

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 196**

51 Int. Cl.:

G05B 17/02 (2006.01)

G06Q 10/06 (2012.01)

G06Q 50/06 (2012.01)

G05B 23/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.01.2007 PCT/EP2007/050529**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.08.2007 WO07090723**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.01.2007 E 07726207 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.08.2018 EP 1982301**

54 Título: **Procedimiento de monitorización de condición**

30 Prioridad:

10.02.2006 US 743269 P

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

31.10.2018

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH
(100.0%)**

**Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**ABU-EL-ZEET, ZIAD, HASSAN y
PATEL, VIJAYKUMAR, CHHAGANLAL**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 688 196 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

Procedimiento de monitorización de condición

Campo técnico

5 La invención pertenece a un procedimiento de monitorización de condición de una flota de plantas, máquinas o procedimientos. Pertenece en particular a un procedimiento de monitorización de condición de una flota de plantas de generación de energía eléctrica así como máquinas y procedimientos asociados con tales plantas de energía.

Antecedentes de la técnica

10 La operación de las plantas de energía eléctrica y máquinas y procedimientos asociados se monitoriza con frecuencia para determinar la condición de sus componentes individuales, valores de parámetros operacionales, y el rendimiento de la planta como una totalidad. La monitorización de condición permite la optimización de la operación de la planta y la determinación del tiempo de vida operacional esperado de sus componentes. También se pretende para la detección temprana de parámetros operacionales que superan rangos operacionales normales dados y que alertan a los ingenieros de la planta de problemas operacionales o desarrollos fallidos. Como tal, puede reducir eficazmente el tiempo de inactividad potencial y costoso y aumentar la seguridad y el rendimiento de operación de una planta de energía o sus máquinas asociadas. También permite indicación fiable de mantenimiento necesario.

15 Se han presentado diversos procedimientos de máquinas de monitorización o plantas en el estado de la técnica. Muchos de estos se dirigen a la monitorización de una única máquina o procedimiento, tal como, por ejemplo, en el documento WO 2004/042531 y en el documento WO 2005/008420. Estos procedimientos pueden realizarse típicamente usando herramientas informáticas convencionales dentro de un marco temporal razonable, y con potencia informática razonable.

20 El documento WO 02/086726 desvela un procedimiento de monitorización y control de una única máquina o procedimiento usando una combinación de diagnósticos y monitorización y control basados en modelo. Se generan valores de sensor estimados por un sistema basado en modelo empírico y se comparan con valores de sensor reales. Los valores residuales obtenidos por la resta de los valores estimados de los valores reales se someten a un ensayo de relación de probabilidad secuencial, que permite la detección temprana de desviaciones de los residuos de un valor umbral.

25 El documento WO 02/057856 desvela una monitorización predictiva de un único procedimiento o máquina basándose en vigilancia o control basado en modelo empírico. Para el procedimiento de monitorización, se usa un conjunto representativo de datos de sensor que está consistentemente adaptado y actualizado por la adición de valores recién adquiridos, que sustituyen los valores anteriores.

30 El documento US 2004/0243636 desvela un procedimiento de monitorización de la condición de una flota completa de plantas de energía. En este procedimiento una plataforma de software común sirve para monitorizar la flota, donde un procedimiento de modelación está acoplado con un motor de lógica incidente para registrar incidentes de planta de energía. Se crea un modelo específico para cada miembro o elemento de la flota a monitorizarse. Para esto, se usan datos históricos de cada planta para crear un modelo para una condición de operación considerada normal. Cada modelo específico se solicita individualmente para generar un modelo para ese miembro de flota particular, que se usa para estimar parámetros de operación de motor durante la operación en tiempo real. Los parámetros operacionales estimados se comparan a mediciones reales de los mismos parámetros para producir señales residuales, que pueden indicar la condición de la planta.

35 Cada modelo empírico individual está adaptado requiriendo de manera incremental mantenimiento de modelo separado para cada miembro en la flota. El mantenimiento de los modelos implica el análisis de una gran cantidad de datos para cada miembro de la flota y por lo tanto un gran esfuerzo en términos del tiempo de los ingenieros y de potencia informática. NAIRAC A et al: "Choosing an appropriate model for novelty detection", quinta conferencia internacional en redes neuronales artificiales, 7-9 de julio de 1997, Cambridge, RU, Conf. Publ. N. 440, 7 de julio de 40 1779, IEE, Londres, RU, páginas 117-122. Desvela para la detección de novedad, que una normalidad de descripción se aprende adaptando un modelo al conjunto de ejemplos normales y patrones previamente no observados se ensayan a continuación comparando su puntuación de novedad contra algún umbral. Los modelos necesitan evaluarse no únicamente de acuerdo con su capacidad para separar ejemplos normales y anormales sino también de acuerdo con el punto de sobreajuste con relación al conjunto de entrenamiento. Cuando la cantidad de 45 datos de entrenamiento es pequeña, el efecto de sobreajuste puede estimarse usando validación cruzada para determinar cuántos patrones normales no observados previamente se clasificarían correctamente. Con una base de datos de entrenamiento más grande, puede adoptarse un enfoque de principios que proporciona tanto una medida de la calidad del modelo como un medio de determinación del valor del umbral de novedad.

Sumario de la invención

55 En vista de los antecedentes de la técnica descritos, es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento de monitorización de la condición de una flota completa de plantas, máquinas, o procedimientos, tales

5 como plantas de generación de energía eléctrica y/o sus máquinas asociadas y procedimientos industriales, permitiendo el procedimiento el manejo eficaz, tanto en términos de tiempo como de esfuerzo de ingeniería, de grandes cantidades de datos multidimensionales que incluyen datos de componentes individuales y parámetros operacionales. El procedimiento deberá desarrollarse y mantenerse con esfuerzo reducido en comparación con los procedimientos del estado de la técnica. Adicionalmente, no deberá requerir conocimiento anterior del procedimiento físico realizado por la máquina o los procedimientos. El procedimiento deberá asegurar, en particular, la sensibilidad de monitorización óptima comparable a la de los procedimientos conocidos.

10 De acuerdo con la presente invención, un procedimiento de monitorización de una flota de plantas, máquinas, o procedimientos comprende un modelo de entrenamiento o generación seguido por un modo de monitorización o de ensayo, incluyendo el procedimiento las etapas:

- generar y almacenar un único modelo genérico para todos los miembros de la flota usando una herramienta de detección de novedad (herramienta-ND),
- usar datos de entrada desde cada uno de los miembros de flota individuales que se escalan individualmente antes de introducirse en el único modelo genérico,
- 15 - monitorizar los miembros de flota durante la operación ensayando datos de medición contra el modelo,
- proporcionar una señal o alerta de la condición de la flota basándose en una comparación de datos de ensayo contra el modelo genérico.

El único modelo genérico para todos miembros de flota está basado en datos pasados o históricos de miembros de la flota que operan en varios modos de operación normal.

20 Un modo de operación normal de una planta o máquina es, por ejemplo, la operación de una planta de energía eléctrica a una carga típica en intervalos esperados de salida de potencia y eficacia y a condiciones ambientales típicas.

25 El único modelo genérico, en este punto también denominado como una red genérica, se genera usando detección de novedad controlada por datos (ND). El uso de tal detección de novedad permite que no se requiera que tenga lugar conocimiento previo del procedimiento físico en la planta o máquina. La red genérica contiene mediciones de todos los parámetros pertinentes de todos los miembros de flota así como las interrelaciones entre dichas mediciones.

