

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 405 359**

51 Int. Cl.:

**G05B 23/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.11.2007 E 07121710 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2013 EP 1930855**

54 Título: **Procedimiento y sistema para estimar la vida útil de una caja de engranajes**

30 Prioridad:

**08.12.2006 US 608272**

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

**30.05.2013**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)**

**1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**BEHERA, AJAY KUMAR;  
DE, SOUMEN y  
JAMMU, VINAY BHASKAR**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 405 359 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 y sistema para estimar la vida útil de una caja de engranajes

El contenido divulgado en el presente documento versa, en general, acerca de cajas de engranajes y, más en particular, acerca de un procedimiento y un sistema para estimar la vida útil de una caja de engranajes.

5 Las cajas de engranajes son utilizadas para la transmisión de potencia en muchos sistemas tales como, turbinas eólicas, automóviles, y locomotoras. Normalmente, una caja de engranajes incluye componentes tales como un alojamiento, ejes, cojinetes y engranajes. Hay disponibles diversos diseños de cajas de engranajes para satisfacer distintos requerimientos de la transmisión de velocidad. Dos ejemplos incluyen una caja de engranajes planetarios y una caja de engranajes de dentadura helicoidal.

10 Los engranajes, los cojinetes, y los ejes en una caja de engranajes pueden tener defectos, pueden fallar con el paso del tiempo, o simplemente pueden desgastarse. Estos componentes dañados o desgastados pueden ser sustituidos después de que se detecta la condición dañada o desgastada. Sin embargo, dejar fuera de servicio una caja de engranajes para tal sustitución normalmente tiene como resultado una pérdida de ingresos. En cambio, si se lleva a cabo la sustitución durante un procedimiento programado de mantenimiento, se producen menos pérdidas. Por lo tanto, el conocimiento de la condición de los componentes clave de la caja de engranajes puede ser utilizado para permitir un mantenimiento eficaz. Uno de los parámetros utilizado para determinar la condición de la caja de engranajes es la vida útil residual (RUL), que es una función del diseño de la caja de engranajes, de los componentes de la caja de engranajes, y también de los esfuerzos (número de ciclos y el número de picos) que experimentan los componentes durante su operación. Cualquier fallo de los componentes individuales afecta a la RUL de la caja de engranajes.

15 Típicamente, la vida útil de diseño de una caja de engranajes es de más de veinte años. Sin embargo, varias cajas de engranajes de turbinas eólicas fallan en menos de cuatro a cinco años. Los procedimientos convencionales de cálculo de la vida útil están basados en perfiles operativos dados como premisa de la turbina eólica. Sin embargo, en una operación real, podría haber una variación significativa en los perfiles de operación que podrían dar lugar a una vida útil de la caja de engranajes muy distinta de la estimada durante el diseño. Por ejemplo, si existe un desequilibrio en el rotor, se crea un exceso de carga sobre el cojinete mientras se encuentra en funcionamiento y que tiene como resultado un fallo del cojinete y, por lo tanto, de la caja de engranajes antes de su vida útil de diseño.

20 El documento DE 19713583 da a conocer un procedimiento para una detección dinámica de los perfiles de carga de las plantas de energía eólica durante la operación.

30 Existe una necesidad de un sistema y de un procedimiento para estimar con más precisión la vida útil restante de la caja de engranajes. En un ejemplo, se mejora la estimación de la vida útil al aplicar la estimación de la vida útil del componente a la estimación de la vida útil total de la caja de engranajes.

En una realización según la presente invención, se define un sistema de estimación de la vida útil de una caja de engranajes en la reivindicación 1.

35 En otra realización, se define un procedimiento para estimar la vida útil restante de una caja de engranajes en la reivindicación 11.

Se comprenderán mejor los diversos aspectos, características, y ventajas de la presente invención cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que los caracteres similares representan piezas similares en todos los dibujos, en los que:

40 La FIG. 1 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema de estimación de la vida útil de la caja de engranajes según una realización;

la FIG. 2 es un diagrama de bloques que ilustra un procesador utilizado en el sistema de la FIG. 1 para calcular cargas de componentes individuales;

45 la FIG. 3 es un diagrama de flujo que ilustra una realización para estimar la vida útil residual de un componente de una caja de engranajes; y

la FIG. 4 es un diagrama de flujo que ilustra etapas ejemplares para estimar la vida útil restante de la caja de engranajes del sistema de la FIG. 1.

