

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 148**

51 Int. Cl.:

F04D 1/00 (2006.01)

F04D 15/00 (2006.01)

F04D 15/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.12.2014 PCT/RU2014/000901**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.06.2016 WO16089237**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2014 E 14873123 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 3186514**

54 Título: **Monitorización de una bomba**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.04.2019

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Strasse 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**MANGUTOV, OLEG VLADIMIROVICH;
MOKHOV, ILYA IGOREVICH;
VENIAMINOV, NICOLAY ANDREEVICH y
KOZIONOV, ALEXEY PETROVICH**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 711 148 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

Monitorización de una bomba

La presente invención se refiere a un aparato para la monitorización de una bomba, un método para la monitorización de una bomba, y un producto de programa informático.

5 Las bombas centrífugas se usan ampliamente en diferentes áreas técnicas. Se usan, por ejemplo, en la producción de petróleo, sistemas de suministro de agua de la ciudad, eliminación de agua desperdiciada, o similares. Tales bombas se usan a menudo en condiciones duras y/o en un régimen de 24 horas. Dichas bombas suelen ser componentes costosos y voluminosos, especialmente cuando forman parte de una infraestructura de una ciudad, una región o similares. Un fallo de una bomba de este tipo suele ser un incidente importante y costoso. El fallo de
10 una bomba puede producirse repentina o lentamente con la degradación de las características de la bomba en el tiempo.

En los sistemas de suministro de agua, las bombas se agrupan, en general, en el interior de las estaciones de bombeo. El fallo de la bomba puede provocar daños en el equipo, graves riesgos técnicos e interrupciones en el suministro o escasez del rendimiento general del sistema. La detección preventiva de fallos en la bomba es una
15 tarea desafiante y requiere la aplicación de métodos modernos.

El documento US 2012/247200 A1 desvela un aparato para monitorizar una bomba, comprendiendo el aparato un módulo de control configurado para recibir al menos una señal que representa un parámetro operativo de la bomba, estimar un valor de datos de cantidad de salida estimado de la bomba basándose en la señal del parámetro operativo y una unidad de detección de errores configurada para recibir el valor de datos de cantidad de salida
20 estimado desde el módulo de control, recibir un valor de datos de cantidad de salida medido de la bomba proporcionado por un sensor, proporcionar un valor de datos de diferencia restando el valor de datos de cantidad de salida estimado del valor de datos de cantidad de salida medido, comparar el valor de datos de diferencia con un valor umbral predeterminado y proporcionar un resultado de comparación correspondiente, y emitir una señal de estado de error de la bomba basándose en el resultado de comparación.

25 Por lo tanto, es un objeto de la invención mejorar la detección de fallo de una bomba.

El objeto se resuelve mediante un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, así como con un método de acuerdo con la reivindicación independiente adicional 9, así como con un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación independiente adicional 10.

30 Otros aspectos de las al menos algunas realizaciones de la invención se exponen en las reivindicaciones dependientes respectivas.

De acuerdo con la invención, el aparato tiene un módulo basado en máquina de vectores de soporte que está configurado para recibir el valor de datos de cantidad de salida estimado desde el módulo de control, para procesar el valor de datos de cantidad de salida estimado con el fin de proporcionar un valor de datos de cantidad de salida
35 estimado procesado mediante el uso de la máquina de vectores de soporte, y para suministrar el valor de datos de cantidad de salida estimado procesado a la unidad de detección de errores en lugar del valor de datos de cantidad de salida estimado del módulo de control.

De acuerdo con la invención, el método comprende las etapas de recibir el valor de datos de cantidad de salida estimado desde el módulo de control mediante un módulo basado en máquina de vectores de soporte, procesar el valor de datos de cantidad de salida estimado mediante el módulo basado en máquina de vectores de soporte con el
40 fin de proporcionar un valor de datos de cantidad de salida estimado procesado mediante el uso de la máquina de vectores de soporte y suministrar el valor de datos de cantidad de salida estimado procesado con el fin de restar.

La invención se basa en el hecho de que un fallo de una bomba puede detectarse por adelantado cuando se estudia al menos un parámetro de la bomba y se considera además al menos una cantidad de salida de la bomba. Por lo tanto, un método puede usar el análisis de vibración de la bomba. Un sensor de vibración está instalado en la
45 bomba. Esto permite controlar las vibraciones de la bomba para determinar la condición de error real de la bomba. Además, de acuerdo con otro enfoque, se usa un modelo de sistema de bomba para la detección de fallos, donde se miden preferentemente todos los parámetros de la bomba. La desviación de tal sistema del modelo indica un comportamiento anormal, lo que permite la detección de fallos por adelantado. Esto puede proporcionar buenos resultados en la detección de fallos, pero el diseño de tal sistema es un desafío debido a que los modelos se ven
50 muy afectados por las condiciones exteriores o específicas.

La expresión "valor de datos de cantidad de salida estimado" se refiere a una señal o a un valor de datos, respectivamente, que es el resultado de la estimación mediante el módulo de control. El valor de datos de cantidad

de salida estimado es una señal de salida o un valor de datos de salida del módulo de control. La expresión “valor de datos de cantidad de salida estimado procesado” es una señal o un valor de datos, respectivamente, que es el resultado de la operación de la máquina de vectores de soporte. Esto es una señal de salida o un valor de datos, respectivamente, del módulo basado en máquina de vectores de soporte.

5 Además, si la bomba se accionada mediante un motor eléctrico, la detección de los fallos de motor de bomba puede proporcionarse por el uso de un método de análisis de firma de corriente del motor. Este método se basa en el análisis del consumo de corriente del motor. Esto permite detectar diferentes tipos de fallos, pero requiere la medición de la corriente del motor con una alta tasa de muestreo. Esto es un reto para muchas aplicaciones de bomba.

10 A este respecto, la invención presenta un aparato y un método basados en la comparación de un parámetro de bomba medido con dependencias dadas por una especificación de bomba, especialmente el modelo basado en la curva de H-Q, que, además, se corrige con una regresión de máquina de vectores de soporte (SVM) de aprendizaje de máquina.

