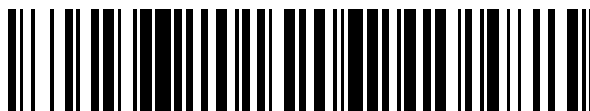


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 549 183**

51 Int. Cl.:

**G01N 29/44** (2006.01)

**G01N 29/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2009** **E 09741937 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2015** **EP 2277039**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para clasificar procesos que generan sonidos**

30 Prioridad:

**05.05.2008 DE 102008022125**

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

**23.10.2015**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)**  
**Wittelsbacherplatz 2**  
**80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**HÖGE, HARALD**

74 Agente/Representante:

**PÉREZ BARQUÍN, Eliana**

ES 2 549 183 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).

**PROCEDIMIENTO Y DISPOSITIVO PARA CLASIFICAR PROCESOS QUE GENERAN SONIDOS****DESCRIPCIÓN**

- 5 La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para clasificar procesos que generan sonidos, por ejemplo señales de sonidos que se generan en procesos de trabajo de una máquina o en procesos químicos de una instalación.
- 10 El documento DE 10 2004 023 824 A1 describe un procedimiento y un dispositivo para enjuiciar un grado de calidad de un objeto mediante una prueba no destructiva utilizando señales de sonido, captándose entonces las señales de sonido y extrayéndose a partir de las señales de sonido captadas características, para constituir modelos adaptados en base a modelos de referencia.
- 15 En la mayoría de los procesos se generan señales de sonido y/o de vibraciones, que caracterizan el proceso. Por ejemplo en procesos químicos pueden formarse burbujas de gas, que originan ruidos en equipos de tanques o en tuberías. Otro ejemplo lo representan máquinas y/o componentes de máquinas que en procesos de fabricación continuos o discontinuos generan en función de su estado de servicio, y dado el caso de las condiciones del entorno, señales características de sonido y/o vibración.
- 20 El análisis de datos de medida de procesos técnicos se utiliza entre otros para descubrir componentes defectuosos. El análisis de datos de medida, en particular de procesos que generan sonidos, puede realizarse mediante modelos físicos o mediante modelos estadísticos del correspondiente proceso. Estos modelos se crean por lo general en un proceso prototipo bajo condiciones de laboratorio y en campo, por ejemplo durante la utilización de un aparato en una nave de fábrica. Puede suceder entonces que los
- 25 datos de medida que se obtienen en base a los procesos que generan sonidos se vean influidos por señales de un entorno que varía, por ejemplo al variar la acústica de una sala. Además puede suceder que la máquina investigada o bien el proceso investigado funcione bajo otras condiciones de servicio o con piezas de máquina modificadas. Si se utilizan sin modificaciones en campo los modelos físicos o estadísticos obtenidos de un prototipo del proceso, puede descender la calidad de los análisis tanto que
- 30 no pueda lograrse una clasificación satisfactoria del proceso investigado y/o de la máquina investigada. Por ejemplo no se detecta a tiempo una pieza averiada de la máquina como defectuosa.
- Por ello se adaptan tradicionalmente los modelos físicos y/o estadísticos del proceso a investigar a condiciones que varían, para garantizar una calidad suficiente de los análisis. Si se investiga por ejemplo
- 35 un proceso de trabajo de una pieza de una máquina, puede tomarse en consideración en base a la señal de sonido provocada por la pieza de máquina una determinada característica de la señal de sonido captada para la clasificación. Una posible característica de la señal de sonido es la intensidad de la señal de sonido o de la señal de ruido. Si la intensidad de la señal de ruido sobrepasa un valor de umbral predeterminado, se clasifica la pieza de máquina investigada como defectuosa y se señaliza la correspondiente falta. Desde luego cuando varían las condiciones del entorno, por ejemplo debido a un
- 40 aparato adicional colocado junto a la pieza de una máquina, por ejemplo un ventilador que provoca una señal de ruido adicional, se sobrepasa el nivel de intensidad o el umbral previamente ajustado y una pieza de la máquina sin faltas se clasifica erróneamente como defectuosa. Por ello en la forma de proceder tradicional el ajuste de un valor de umbral o criterio de clasificación suficientemente expresivo es costoso y lleva mucho tiempo, ya que en determinadas circunstancias tienen que medirse también señales de
- 45 ruidos de piezas de máquina defectuosas que al respecto han de instalarse adicionalmente en la máquina para ajustar un valor de umbral adecuado. Un inconveniente adicional de la manera de proceder tradicional consiste en que cuando varían muy rápidamente las señales del entorno la necesaria adaptación de los modelos físicos y estadísticos tiene lugar a menudo con demasiada lentitud, con lo que
- 50 no puede lograrse a tiempo la calidad necesaria en los análisis.
- Por ello es un objetivo de la presente invención lograr un procedimiento y un dispositivo para clasificar procesos que generan sonidos que realicen una adaptación automática del modelo con un reducido coste de cálculo y que garanticen una clasificación correcta de los procesos que generan sonidos, incluso
- 55 cuando las condiciones del entorno varíen rápidamente.
- Este objetivo se logra en el marco de la invención mediante un procedimiento con las características indicadas en la reivindicación 1.
- 60 La invención logra un procedimiento para clasificar procesos que generan sonidos con las siguientes etapas:
- captación de señales de sonido provocadas por procesos que generan sonidos,
  - extracción de características predeterminadas a partir de las señales de sonido captadas para el
  - 65 - cálculo de una similitud entre las señales de sonido captadas en base a las características extraídas para agrupar procesos con señales de sonido similares entre sí en clusters de procesos,

- adaptación de parámetros de distribución estadísticos de un modelo de referencia en función de los parámetros de distribución estadísticos de aquellos procesos contenidos en aquel cluster de procesos con la máxima cantidad de procesos allí agrupados, para generar un modelo adaptado,
- clasificación de los procesos que generan sonidos basándose en el modelo adaptado.

5

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se genera la señal de sonido mediante un proceso de trabajo de una máquina.

10

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se genera la señal de sonido mediante un proceso químico de una instalación.

15

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se forma la señal de sonido mediante una señal de sonido a través del aire o mediante una señal de sonido a través de cuerpos sólidos.

20

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se transforma la señal de sonido captada mediante un sensor en una señal eléctrica.

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se filtra la señal eléctrica en un filtro pasobajo.

25

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se transforma la señal filtrada en un pasobajo mediante un convertidor analógico-digital en una señal digital.

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se someten ventanas de tiempo predeterminadas de la señal de sonido digitalizada a una transformación de frecuencias para generar un espectro de señales de sonidos.

30

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se extraen características de la señal de sonido a partir de la gama de tiempos o a partir de la gama de frecuencias.

35

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se forman para cada proceso generador de sonidos en diversos instantes de medida vectores de características, que presentan las características extraídas.