50 Las diversas realizaciones descritas en el presente documento son útiles para identificar modos de fallo de los componentes críticos de una caja de engranajes y para utilizar la información identificada para predecir en tiempo real la vida útil residual (RUL) o el tiempo transcurrido hasta que se produce la avería (TTF) de la caja de engranajes en su conjunto mientras que la máquina se encuentra en funcionamiento. Según se define en el presente documento "tiempo real" es un periodo de tiempo que puede variar desde segundos hasta cualquier periodo de tiempo mayor.

Con referencia, en general, a la FIG. 1, se ilustra una máquina eléctrica giratoria, y que está representada, en general, por el número 10 de referencia. En la realización no limitante de la FIG. 1, con fines de ejemplo, la máquina eléctrica giratoria es una turbina eólica. La turbina eólica 10 tiene una caja 12 de engranajes proporcionada entre un rotor 14 que recibe viento y un generador 16. El rotor 14 que recibe viento tiene una pluralidad de palas del rotor (no mostrados). Según sopla el viento, se gira el rotor 14 que recibe viento debido a la fuerza del viento, y se transmite la rotación del rotor 14 por medio de la caja 12 de engranajes al generador 16 que, a su vez, incluye un rotor (no mostrado) del generador. Normalmente, el rotor del generador está diseñado para operar a una velocidad mayor que el rotor 14 que recibe viento, de forma que la caja 12 de engranajes está diseñada para aumentar la velocidad de rotación producida por el rotor 14 que recibe viento hasta la velocidad más deseable para accionar el rotor del generador 16.

En la realización ilustrada, la caja 12 de engranajes comprende un conjunto 18 de engranajes planetarios, un conjunto 20 de engranajes intermedios, y un conjunto 22 de engranajes de alta velocidad proporcionados en el interior de la carcasa 24 de la caja de engranajes. El rotor 14 que recibe viento está acoplado por medio de un eje 26 del rotor a un conjunto 18 de engranajes planetarios. El conjunto 18 de engranajes planetarios comprende un engranaje planetario 28, un engranaje planetario central 30, y un engranaje anular 32 y está soportado por medio de una pluralidad de cojinetes 34, 36, 38, y 40. El engranaje planetario central 30 está acoplado por medio de un primer eje 42 de engranaje al conjunto 20 de engranajes intermedios. En una realización, el engranaje planetarios centrales 30 es más pequeño que el engranaje planetario 28 y gira (junto con el eje 42 de engranaje) a una velocidad mayor que el eje 26 del rotor. De forma similar, el conjunto 20 de engranajes intermedios y el conjunto 22 de engranajes de alta velocidad incluyen engranajes, ejes de engranaje, y cojinetes. El generador 16 convierte la energía giratoria de un eje (principal) 62 de salida en electricidad.

Se proporciona un sistema 72 de estimación de la vida útil de una caja de engranajes para detectar problemas de engranajes y de cojinetes. En una realización, el sistema 72 de estimación de la vida útil de una caja de engranajes comprende sensores 74, 76, 78, y 80, como se ilustra en la FIG. 1. Aunque se muestran más de un sensor en la realización ilustrada, se puede hacer notar que también se puede utilizar un único sensor en ciertas realizaciones. Los sensores están configurados para obtener datos de campo operativos relacionados con la carga de la caja 12 de engranajes debido a condiciones operativas. En una realización específica se utiliza una señal de velocidad y una señal de vibración como datos de campo operativos. En otro ejemplo específico más se puede utilizar la información de velocidad de régimen permanente, conocida a priori, y el sensor puede proporcionar únicamente una señal de vibración.