15 Además, se añade el modelo de SVM, que mejora la salida estimada del modelo de especificación de bomba con respecto a la cantidad de salida real por lo que resulta en un error más pequeño que el simple uso del modelo de H-Q. Esto permite una monitorización más precisa de la bomba y, especialmente, mejora la predicción de fallos.

Preferentemente, en el aprendizaje de máquina, las máquinas de vectores de soporte (también denominadas redes de vectores de soporte) son modelos de aprendizaje supervisados con algoritmos de aprendizaje asociados que analizan los datos y reconocen los patrones, que se usan para la clasificación y el análisis de regresión. Dado un conjunto de ejemplos de entrenamiento, cada uno marcado como perteneciente a una de dos categorías, un algoritmo de entrenamiento de SVM construye un modelo que asigna nuevos ejemplos en una categoría o en la otra, lo que lo convierte en un clasificador lineal binario no probabilístico. Un modelo de SVM es una representación de los ejemplos como puntos en el espacio, asignados de tal manera que los ejemplos de las categorías separadas se dividen por un espacio libre lo más amplio posible. A continuación, los nuevos ejemplos se asignan a ese mismo espacio y se predice que pertenecen a una categoría basándose en qué lado del espacio caen. Además de realizar una clasificación lineal, una SVM puede realizar eficientemente una clasificación no lineal usando lo que se llama el kernel trick, mapeando implícitamente sus entradas en espacios de características de alta dimensión. Más formalmente, una máquina de vectores de soporte construye preferentemente un hiperplano o un conjunto de hiperplanos en un espacio de dimensión alta o infinita, que puede usarse para la clasificación, la regresión u otras tareas. Intuitivamente, puede lograrse una buena separación mediante el hiperplano que tenga la mayor distancia al punto de datos de entrenamiento más cercano de cualquier clase, el llamado margen funcional, ya que en general cuanto mayor sea el margen, menor será el error de generalización del clasificador.

Con el fin de entrenar el modelo de SVM, se usan los datos reales de la bomba, y se ajustan a las condiciones operativas reales de la bomba. Este modelo combinado también se denomina modelo de H-Q-SVM. En general, el sistema de aprendizaje de máquina comprende dos etapas, a saber, una primera etapa, que representa una etapa de entrenamiento o etapa de aprendizaje, respectivamente, y una segunda etapa, que representa una etapa de prueba o etapa de mantenimiento, respectivamente, que pertenece a la operación prevista del aparato.

En la etapa de aprendizaje, los datos medidos del parámetro operativo de la bomba se usan para el entrenamiento de la SVM, especialmente, el algoritmo de aprendizaje de máquina comprendido por la SVM. En la etapa de prueba, los métodos aprendidos por la máquina durante la etapa de entrenamiento se utilizan para la monitorización prevista de la bomba. En aplicaciones de la vida real, la etapa de entrenamiento puede aplicarse de manera iterativa. Por ejemplo, el algoritmo puede entrenarse en un modo en línea o por entrenamiento por lotes. Por ejemplo, el algoritmo puede recopilar datos en algún lote con retraso de tiempo y a continuación usa los datos recopilados para el entrenamiento.

45 El aparato puede ser un componente de hardware, que puede incluir una circuitería eléctrica, un ordenador, combinaciones de los mismos, o similares. El aparato también puede comprender un chip de silicón que proporciona una circuitería eléctrica que establece los componentes mencionados anteriormente. El aparato puede estar además en comunicación con una red de comunicación, por ejemplo una red de área local (LAN), Internet, o similares, preferentemente mediante el uso de una interfaz de comunicación.

50 El módulo de control es un componente del aparato que, a su vez, puede comprender en sí mismo una circuitería eléctrica, un ordenador, combinaciones de los mismos, o similares. Sin embargo, en otra realización, el módulo de control puede formar parte integral del aparato. El módulo de control tiene al menos un conector de entrada, lo que permite que el módulo de control reciba al menos una señal que representa un parámetro operativo de la bomba. El parámetro operativo de la bomba puede proporcionarse por un sensor respectivo, que está conectado a la bomba con el fin de detectar el parámetro respectivo. El parámetro operativo de la bomba puede ser una velocidad de rotación, una diferencia de presión entre la entrada y la salida, un flujo del medio a bombear, una temperatura, unas vibraciones, combinaciones de los mismos, o similares.

El módulo de control está configurado para estimar un valor de datos de cantidad de salida estimado de la bomba basándose en la señal del parámetro operativo. Para este fin, el módulo de control usa preferentemente un módulo de especificación de bomba, especialmente un modelo basado en la curva de H-Q de especificación de bomba. Esto permite que el módulo de control estime la cantidad de salida, que debería proporcionarse físicamente en la salida de la bomba. Sin embargo, en realidad, las desviaciones aparecen entre el valor de datos de cantidad de salida estimado y el valor de datos de cantidad de salida real proporcionado por la bomba. Esta diferencia puede procesarse aún más con el fin de determinar si la bomba va a fallar o si todavía está en el modo de operación normal. Preferentemente, puede proporcionarse una predicción de que puede aparecer un fallo en el futuro más cercano, especialmente, para el uso previsto de la invención en el área de infraestructura. Esta es una ventaja con el fin de mejorar la confiabilidad de la infraestructura. Por lo tanto, la detección de fallos de una bomba puede mejorarse mediante el uso de la invención.

El aparato comprende además la unidad de detección de errores, que está configurada para recibir el valor de datos de cantidad de salida estimado desde el módulo de control. En general, la unidad de detección de errores puede formar parte integral del módulo de control. Sin embargo, también puede ser un componente separado. La unidad de detección de errores está configurada para recibir un valor de datos de cantidad de salida medido de la bomba proporcionado por un sensor. El valor de datos de cantidad de salida puede ser un flujo de salida de la bomba, una presión de salida de la bomba, una combinación de los mismos, o similares. En consecuencia, el sensor puede conectarse a la bomba con el fin de proporcionar el valor respectivo. El sensor puede ser un componente separado o puede formar parte integral del aparato.

