0 + S_{INICIO} + t_0)$	
$i_0 + 1$	t_0	$I(i_0 + 1) * I(i_0 + 1 + S_{INICIO} + t_0)$	
...			
$i_0 + n$	t_0	$I(i_0 + n) * I(i_0 + n + S_{INICIO} + t_0)$	
...			
$i_0 + C_{LONGITUD} - 1$	t_0	$I(i_0 + C_{LONGITUD} - 1) * I(i_0 + C_{LONGITUD} - 1 + S_{INICIO} + t_0)$	$SMDP(t_0) = \sum_{i=i_0}^{i_0 + C_{LONGITUD} - 1} P(i, t_0)$
$i_0 + 1$	$t_0 + 1$	$I(i_0 + 1) * I(i_0 + 1 + S_{INICIO} + t_0 + 1)$	
...	
$i_0 + n$	$t_0 + 1$	$I(i_0 + n) * I(i_0 + n + S_{INICIO} + t_0 + 1)$	
...	
$i_0 + C_{LONGITUD} - 1$	$t_0 + 1$	$I(i_0 + C_{LONGITUD} - 1) * I(i_0 + C_{LONGITUD} - 1 + S_{INICIO} + t_0 + 1)$	$SMDP(t_0 + 1) = \sum_{i=i_0}^{i_0 + C_{LONGITUD} - 1} P(i, t_0 + 1)$
...

Tabla 1

Fig. 10H



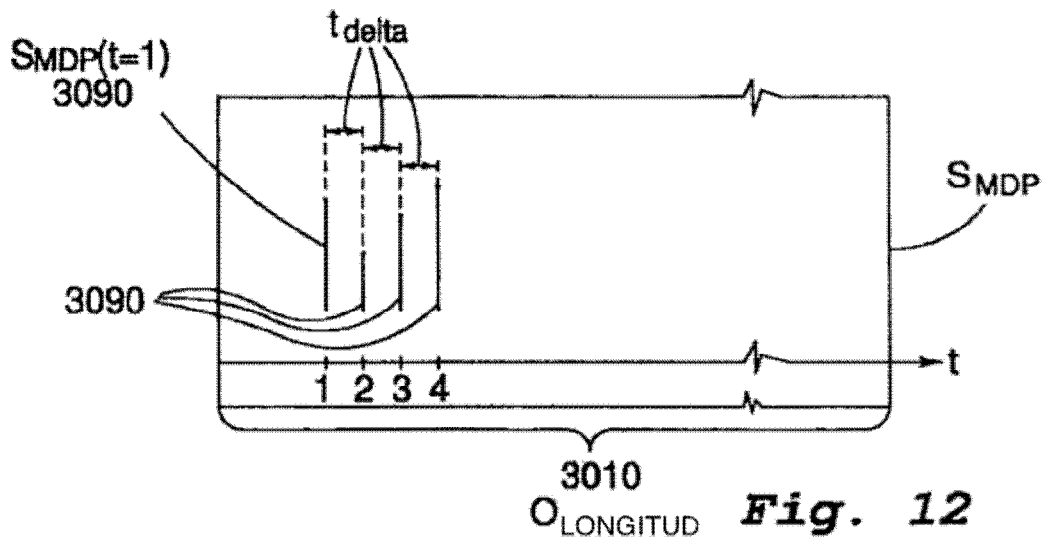


Fig. 12

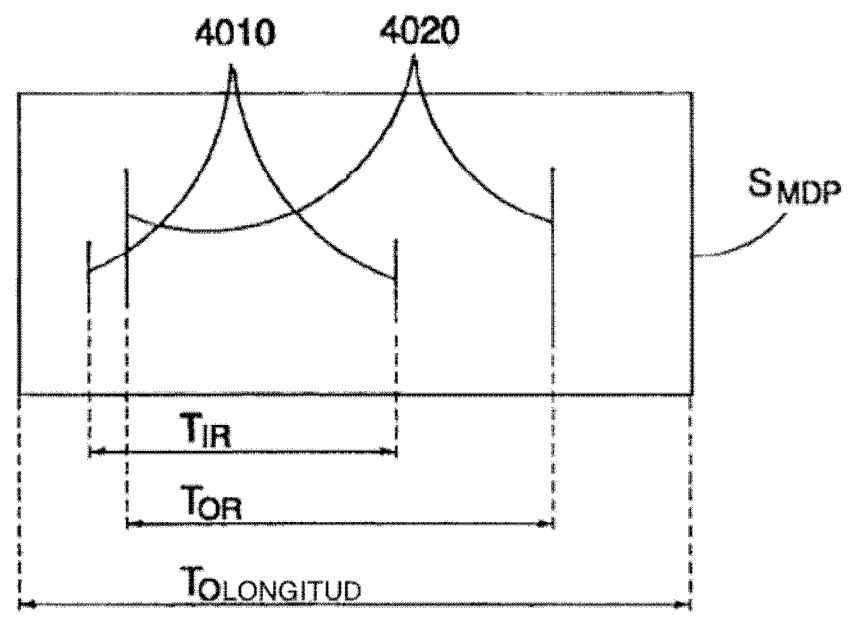
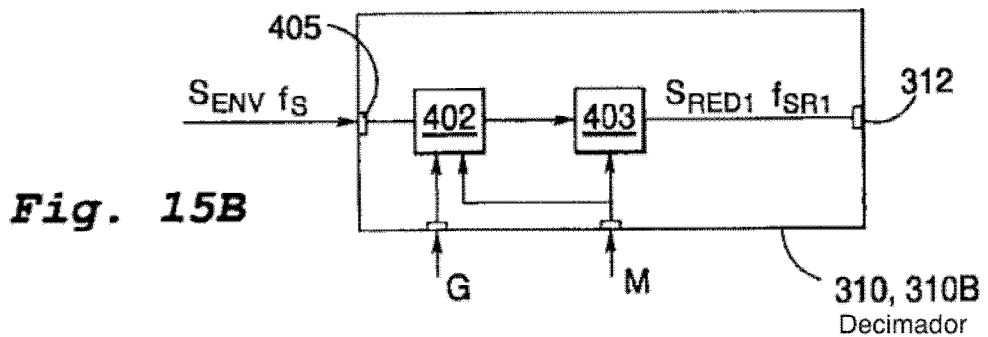
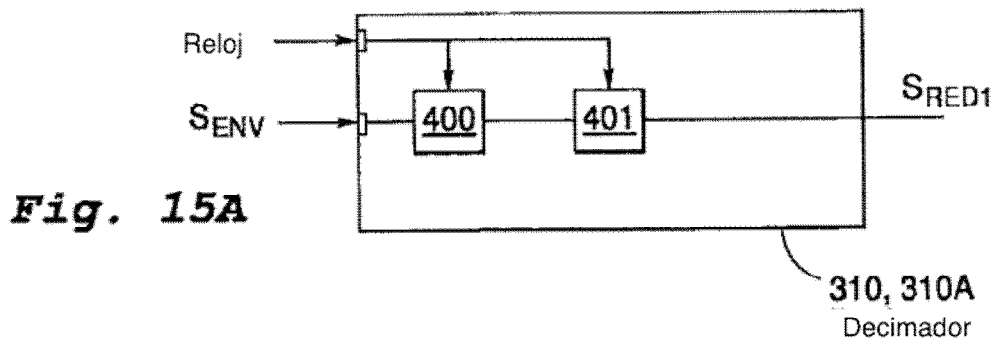
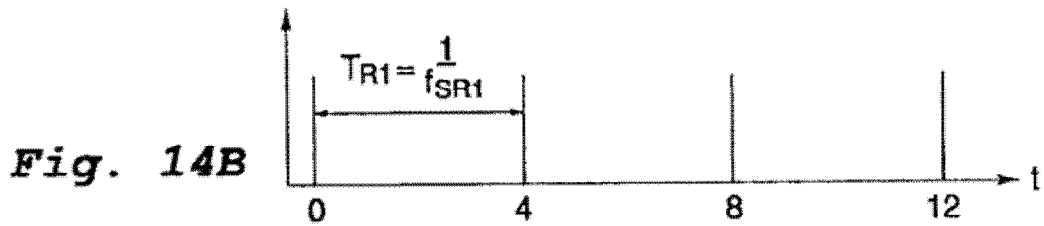
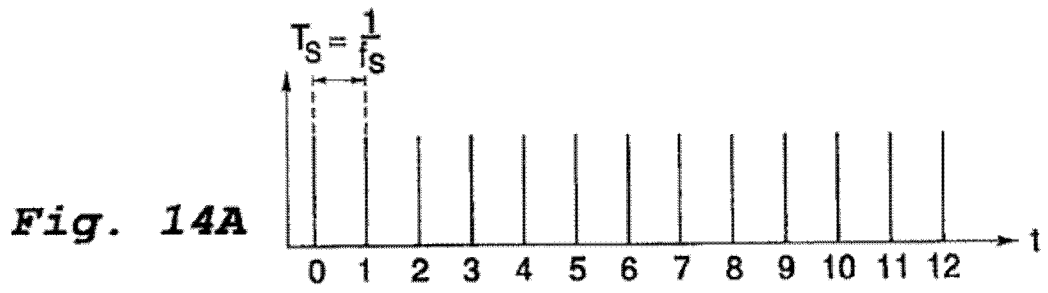