Los datos de campo operativos pueden incluir, por ejemplo, datos respecto a operaciones de pie de cabra, el número de puestas en marcha, ráfagas de viento, secuencias de carga, eventos de protección de baja tensión, desajustes de la red de distribución eléctrica, desconexiones, calidad del aceite, y fallos en el ámbito de los componentes. Los sensores obtienen los datos de campo operativos mencionados anteriormente en forma de señales representativas de vibración, de velocidad y la potencia del viento y otros atributos relacionados con el funcionamiento de los componentes de la caja de engranajes. En un ejemplo específico, un sensor 84 de velocidad está configurado para detectar la velocidad del eje 62 de salida, y un sensor 86 de potencia está configurado para detectar la potencia de salida del generador 16. Hay acoplado un procesador 82 a los sensores y está configurado para recibir las señales de los sensores. Además, el procesador 82 es operable para determinar la ubicación de un problema en el interior de la caja de engranajes, ya sea en el conjunto 18 de engranajes planetarios, en el conjunto 20 de engranajes intermedios, en el conjunto 22 de engranajes de alta velocidad, o en los cojinetes. El procesador 82 comprende circuitería de *hardware* y *software* que permite que el procesador 82 procese las señales y determine, de ese modo, la condición o la condición de la caja 12 de engranajes. Como apreciarán los expertos en la técnica, el procesador 82 puede incluir una gama de tipos de circuitería, tales como un microprocesador, un controlador lógico programable, o un módulo lógico. El procesador está descrito con más detalle con referencia a las FIGURAS 2 y 3.

El sistema 72 de estimación de la vida útil de una caja de engranajes puede incluir, además, una herramienta 88 de simulación, o puede estar acoplado a la misma, configurada para calcular la carga en el eje 26 de la turbina. El sistema 72 de estimación de la vida útil de una carga de engranajes puede incluir, además, un sistema de control o una unidad 94 de control. En una realización, los sensores, el procesador y el sistema de control forman un sistema de protección de la caja de engranajes. En una realización más específica, el sistema de control está configurado para desplazar el punto de trabajo en la curva de potencia al controlar el ángulo de paso de las palas de la turbina para mitigar los desequilibrios de las cargas con base en una salida del procesador 82. El punto de trabajo modificado en la curva de potencia permite que el generador opere por debajo de una potencia nominal, teniendo en cuenta la condición de los componentes de la caja de engranajes para optimizar el trabajo del generador con base en la vida útil de los componentes de la caja de engranajes.

Como se ilustra en la FIG. 2, el procesador 82 recibe datos de campo operativos 96 (por ejemplo, velocidad, carga, velocidad del viento, etc.) procedentes de los sensores y se obtienen los datos 98 de diseño (por ejemplo, detalles de los engranajes, detalles de los cojinetes, etc.) de los fabricantes o del manual de los equipos. En el procesador 82, se procesan los datos de campo operativos 96 y los datos 98 de diseño en dos flujos. En un flujo, según se indica por medio de la flecha 100, el procesador 82 está configurado para utilizar un modelo genérico 102 de simulación de viento para generar una carga en el eje de la turbina, como se muestra mediante el bloque 104. Se

puede desarrollar el modelo genérico de simulación de viento utilizando herramientas disponibles comercialmente tales como Flex 5, ANSYS, CFD (cálculo de dinámica de fluidos), etc. Se utiliza la carga en el eje de la turbina en un modelo específico 106 de caja de engranajes para calcular la carga sobre cada componente o carga de componentes individuales, como se muestra mediante el bloque 108. El modelo específico 106 de caja de engranajes es un modelo de FEM (Análisis de elementos finitos) y es específico a la caja de engranajes que está siendo desplegada. Utilizando el modelo específico 106 de caja de engranajes, el procesador 82 obtiene datos de carga operativos calculados, y, con base en los datos de carga operativos calculados, el procesador 82 calcula los datos 108 de carga de componentes individuales que están basados en las condiciones de campo operativas.