La unidad de detección de errores está configurada además para proporcionar un valor de datos de diferencia restando el valor de datos de cantidad de salida estimado del valor de datos de cantidad de salida medido. Este valor de datos de diferencia se compara con un valor umbral predeterminado con el fin de recibir un resultado de comparación. En función del resultado de comparación, se proporciona una señal de estado de error de salida de la bomba, especialmente la salida de la unidad de detección de errores, especialmente el aparato. Esta señal puede usarse para indicar el estado de error de la bomba, por ejemplo, indicándolo visualmente, acústicamente o con combinaciones de los mismos, o similares. Además, esta señal puede comunicarse a una estación de monitorización central.

De acuerdo con la invención, el módulo basado en máquina de vectores de soporte está configurado para recibir el valor de datos de cantidad de salida estimado desde el módulo de control, para procesar el valor de datos de cantidad de salida estimado con el fin de proporcionar un valor de datos de cantidad de salida estimado procesado, y para suministrar el valor de datos de cantidad de salida estimado procesado a la unidad de detección de errores en lugar del valor de datos de cantidad de salida estimado del módulo de control. Por lo tanto, la entrada de la unidad de detección de errores se reemplaza por una señal de salida, que se proporciona por el módulo basado en máquina de vectores de soporte. A su vez, la señal de salida del módulo de control, sirve ahora como una señal de entrada para el módulo basado en máquina de vectores de soporte. Por lo tanto, el uso del módulo basado en máquina de vectores de soporte permite mejorar la precisión del valor de datos de cantidad de salida estimado de la bomba de tal manera que, por último pero no menos importante, pueda mejorarse la predicción o la decisión del estado de error, respectivamente. Esto se logra mediante la operación adicional del valor de datos de cantidad de salida estimado entregado por el módulo de control mediante el uso del módulo basado en máquina de vectores de soporte.

Por lo tanto, la unidad de detección de errores tiene un valor de datos de cantidad de salida estimado mejorado con el fin de proporcionar el valor de datos de diferencia.

De acuerdo con una mejora, se sugiere que el módulo basado en máquina de vectores de soporte se configure para operar la regresión de máquina de vectores de soporte de aprendizaje de máquina. Esto permite que el modelo de máquina de vectores de soporte estime la función que tiene el flujo de salida de modelo de H-Q como entrada y estime el flujo de salida real de la bomba.

En la formulación de regresión, un objetivo es estimar una función continua desconocida basándose en un conjunto finito de muestras ruidosas (x_i, y_i) , $(i = 1, \dots, n)$, donde $x \in R^d$ es una entrada de dimensión d , e $y \in R$ es una salida. El modelo estadístico asumido para la generación de los datos tiene la siguiente forma:

$$Y = r(x) + \delta,$$

Donde $r(x)$ es una función objetivo desconocida (regresión), y δ es un ruido medio aditivo cero o con varianza de ruido σ .

En la regresión de SVM, la entrada x se asigna en primer lugar a un espacio de características dimensional m usando algún modelo fijo, por ejemplo, no lineal, de asignación, y a continuación se construye un modelo lineal en este espacio de características. Usando la notación matemática, el modelo lineal o en el espacio de características,

respectivamente, $f(x, \omega)$ se proporciona por

$$f(x, \omega) = \sum_{j=1}^m \omega_j g_j(x) + b$$

5 Donde $g_j(x)$, $k = 1, \dots, m$ indica un conjunto de transformaciones no lineales, y b es el término "sesgo". A menudo, se asume que los datos tienen una media de cero, por lo que se elimina el término de sesgo mencionado anteriormente. Esto puede lograrse mediante un preprocesamiento.

10 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, el módulo basado en máquina de vectores de soporte está configurado para entrenarse con los datos reales de los parámetros operativos de la bomba. Para este fin, pueden registrarse los datos reales de la bomba y, durante una etapa de entrenamiento, estos datos pueden usarse para el entrenamiento del módulo basado en máquina de vectores de soporte o su algoritmo, respectivamente. Esto permite que la máquina de vectores de soporte se procese de manera precisa para la operación real de la bomba.

15 De acuerdo con un aspecto adicional, el módulo de control está configurado para recibir señales de todos los parámetros operativos de la bomba y para estimar el valor de datos de cantidad de salida estimado basándose en todas las señales de los parámetros operativos. Esto permite mejorar la precisión de la monitorización de la bomba. Por ejemplo, para los parámetros operativos, pueden proporcionarse sensores individuales en la bomba. El módulo de control está provisto preferentemente de conectores respectivos de tal manera que cada uno de los sensores pueda conectarse con el módulo de control.

20 De acuerdo con otro aspecto de la invención, el módulo de control está configurado para estimar el valor de datos de cantidad de salida estimado basándose en un modelo de H-Q que, a su vez, se basa en las curvas de H-Q proporcionadas por el fabricante de la bomba. Esto permite mejorar aún más la precisión de la monitorización de la bomba. Especialmente, puede considerarse adicionalmente cierta información relacionada con el diseño de la bomba.

De acuerdo con una realización a modo de ejemplo, el aparato está adaptado para monitorizar una bomba centrífuga. Puede proporcionarse una pluralidad de aplicaciones con la invención, especialmente, la invención es adecuada para actualizarse en sistemas ya operativos.

25 De acuerdo con otro ejemplo de realización, el módulo de control está configurado para detectar un parámetro eléctrico de una máquina eléctrica que acciona la bomba. El parámetro eléctrico es preferentemente también un parámetro operativo. Esto permite mejorar aún más el control de la bomba.

30 De acuerdo con otro ejemplo de realización, la unidad de detección de errores está configurada para calcular el valor umbral de una media cuadrática (RMS) de un número predeterminado de valores de datos de diferencia. Esto permite recibir fácilmente el valor umbral. Preferentemente, el número predeterminado es una cifra entre 2 y 25, preferentemente entre 2 y 7, lo más preferentemente 3, de valores de datos de diferencia preferentemente predeterminados. Los valores de datos de diferencia predeterminados pueden ser los valores posteriores o pueden elegirse de acuerdo con una prescripción predeterminada.