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se calculan a partir de varios vectores de características de un proceso para cada característica parámetros de distribución estadísticos.

40

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención presentan los parámetros de distribución estadísticos de una característica un valor medio y una varianza de la correspondiente característica.

45

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se calcula una distancia entre los parámetros de distribución estadísticos de diversas señales de sonido para determinar una similitud entre las señales de sonidos.

50

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se agrupan en un cluster de proceso señales de sonidos similares entre sí de procesos cuyos parámetros de distribución estadísticos presentan entre sí una reducida distancia.

55

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se calculan los parámetros de distribución estadísticos del modelo de referencia en base a características extraídas de una señal de sonido emitida por un prototipo.

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se determina la cantidad de procesos dentro de los diversos clusters de procesos formados.

60

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se selecciona aquel cluster de procesos cuyo número de procesos allí agrupados es máximo.

65

En una forma de ejecución del procedimiento correspondiente a la invención se realiza la clasificación de los procesos que generan sonidos basándose en el modelo adaptado mediante un procedimiento Maximum-Likelihood (máxima probabilidad).

La invención logra además un dispositivo para clasificar procesos que generan sonidos con:

- al menos un sensor para captar señales de sonidos provocadas por procesos que generan sonidos,
  - una memoria para memorizar un modelo de referencia que presenta parámetros de distribución estadísticos para características predeterminadas de una señal de sonido,
  - una unidad de adaptación para extraer las características a partir de las señales de sonidos captadas de los procesos y para calcular una similitud entre las señales de sonidos captadas en base a las características extraídas para agrupar los procesos en diversos clusters de procesos con señales de sonidos similares entre sí,
- adaptando la unidad de adaptación el modelo de referencia memorizado en función de parámetros de distribución estadísticos de aquellos procesos contenidos en aquel cluster de procesos con la máxima cantidad de procesos,
- y con una unidad de clasificación que clasifica los procesos generadores de sonidos basándose en el modelo adaptado.
- A continuación se describirán formas de ejecución preferentes del procedimiento correspondiente a la invención y del equipo correspondiente a la invención para clasificar procesos generadores de sonidos con referencia a las figuras adjuntas para describir características esenciales para la invención.
- Se muestra en:
- figura 1 un ejemplo de aplicación sencillo para ilustrar el procedimiento correspondiente a la invención,
  - figura 2 un diagrama secuencial de una forma de ejecución posible del procedimiento correspondiente a la invención para clasificar procesos generadores de sonidos;
  - figura 3 un esquema de bloques de un ejemplo de ejecución de un dispositivo correspondiente a la invención para clasificar procesos que generan sonidos;
  - figura 4 un ejemplo de ejecución de un dispositivo correspondiente a la invención para clasificar procesos que generan sonidos;
  - figuras 5A, 5B diagramas para clarificar el procedimiento correspondiente a la invención para clasificar procesos que generan sonidos;
  - figura 6 un ejemplo sencillo para clarificar el procedimiento correspondiente a la invención para clasificar procesos que generan sonidos;
  - figuras 7A, 7B diagramas para clarificar el procedimiento correspondiente a la invención en base al ejemplo representado en la figura 6;
  - figura 8 un modelo abstracto para clarificar el procedimiento correspondiente a la invención para clasificar procesos que generan sonidos.
- Un ejemplo sencillo de aplicación del procedimiento correspondiente a la invención para clasificar procesos generadores de sonidos se representa en la figura 1. Varios vagones W de un tren se mueven sobre un carril S. Los vagones W corren sobre ruedas R, que durante el proceso de rodadura y debido al rozamiento generan una señal de sonido. Esta señal de sonido presenta por un lado un sonido a través del aire y por otro lado un sonido a través de cuerpos sólidos. Si marchan las ruedas R a través de una sobreelevación o una traviesa del carril, aumenta la amplitud de la señal del sonido. En el ejemplo representado está defectuosa la rueda delantera del segundo vagón W2. Esta rueda defectuosa o pieza de máquina defectuosa genera otra señal de sonido diferente de la de las otras ruedas no defectuosas del tren. Con el procedimiento correspondiente a la invención es posible clasificar una tal pieza de máquina averiada como defectuosa. En el sencillo ejemplo de ejecución representado en la figura 6 se realiza la clasificación de los procesos que generan sonidos de diversas piezas de máquina similares. En el ejemplo presente el proceso es un proceso de trabajo que genera sonidos. El procedimiento correspondiente a la invención es desde luego adecuado para cualquier clase de procesos en los que se genera una señal de sonido y/o una señal de vibración. Por ejemplo puede realizarse también una clasificación de procesos químicos que generan sonidos en los que se forman por ejemplo gases, que provocan señales de sonidos y/o de vibraciones en tubos o equipos de tanques.
- La figura 2 muestra un diagrama secuencial de una forma de ejecución posible del procedimiento correspondiente a la invención para clasificar procesos que generan señales.
- En una etapa S1 se captan señales de sonidos generadas por los procesos, por ejemplo por los procesos que generan sonidos que vienen provocados por las seis ruedas R representadas en la figura 1. Las señales de sonidos son detectadas por ejemplo mediante grabadoras de sonidos y/o sensores de vibraciones que se encuentran en las proximidades del lugar en el que corre el proceso P que genera sonidos.
- En una etapa S2 se extraen determinadas características m a partir de las señales de sonidos captadas para el correspondiente proceso P. Una señal de sonido puede presentar una pluralidad de características m diferentes. Una posible característica m es por ejemplo la intensidad o bien el nivel del sonido de la señal de sonido. Otras posibles características son amplitudes o bien niveles de señal a distintas