El segundo flujo al que se ha hecho referencia anteriormente está indicado por medio de la flecha 110 en la FIG. 2. Los datos 98 de diseño y los datos de campo operativos 96 son enviados a un algoritmo de detección (algoritmo de detección de fallos) como se muestra mediante el bloque 112 para detectar la presencia de cualquier fallo incipiente. Los fallos incipientes, tales como un desequilibrio y daños de los cojinetes generan un exceso de carga sobre el cojinete. Los otros fallos incipientes como la rotura de dientes provocan un exceso de carga sobre el diente individual. Este exceso de carga contribuye de forma significativa hacia el fallo prematuro de los componentes de la caja de engranajes y, por lo tanto, de la caja de engranajes. Utilizando la firma de la vibración, otros datos de sensores y al aplicar el algoritmo de detección, se pueden detectar los fallos incipientes en una caja de engranajes o en los componentes de la caja de engranajes. Los distintos fallos que pueden ser detectados incluyen fallos de engranajes, tales como la rotura de un diente y fisuras en una base de un diente de engranaje, y fallos de los cojinetes tales como daños de los rodamientos y resquebrajamiento de la pista de rodadura interior. Con referencia de nuevo a la FIG. 2, en el bloque 114, el algoritmo de detección comprueba la presencia o la ausencia de cualquier fallo incipiente y cualquier funcionamiento defectuoso de los componentes de la caja de engranajes. En la presencia de fallos incipientes, como se muestra por medio de la flecha 116, se calcula una fuerza de excitación debido a los fallos (que incluye el funcionamiento defectuoso de cualquier componente) como se muestra mediante el bloque 118. Por ejemplo, debido a cualquier desequilibrio, la fuerza de excitación será proporcional a la magnitud del desequilibrio y al cuadrado de la velocidad. La velocidad se obtiene directamente de los sensores y la magnitud del desequilibrio puede ser obtenida al analizar las firmas de vibración. La fuerza de excitación, como se ha mencionado anteriormente, aparece en el sistema debido a diversos fallos incipientes. Utilizando la fuerza de excitación, se calcula la carga sobre un componente individual como se muestra mediante el bloque 120. Si el algoritmo de detección no detecta fallos como se indica por medio de la flecha 122, la fuerza de excitación es tomada como cero, como se indica mediante el bloque 124. La suma de las salidas, como se indica por medio de las flechas 126 y 128 da la carga total en cada componente como se indica mediante el bloque 130. La carga total en cada componente es utilizada para estimar la vida útil restante de los componentes individuales y la vida útil de la caja de engranajes. Se debe hacer notar que la caja de engranajes fallará con el fallo del primer componente.

La FIG. 3 es un diagrama 140 de flujo que ilustra un procedimiento para determinar una vida útil residual de un componente de la caja de engranajes en tiempo real. En la etapa 142 se obtiene la vida útil residual inicial. Por ejemplo, en una realización ejemplar, suponiendo una nueva instalación de la maquinaria y de los componentes, en el instante  $t=0$ , la vida útil residual RUL ( $t$ ) es la vida útil total del componente como se obtiene mediante su diseño. Por lo tanto, la RUL ( $t$ ) en este instante de tiempo es denotada como 1. Para cada intervalo de tiempo  $\Delta t$ , como se muestra mediante la etapa 144, se puede calcular la carga de componentes utilizando la técnica descrita con referencia a la FIG. 2.  $L_i$  representa la carga media para el intervalo  $\Delta t$  (para una iteración  $i$ ). En la etapa 146, se calcula una amplitud de esfuerzo  $S_i$  correspondiente a la carga media  $L_i$  al conocer los detalles de diseño (por ejemplo, la geometría) de la caja de engranajes.  $n_i$  es el número de ciclos aplicados de amplitud de esfuerzo  $S_i$ . En la etapa 148, se obtiene la vida útil  $N_i$  correspondiente, que es la longevidad a la fatiga correspondiente para la amplitud de esfuerzo  $S_i$ , de la curva S-N del material componente. Las curvas S-N pueden ser obtenidas del manual de materiales del ASM (American Society of Metals), tomo 1, o pueden ser obtenidas a partir de los resultados experimentales para el material específico. El valor  $N_i$  es utilizando en la etapa 150 para calcular el daño acumulado  $D(\Delta t)$  durante el periodo " $\Delta t$ " en la iteración  $i$ . El daño acumulado  $D(\Delta t)$  se obtiene con  $n_i/N_i$  (utilizando la regla de Miner). En la etapa 152, se resta el daño acumulado  $D(\Delta t)$  del valor de la RUL ( $t$ ) obtenido en la etapa 142 para dar el nuevo valor de RUL en el instante  $t+\Delta t$ . Se utiliza el bucle indicado por la flecha 154 de retorno para calcular la vida útil residual del componente de forma recurrente.