35 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, se proporcionan uno o más productos de programas informáticos que incluyen un programa para un dispositivo de procesamiento, que comprende partes de código de software de un programa para realizar las etapas del método de acuerdo con la invención cuando el programa se ejecuta en el dispositivo de procesamiento. Los productos de programas informáticos comprenden además unos componentes ejecutables por ordenador que, cuando el programa se ejecuta en un ordenador, se configuran para realizar el método respectivo como se ha mencionado anteriormente en el presente documento. El producto/productos de programas informáticos anteriores pueden incorporarse como un medio de almacenamiento legible por ordenador.

45 Las enseñanzas de las presentes invenciones pueden entenderse fácilmente y al menos algunos detalles específicos adicionales aparecerán considerando la siguiente descripción detallada de al menos una realización a modo de ejemplo junto con los dibujos adjuntos, que muestran esquemáticamente la invención aplicada a la monitorización de una bomba centrífuga.

En los dibujos:

la figura 1 muestra esquemáticamente un esquema para una bomba centrífuga,

la figura 2 muestra las curvas de H-Q para la bomba de acuerdo con la figura 1,

- la figura 3 muestra esquemáticamente un diagrama de flujo para el entrenamiento de estimación en una etapa de entrenamiento del modelo de SVM H-Q de acuerdo con la invención,
- la figura 4 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques de la bomba de acuerdo con la figura 1 conectada con un aparato de acuerdo con la invención,
- 5 la figura 5 muestra esquemáticamente un diagrama que muestra unos datos reales de la bomba de acuerdo con la figura 1,
- la figura 6 muestra un diagrama que muestra esquemáticamente un error de modelo y dos valores umbrales,
- la figura 7 muestra un diagrama que muestra esquemáticamente un índice de fallos, en el que un índice en el intervalo de 1 se relaciona con el comportamiento normal de la bomba y un índice en el intervalo de 0 se relaciona con un comportamiento anormal de la bomba, y
- 10 la figura 8 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques que representa un enfoque de red de funciones básicas radiales (RBF).

15 La figura 1 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques de una disposición de bomba 52 que comprende una bomba centrífuga 16 que tiene una entrada 18 para la succión de agua, y una salida 20 para proporcionar el flujo de salida de la bomba 16. La bomba 16 se acciona mediante un motor eléctrico 14 que, a su vez, recibe energía eléctrica mediante un convertidor de frecuencia 12. El convertidor de frecuencia 12, a su vez, está conectado con una red de suministro de energía 10 con el fin de suministrar energía eléctrica al convertidor de frecuencia 12.

20 La figura 2 muestra esquemáticamente un diagrama con unas curvas de H-Q de la bomba 16 que por lo general se proporcionan por el fabricante de la bomba 16. Este diagrama muestra la relación entre el caudal volumétrico de la bomba 16 y una diferencia de presión entre la entrada 18 y la salida 20 a una velocidad constante del cigüeñal de bomba de la bomba 16. La diferencia de presión también se conoce como altura de elevación.

25 La figura 4 muestra un diagrama de bloques esquemático de un aparato 100 para la monitorización de la bomba centrífuga 16. El aparato 100 es un aparato de la invención. El aparato 100 comprende un módulo de control 60 que está configurado para recibir dos señales que representan los parámetros operativos 74, 76 de la bomba centrífuga 16. Actualmente, el parámetro operativo 74 se refiere a una altura de elevación de la bomba centrífuga 16, mientras que el parámetro operativo 76 se refiere a una frecuencia que se relaciona con la rotación de la bomba centrífuga 16. En otras realizaciones, pueden considerarse parámetros operativos diferentes o adicionales.

30 El módulo de control 60 está configurado además para estimar un valor de datos de cantidad de salida estimado 72 de la bomba 16, en el que la estimación se basa en las señales de los parámetros operativos 74, 76. El módulo de control 60 usa, con el fin de realizar una estimación, una estimación de modelo de H-Q 34 que, a su vez, se basa en las curvas de bomba (figura 2) proporcionadas por el fabricante de la bomba centrífuga 16. El valor de datos de cantidad de salida estimado 72 es un valor de salida del módulo de control 60, que se proporciona para un procesamiento adicional del aparato 100.

35 La figura 4 muestra una disposición de bomba 52 que comprende la bomba centrífuga 16. El parámetro operativo 76 incide sobre la bomba centrífuga 16. En el lugar de la entrada 18, la bomba centrífuga 16 comprende un primer sensor de presión 54, mientras que, en la salida 20, se proporciona un segundo sensor de presión 56. Los sensores de presión 54, 56 proporcionan una señal a una unidad de altura de elevación 58 que calcula la altura de elevación de las señales suministradas por los sensores de presión 54, 56. La unidad de altura de elevación 58 proporciona el parámetro operativo 74 como una salida que se suministra al aparato 100, especialmente, al módulo de control 60.

40 El aparato 100 comprende además una unidad de detección de errores 62. La unidad de detección de errores 62 está configurada para recibir un valor de datos de cantidad de salida medido 80 de la bomba 16 que se proporciona por un sensor 78. En la presente realización, el valor de datos de cantidad de salida medido se refiere a un flujo volumétrico en la salida 20 de la bomba centrífuga 16. En la presente realización, el sensor 78 es parte de la disposición de bomba 52. De acuerdo con la invención, el aparato 100 incluye además un módulo basado en máquina de vectores de soporte 64 que está configurado para recibir el valor de datos de cantidad de salida estimado 72 desde el módulo de control 60. El módulo basado en máquina de vectores de soporte 64 procesa el valor de datos de cantidad de salida estimado 72 con el fin de proporcionar un valor de datos de cantidad de salida estimado procesado 82 como una salida. El valor de datos de cantidad de salida estimado procesado 82 se suministra a la unidad de detección de errores 62 en lugar del valor de datos de cantidad de salida estimado 72 del

45

50 módulo de control.

La unidad de detección de errores 62 está configurada además para proporcionar un valor de datos de diferencia restando el valor de datos de cantidad de salida estimado procesado 82 del valor de datos de cantidad de salida

medido 80. El valor de datos de diferencia se compara 68 con un valor umbral predeterminado. En respuesta a esto, la unidad de detección de errores 62 emite una señal de estado de error 70 de la bomba centrífuga 16 basándose en el resultado de comparación.