Fig. 13



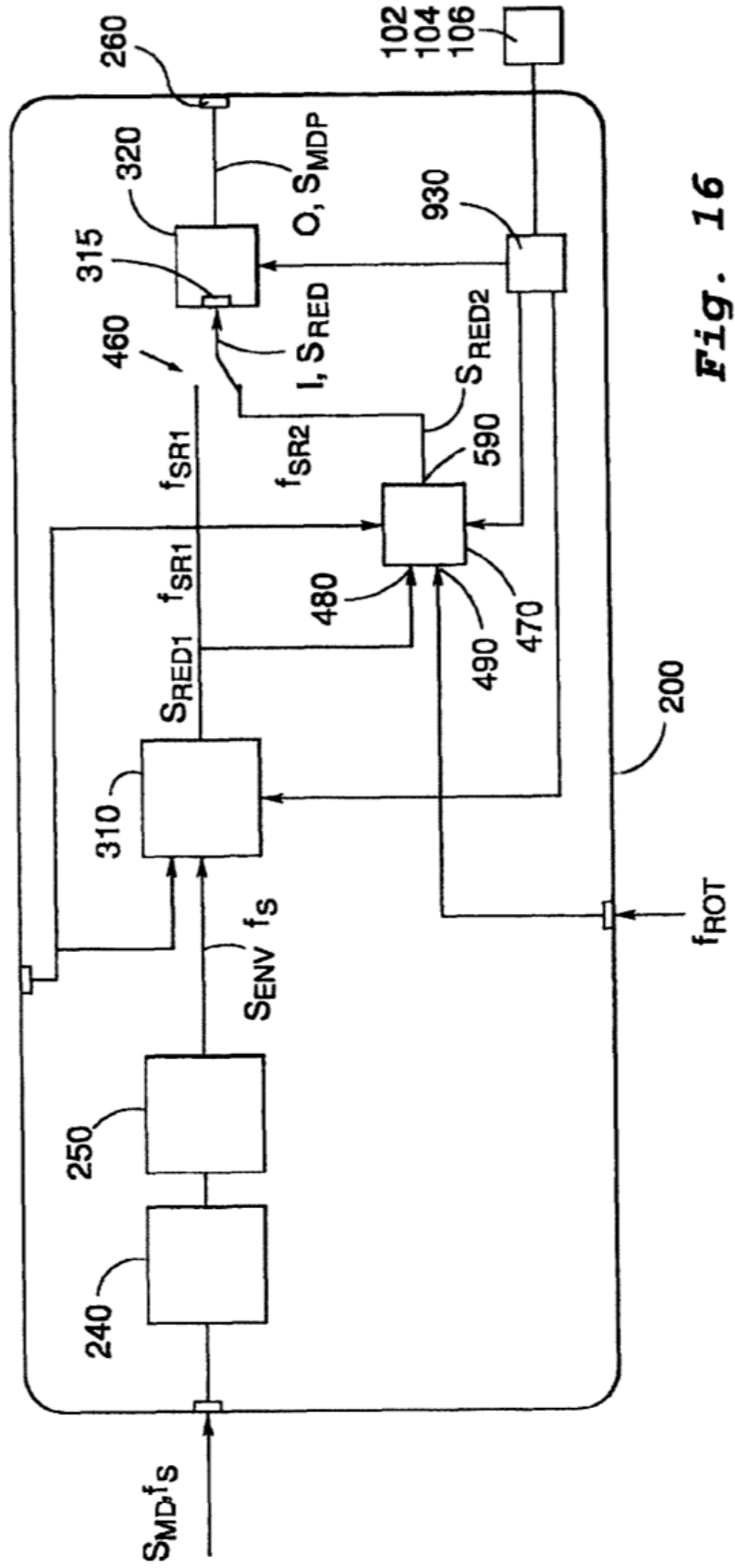


Fig. 16

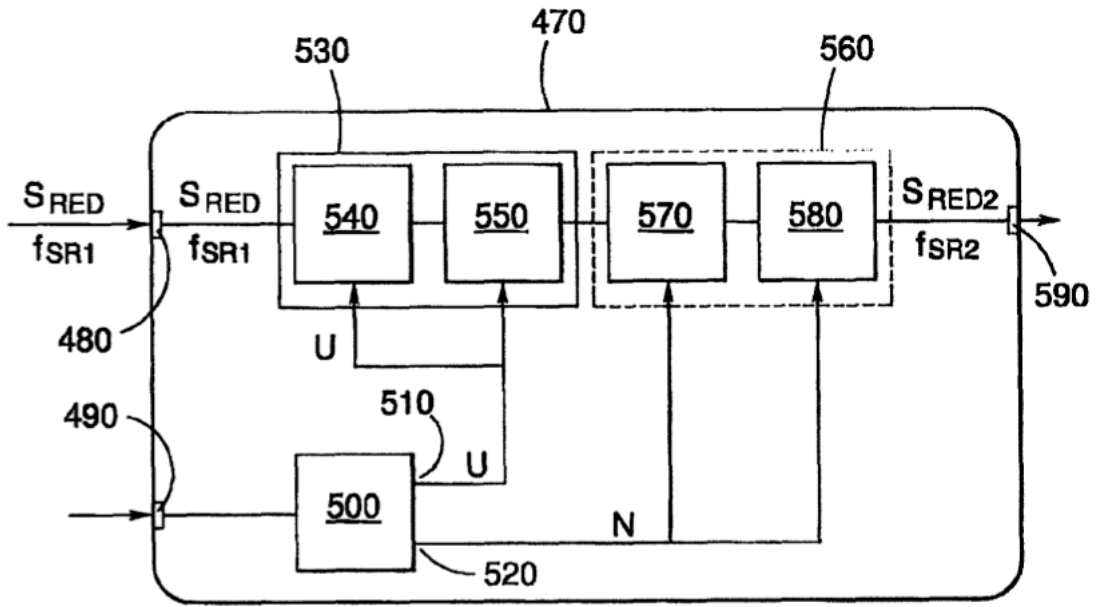


Fig. 17

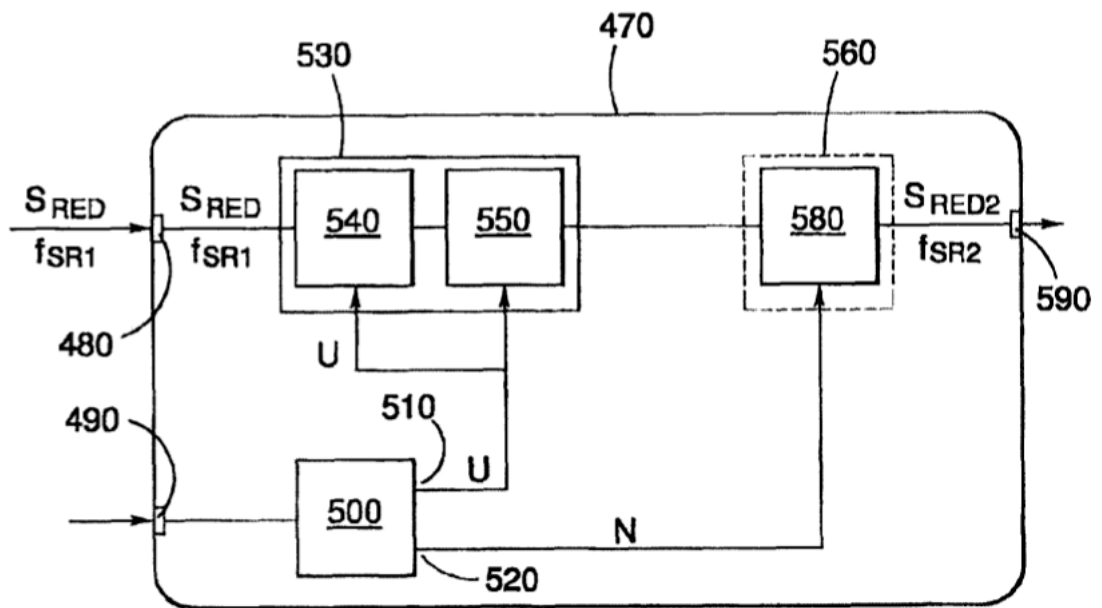


Fig. 18

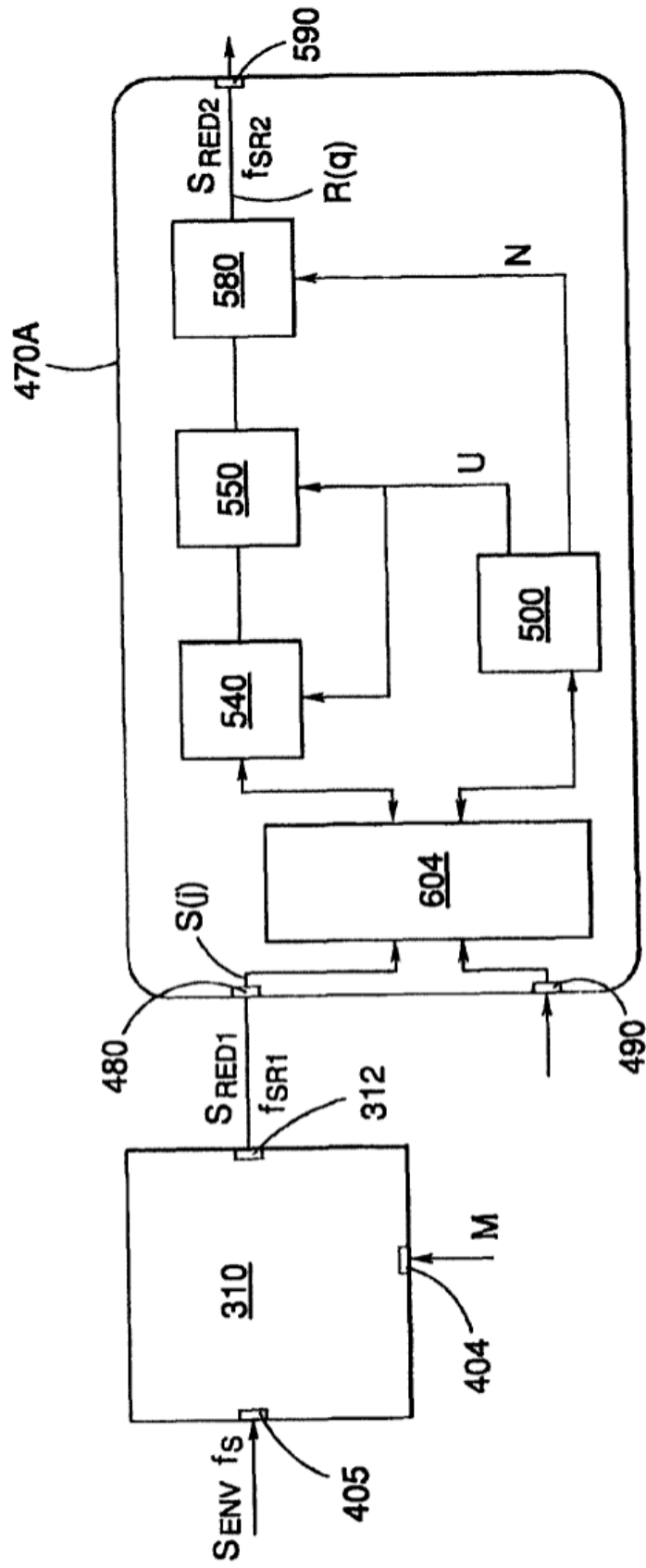