- frecuencias, en particular frecuencias de modulación. Estas frecuencias pueden venir predeterminadas por ejemplo por una frecuencia de giro  $f_{rot}$  de un cuerpo que gira. En el sencillo ejemplo de ejecución representado en la figura 1 una característica m posible es la amplitud  $A(f)$  de la señal de sonido a la frecuencia de giro o frecuencia de rotación  $f_{rot}$  de las ruedas R. Si se encuentra por ejemplo en la superficie de rodadura de la rueda R sobre el radio un defecto, provoca el mismo para cada giro completo de la rueda una modificación característica de la señal de sonido. El número de características m predeterminadas puede variar. Por ejemplo pueden prescribirse de 10 a 500 características m de la señal de sonido. Estas distintas características m forman un vector de características V de la señal de sonido.
- En otra etapa S3 del procedimiento correspondiente a la invención se calcula una similitud entre las señales de sonido captadas en base a las características extraídas para el agrupamiento de procesos con señales de sonido similares entre sí en clusters de proceso C. Entonces se calcula por ejemplo una distancia  $\Delta$  o bien una separación entre los vectores de características V en un espacio vectorial multidimensional.
- En una etapa S4 se adaptan parámetros de distribución estadísticos de un modelo de referencia en función de los parámetros de distribución estadísticos de aquellos procesos P contenidos en aquel cluster de proceso que presenta el máximo número de procesos allí agrupados.
- El modelo de referencia adaptado en la etapa S4 se utiliza en la etapa S5 para clasificar los procesos generadores de sonidos P. La clasificación en la etapa S5 puede realizarse por ejemplo mediante un algoritmo Maximum-Likelihood (máxima probabilidad).
- La figura 3 muestra un ejemplo de ejecución de un dispositivo 1 correspondiente a la invención para clasificar procesos que generan sonidos. El dispositivo 1 presenta al menos un sensor 2 para captar señales de sonidos y/o vibraciones provocados por un proceso generador de sonidos P. El sensor 2 es por ejemplo un micrófono para captar una señal de sonido. En una forma de ejecución alternativa capta el sensor 2 una señal de sonido a través de un cuerpo y está alojado por ejemplo en una carcasa de una máquina. El sensor 2 transforma la señal acústica y/o de vibración en una señal eléctrica y transmite la misma como datos de medida M a través de una línea 3 a una unidad de adaptación 4. La unidad de adaptación 4 extrae determinadas características m a partir de las señales de sonido captadas procedentes de los procesos P y calcula una similitud entre las señales de sonido captadas en base a las características extraídas. En base a la similitud calculada entre las señales de sonidos, se agrupan los procesos P en clusters de procesos C, que presentan señales de sonido similares entre sí. La unidad de adaptación 4 adapta a continuación un modelo de referencia, que por ejemplo se lee a través de una línea 5 de una memoria 6, en función de parámetros de distribución estadísticos de aquellos procesos P que están contenidos en aquel cluster de proceso C con la máxima cantidad de procesos P allí agrupados.
- Una unidad de clasificación 7 conectada mediante líneas 8 con la unidad de adaptación 4, clasifica a continuación los procesos P generadores de sonidos basándose en el modelo adaptado mediante la unidad de adaptación 4 y en los datos de medida M de los procesos P.
- La figura 4 muestra un posible ejemplo de ejecución de un dispositivo 1 correspondiente a la invención para clasificar procesos P que generan sonidos.
- En una máquina genera un proceso P generador de sonidos un sonido y/o señal de vibración, que se capta mediante un micrófono 2. La señal de sonido a través del aire se transforma mediante el micrófono 2 en una señal eléctrica y se filtra en pasobajo mediante un filtro pasobajo 9. La señal filtrada en pasobajo se explora y digitaliza mediante un convertidor analógico-digital 10 con una determinada frecuencia de exploración. La figura 5A muestra un ejemplo de una señal de sonido digitalizada, emitida por el convertidor analógico-digital 10. Una unidad de inventanar 11 forma ventanas de tiempo o bien segmentos de la señal digitalizada. En el ejemplo representado en la figura 5A se emiten siete valores de exploración o muestras s1-s7 en una ventana de tiempo. La duración o bien la extensión de la ventana de tiempo puede ajustarse preferentemente. La ventana de tiempo que contiene varios valores de exploración S se lleva a una unidad transformadora de frecuencias 12. La ventana de tiempo de la señal de sonido digitalizada se somete mediante la unidad transformadora de frecuencias 12 a una transformación de frecuencias para generar un espectro de señales de sonidos. Por ejemplo se somete la señal de sonido colocada en ventanas a una transformación rápida de Fourier (Fast-Fourier Transformation FFT), para formar el correspondiente espectro de señales de sonido de la ventana de tiempos. A continuación forma una unidad de cantidades 13 la cantidad del espectro de señales de sonidos. La figura 5B muestra un ejemplo de un espectro provocado por un cuerpo que gira con una determinada frecuencia de rotación  $f_{rot}$ . En la frecuencia de base  $f_{rot}$  y los rizados armónicos presenta el espectro de frecuencias típicamente máximos de amplitud.
- En el ejemplo de ejecución representado en la figura 4 se extraen características m de la señal de sonido tanto a partir de la señal de sonido en el tiempo como también a partir del espectro de frecuencias. Para ello presenta la unidad de adaptación 4 una unidad 4-1 para la extracción de características en el tiempo y

una unidad 4-2 para la extracción de características relativas a la frecuencia. Las características  $m_z$  en la gama de tiempos pueden ser por ejemplo las amplitudes sumadas de los diversos valores de exploración en la ventana de tiempos o bien la intensidad de la señal de sonido. En las características relativas a las frecuencias pueden evaluarse por ejemplo las amplitudes en la frecuencia de base  $f_{rot}$  y en rizados armónicos, es decir, múltiplos de la frecuencia de base. Alternativamente puede incluirse también por ejemplo la energía de la señal dentro de una gama de frecuencias FB del espectro como característica. Para cada gama de frecuencias FB puede calcularse un correspondiente valor de energía calculado, que resulta por ejemplo de la amplitud de las componentes espectrales. Si se incluye por ejemplo como espectro 30 bandas de frecuencias, resultan así 30 características de frecuencia  $m_F$  diferentes. Las características  $m_z$  obtenidas a partir de la gama de tiempos y las características  $m_F$  obtenidas a partir de la gama de frecuencias se conducen a una unidad de procesamiento de datos 4-3 dentro de la unidad de adaptación 4. La unidad de procesamiento de datos 4 es por ejemplo un microprocesador sobre el que corre un programa. La unidad de procesamiento de datos 4 carga a partir de la memoria 6 un modelo de referencia memorizado. La unidad de procesamiento de datos 4 calcula en base a las características  $m_z$ ,  $m_F$  de las señales de sonido captadas de los procesos P una distancia  $\Delta$  entre las señales de sonido captadas en un espacio de características multidimensional, agrupándose aquellos procesos P que presentan señales de sonido similares entre sí o bien cuyas distancias  $\Delta$  calculadas entre sí son cortas en un cluster de procesos C. A continuación selecciona la unidad de tratamiento de datos 4 aquel cluster de procesos C que contiene la máxima cantidad  $Z_{max}$  de procesos P. El modelo de referencia cargado desde la memoria 6 se adapta entonces a los parámetros de distribución estadísticos de aquellos procesos P que están contenidos en el cluster de procesos C más grande. La unidad de clasificación 7 clasifica a continuación los procesos P generadores de sonidos basándose en el modelo adaptado. Se transmite entonces el estado de servicio y/o estado de falta averiguado por la unidad de clasificación 7.