5 La figura 3 muestra esquemáticamente en una realización a modo de ejemplo de un diagrama de flujo de operación de la etapa de entrenamiento del aparato 100 de acuerdo con la invención. El método comienza en 30. En 32, se introducen como entrada las características normalizadas de bomba de una especificación de bomba proporcionada por el fabricante (figura 2). En 34, el módulo de control 60 proporciona una estimación del modelo de H-Q. A continuación, en la etapa 36, se ejecuta la estimación por el módulo basado en máquina de vectores de soporte. Como salida en 38, se proporciona el modelo de máquina de vectores de soporte de H-Q. El método termina en 40. Por lo tanto, la figura 3 muestra el entrenamiento de estimación del aparato 100 de acuerdo con la invención.

La calidad de la estimación con el aparato de acuerdo con la invención puede medirse por una función de pérdida, como se detalla a continuación.

La calidad de la estimación se mide por la función de pérdida $L(y, f(x, \omega))$. La regresión de SVM usa un nuevo tipo de función de pérdida, llamada función de pérdida insensible ϵ :

$$L_{\epsilon} = (y, f(x, \omega)) = \begin{cases} 0 & \text{if } |y - f(x, \omega)| \leq \epsilon \\ |y - f(x, \omega)| - \epsilon & \text{de otra manera} \end{cases}$$

El riesgo empírico es:

$$R_{\text{emp}}(\omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{\epsilon}(y_i, f(x, \omega))$$

20 Debería observarse que la pérdida insensible ϵ coincide con la pérdida de módulo mínimo y con un caso especial de la función de pérdida robusta de Huber cuando $\epsilon = 0$. Por lo tanto, puede compararse el rendimiento de predicción de la SVM, con la ϵ elegida propuesta, con las estimaciones de regresión obtenidas usando la pérdida de módulo mínimo ($\epsilon = 0$) para varias densidades de ruido.

A continuación, se describe el algoritmo.

25 El algoritmo comprende una etapa de entrenamiento como una primera etapa y una etapa de prueba como una segunda etapa. La etapa de entrenamiento se muestra de acuerdo con la figura 3, representándose la etapa de prueba en la figura 4.

30 En la etapa de entrenamiento, se estima un modelo de H-Q de acuerdo con la etapa 34 usando las características de bomba a partir de una especificación de bomba del fabricante. Los parámetros de entrada son actualmente una frecuencia de corriente de bomba que puede derivarse de la corriente a medir en el motor eléctrico 14, así como una altura de elevación de bomba proporcionada por la unidad de altura de elevación 58. Como una salida, se usa el flujo de bomba, que se proporciona por el sensor 78.

En segundo lugar, se estima que el modelo de máquina de vectores de soporte describe las dependencias entre la demanda y la salida reales. Con fines de estimación, la salida del flujo de bomba del modelo de H-Q se usa como una entrada. La salida es un flujo de salida estimado de la bomba 16.

35 En la etapa de prueba, se usa el modelo de H-Q-SVM combinado para la estimación de flujo de salida de la bomba 16. A continuación, se proporciona un cálculo de error del modelo de H-Q-SVM. En una etapa siguiente, la salida de error del modelo de H-Q-SVM se compara con los umbrales, que, en la presente realización, son un umbral superior e inferior. Ambos umbrales proporcionan juntos una banda, en la que la señal fuera de la banda representa un fallo o un error, respectivamente, de la bomba 16. Esto se muestra con respecto a las figuras 5 a 7.

40 En el diagrama de la figura 5, se muestran la salida real y la salida de la estimación. La figura 6 muestra el error del modelo con respecto a los umbrales superior e inferior. La figura 7 muestra fallos, mientras que un valor de un indicador de fallo de aproximadamente 0 representa un fallo, mientras que un indicador de fallo con un valor de aproximadamente 1 representa la operación normal de la bomba 16.

La operación del módulo basado en máquina de vectores de soporte 64 es más detallada con respecto a la figura 8. Actualmente, se usa un algoritmo de clasificación de nube neuronal como máquina de vectores de soporte. La

estimación de una función de pertenencia consiste preferentemente en dos etapas: en primer lugar, agrupar mediante el algoritmo de agrupamiento de medios K avanzados (AKM) y, en segundo lugar, una aproximación de grupos mediante un enfoque de red de funciones básicas radiales (RBF) (véase la figura 8). AKM es una modificación del algoritmo de medios K con un cálculo adaptativo del número óptimo de grupos para un número máximo dado de grupos (centroides).

AKM consiste preferentemente en las siguientes etapas:

- Establecer un número inicial de K centroides y un límite máximo y mínimo.
- Llamar al algoritmo de medios K para colocar los centroides K
- Insertar o borrar los centroides de acuerdo con las siguientes premisas:
- Si las distancias de los datos están por encima de una cierta distancia del centroide más cercano, generar entonces un nuevo centroide.
- Si algún grupo consiste en menos de un cierto número de datos, eliminar el centroide correspondiente.
- Si la distancia entre algunos centroides es menor que un cierto valor, entonces combinar esos grupos en uno.
- Volver a la etapa 2 a menos que se alcance un cierto número de referencias, o el número de centroides y sus coordenadas se hayan estabilizado.

La salida del algoritmo de AKM es el centro de los grupos que representan datos históricos relacionados con el comportamiento normal. Esto se usa como un conjunto de entrenamiento. Después de todo, los centros de los grupos se han extraído a partir de los datos de entrada, los datos se encapsulan con una hipersuperficie (función de pertenencia). Para este fin, se utilizan distribuciones gaussianas (campana gaussiana).

$$R_i = e^{-\frac{|x-m_i|^2}{2\sigma^2}}$$

Donde m_i son los centros de la campana gaussiana, σ es la anchura de la campana gaussiana, x son los datos de entrada.