Fig. 19A

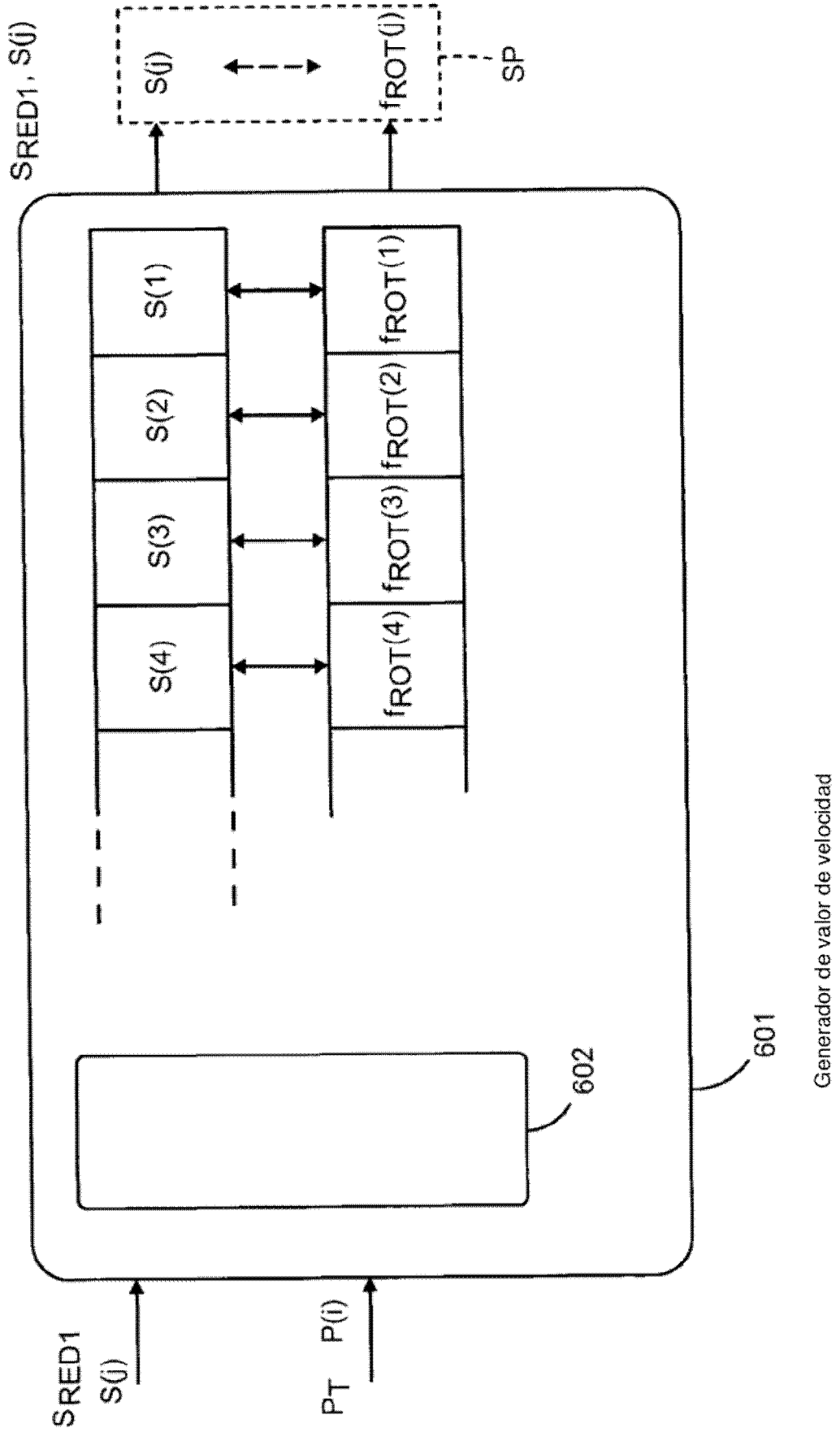


Fig. 19B

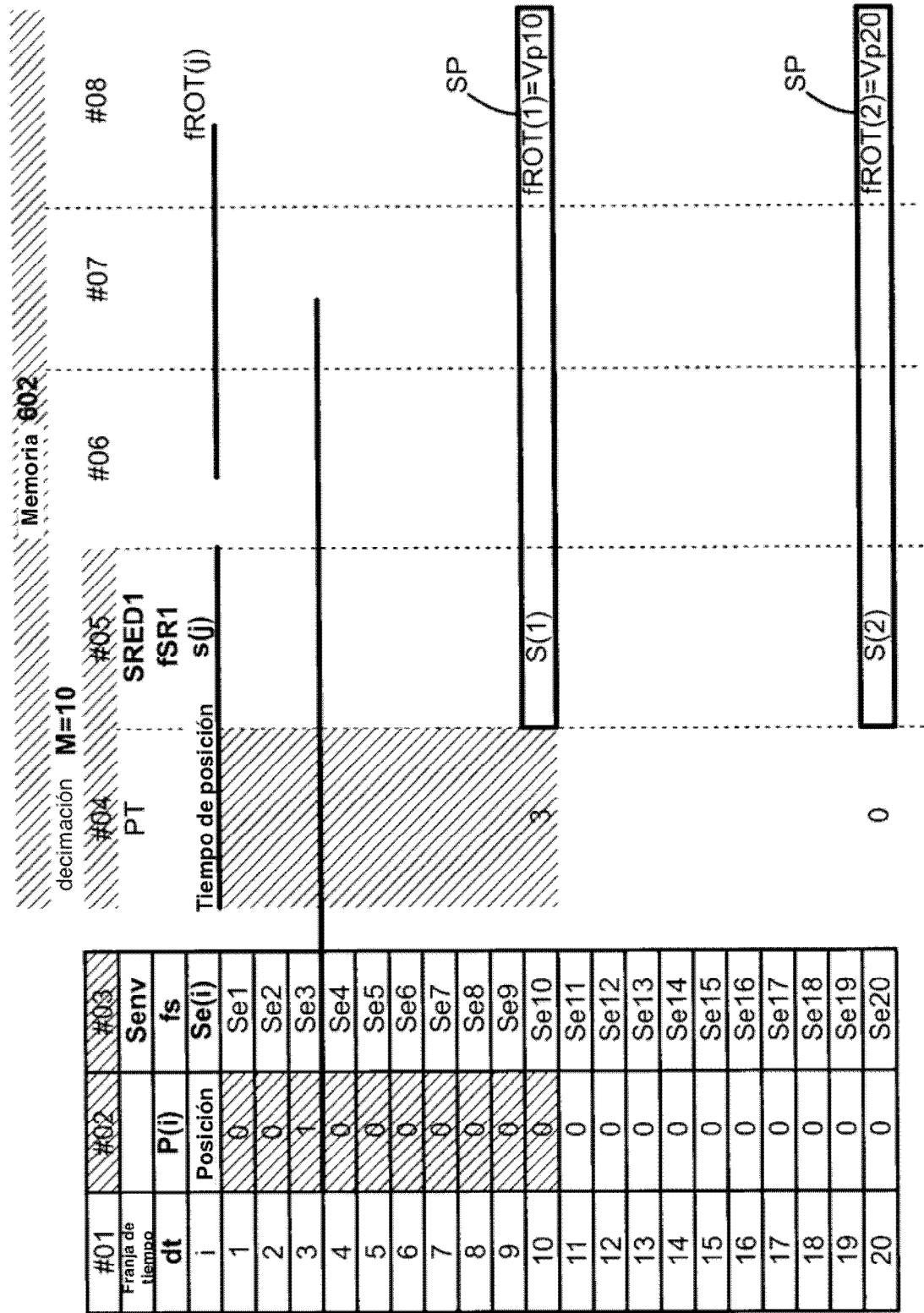


Fig. I9C . Parte 1

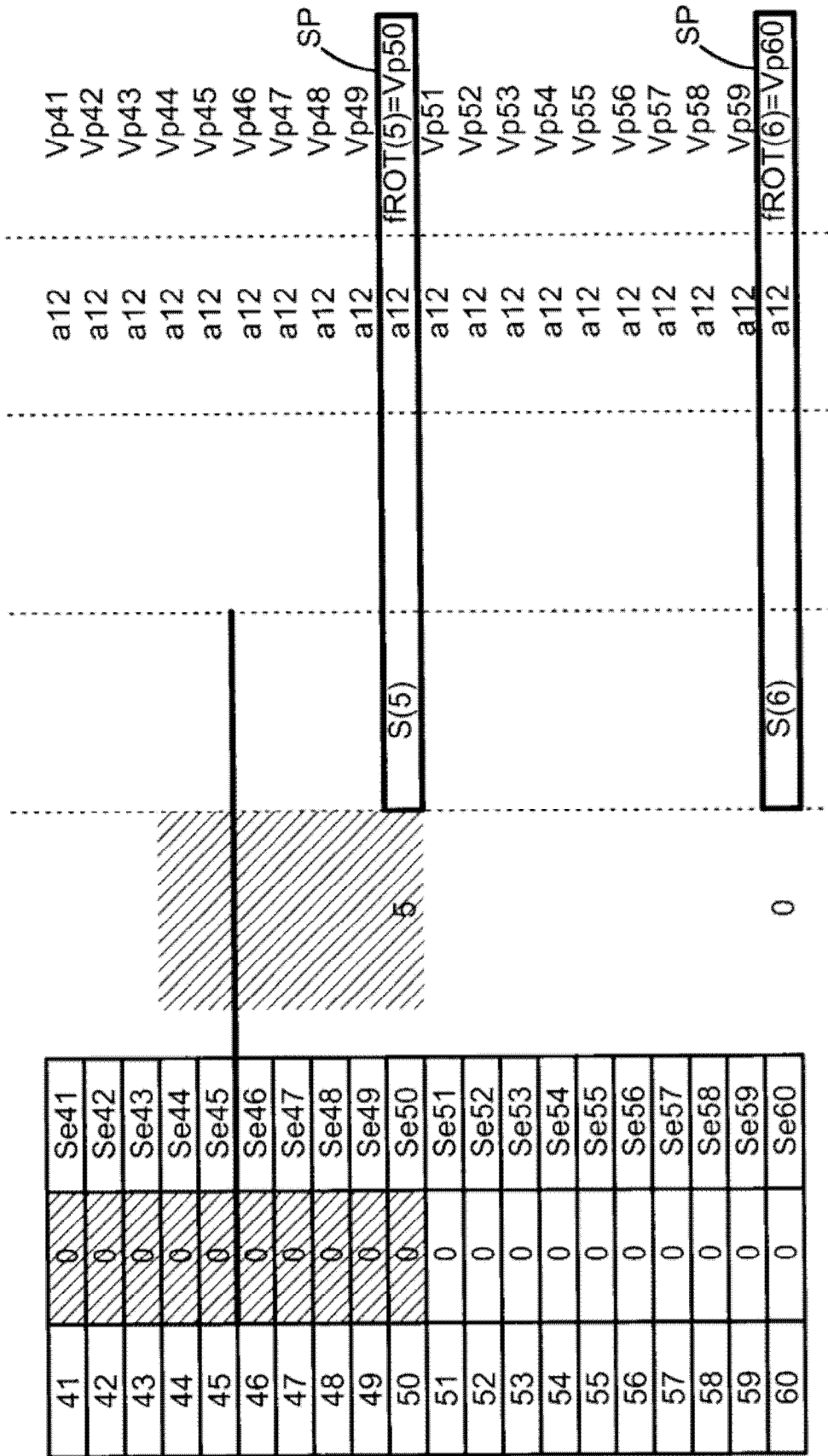