Para la generación de una red de este tipo, el procedimiento comprende las etapas de:

- 30 - analizar y reducir datos de medición de parámetros de todos los miembros de una flota de máquinas, plantas o procedimientos que usan detección de novedad y un procedimiento de agrupación. Para el análisis de los datos de medición, se resta un valor medio de los puntos de datos de medición individuales y la diferencia resultante se divide por la desviación típica. Esto se denomina en el presente documento como escalamiento, estandarización o normalización de los datos. Para la reducción de los datos de medición, se toman grupos de los puntos de datos de medición normalizados para formar una agrupación, donde para cada agrupación se determina y se
- 35 almacena un centro de agrupación que representa un valor medio de esa agrupación de datos. A continuación, para cada agrupación se calcula y se almacena un umbral de agrupación para su uso por la detección de novedad durante la monitorización. Preferentemente, el procedimiento usa la agrupación de k medias. Los centros de agrupación y los umbrales calculados entonces componen la red genérica generada. A través de esta agrupación y generación de umbrales es posible que no todos los datos de medición deban almacenarse sino
- 40 únicamente los centros de agrupación y los umbrales.

Adicionalmente el procedimiento comprende:

- almacenar dichos valores medios y desviaciones típicas para cada miembro de la flota como factores de escalamiento en un fichero de escalamiento para uso adicional de dichos valores medios y desviaciones típicas para cada miembro de flota para escalar los datos de entrada durante el modo de monitorización,
- 45 - monitorizar los miembros de la flota de plantas, máquinas o procedimientos tomando datos de ensayo durante la operación de los miembros de flota, escalando los datos de ensayo usando el fichero de escalamiento, y comparando los datos escalados al modelo genérico almacenado,
- establecer una medida de ajuste entre datos de ensayo y el modelo usando una función de distancia y determinar un error de cuantificación para cada punto de datos,
- 50 - basándose en el error de cuantificación, proporcionar una señal o alerta sobre la condición de los miembros de la flota.

55 Una planta, máquina o procedimiento cambia a medida que el tiempo progresa, por ejemplo debido a la degradación de sus componentes, propiedades tales como el tamaño, forma, composición térmica y química, etc. Por lo tanto es necesario, o al menos preferente, adaptar la red genérica añadiendo nuevos puntos de datos de acuerdo con nuevas mediciones durante la operación de la máquina o procedimiento mientras se mantienen todos los datos

previamente existentes en la red. Preferentemente, la agrupación de datos nuevamente añadidos se lleva a cabo en primer lugar antes de adjuntarla a la red.

El procedimiento de acuerdo con la invención comprende esencialmente dos etapas, la generación o entrenamiento de una red genérica para toda la flota y la monitorización real de cada miembro de flota usando la red genérica. El procedimiento está caracterizado por la eficacia de tiempo e ingeniería realizada por el concepto de la generación de una única red genérica para su uso para la flota completa. Adicionalmente, la generación de la red genérica en sí misma se realiza de manera eficaz en términos de tiempo y esfuerzo de ingeniería debido al uso de detección de novedad y agrupación. Dependiendo del tipo de planta, máquina o procedimientos que se han monitorizado, la red genérica se mantiene en una etapa adicional del procedimiento. La red genérica está adaptada o re-entrenada por la adición de nuevos datos adicionales sin el borrado de los datos anteriores. La mera adición de datos se posibilita por el uso de detección de novedad. La adaptación de la red está de nuevo caracterizada por la eficacia de tiempo e ingeniería ya que únicamente debe adaptarse o mantenerse un modelo.

El procedimiento de acuerdo con la presente invención usa un modelo controlado por datos empíricos. El desarrollo de un modelo empírico controlado por datos es más fácil que el de un modelo físico, en particular para un procedimiento multidimensional como se halla en una planta de energía eléctrica. Normalmente, la generación de modelos controlados por datos para plantas de este tipo lleva tiempo, especialmente si debe generarse un modelo para cada miembro de una flota completa de plantas. Por lo tanto, es deseable limitar el esfuerzo implicado. En vista de esto, el procedimiento actualmente desvelado está caracterizado por el uso de una red genérica que sirve como un modelo para una flota completa de plantas, máquinas o procedimientos, a diferencia de únicamente para un único miembro de una flota. Permite una generación eficaz de tiempo, adaptación y escalamiento del modelo para la generación del modelo genérico y monitorización del mismo. El modelo se genera eficazmente por medio de análisis eficaz de datos históricos posibilitados por el uso de herramientas de detección de novedad. La sensibilidad del modelo genérico se mantiene escalando los datos de entrada usando los valores medios y desviaciones típicas de cada miembro de flota individual.

El uso de un modelo genérico o red efectúa una reducción significativa del esfuerzo de ingeniería. Por ejemplo, el tiempo requerido para generar modelos se reduce de varias semanas o meses a únicamente unos pocos días para una flota completa. El esfuerzo informático también se reduce significativamente por la aplicación de herramientas de detección de novedad y agrupación, que permiten que únicamente necesite realizarse un análisis de datos para la generación del modelo genérico. En consecuencia, la actualización y mantenimiento del modelo también se realiza en un marco temporal más corto. Aunque se obtiene una ventaja enorme en términos de tiempo y las cantidades de datos a manejarse, se mantienen la sensibilidad de la monitorización a un nivel comparable al de los procedimientos del estado de la técnica debido al uso de los factores de escalamiento mencionados para cada miembro de flota individual.

El uso de procedimientos de detección de novedad y agrupación posibilita el análisis de datos eficaz al generar la red de modelo y posibilita adicionalmente la adaptación eficaz del modelo durante la monitorización. En particular, permite la adaptación de la red mediante la adición sencilla de nuevos datos a la red. Por lo tanto, nunca se pierde el conocimiento previo y la experiencia obtenida por la red. Los estados antiguos de un miembro de flota, que representan la condición de operación válida del miembro de flota podrían encontrarse de nuevo y son por lo tanto de valor en el modelo.

La herramienta de detección de novedad está controlada por datos en que usa datos pasados o históricos obtenidos durante la operación de la máquina o planta durante un modo de operación típico dado. La generación de la red o modelo generado a partir de estos datos por lo tanto no requiere conocimiento previo del procedimiento físico realizado por la máquina o planta. La red generada abarca no únicamente todos los datos obtenidos sino también todas las interrelaciones entre los diferentes datos medidos. Por esta razón el procedimiento de acuerdo con esta invención es particularmente adecuado para procedimientos dimensionales grandes como se encuentran en una planta de energía eléctrica o una planta de procedimientos químicos y donde los modelos físicos son particularmente difíciles de obtener.

El procedimiento actualmente desvelado asegura una sensibilidad óptima a pesar del uso de una red genérica. La sensibilidad se mantiene debido al uso del escalamiento individual de los datos de entrada desde cada miembro de flota para la red genérica. La sensibilidad de la monitorización de un miembro de la flota particular conseguida por este procedimiento está cerca y es comparable a la sensibilidad que se conseguiría por un modelo específicamente generado para ese miembro de flota particular sin el uso de la red genérica.