Los grupos de AKM de centros se asignan a los centros de las campanas gaussianas correspondientes, como puede verse en la figura 8 con respecto a L1. La suma de todas las campanas gaussianas se calcula para obtener la función de pertenencia. La suma de las campanas gaussianas será preferentemente una unidad en el caso de que estas campanas se superpongan. A continuación, se aplica la normalización para hacer que los valores de confianza P^c se calculen mediante nubes neuronales en los límites entre 0 y 1 (véase la figura 8).

Las nubes neuronales encapsulan toda la historia anterior de los parámetros seleccionados para un período de entrenamiento dado. Después del entrenamiento, las nubes neuronales calculan un valor de confianza para cada nuevo estado de la bomba 16, describiendo el valor de confianza del comportamiento normal.

Las nubes neuronales unidimensionales construyen la función de pertenencia para el error del modelo de la simulación de fatiga mecánica-térmica (TF) y proporciona una salida difusa de valores de confianza entre 0 y 1.

Si se desea, las diferentes funciones y realizaciones tratadas en el presente documento pueden realizarse en un orden diferente o divergente y/o actualmente entre sí de diversas maneras. Además, si se desea, una o más de las funciones y/o realizaciones descritas anteriormente pueden ser opcionales o pueden combinarse, preferentemente de una manera arbitraria.

Aunque se exponen diversos aspectos de la invención en las reivindicaciones independientes, otros aspectos de la invención comprenden otras combinaciones de las características de las realizaciones descritas y/o las reivindicaciones dependientes con las características de las reivindicaciones independientes.

También se observa en el presente documento que, aunque lo anterior describe las realizaciones a modo de ejemplo de la invención, esta descripción no debe considerarse como que limita el alcance. Más bien, hay varias variaciones y modificaciones que pueden realizarse sin alejarse del alcance de la presente invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (100) para monitorizar una bomba (16), comprendiendo el aparato (100):
 - un módulo de control (60) configurado para recibir al menos una señal que representa un parámetro operativo (74, 76) de la bomba (16), estimar un valor de datos de cantidad de salida estimado (72) de la bomba (16) basándose en la señal del parámetro operativo (74, 76) y un módulo basado en máquina de vectores de soporte (64) que está configurado para recibir el valor de datos de cantidad de salida estimado (72) desde el módulo de control (60), procesar el valor de datos de cantidad de salida estimado (72) con el fin de proporcionar un valor de datos de cantidad de salida estimado procesado (82) mediante el uso de una máquina de vectores de soporte (SVM), y suministrar el valor de datos de cantidad de salida estimado procesado (82) a una unidad de detección de errores (62), en el que la unidad de detección de errores (62) está configurada para recibir un valor de datos de cantidad de salida medido (80) de la bomba (16) proporcionado por un sensor (78), proporcionar un valor de datos de diferencia restando (66) el valor de datos de cantidad de salida estimado procesado (82) del valor de datos de cantidad de salida medido (80), comparar (68) el valor de datos de diferencia con un valor umbral predeterminado y proporcionar un resultado de comparación correspondiente, y emitir una señal de estado de error (70) de la bomba (16) basándose en el resultado de comparación.
2. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el módulo basado en máquina de vectores de soporte (64) está configurado para operar la regresión de máquina de vectores de soporte (SVM) de aprendizaje de máquina.
3. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el módulo basado en máquina de vectores de soporte (64) está configurado para entrenarse con datos reales de unos parámetros operativos (74, 76) de la bomba (16).
4. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** el módulo de control (60) está configurado para recibir unas señales para los parámetros operativos (74, 76) de la bomba (16) y para estimar el valor de datos de cantidad de salida estimado (72) basándose en las señales de los parámetros operativos (74, 76), en el que los parámetros operativos (74, 76) de la bomba (16) comprenden la velocidad de rotación, una diferencia de presión entre la entrada y la salida, un flujo del medio a bombear, una temperatura, vibraciones y combinaciones de los mismos.
5. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el módulo de control (60) está configurado para estimar el valor de datos de cantidad de salida estimado (72) basándose en un modelo de H-Q que, a su vez, se basa en unas curvas de H-Q proporcionadas por el fabricante de la bomba (16).
6. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** el aparato (100) está adaptado para monitorizar una bomba centrífuga (16).
7. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** el módulo de control (60) está configurado para detectar un parámetro eléctrico de una máquina eléctrica (14) que acciona la bomba (16).
8. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** la unidad de detección de errores (62) está configurada para calcular el valor umbral a partir de la media cuadrática (RMS) de un número predeterminado de valores de datos de diferencia.
9. Un método para monitorizar una bomba, comprendiendo el método las etapas de:
 - recibir al menos una señal que representa un parámetro operativo (74, 76) de la bomba (16) por un módulo de control (60),
 - estimar un valor de datos de cantidad de salida estimado (72) de la bomba (16) basándose en la señal del parámetro operativo (74, 76) por el módulo de control (60),
 - recibir el valor de datos de cantidad de salida estimado (72) del módulo de control (60) por un módulo basado en máquina de vectores de soporte (64),
 - procesar el valor de datos de cantidad de salida estimado (72) por el módulo basado en máquina de vectores de soporte (64) con el fin de proporcionar un valor de datos de cantidad de salida estimado procesado (82) por el uso de una máquina de vectores de soporte (SVM),
 - suministrar el valor de datos de cantidad de salida estimado procesado (82) a una unidad de detección de errores (62) por el módulo basado en máquina de vectores de soporte (64), y

- 5 recibir un valor de datos de cantidad de salida medido (80) de la bomba (16) proporcionado por un sensor (80) por una unidad de detección de errores (62),
proporcionar un valor de datos de diferencia restando el valor de datos de cantidad de salida estimado procesado (82) del valor de datos de cantidad de salida medido (80) por la unidad de detección de errores (62),
comparar (68) el valor de datos de diferencia con un valor umbral predeterminado y proporcionar un resultado de comparación correspondiente por la unidad de detección de errores (62), y
emitir una señal de estado de error (70) de la bomba (16) basándose en el resultado de comparación por la unidad de detección de errores (62).
- 10 10. Un producto de programa informático que incluye un programa para un dispositivo de procesamiento, que comprende partes de código de software de un programa para realizar las etapas de un método de acuerdo con la reivindicación 9 cuando el programa se ejecuta en el dispositivo de procesamiento.