Fig. 19C Parte 3

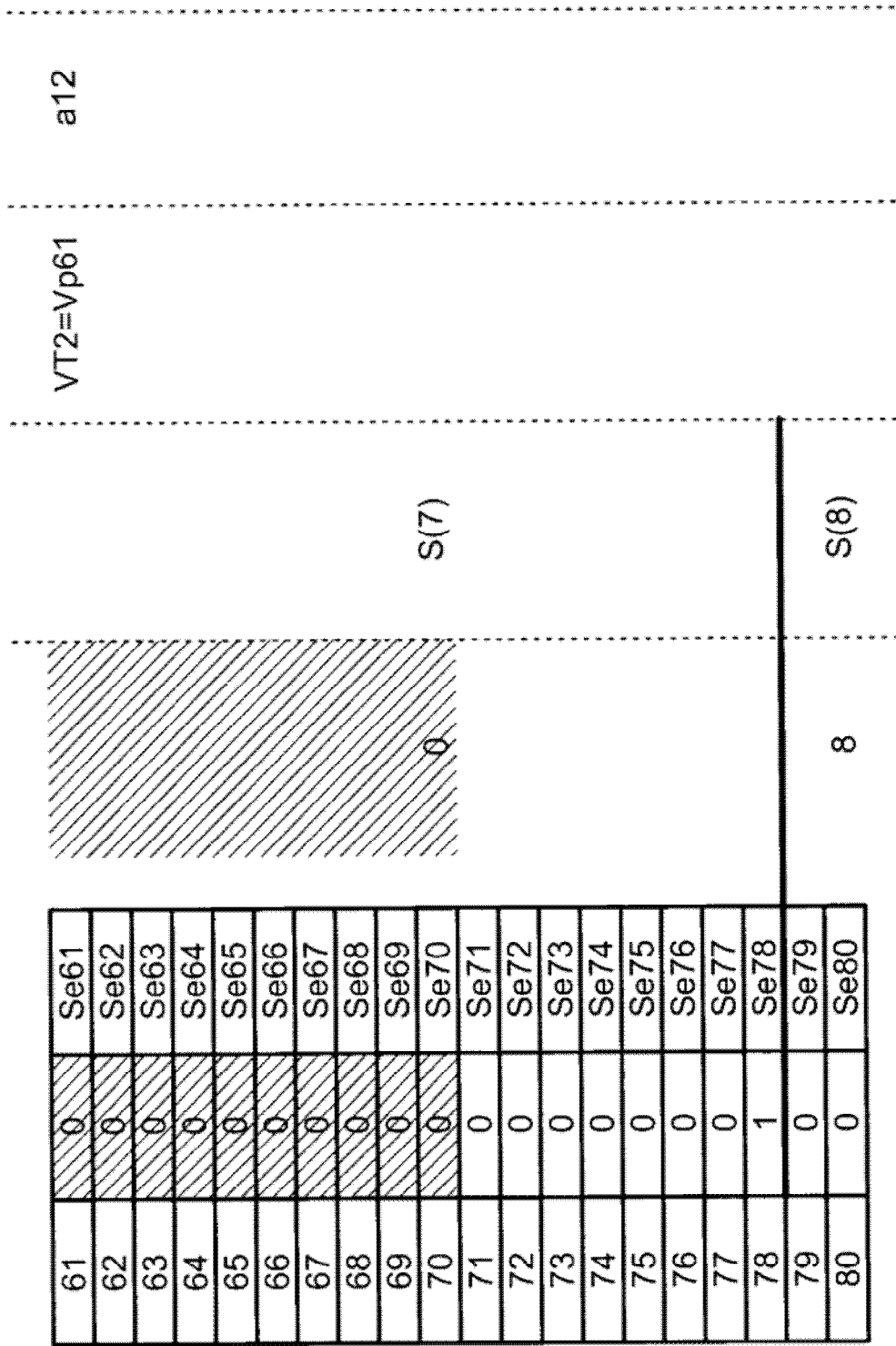


Fig. 19C Parte 4

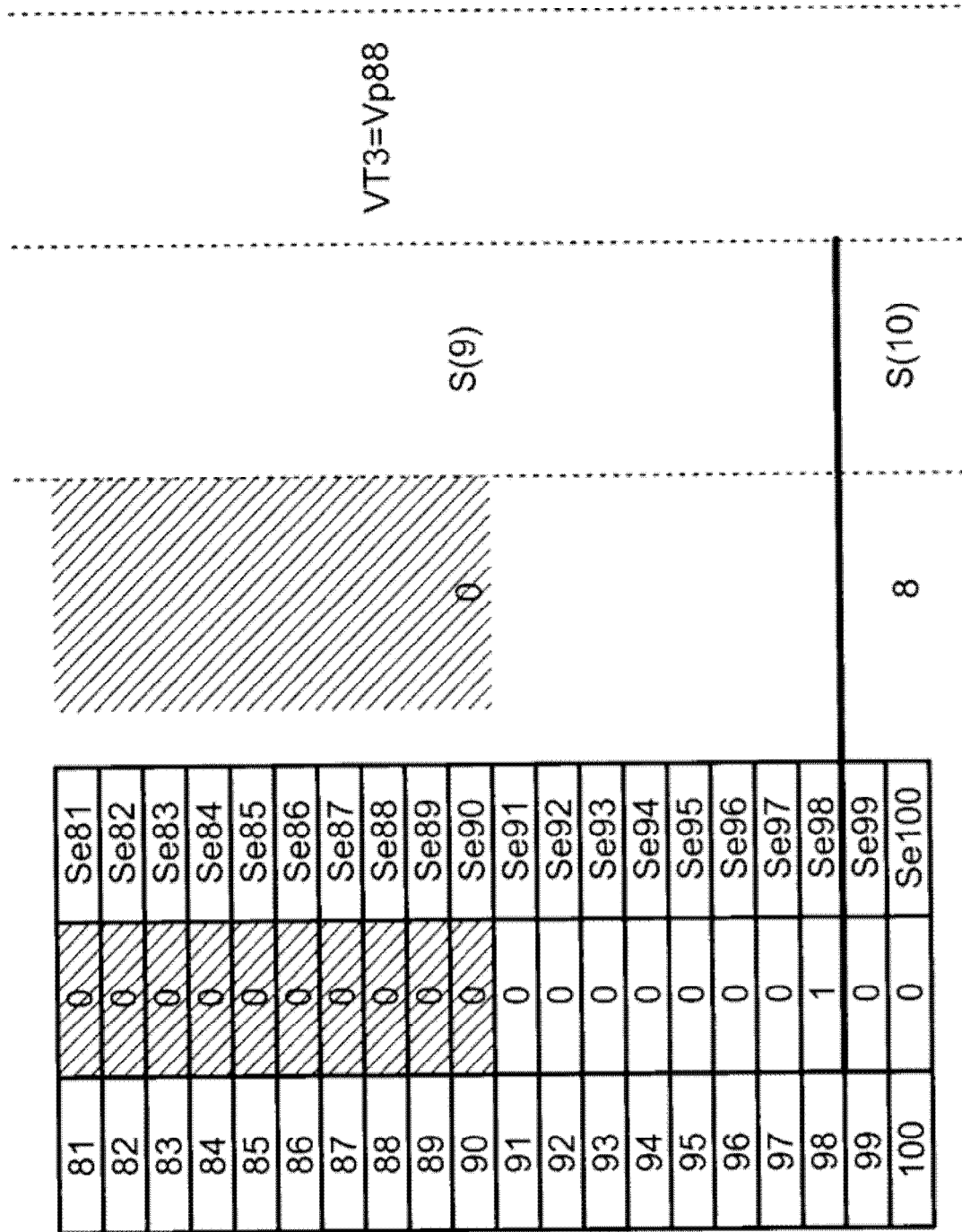


Fig. 19C Parte 5

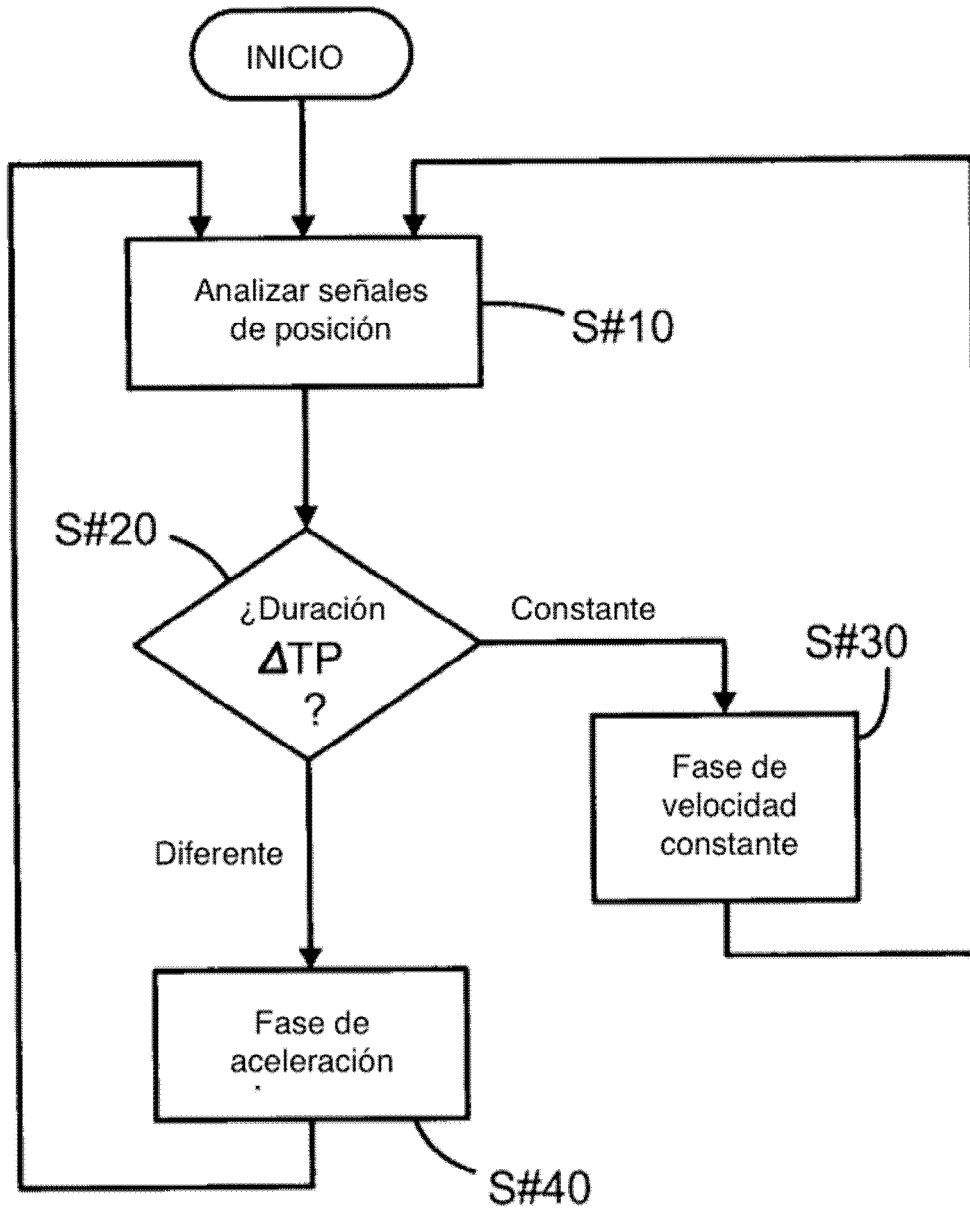


Fig. 19D