La figura 6 muestra un ejemplo sencillo para clarificar el procedimiento correspondiente a la invención. Tras la captación de las señales de conexión en la etapa S1 se extraen características predeterminadas m de diversos procesos P. Por ejemplo se captan las señales de sonido de seis ruedas R distintas, tal como se representan en la figura 1. En el sencillo ejemplo representado en la figura 6 incluye cada vector de características tres características  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ , por ejemplo un nivel de señal de la señal de sonido como característica  $m_1$ , una amplitud  $A(f)$  a una determinada frecuencia f, por ejemplo la frecuencia de rotación  $f_{rot}$  en la figura 5B como característica  $m_2$  y la energía E de la señal en una determinada banda de frecuencias FB como característica  $m_3$ .

En base a los vectores de características V de los diversos procesos P1 a P6 generados o bien a las diversas piezas de máquina, se realiza un cálculo de similitudes. Para ello se calculan distancias o separaciones entre las características m. En una forma de ejecución posible, se calculan en diversos instantes  $t_1$  a  $t_M$  los vectores de características V para los distintos procesos y a partir de ello se calcula un vector V o bien una matriz de parámetros de distribución estadísticos.

La siguiente ecuación muestra claramente la forma de proceder.

$$P_1 : \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix}_{t_1} \quad \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix}_{t_2} \quad \dots \quad \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix}_{t_M} \rightarrow \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \end{pmatrix}_{P_1}$$

$$P_2 : \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix}_{t_1} \quad \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix}_{t_2} \quad \dots \quad \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix}_{t_M} \rightarrow \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \end{pmatrix}_{P_2}$$

En el ejemplo indicado el parámetro de distribución estadístico es el valor medio  $\mu$  de la característica m de un número predeterminado de puntos de medida. Junto al valor medio estadístico  $\mu$  de los parámetros de distribución estadísticos pueden calcularse otros parámetros de distribución estadísticos, como por ejemplo la varianza  $\sigma$ . Entonces se toma como base por ejemplo una distribución de Gauss según la figura 7B de la distribución estática. También son posibles otras distribuciones estadísticas con otros parámetros de distribución estadísticos.

En base a los parámetros de distribución estadísticos calculados de los diversos procesos P, puede calcularse por pares entre procesos una distancia. Por ejemplo se calcula una distancia  $\Delta$  entre dos procesos P1, P2 como sigue:

$$\text{Distancia } (P_1 / P_2) = | \mu_{1p1} - \mu_{1p2} |^2 + | \mu_{2p1} - \mu_{2p2} |^2 + | \mu_{3p1} - \mu_{3p2} |^2$$

(2) .

Tan pronto como se ha calculado la similitud entre las distintas señales de sonido de los distintos procesos P o bien de las distancias  $\Delta$  entre las señales de sonido en base a los parámetros de distribución estadísticos, pueden agruparse aquellos procesos P que presentan señales de sonido similares entre sí en clusters de procesos C. La figura 7A muestra un ejemplo sencillo para diversos procesos P1-P6 en un espacio de características tridimensional, abarcado por las características m1, m2, m3. En el ejemplo representado en la figura 7A son similares entre sí las señales de sonido de los procesos P1, P2, P4, P5 y forman un cluster  $C_A$ , mientras que las señales de sonido o bien los parámetros de distribución estadísticos de las señales de sonido de los procesos P3, P6 se diferencian de las mismas y forman un cluster de procesos  $C_B$  propio separado del anterior. Puesto que lo más probable es que la cantidad de piezas de máquina o procesos P no defectuosos sea mayor que la cantidad de piezas de máquina o procesos defectuosos o que se vuelvan defectuosos, puede suponerse que los procesos que generan señales P1, P2, P4, P5 del cluster más grande  $C_A$  representan piezas de máquina no defectuosas. Puesto que la cantidad  $Z_A$  de procesos P agrupados dentro del cluster de procesos  $C_A$  es mayor que la cantidad  $Z_B$  de procesos P dentro del cluster de procesos  $C_B$ , se selecciona el cluster de procesos  $C_A$  y se adapta un modelo de referencia de la pieza de máquina, tal como se representa en la figura 6, en base a las características m de los procesos P contenidos en el cluster de procesos  $C_A$ . Por ejemplo se forma como parámetro estadístico de un modelo de referencia memorizado el valor medio  $\mu$  formado por el valor medio de las características m de los procesos P dentro del cluster de procesos  $C_A$ . En una forma de ejecución posible se realiza el cálculo del modelo de referencia adaptado en función de los parámetros de distribución estadísticos de aquellos procesos P contenidos en el cluster de procesos más grande y en función de los parámetros de distribución estadísticos obtenidos hasta ahora del modelo de referencia. En esta forma de ejecución se realiza así la adaptación de forma iterativa y evolutiva.

La figura 8 muestra un modelo matemático abstracto para clarificar el procedimiento correspondiente a la invención. Se obtienen datos de medida M de diversas piezas de máquina de constitución similar, por ejemplo de ruedas R representadas en la figura 1 y se someten a un análisis de similitudes para elegir datos de medidas similares. Los datos de medidas similares o bien las señales de sonido similares entre sí se eligen y se incluyen para la adaptación del modelo. La clasificación de un proceso P se realiza entonces en base a los datos de medida M del correspondiente proceso P y a parámetros de modelo q estadísticos del modelo. Esto conduce a resultados de clasificación E que indican por ejemplo si una pieza de la máquina está defectuosa o no. En una tal adaptación del modelo se adaptan los parámetros del modelo q o bien los parámetros de distribución estadísticos, por ejemplo el valor medio  $\mu$  o la varianza  $\sigma$  de una distribución estadística continuamente mediante datos de medida M similares. Todas las señales de medida o datos de medida M se clasifican mediante la unidad de clasificación 7 en base al modelo adaptado. El procedimiento correspondiente a la invención aprovecha el hecho de que en máquinas en las que están montadas varias piezas de máquina similares, la mayoría de las piezas de máquina no están defectuosas y sus datos de medida pueden utilizarse para adaptar el modelo. Mediante el procedimiento correspondiente a la invención se evitan costosas medidas de adaptación para el análisis de piezas de máquina defectuosas. En particular no es necesario en el procedimiento correspondiente a la invención montar conscientemente piezas de máquina defectuosas y realizar en base a sus señales de ruido una adaptación del modelo. En los modelos estadísticos utilizados en el procedimiento correspondiente a la invención puede determinarse la similitud por ejemplo mediante estadísticas del logaritmo de la similitud (Log-Likelihood Scores) de los datos de medida, pudiendo deducirse a partir de la similitud de las estadísticas (scores) si los datos de medida pertenecen o no a una pieza de máquina defectuosa o proceso incorrecto. Puesto que en la medición participan varias piezas de máquina, no tiene que considerarse cuando la posición de los datos es insegura cada valor de medida en el procedimiento correspondiente a la invención.

# REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para clasificar procesos (P) que generan sonidos con las siguientes etapas:
  - 5 (a) captación (S1) de señales de sonido provocadas por procesos (P) que generan sonidos;
  - (b) extracción (S2) de características (m) a partir de las señales de sonido captadas para el correspondiente proceso (P);
  - 10 (c) cálculo (S3) de una similitud entre las señales de sonido captadas en base a las características (m) extraídas para agrupar procesos (P) con señales de sonido similares entre sí en clusters de procesos (C);
  - (d) adaptación (S4) de parámetros de distribución estadísticos de un modelo de referencia en función de los parámetros de distribución estadísticos de aquellos procesos (P) contenidos en aquel cluster de procesos (C) con la máxima cantidad (Z) de procesos (P) allí agrupados, para generar un modelo adaptado; y
  - 15 (e) clasificación (S5) de los procesos (P) que generan sonidos basándose en el modelo adaptado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la señal de sonido se genera mediante un proceso de trabajo de una máquina.
- 20 3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la señal de sonido se genera mediante un proceso químico de una instalación.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la señal de sonido se genera mediante una señal de sonido a través del aire o mediante una señal de sonido a través de sólidos.
- 25 5. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la señal de sonido captada mediante un sensor (2) se convierte en una señal eléctrica.
- 30 6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que la señal eléctrica se filtra en pasobajo mediante un filtro pasobajo (9).
7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que la señal filtrada en pasobajo se transforma mediante un convertidor analógico-digital (10) en una señal digital.
- 35 8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que ventanas de tiempo predeterminadas de la señal de sonido digitalizada se someten a una transformación de frecuencias para generar un espectro de señales de sonido.
- 40 9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que se extraen características (m) de la señal de sonido a partir de la gama de tiempos o a partir de la gama de frecuencias.
- 45 10. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que para cada proceso (P) que genera sonidos se forman en diversos instantes de medida (t) vectores de características (V) que presentan las características (m) extraídas.
- 50 11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que a partir de varios vectores de características (V) de un proceso (P) se calculan para cada característica (m) parámetros de distribución estadísticos.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que los parámetros de distribución estadísticos de una característica (m) presentan un valor medio ( $\mu$ ) y una varianza ( $\Gamma^2$ ) de la correspondiente característica (m).
- 55 13. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que se calcula una distancia ( $\Delta$ ) entre los parámetros de distribución estadísticos de diversas señales de sonido para determinar una similitud entre las señales de sonido.
- 60 14. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que se agrupan señales de sonido de procesos (P) similares entre sí, cuyos parámetros de distribución estadísticos presentan una pequeña distancia entre sí, en un cluster (C) de procesos.
- 65 15. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los parámetros de distribución estadísticos del modelo de referencia se calculan en base a características extraídas de una señal de sonido emitida por un prototipo.



16. Procedimiento según la reivindicación 14,  
en el que en cada caso se determina una cantidad (Z) de procesos dentro de diversos clusters (C) de procesos formados.
- 5 17. Procedimiento según la reivindicación 16,  
en el que se selecciona aquel cluster (C) de procesos cuya cantidad (Z) de procesos (P) allí agrupados es máxima.
- 10 18. Procedimiento según la reivindicación 1,  
en el que la clasificación de los procesos (P) que generan sonidos se realiza basándose en el modelo adaptado mediante un procedimiento Maximum-Likelihood (de máxima probabilidad).
- 15 19. Equipo para clasificar procesos (P) que generan sonidos con:  
(a) al menos un sensor (2) para captar señales de sonidos, provocadas por los procesos (P) que generan sonidos;  
(b) una memoria (6) para memorizar un modelo de referencia que presenta parámetros de distribución estadísticos para características (m) predeterminadas de una señal de sonido;  
(c) una unidad de adaptación (4) para extraer las características (m) a partir de las señales de sonidos captadas de los procesos (P) y para calcular una similitud entre las señales de sonidos captadas en base a las características (m) extraídas para agrupar los procesos (P) en diversos  
20 clusters (C) de procesos con señales de sonidos similares entre sí, adaptando la unidad de adaptación (4) el modelo de referencia memorizado en función de parámetros de distribución estadísticos de aquellos procesos (P) contenidos en aquel cluster (C) de procesos con la máxima cantidad (Z) de procesos (P);  
25 (d) y con una unidad de clasificación (7) que clasifica los procesos (P) generadores de sonidos basándose en el modelo adaptado.
20. Programa de computadora para realizar el procedimiento según la reivindicación 18.
- 30 21. Soporte de datos que memoriza el programa de computadora según la reivindicación 20.