El procedimiento de acuerdo con la invención tiene una ventaja particular para la monitorización de un nuevo miembro de flota añadido a una flota existente. Normalmente, para una planta o máquina puesta en marcha recientemente, necesitaría recopilarse en primer lugar datos para establecer un conjunto de datos a añadirse al modelo. El procedimiento de acuerdo con la invención, sin embargo, posibilita la monitorización inmediata usando la red genérica y usando factores de escalamiento derivados de otras plantas similares en la flota. Los factores de escalamiento derivados pueden usarse para escalar los datos de entrada y a continuación monitorizar la operación de la planta. Puesto que se usan en este caso factores de escalamiento derivados, a diferencia de factores de escalamiento específicos para el miembro de flota, la sensibilidad a fallos se vería naturalmente comprometida. Una configuración de este tipo por lo tanto permite la detección de fallos graves en la nueva planta hasta que se

obtengan factores de escalamiento específicos para la nueva planta a medida que se recopilan datos de operación.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 muestra un diagrama de flujo del procedimiento para monitorización de condición de acuerdo con la invención en las etapas I a V referidas a través de toda la siguiente descripción detallada,

5 la Figura 2 muestra una representación de suma de cuadrados del error según se usa para la determinación del número de agrupaciones,

la Figura 3 muestra una representación de datos de ensayo de una planta de energía eléctrica presentada durante la monitorización y analizada por el procedimiento de detección de novedad,

10 la Figura 4 muestra una representación de una suma de errores de cuantificación según se determina por el procedimiento de acuerdo con la invención,

la Figura 5 muestra una representación de errores de cuantificación para variables desde una planta de energía en un modo de operación dado que se ha de incluir como datos recién añadidos a la red,

la Figura 6 muestra una representación de errores de cuantificación para la misma planta de energía y modo de operación referidos a la Figura 5 y después de que la red se ha re-entrenado con los datos recién añadidos,

15 la Figura 7a muestra una representación de errores de cuantificación resultantes de una monitorización de una planta usando una red específica de planta,

la Figura 7b muestra una representación de errores de cuantificación resultantes de una monitorización de la misma planta usando una red genérica que se ha escalado globalmente,

20 la Figura 7c muestra una representación de errores de cuantificación a partir de una monitorización de la misma planta usando una red genérica individualmente escada de acuerdo con la invención.

Mejores modos para llevar a cabo la invención

Un ejemplo del procedimiento de acuerdo con la invención se desvela con la misma en una aplicación ejemplar para la monitorización de una flota de plantas de energía eléctrica. El diagrama de flujo en la Figura 1 muestra las etapas I a V.

25 La generación de la red genérica (etapa I), que se denomina también en el presente documento como el entrenamiento de la red genérica, se lleva a cabo por la selección cuidadosa de un conjunto de datos (o conjunto de datos de entrenamiento) que representa la operación normal de la planta de energía eléctrica monitorizada (etapa Ia). La operación normal, se refiere, por ejemplo, a la operación de la planta de energía a una carga típica, a condiciones atmosféricas típicas (por ejemplo presión, temperatura, humedad), para un rendimiento típico (por ejemplo salida de potencia, eficacia, niveles de polución) para los que se designó la planta de energía. Un conjunto de datos seleccionado incluye por ejemplo datos desde más de 250 variables que monitorizan el flujo de aire comprimido desde el compresor (presión, temperatura), temperatura y presión exterior, flujo de combustible en los sistemas de combustión, valores de temperatura en diversas etapas de turbina y componentes, señales de vibración desde los soportes, etc.

35 En un procedimiento preferido de acuerdo con la invención, se seleccionan los datos para la generación, o entrenamiento, de la red y se procesan previamente (etapa Ia). La fase de procesamiento previo comprende eliminación de valores atípicos y datos de transitorios. Los valores atípicos pueden eliminarse a través de inspección manual de los datos o mediante un procedimiento automatizado usando software diseñado para detectarlos. Los transitorios asociados con cambios de punto de operación o desplazamientos se eliminan de los conjuntos de datos.

40 Esto puede realizarse manualmente, que puede llevar tiempo, o por un procedimiento automatizado usando un software designado para cada variable y/o condición de operación.

Generar o entrenar la red se lleva a cabo usando por tanto un conjunto de datos seleccionado de manera cuidadosa que representa una operación normal o típica de una planta de energía a monitorizarse.

45 A continuación, los datos se estandarizan, normalizan o escalan (etapa Ib) de tal manera que se asegura que cada variable tenga igual peso. Esto se hace por ejemplo, restando en primer lugar de los datos la media de muestra de cada variable, puesto que el objetivo es capturar la variación de los datos de la media. En segundo lugar, cada variable de los datos centrados en medio se divide por su desviación típica. Esto escala cada variable a la varianza unitaria que asegura que las variables de procedimiento con altas varianzas no dominan. Este procedimiento debe llevarse a cabo antes de generar o entrenar la red. Los valores medios y desviaciones típicas se almacenan en un fichero para uso adicional en escalamiento de los datos de entrada individuales de los miembros de flota individuales durante el modo de monitorización.

50 Una vez que se han procesado previamente los datos, por ejemplo, mediante eliminación de puntos de datos lejanos, eliminación de datos transitorios (a diferencia de datos de estado estático), y se normalizan o estandarizan, se aplica agrupación (etapa Ic).

Para la agrupación, se usa preferentemente agrupación de k medias como es conocido en el estado de la técnica (por ejemplo J. B. MacQueen (1967): "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability", Berkeley, University of California Press, 1: 281-297).

5 Para la agrupación de los datos de entrenamiento, debe determinarse también el número de agrupaciones para representar los datos. La elección del número de agrupaciones afecta a con qué precisión representa la red los datos de entrenamiento y por lo tanto afecta a la sensibilidad de la red y a la monitorización de condición final. Existe un equilibrio entre el número de agrupaciones y la sensibilidad conseguible y la cantidad de tiempo computacional requerido. De acuerdo con el presente procedimiento, el número de agrupaciones se determina por dos maneras
10 diferentes.

La primera es conocida como el Algoritmo de Validez de Agrupación de Davies-Bouldin (DB) (descrito en Davies D.L. y Bouldin D.W., "A Cluster Separation Measure", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 1(4), págs.. 224-227). El algoritmo maximiza las distancias entre agrupaciones mientras minimiza las distancias en una misma agrupación. Se determina un índice de DB como una función de la relación de la suma de las distancias en una
15 agrupación a la distancia entre agrupaciones. Cuanto menor es el índice de DB, mayor es la calidad de la agrupación conseguida.

La segunda manera de determinar el número de agrupaciones es un procedimiento visual usando una representación de la Suma de Error Cuadrático (SSE) frente al número de agrupaciones usadas en la red como se muestra en la figura 2. El caso extremo sería si se elige el número de agrupaciones para que sea el mismo que el
20 número de muestras de datos, entonces la SSE sería cero. Una elección óptima del número de agrupaciones sería el punto de la "inflexión" de la curva indicado por la intersección con la línea vertical cerca de la marca de 50. Para obtener este punto óptimo, la red ha de entrenarse usando un número creciente de manera incremental de agrupaciones y calculando la SSE para cada una. Ya que esto lleva tiempo, el procedimiento se acelera por el uso de subconjuntos aleatorios del conjunto de datos originales compuestos de una pequeña fracción de los datos
25 originales. Para aumentar la precisión de la estimación, se ejecuta el análisis varias veces usando diferentes permutaciones aleatorias de los datos.

Este enfoque de usar permutaciones aleatorias puede aplicarse también a la obtención del índice de DB.

Las posiciones de los centros de agrupación obtenidos por medio de la agrupación de k medias se almacenan como perfiles de referencia para las diferentes condiciones de operación. Cada centro de agrupación representa el valor
30 medio de todos los perfiles atribuidos a esa agrupación particular durante el entrenamiento de la red. A continuación, se calculan umbrales para cada agrupación individual y se almacenan para su uso por la lógica de detección de novedad en el siguiente modo de ensayo o de monitorización. Los centros de agrupación junto con los umbrales calculados componen la red o el modelo.