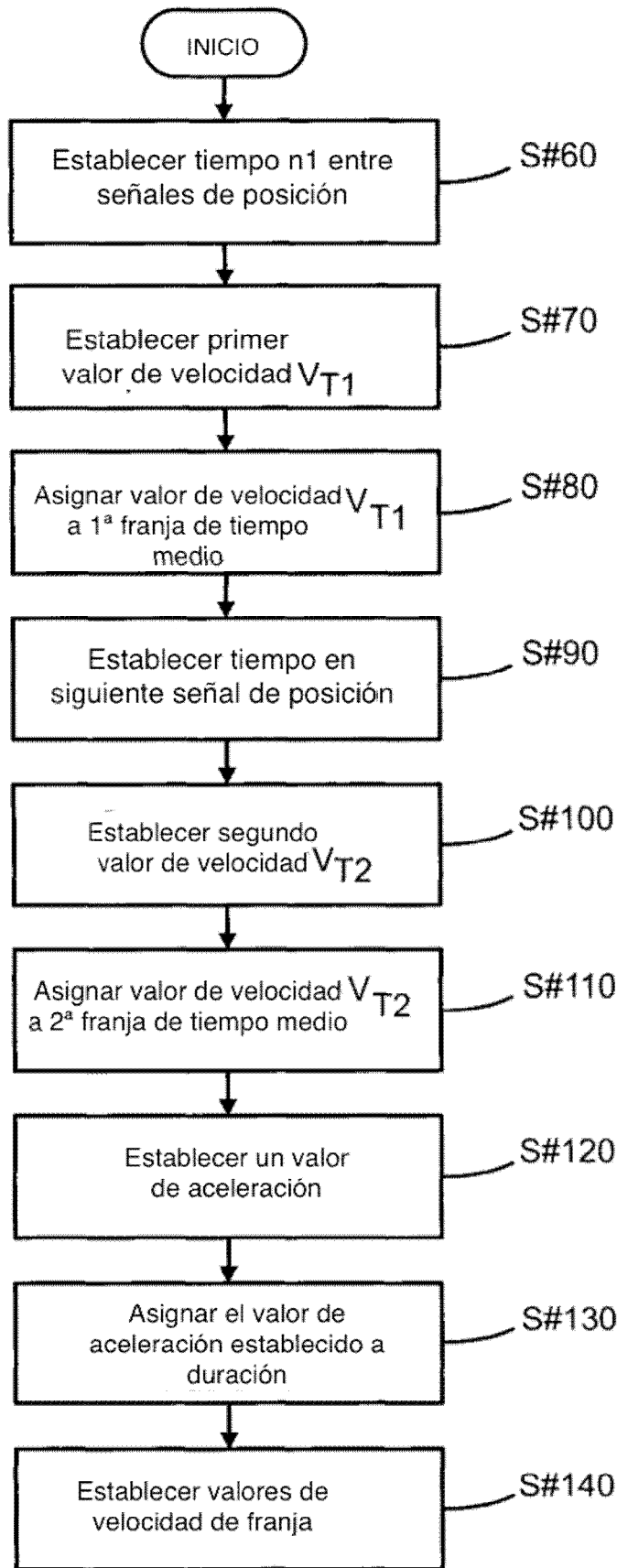


Fig. 19E

1ª y 2ª franja de tiempo medio

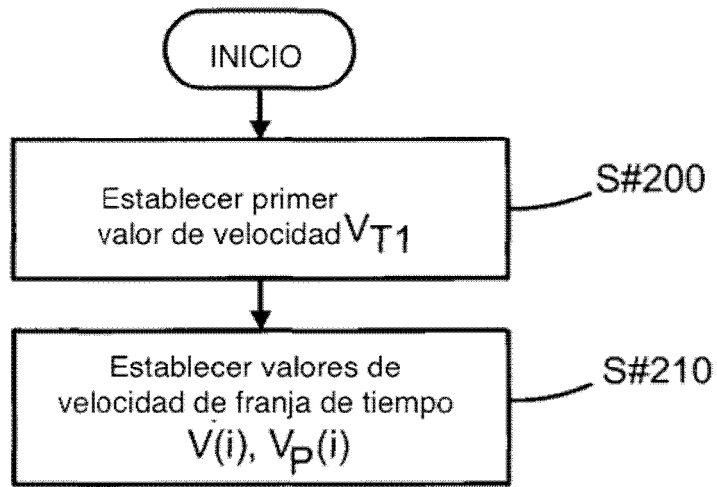


Fig. 19F

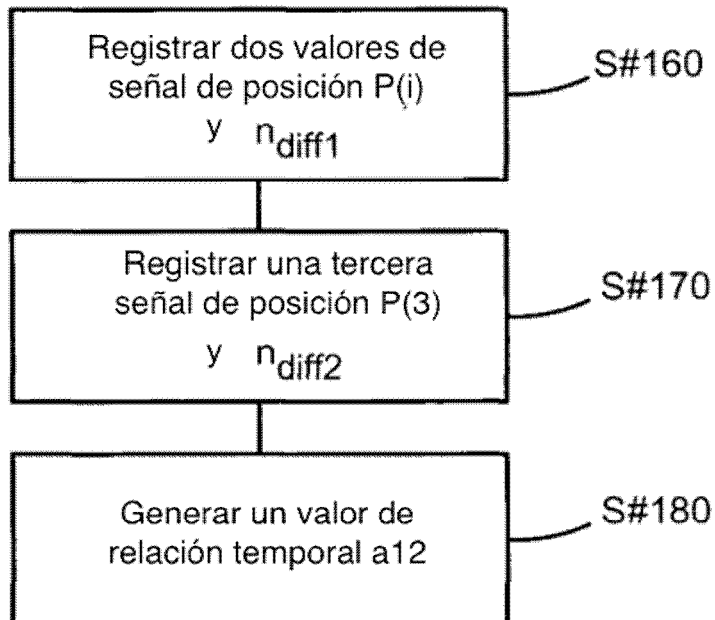


Fig. 19H