En un ejemplo, utilizando en anterior enfoque, se calculan la carga debida a las condiciones operativas y la carga debida a la fuerza de excitación que se produce debido a un desequilibrio sobre un cojinete del eje de alta velocidad. En un ejemplo más específico, se obtuvieron los siguientes datos de carga proporcionados en la Tabla 1 utilizando un procedimiento analítico. Los resultados fueron tomados con las condiciones operativas de 1,5 MW a 1440 RPM (rotaciones por minuto). Como cabía esperar, la carga debida a la transmisión de par siguió siendo igual a 48,1 kN (kilo Newtons), mientras que la carga debida al desequilibrio (fuerzas de excitación) aumentó desde 48,1 kN hasta 82,6 kN cuando aumentó el desequilibrio desde 0 gm-mm (gramo-milímetro) hasta 3031 gm-mm. Se redujo la estimación de la vida útil de la caja de engranajes desde 95419 horas hasta 15829 horas (una reducción de un 83% de la vida útil).

Tabla 1

Respuesta 1X en gPK	Masa de desequilibrio (gm-mm)	BNominal (kN)	Peq (kN)	F0 (kN)	CargaE	Vida útil L10 (horas)
0,00	0	720,0	48,1	0,0	48,1	95416,7
0,06	275	720,0	48,1	3,1	51,2	77718,1
0,12	550	720,0	48,1	8,3	54,4	63796,5
0,17	626	720,0	48,1	9,4	57,5	52892,4
0,23	1102	720,0	48,1	12,5	60,6	44322,4
0,29	1377	720,0	48,1	15,7	63,8	37467,0
0,35	1653	720,0	48,1	18,8	66,9	31928,4
0,41	1929	720,0	48,1	21,8	70,0	27406,6
0,46	2204	720,0	48,1	25,1	73,2	23686,5
0,52	2480	720,0	48,1	28,2	76,3	20595,5
0,58	2756	720,0	46,1	31,3	79,4	18009,1
0,64	3031	720,0	48,1	34,5	82,6	15829,4

5 La FIG. 4 representa un diagrama 156 de flujo con etapas ejemplares para estimar la vida útil restante de una caja de engranajes para resumir la técnica descrita con referencia a las FIGURAS 2 y 3. El procedimiento incluye una etapa 158 para recibir señales representativas de datos de campo operativos relacionados con la carga de la caja de engranajes. En la etapa 160, se calcula la carga de los componentes individuales, con base en condiciones operativas, al igual que con base en fuerzas de excitación. En la etapa 162, se proporciona una estimación de la vida útil restante de la caja de engranajes (por ejemplo, la salida de la FIG. 2 o la salida de la FIG. 3). En un ejemplo, la estimación de la vida útil restante es una estimación en tiempo real. En la etapa 164, se utilizan los datos estimados para mejorar el diseño de la caja de engranajes utilizando la información de la carga de los componentes individuales en funcionamiento real. El procedimiento incluye, además, una etapa 166 para programar la renovación de los componentes de la caja de engranajes con base en la estimación de la vida útil restante de la caja de engranajes.

15 La técnica descrita en el presente documento permite la integración de los procedimientos tradicionales de estimación de la vida útil residual con datos en tiempo real. Por ejemplo, para estimar la vida útil de los cojinetes, los procedimientos estándar son utilizados y, además, se tienen en cuenta las cargas de desequilibrio del rotor a partir de los datos en tiempo real. Combinar los datos en tiempo real es ventajoso en comparación con los procedimientos conocidos de estimación de las cargas y de la vida útil en turbinas eólicas, debido a que las condiciones en tiempo real contribuyen a la mayor variación en los procedimientos conocidos en la técnica anterior. La técnica descrita en el presente documento también proporciona la capacidad para desarrollar mejores contratos de servicio para la turbina eólica o cualquier otra máquina giratoria. La estimación precisa de la vida útil de la caja de engranajes obtenida como se ha descrito anteriormente da lugar a ahorros y a un mantenimiento puntual.