El cálculo del umbral (etapa Id) se realiza mediante dos maneras preferidas. Una manera es elegir un umbral máximo/mínimo. Esto significa que se establece el umbral en un centro de agrupación por la desviación máxima desde el centro de cualesquiera de las muestras en ese grupo. Otra manera es usar umbrales estadísticos, que significa establecer el nivel de umbral entre 1 y varias desviaciones típicas. La elección entre las dos maneras puede ser una ponderación de la sensibilidad del procedimiento de monitorización de condición resultante y la minimización de falsas alertas potenciales debido a la monitorización.
35

Para generar el modelo genérico, se escalan los datos de entrada históricos de los miembros de flota individuales, y los factores de escalamiento se almacenan en un fichero de escalamiento (etapa II). Este fichero contiene los valores medios de las variables individuales y sus desviaciones típicas. Cada miembro de flota individual tendrá un conjunto de factores de escalamiento almacenado en este fichero. Los factores de escalamiento almacenados están basados en una cantidad de datos lo suficientemente grande de manera que es representativa del miembro de la
40 flota particular en un modo de operación particular. Los ficheros de escalamiento también se actualizan durante el modo de monitorización a medida que los miembros de flota cambian con el tiempo.

En el modo de monitorización o de ensayo, los datos previamente no observados que representan nuevas muestras recopiladas de una planta de energía se ensayan contra la red almacenada (etapa III). Una medida de ajuste contra la red almacenada se establece usando la distancia euclídea (ED) o una medida de distancia multi-variente similar.
50 Esto es un procedimiento de tres fases donde la nueva muestra de datos de medición se normaliza o estandariza en primer lugar usando los factores de normalización almacenados en el fichero de escalamiento (media y desviaciones típicas pertinentes a cada miembro de flota individual) y a continuación en una segunda fase se comparan contra todos los centros de agrupación almacenados en la red. La muestra de datos de medición se asigna al Centro de Mejor Coincidencia (BMC) de acuerdo con la ED. Una vez que el BMC es conocido, en la tercera fase, los umbrales almacenados para el BMC en cuestión se usan para calcular el error de cuantificación (QE), que es una medida de novedad o una medida de cómo de lejos están los datos de medición durante la monitorización o ensayo de los datos de entrenamiento de acuerdo con la red o el modelo. El QE es una medida de cómo de lejos está la muestra de ensayo fuera de los umbrales que rodean el BMC. En el caso de que el QE supere un valor umbral dado, se proporciona una señal de alerta o advertencia, o cualquier control apropiado, por ejemplo por correo electrónico, a
55 un ingeniero de control o al sistema de control de operación de la planta (etapa IV).
60

En un procedimiento preferido, los datos de ensayo tomados durante el modo de monitorización se “limpian” de datos transitorios y datos atípicos, de la misma manera que se seleccionaron los datos de entrenamiento por la eliminación de transitorios y valores atípicos. Como se describe en el caso de datos de entrenamiento, estos datos pueden prepararse manualmente o por el uso de un procedimiento automatizado usando software apropiado.

- 5 El procedimiento de acuerdo con la invención puede llevarse a cabo usando ordenadores con procesadores del estado de la técnica y software de análisis y representación científica actual tal como MATLAB®.

Lo siguiente muestra y elabora el procedimiento de monitorización de condición realizado en una planta de energía eléctrica.

- 10 Para fines de demostración, se usó un conjunto de datos de una planta de energía que representa datos recopilados a través de un periodo de un mes para entrenar una red. Normalmente se usarían conjuntos de datos más grandes para entrenar de modo que se incluyan diferentes condiciones de operación así como condiciones atmosféricas variables. Una vez que se entrena la red, se recopila un conjunto de datos de ensayo a través del mes posterior que se presenta a la red para ensayar. Los resultados se muestran en la representación en la Figura 3. La representación se refiere a una primera variable. La línea negra continua muestra la tendencia de los datos de ensayo reales como una función del tiempo. Las líneas negras discontinuas en la parte superior e inferior de la representación muestran el intervalo inferior y superior de datos encontrados en el conjunto de entrenamiento para la variable particular. Las líneas grises oscuras y las líneas grises claras muestran respectivamente los umbrales superior e inferior del BMC particular seleccionado como que está más cerca a la muestra de datos actual.

- 20 Examinando cada variable individual en una representación similar a la representación en la Figura 3 sería bastante problemático. Una representación útil que proporciona una vista panorámica de la condición de salud de la planta es la suma del QE para todas las variables consideradas, que se muestra en la Figura 4. Esto muestra inmediatamente un desarrollo problemático desde la mitad de la representación. El QE global se eleva desde las únicas figuras a entre 60 y 80 hacia el final de la representación.

- 25 El procedimiento de monitorización permite una inspección más estrecha de las contribuciones de QE desde las variables individuales implicadas. Por ejemplo, un ingeniero de control inspeccionaría las diez variables de contribución superiores y puede identificar qué variable o varias variables generan el QE más grande. Esto permite que el ingeniero observe que estas variables están dentro de sus intervalos esperados, y si no se atiende el problema particular sustituyendo un componente particular o ajustando un parámetro de operación para resolver el problema. Gracias a la eficacia de tiempo del procedimiento de monitorización que usa detección de novedad, el ingeniero de control o el operador de planta pueden detectar y corregir problemas en el tiempo antes de que se desarrollen problemas más grandes o se interrumpa el desarrollo del rendimiento de la planta.

- 30 A través del uso de detección de novedad, el procedimiento de monitorización puede hacerse relativamente fácil para el operador de la planta. En lugar de tener que analizar muchas variables, es posible centrarse en un problema particular con poco esfuerzo. Los grandes fallos provocados por una variable particular pueden enmascarar en ocasiones otros problemas subyacentes de menos severidad. Es posible superar este problema con la detección de novedad, por ejemplo excluyendo el contribuidor superior y mostrando únicamente los siguientes contribuidores más superiores y centrándose en las otras variables y comprobar si permanecen dentro de sus intervalos esperados o de una tendencia en los valores variables.

- 40 Durante la operación y monitorización de la planta de energía, la red genérica está adaptada o re-entrenada a medida que progresa el tiempo y los componentes individuales pueden degradarse o las condiciones de operación cambiar (etapa V). Para esto, se toman nuevos datos de medición, estandarizados y escalados por resta de valores medios y división por la desviación típica de la misma manera que se normalizaron los datos iniciales. Los nuevos datos de medición normalizados se agrupan a continuación de la misma manera que los datos iniciales y finalmente se añaden a la red genérica. En la adaptación de la red, la red se re-entrena por adición sencilla de nuevos datos y sin un re-entreno completo de la red completa. La adición de datos se posibilita por el uso de detección de novedad, que permite de nuevo una adaptación eficaz de la red.

- 50 La red genérica está adaptada en el caso cuando el ingeniero de planta identifica, basándose por ejemplo en la suma de error de cuantificación el QE o el QE de un conjunto particular de variables, que una condición particular de la planta necesita incluirse en la red. El ingeniero puede seleccionar interactivamente los datos relacionados con la condición de la planta para que se incluyan, como se muestra por el conjunto de datos en el recuadro en la Figura 5. En el ejemplo mostrado, únicamente se elige la sección de datos destacada por el rectángulo para la adaptación. En el intervalo mostrado, el QE tiene valores de aproximadamente 4.

- 55 La red está adaptada sin un re-entreno de la red completa y añadiendo los datos particulares a la red. Una vez que se añaden nuevos BMC a la red, el QE se recalcula como se muestra en la Figura 6. En comparación con los valores de QE en la Figura 5, los valores de QE en la Figura 6 se han caído considerablemente a valores de aproximadamente 1 y 3. Esto indica que la condición novedosa se ha incluido y “aprendido” por la red.