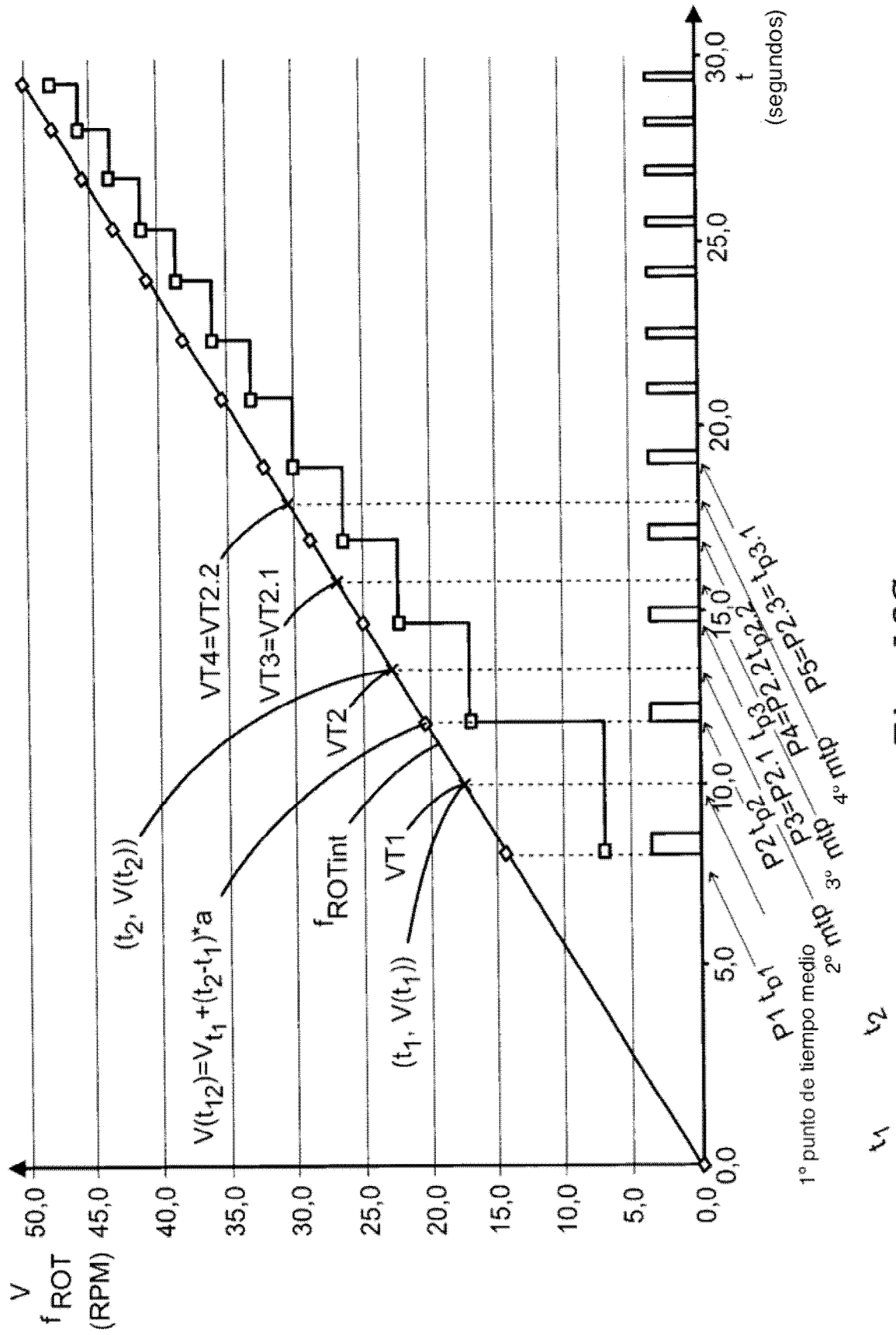


Fig. 19G

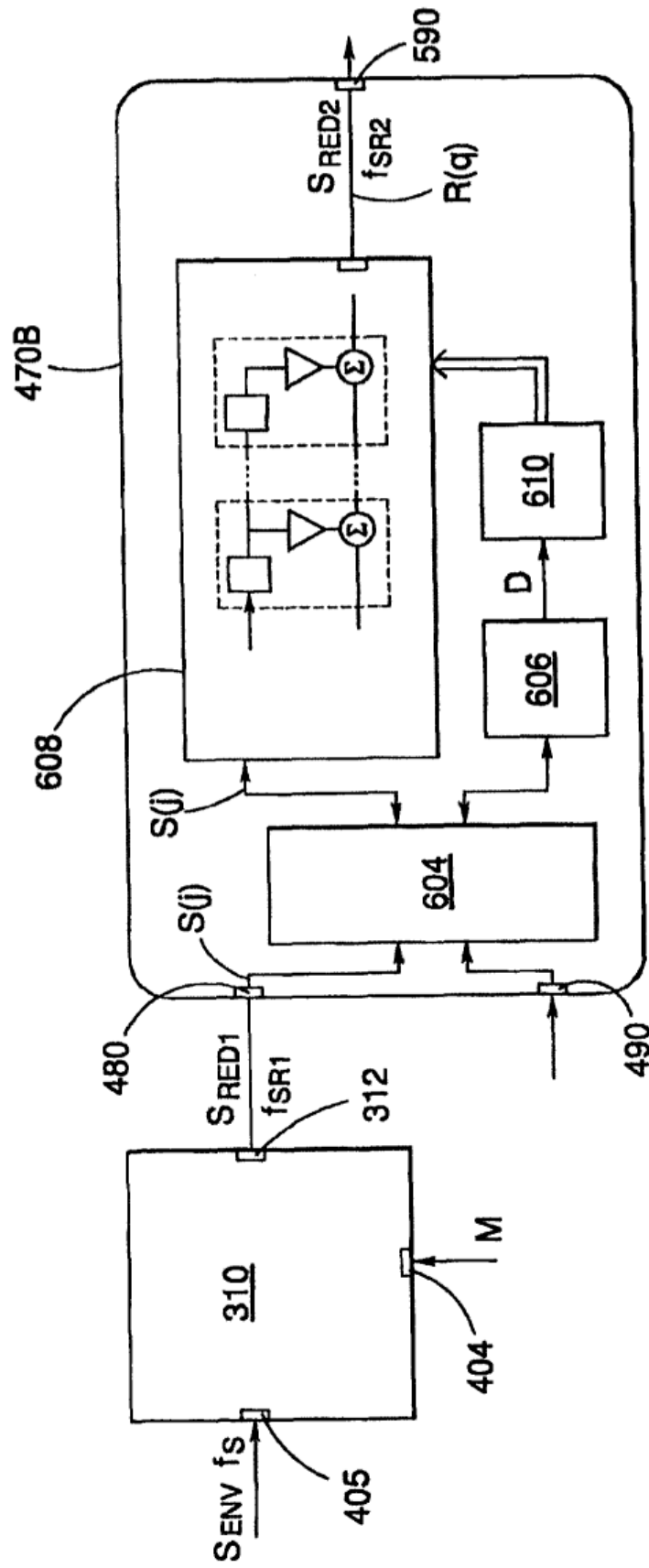


Fig. 20

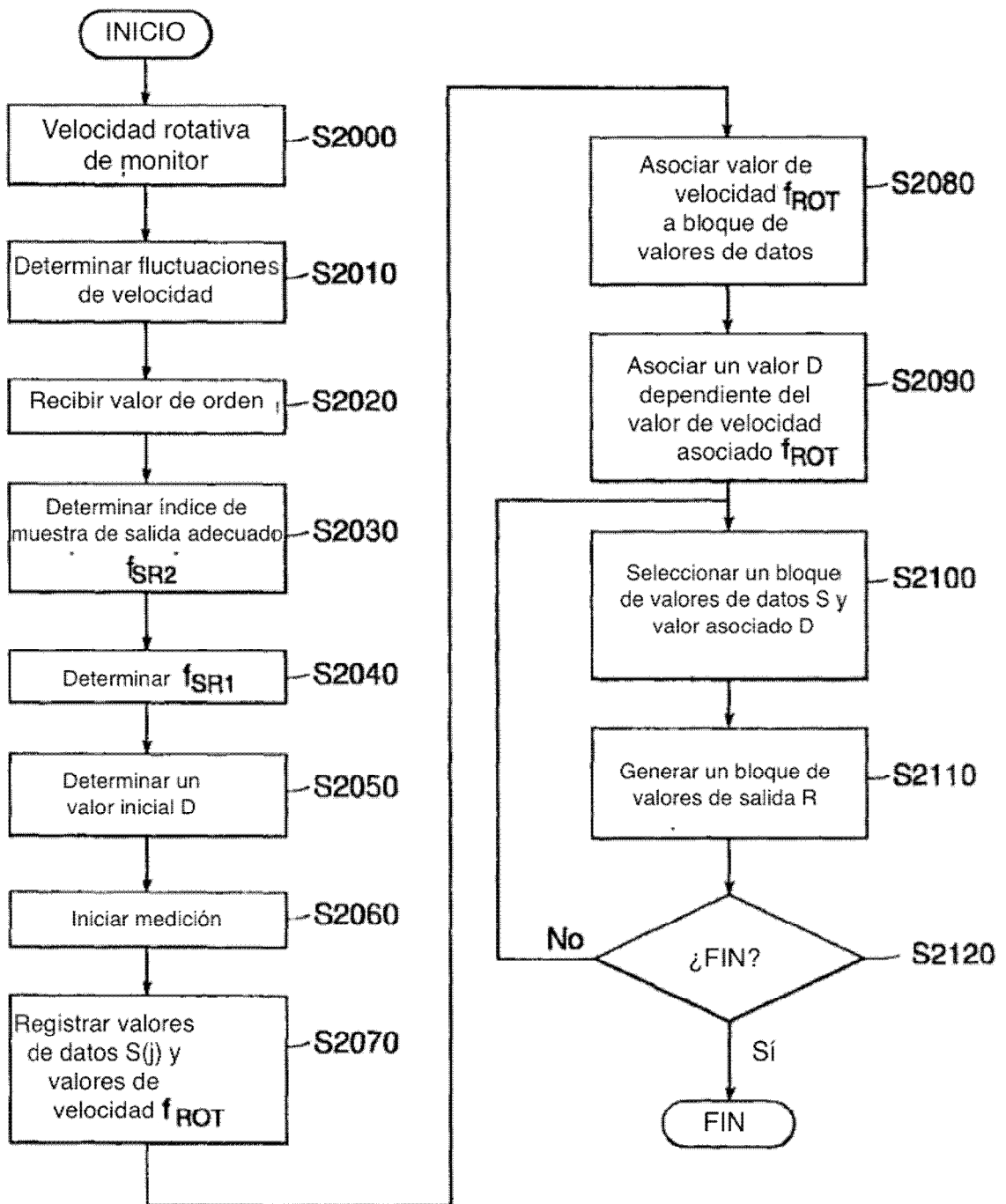
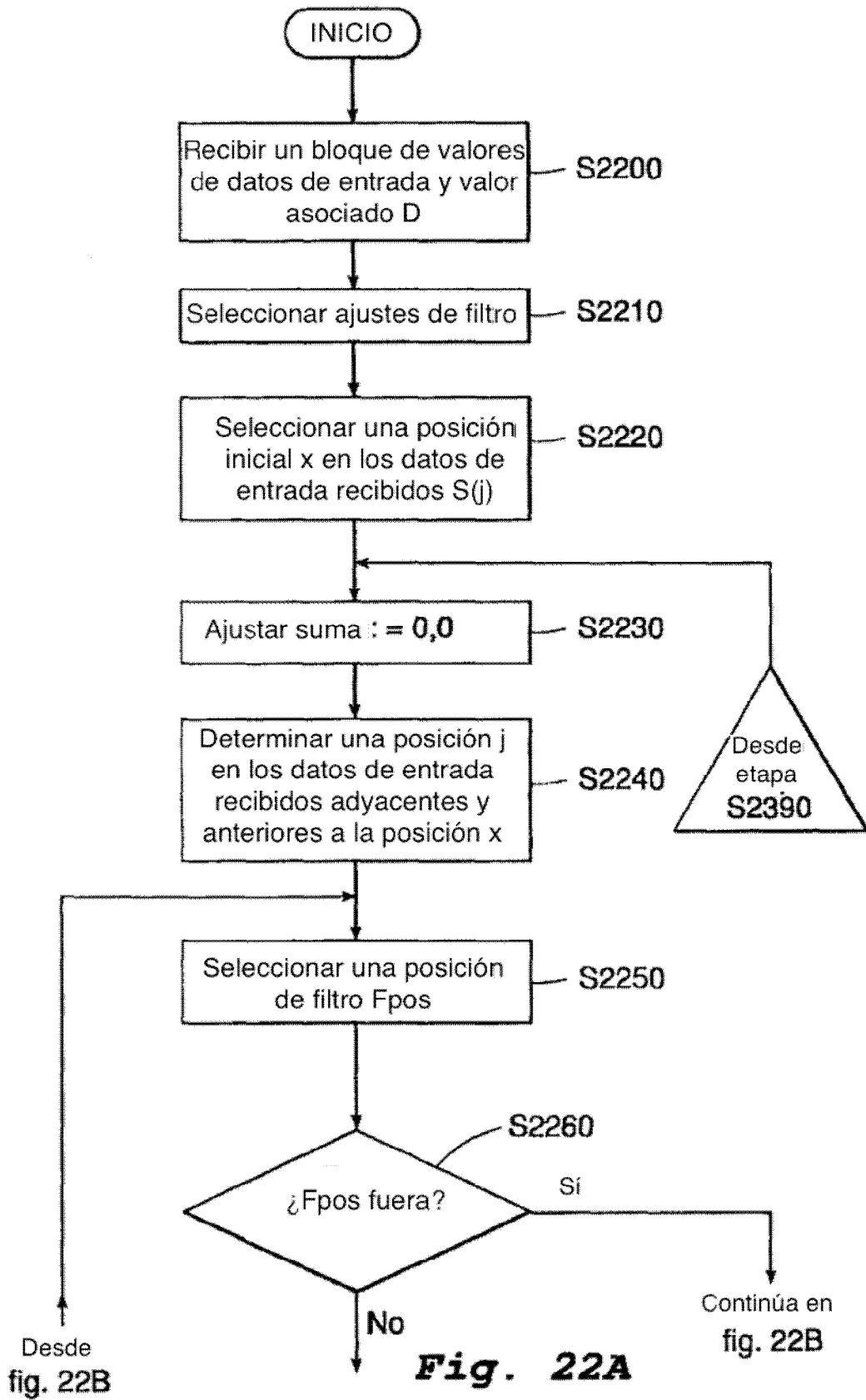