FIG 1

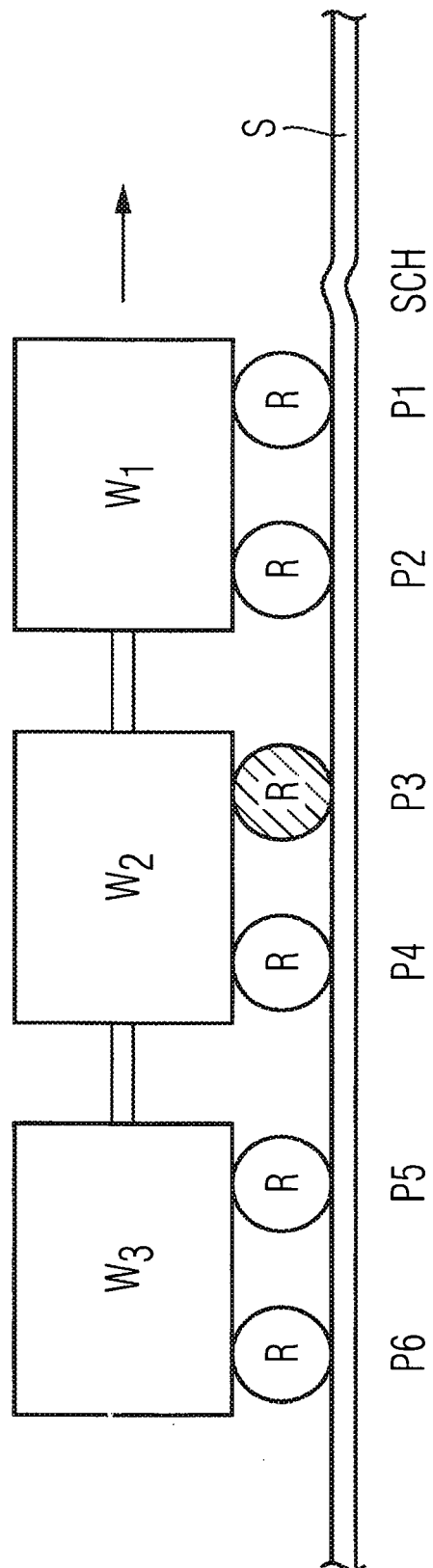


FIG 2

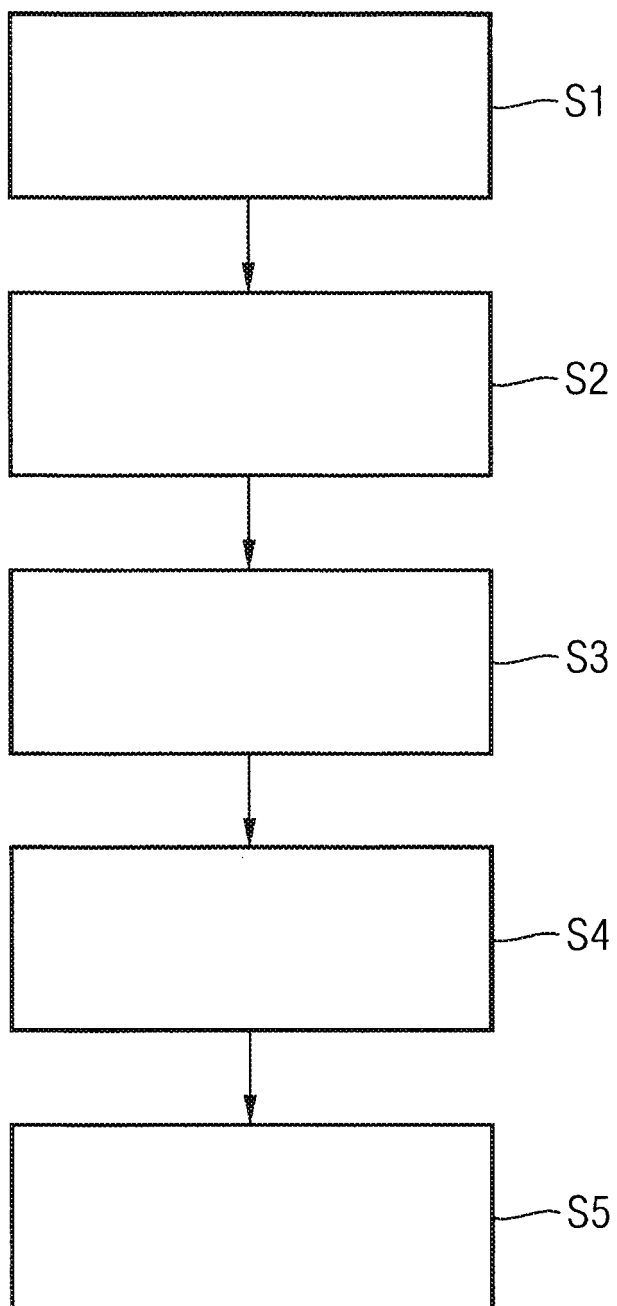


FIG 3

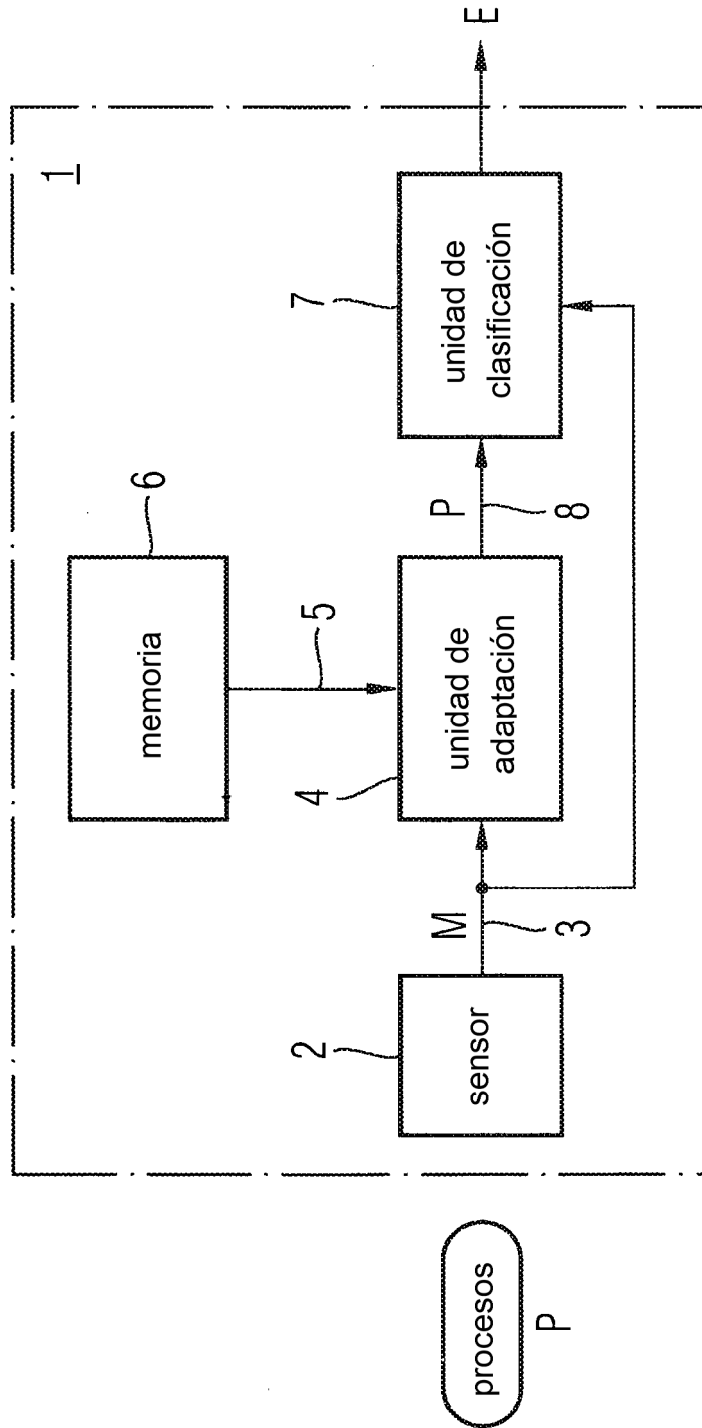


FIG 4