- 60 El procedimiento de acuerdo con la invención asegura una sensibilidad de monitorización comparable a modelos del estado de la técnica, tales como, por ejemplo, un modelo que está específicamente diseñado para una planta individual (a diferencia de una flota completa). Las Figuras 7a-c demuestran una comparación de la sensibilidad del procedimiento de acuerdo con la invención y la sensibilidad de otros dos modelos. La Figura 7a muestra el error de cuantificación como una función de tiempo calculada para una planta de energía dada, es decir la medida de

novedad de cómo de lejos se desvían los datos de ensayo de los datos de entrenamiento de un modelo. La representación resulta de un modelo que se generó específicamente para esa planta particular en solitario. La sensibilidad conseguida allí puede considerarse la sensibilidad máxima conseguible. Los errores de cuantificación alcanzan valores de hasta 100 en una región y hasta 20 en una segunda región de la representación.

- 5 La Figura 7b muestra el error de cuantificación calculado para la misma planta a través del mismo periodo de tiempo considerado para la Figura 7a. Resulta de una comparación de datos de ensayo contra un modelo a nivel de flota genérico y escalado usando un factor de escalamiento global. La magnitud de los errores de cuantificación alcanzados en este caso es mucho más inferior que aquella en la Figura 7a (menos de 3 en ambas regiones), que indica una sensibilidad muy inferior. La Figura 7c muestra finalmente los errores de cuantificación calculados para la misma planta en el mismo periodo de tiempo usando una red genérica y factores de escalamiento individuales de acuerdo con la invención. La magnitud de errores de cuantificación de nuevo alcanza aproximadamente 100 y 20 en dos regiones diferentes de la representación que indican una sensibilidad comparable a la ilustrada en la Figura 7a.
- 10

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de monitorización de la condición de una flota de plantas, máquinas o procedimientos que comprende las etapas de
- 5 - generar y almacenar un único modelo genérico para todos los miembros de la flota usando datos históricos seleccionados de la flota tomados durante operación normal y usando detección de novedad,
 - escalar los datos históricos seleccionados de los miembros de flota individuales usando factores de escalamiento derivados de los datos históricos antes de incluirlos en el único modelo genérico, en el que escalar los datos históricos de entrada incluye
- 10 restar de cada punto de datos un valor medio y dividir por la desviación típica,
 formar agrupaciones de los datos escalados,
 determinar un centro de agrupación para cada agrupación, y
 calcular un umbral de agrupación para cada agrupación,
 en el que los centros de agrupación junto con los umbrales calculados componen el modelo,
- 15 - monitorizar los miembros de flota durante la operación tomando datos de ensayo, escalando los datos de ensayo usando dichos factores de escalamiento, y comparando los datos escalados con el modelo genérico,
 - adaptar el modelo genérico durante la operación y monitorizar tomando nuevos datos, normalizar los nuevos datos restando de cada punto de datos un valor medio y dividiendo por una desviación típica, y añadir los nuevos datos normalizados al modelo genérico mientras se mantienen todos los datos anteriores, y adaptar adicionalmente el factor de escalamiento en el fichero de escalamiento de acuerdo con los nuevos valores medios y las desviaciones típicas de los nuevos datos,
- 20 - proporcionar una señal sobre la condición de los miembros de flota basándose en la comparación de los datos de ensayo con el modelo genérico.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1,
caracterizado por
- 25 el uso de agrupación de k medias.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1,
caracterizado por
- 30 almacenar valores medios y desviaciones típicas como factores de escalamiento para cada miembro de flota individual en un fichero de escalamiento para uso adicional para escalamiento de datos de ensayo durante la monitorización.
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1,
caracterizado por
- 35 comparar los datos medidos y escalados con el modelo genérico durante la monitorización estableciendo una medida de ajuste usando una función de distancia y determinar un error de cuantificación para cada punto de datos de medición.
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4,
caracterizado por
- usar una función de distancia euclídea.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4,
caracterizado por
- 40 proporcionar una señal o alerta sobre la condición de un miembro de la flota basándose en el error de cuantificación.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1,
caracterizado por
- 45 procesar previamente los datos tomados del miembro de flota para generar el modelo y/o para monitorizar la flota eliminando de los datos históricos los datos transitorios y valores atípicos.
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1,
caracterizado por
- 50 determinar el número de agrupaciones a formar de los datos históricos seleccionados usando un algoritmo de validez de agrupación de Davies-Bouldin o un procedimiento visual que analiza una representación de la suma de cuadrados del error frente al número de agrupaciones.