Fig. 21



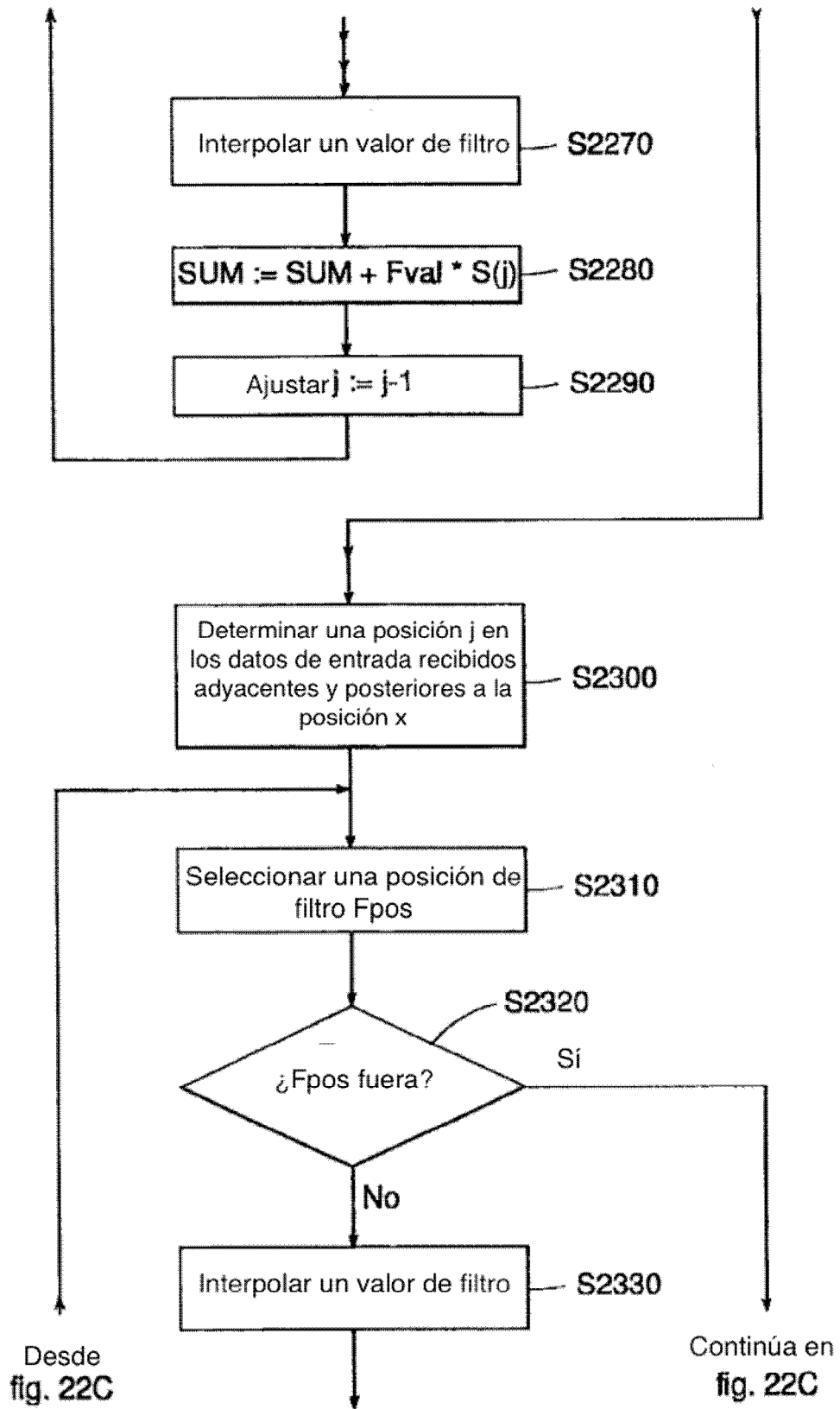


Fig. 22B

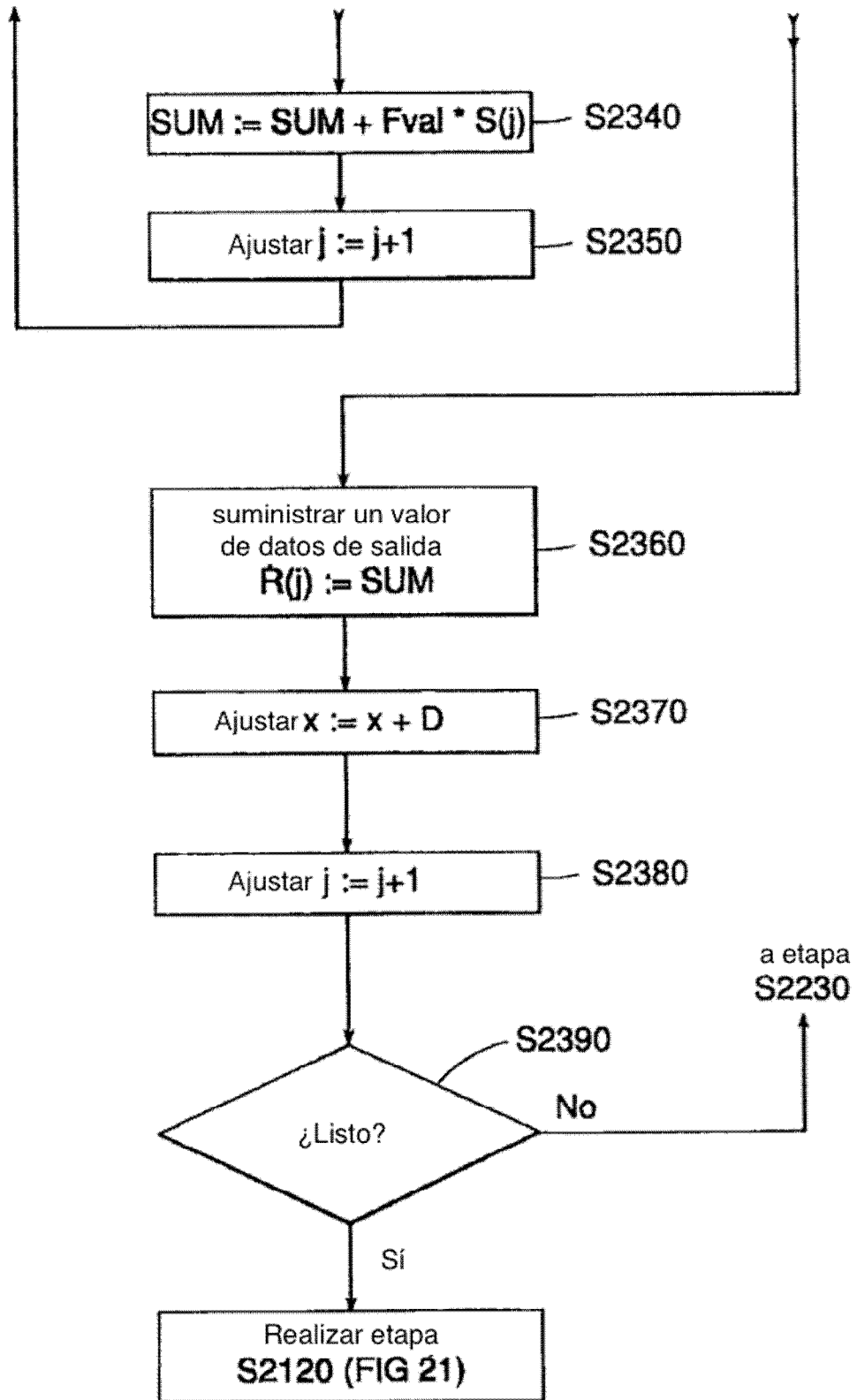


Fig. 22C

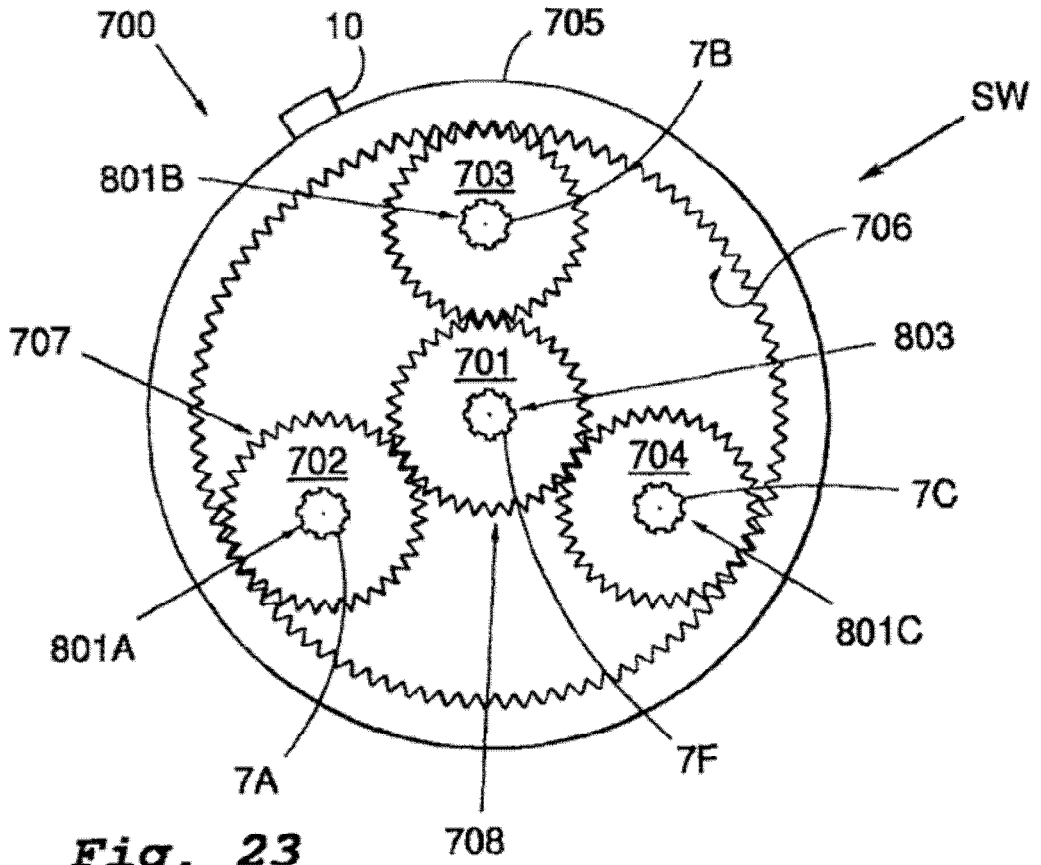


Fig. 23

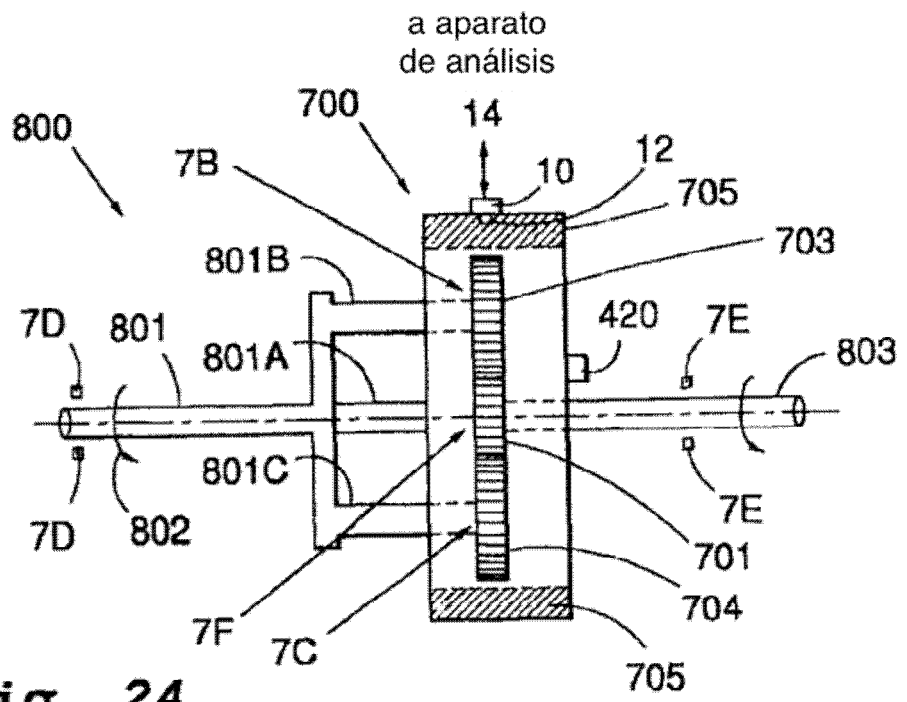


Fig. 24