FIG 1

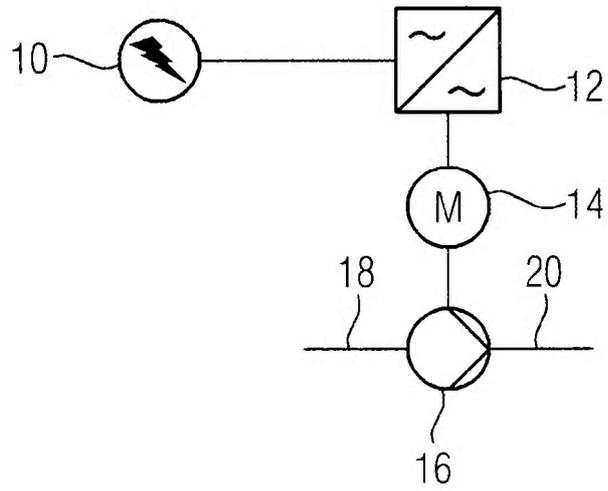


FIG 2

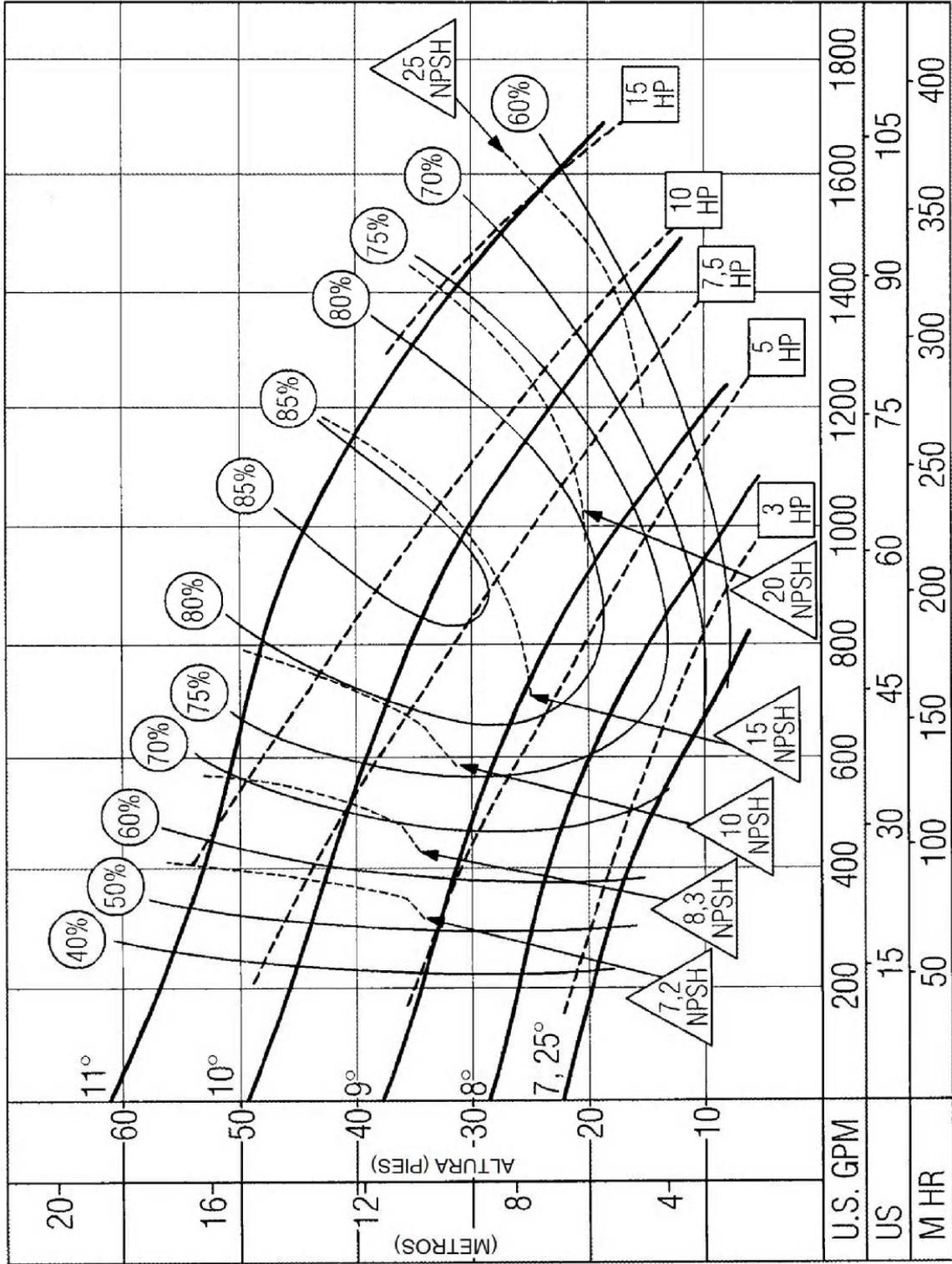


FIG 3

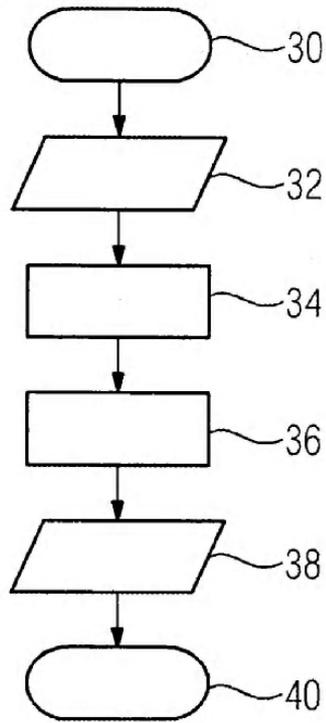


FIG 4