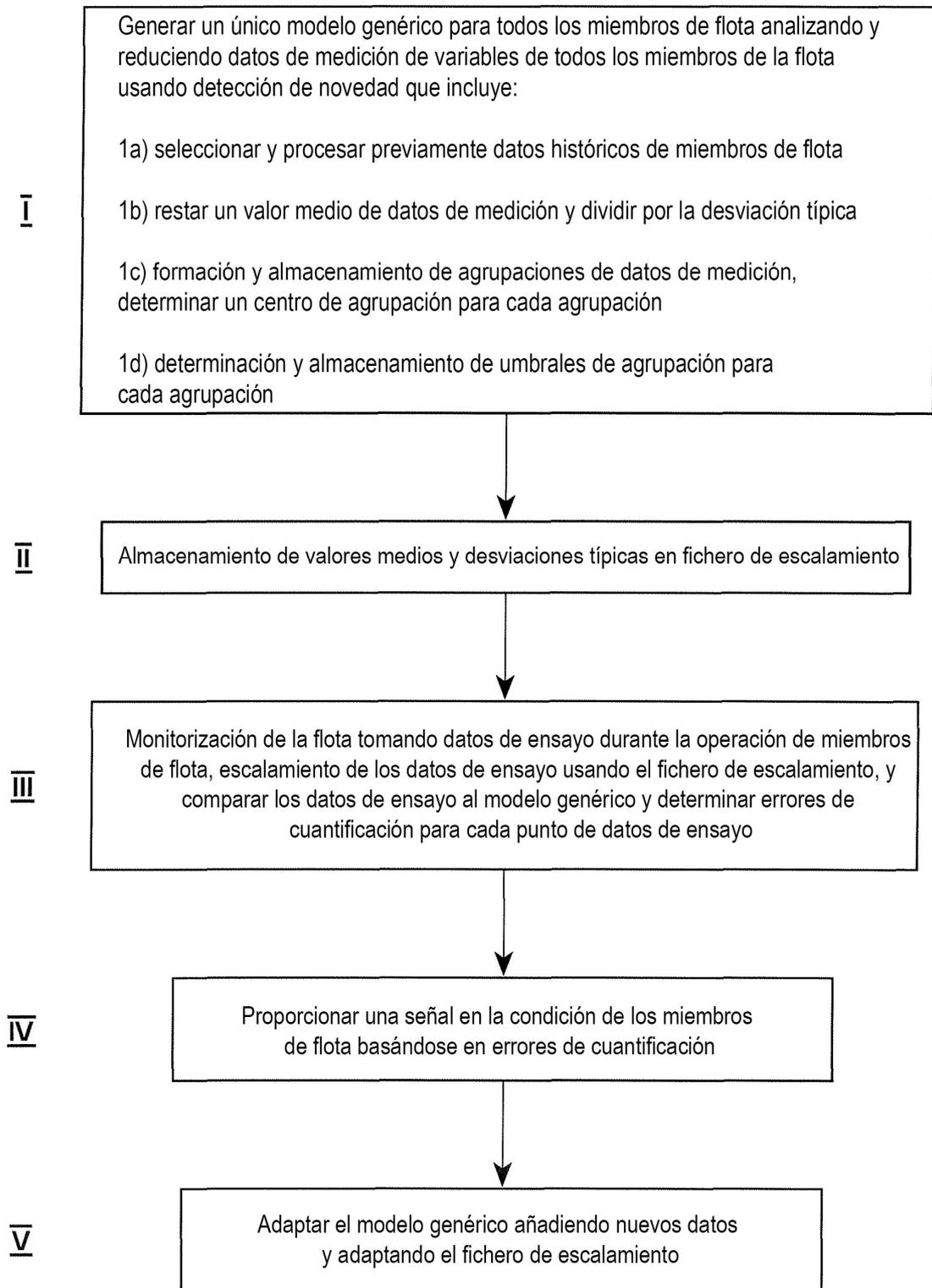


FIG. 1

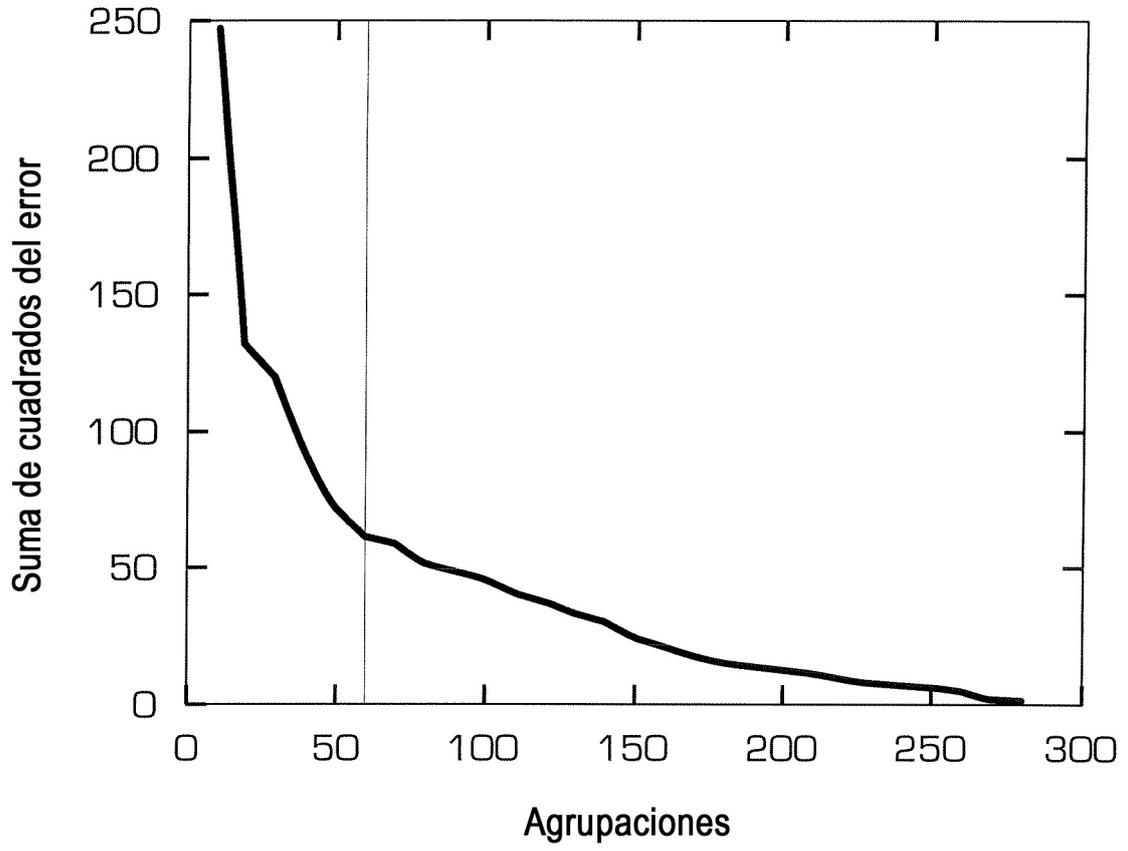


FIG. 2

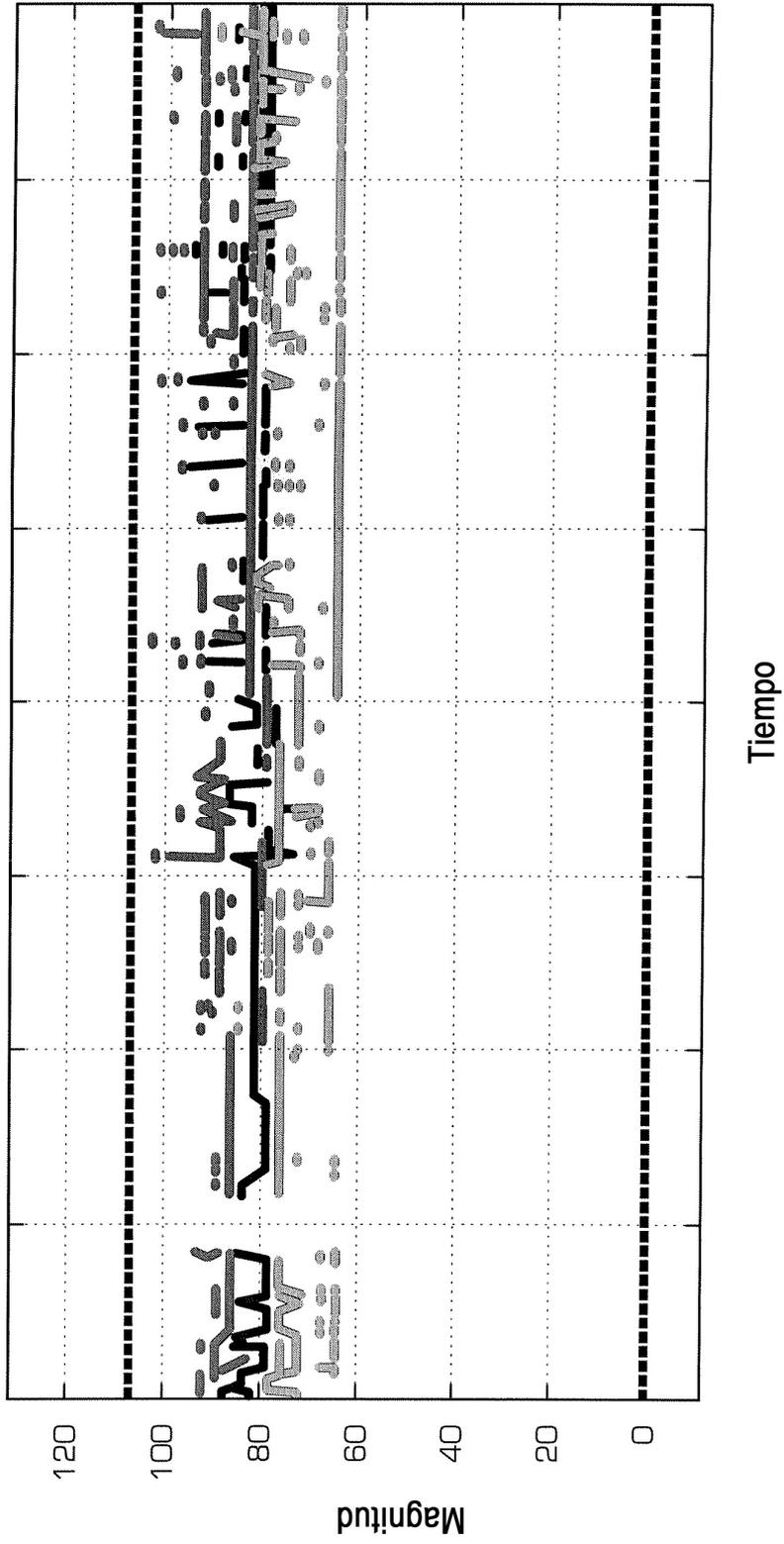


FIG. 3