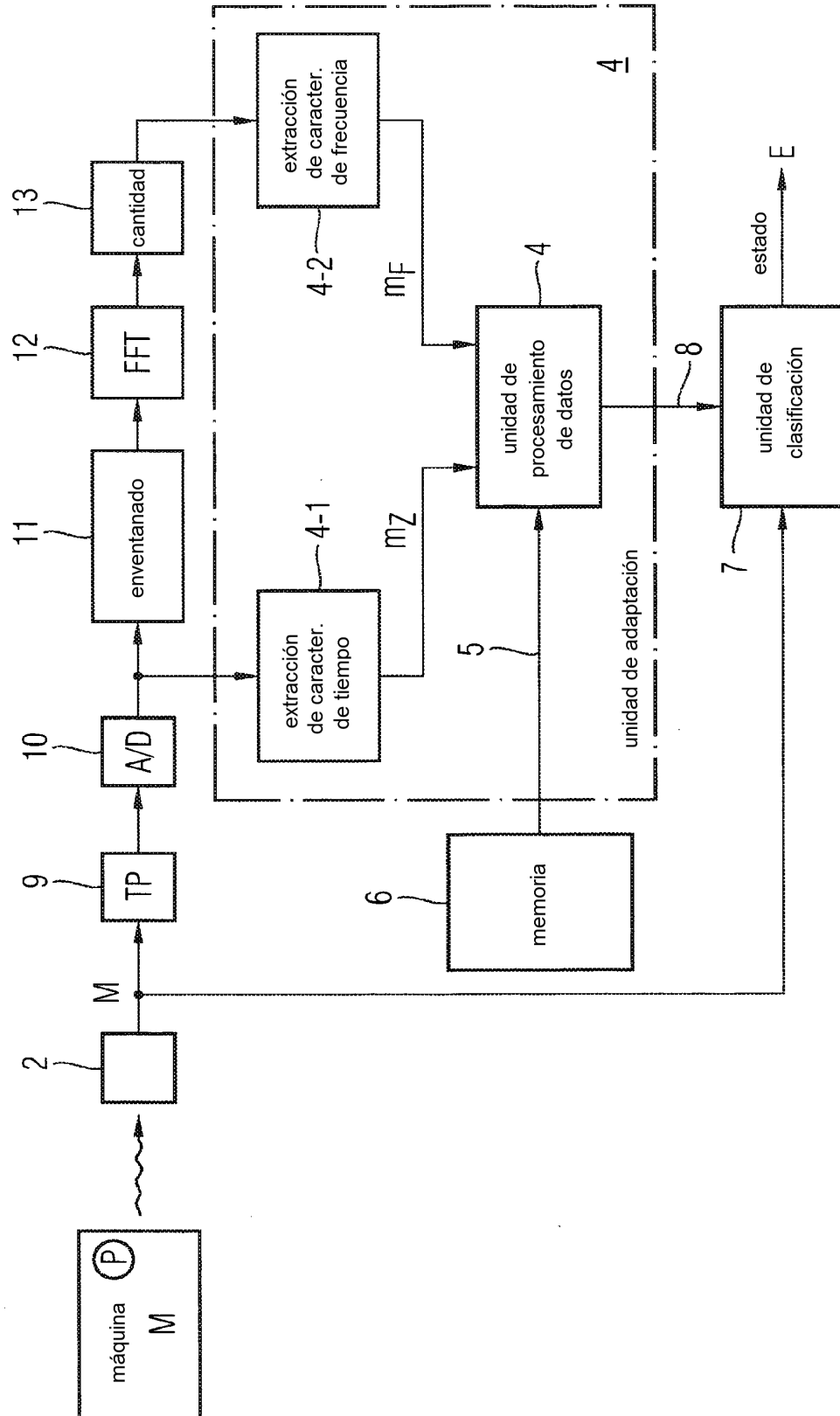


FIG 5A

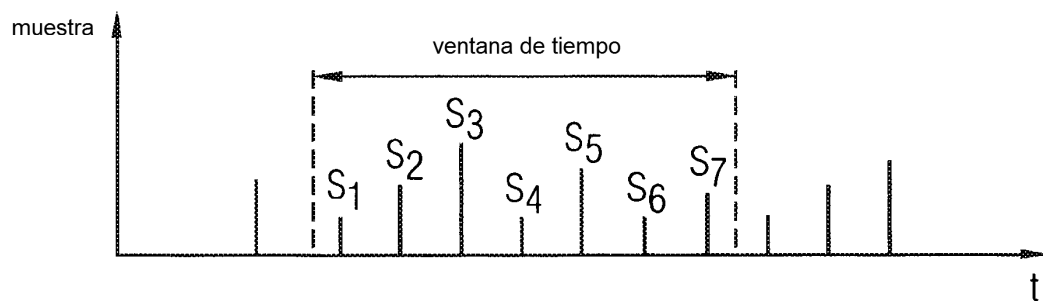


FIG 5B

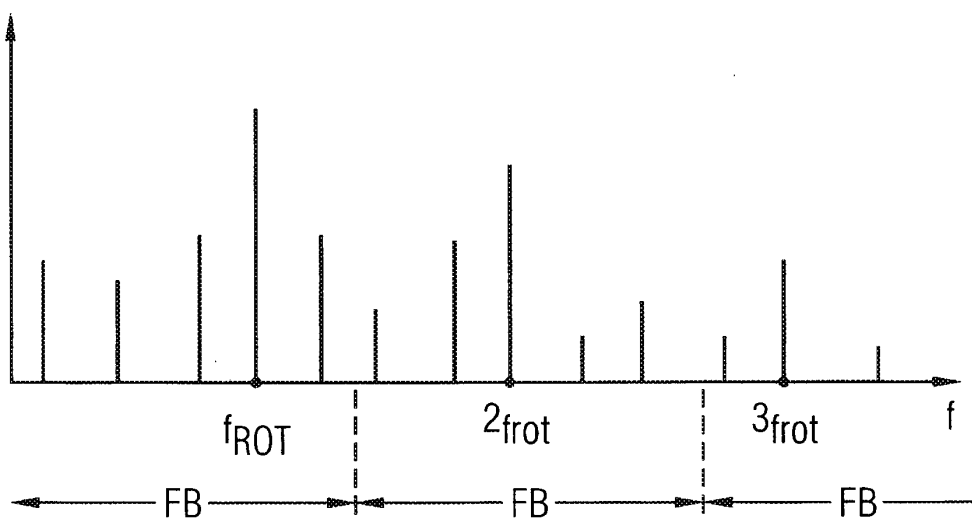


FIG 6