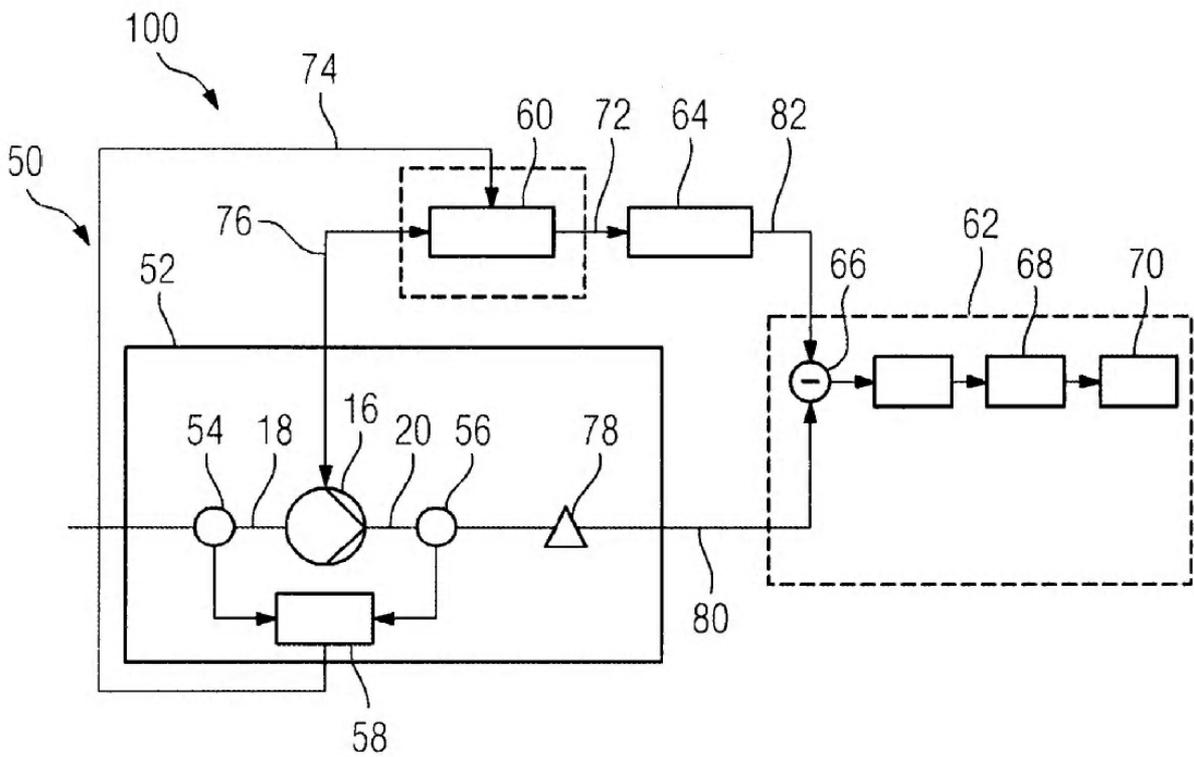


FIG 5

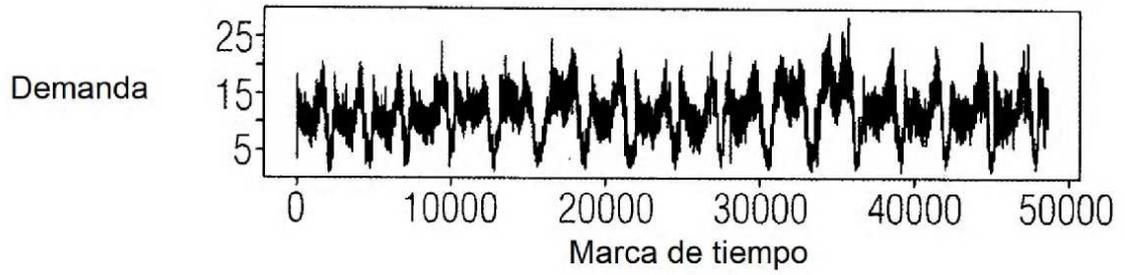


FIG 6

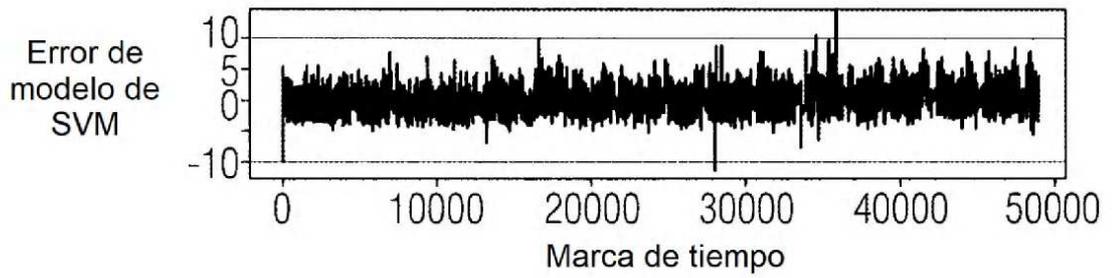


FIG 7

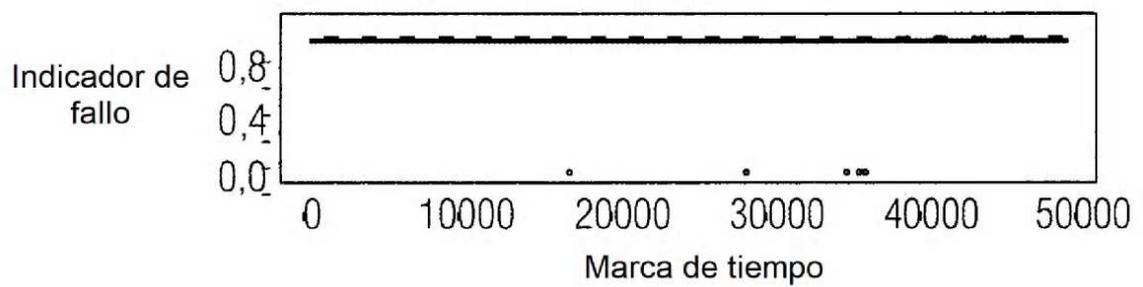


FIG 8