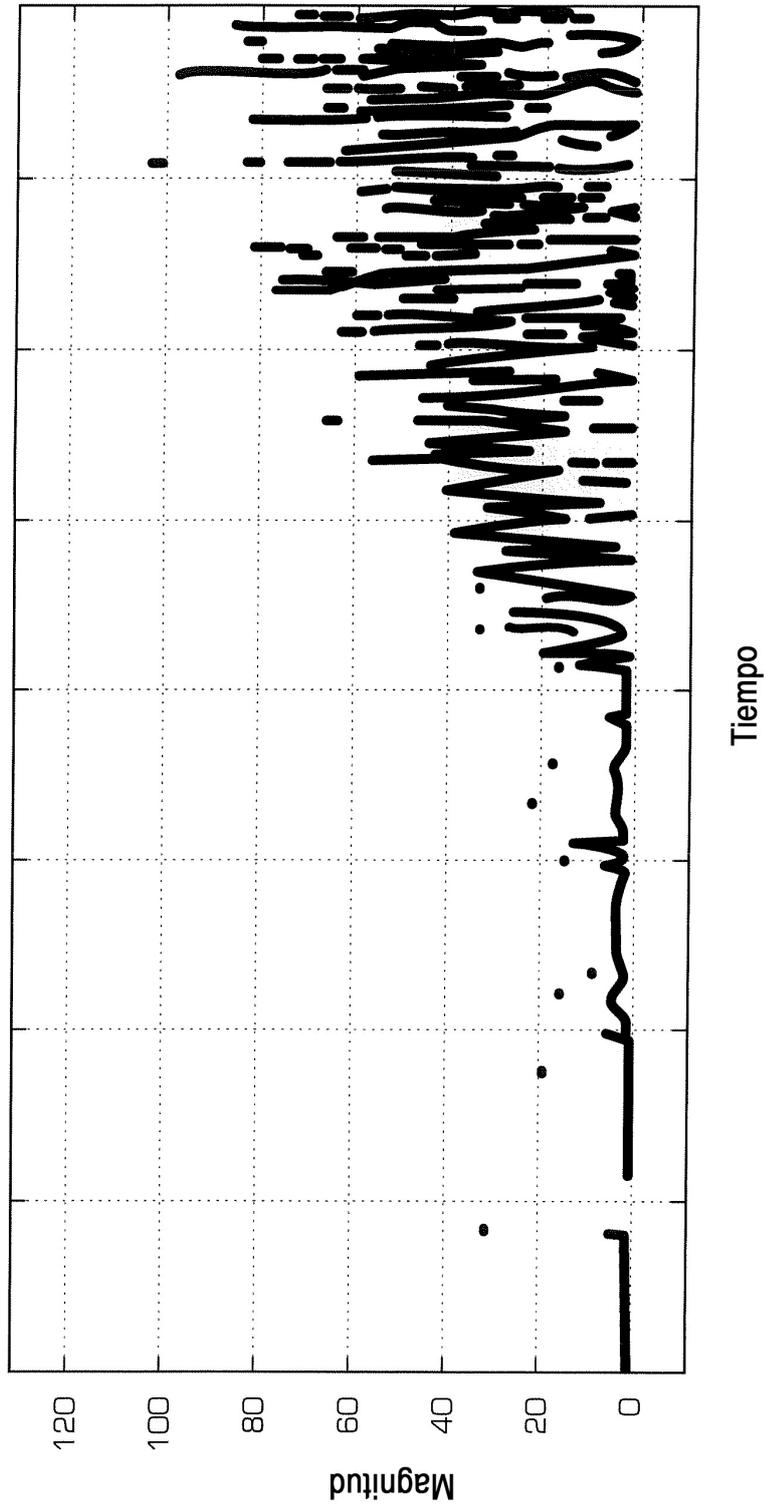


FIG. 4

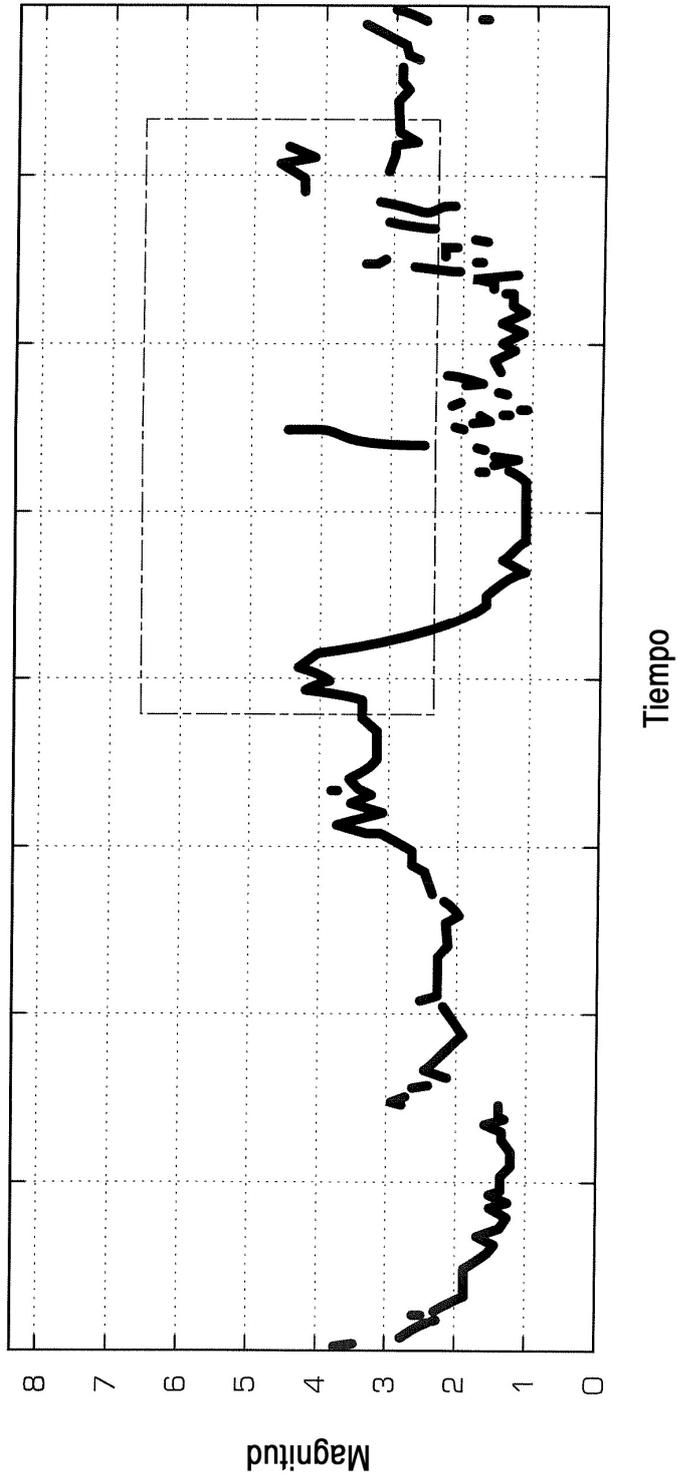


FIG. 5

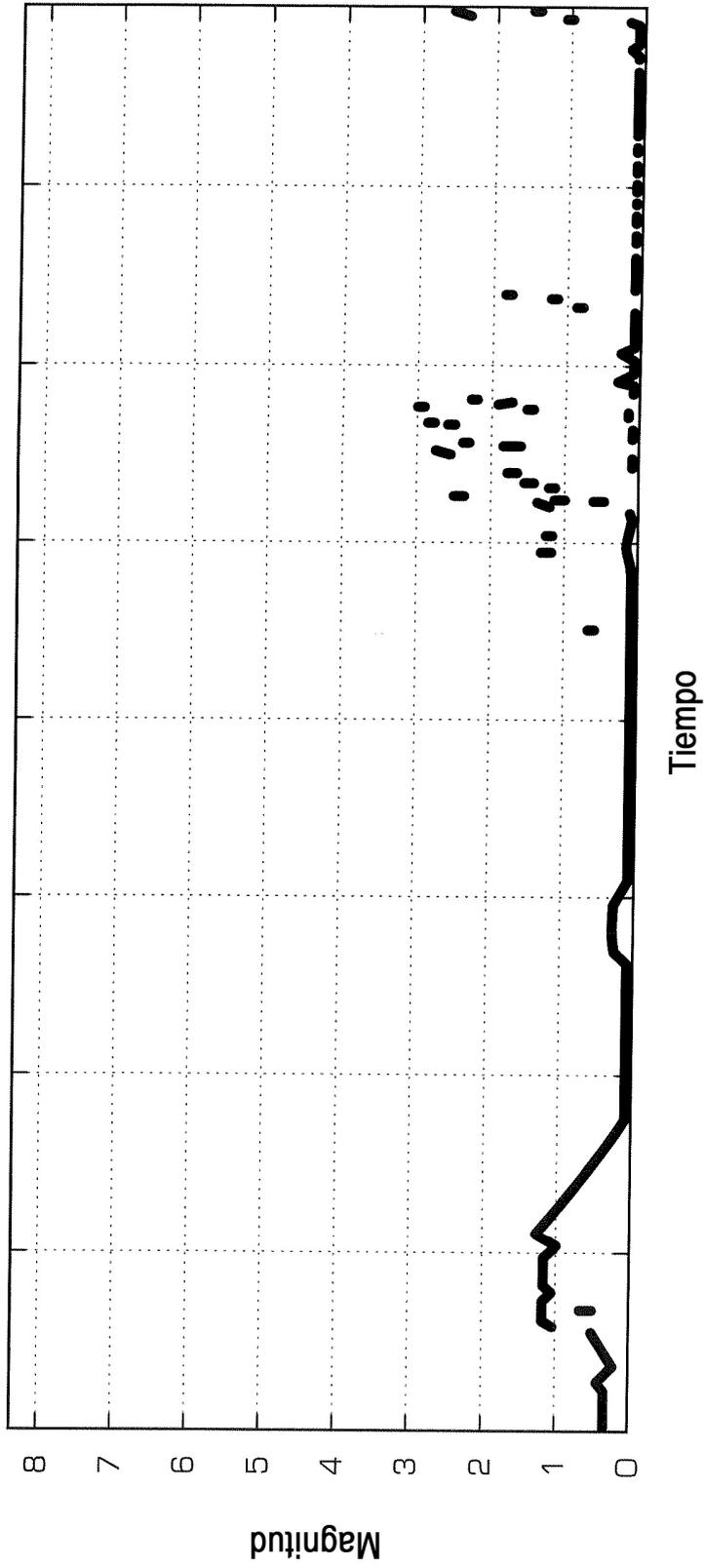


FIG. 6