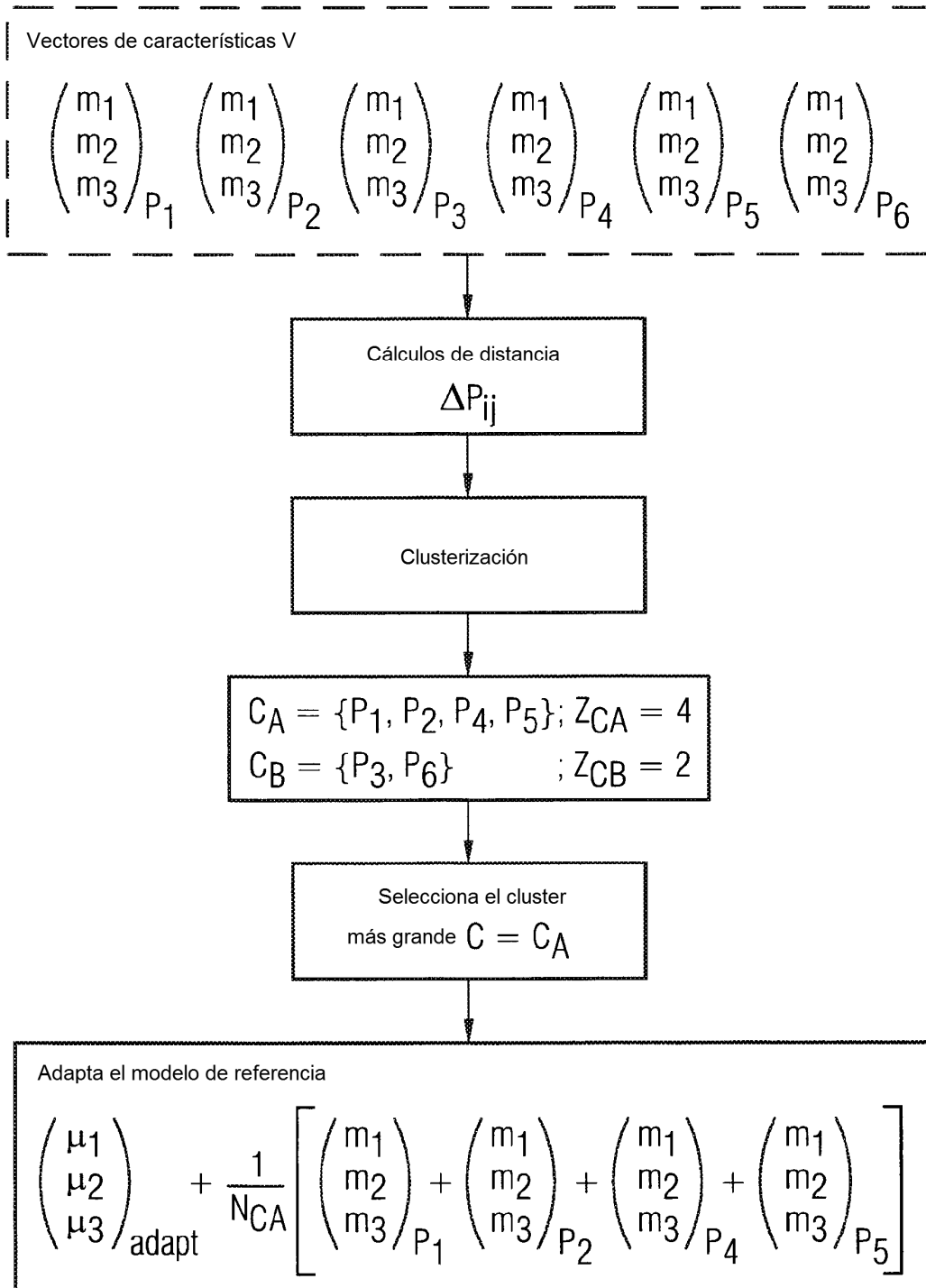


FIG 7A

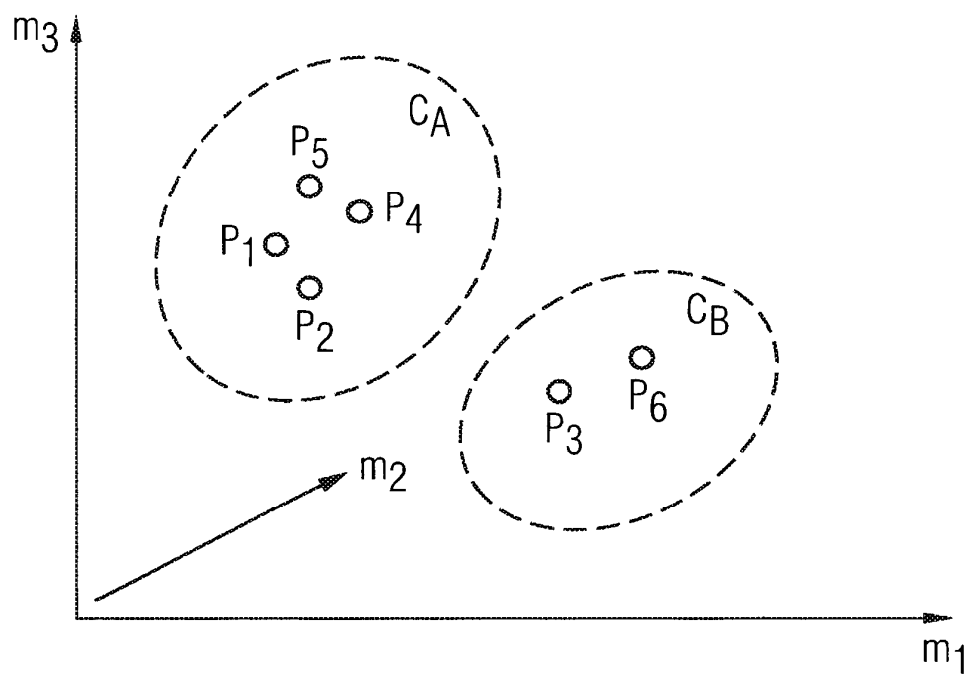


FIG 7B

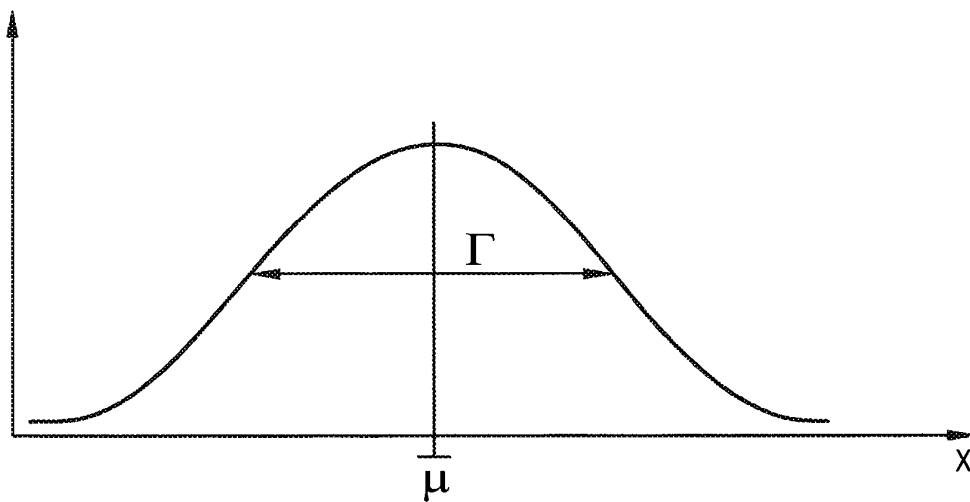




FIG 8