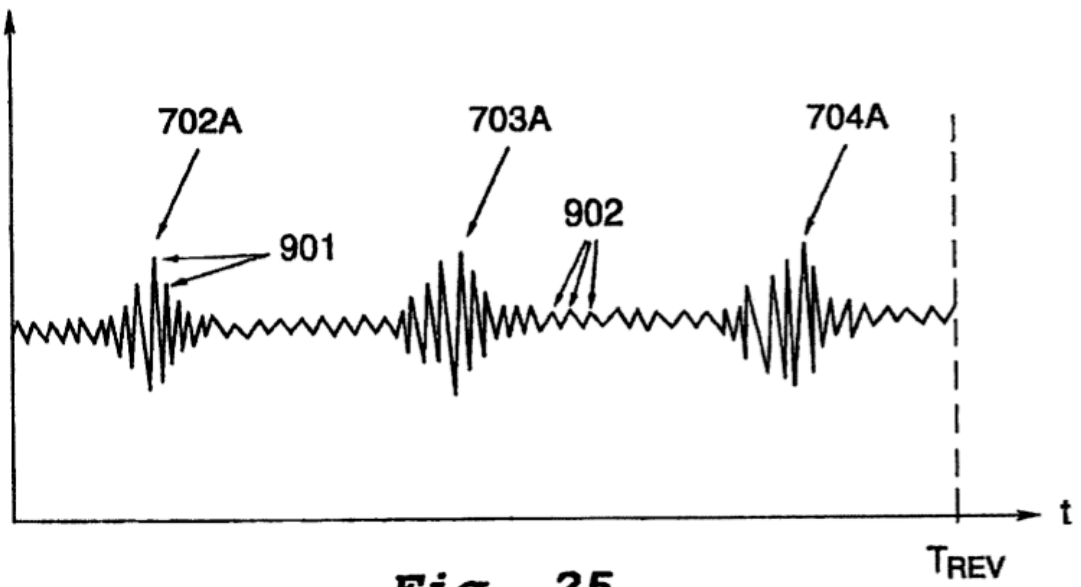


Fig. 25

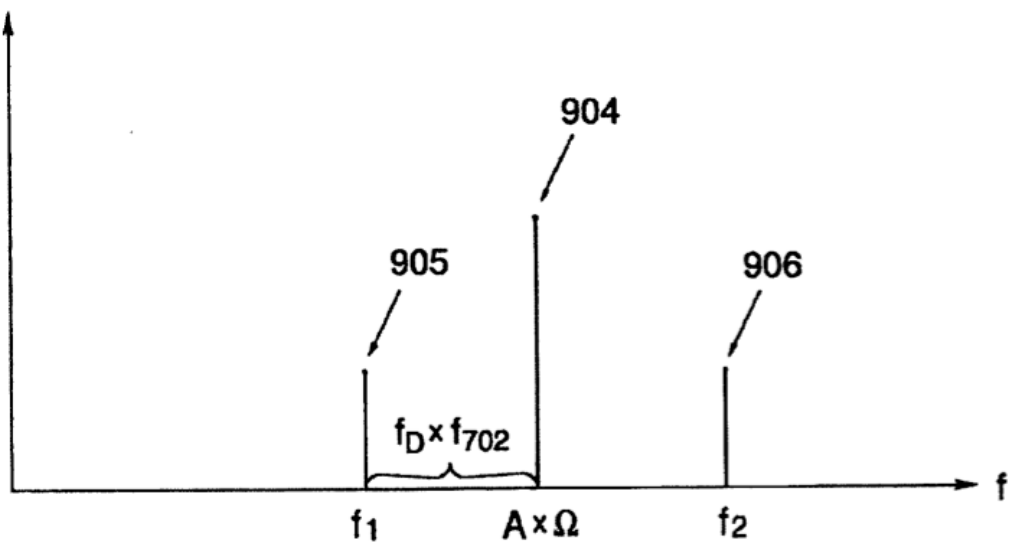


Fig. 27

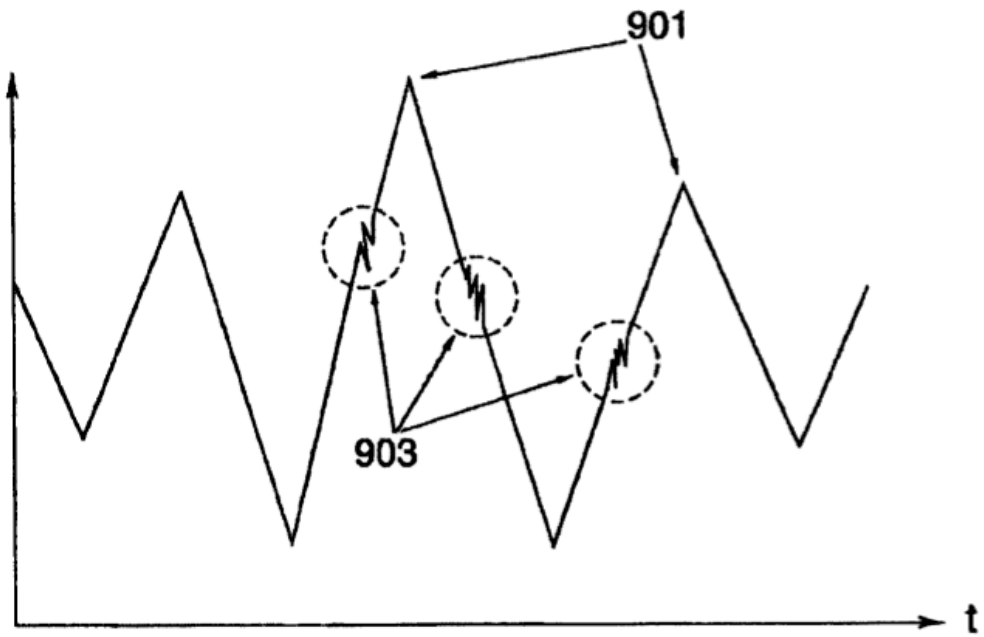


Fig. 26

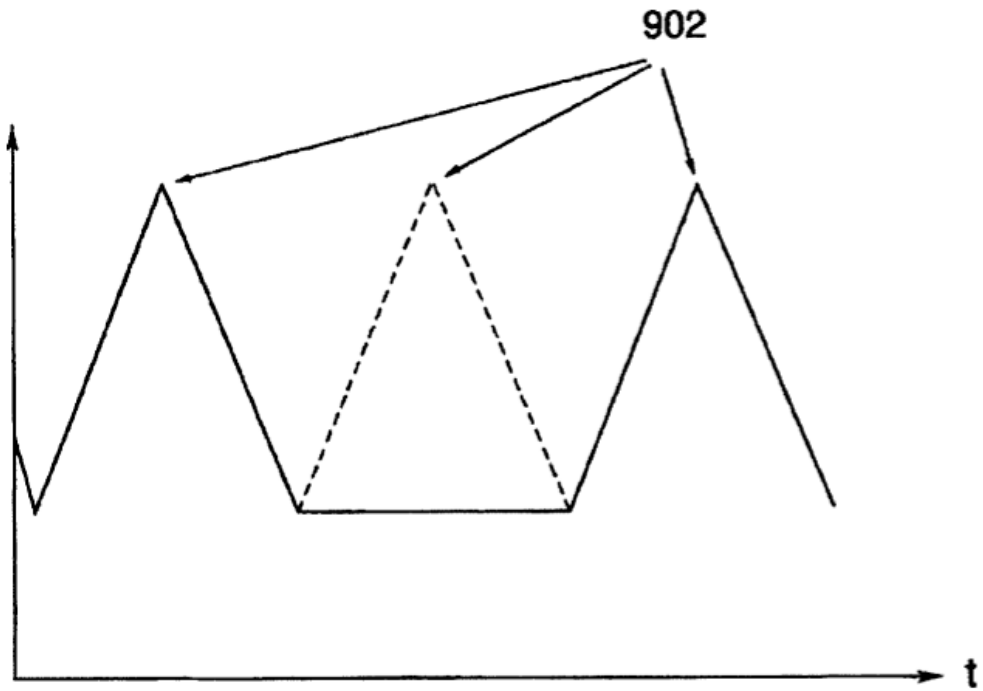


Fig. 28

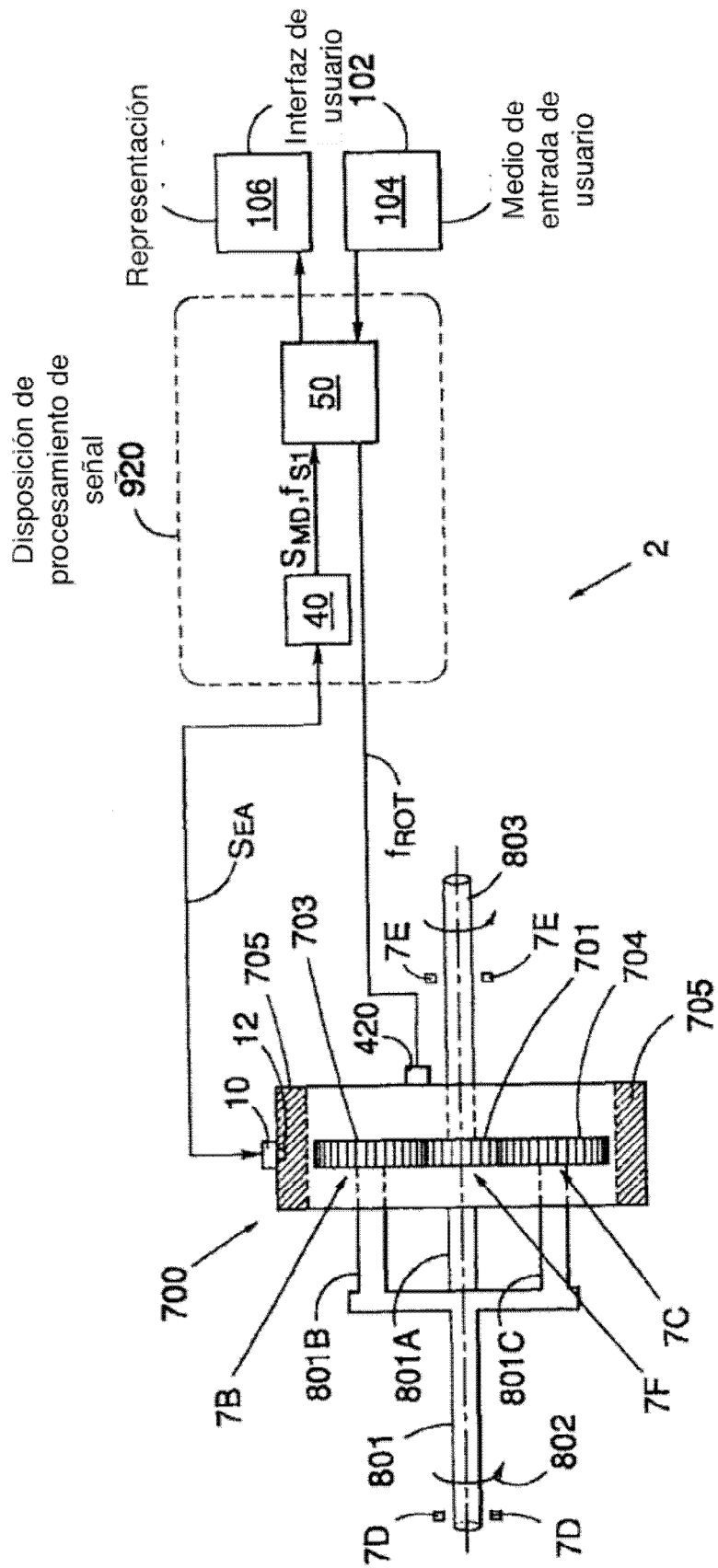


Fig. 29