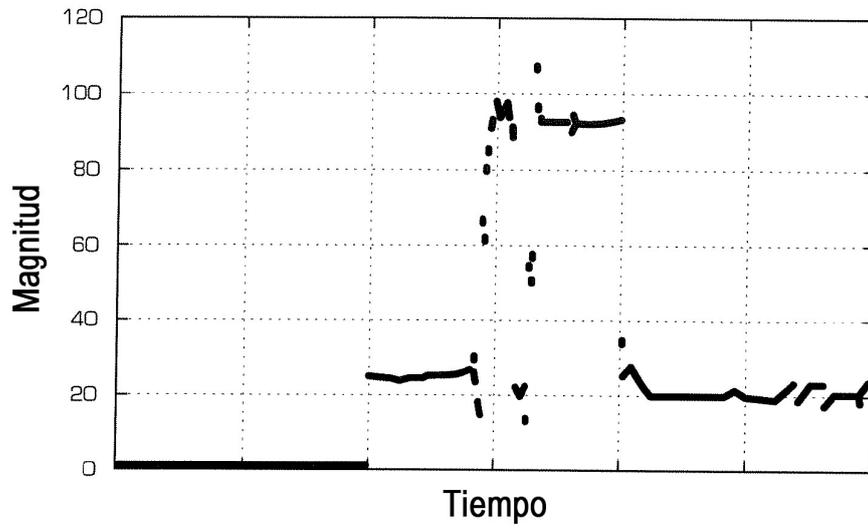


FIG. 7a

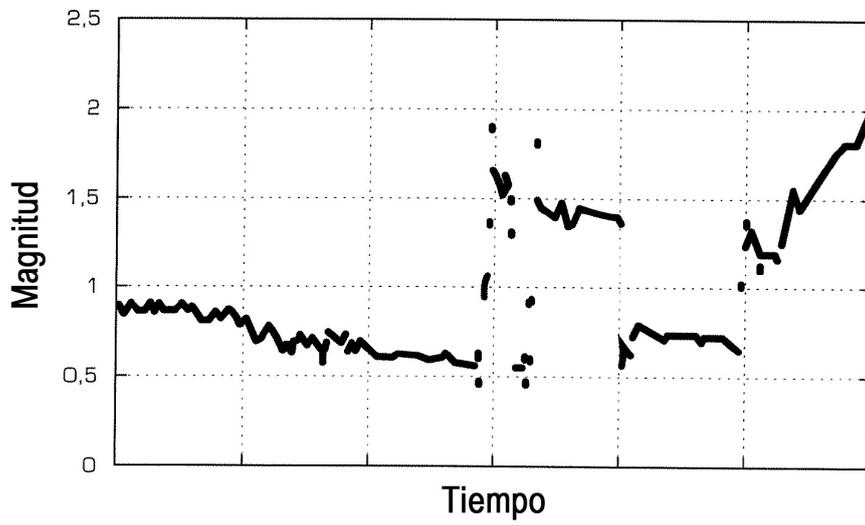


FIG. 7b

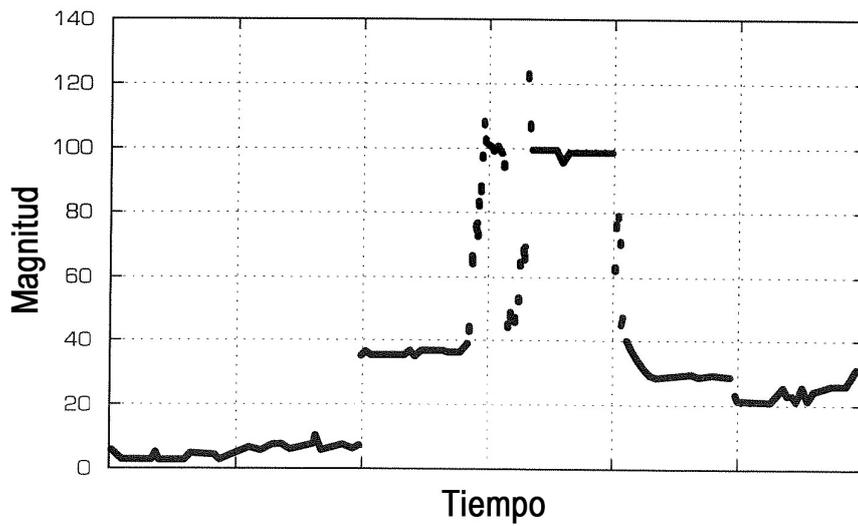


FIG. 7c