25 Aunque solo se han ilustrado y descrito ciertas características de la invención en el presente documento, se les ocurrirán muchos cambios y modificaciones a los expertos en la técnica. Por lo tanto, se debe comprender que se concibe que las reivindicaciones adjuntas abarquen todos los cambios y las modificaciones de ese tipo.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (72) de estimación de la vida útil de la caja de engranajes, que comprende:
- al menos un sensor (74) para obtener datos de campo operativos relacionados con la carga de la caja de engranajes de una caja (12) de engranajes de un componente (18, 20, 22, 28, 620) de la caja de engranajes;
- un procesador (82) configurado para recibir señales representativas de los datos de campo operativos del al menos un sensor, para proporcionar datos de carga operativos calculados para estimar la vida útil de la caja de engranajes;
- en el que los datos de campo operativos representan parámetros operativos obtenidos mientras la caja de engranajes está en operación, **caracterizado porque**
- la estimación de la vida útil restante de la caja de engranajes está determinada en tiempo real al:
- i) obtener (142) una vida útil residual inicial;
  - ii) calcular (144) la carga media sobre cada componente durante un intervalo predeterminado ( $\Delta t$ ) de tiempo, al obtener datos de campo operativos (96) y datos de diseño (98), y
    - a) utilizar un modelo genérico (102) de simulación del viento, para generar una carga en un eje (104) de la turbina;
    - b) calcular (108) una carga de cada componente, utilizando un modelo específico (106) de caja de engranajes y dicha carga en un eje de la turbina;
    - c) detectar (114) la presencia de cualquier fallo incipiente utilizando un algoritmo (112) de detección;
    - d) dependiendo de si hay presentes fallos incipientes, calcular (118) una fuerza de excitación debida a dichos fallos y una carga sobre componentes individuales debida a dicha fuerza (120) de excitación; y
    - e) calcular la carga media sobre cada componente (130) utilizando la carga calculada en las etapas b) y d);
  - iii) calcular (146) una amplitud del esfuerzo (Si) para la caja (12) de engranajes;
  - iv) obtener (148) una longevidad a la fatiga para los componentes;
  - v) calcular (150), a partir de la longevidad a la fatiga, el daño acumulado (D) para el intervalo predeterminado ( $\Delta t$ ) de tiempo;
  - vi) obtener (152) la estimación de la vida útil restante (RUL) restando el daño acumulado (D) de la vida útil residual inicial; y
  - vii) repetir las etapas ii) a vi) para cada intervalo predeterminado subsiguiente ( $\Delta t$ ) de tiempo de forma recurrente.
2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el procesador (82) está configurado para utilizar los datos estimados de la vida útil restante para mejorar el diseño de la caja de engranajes.
3. El sistema de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que el procesador (82) está configurado para planificar la renovación de los componentes de la caja de engranajes con base en los datos estimados de la vida útil restante.
4. El sistema (72) de cualquier reivindicación precedente, en el que los componentes de la caja de engranajes comprenden un eje principal (62) de la caja de engranajes, cojinetes, y dientes de engranaje.
5. El sistema (72) de cualquier reivindicación precedente, en el que el procesador (82) está configurado para utilizar datos calculados de carga operativa para obtener una carga de componentes individuales debida a condiciones operativas.
6. El sistema (72) de cualquier reivindicación precedente, en el que los datos de campo operativos comprenden al menos uno dado por las operaciones de pié de cabra, el número de puestas en marcha, ráfagas de viento, secuencias de carga, periodos de protección de baja tensión, desajustes de la red de distribución eléctrica, desconexiones, calidad del aceite, y fallos a nivel de los componentes.
7. El sistema (72) de cualquier reivindicación precedente, en el que el procesador (82) está configurado para obtener una carga de componentes individuales debida a la fuerza de excitación, en el que la fuerza de excitación es calculada con base en los desequilibrios de cargas debidos a los fallos.
8. El sistema (72) de cualquier reivindicación precedente, en el que el procesador (82) está configurado para calcular una carga total de componentes individuales que es una suma de la carga de componentes individuales debida a la fuerza de excitación y una carga de componentes individuales debida a condiciones operativas.

9. Un sistema de turbina eólica que comprende:
- una caja (12) de engranajes acoplada a una turbina eólica (10);
  - un sistema (72) de estimación de la vida útil de la caja de engranajes acoplado a la turbina eólica, comprendiendo el sistema de estimación de la vida útil de la caja de engranajes, el sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
10. El sistema de la reivindicación 9, en el que el sistema de estimación de la vida útil de la caja de engranajes incluye un sistema (94) de control configurado para desplazar el punto de trabajo en la curva de potencia de la turbina eólica con base en la salida del procesador (82), para optimizar el trabajo de la turbina eólica con base en la vida útil de los componentes de la caja de engranajes, controlando el ángulo de paso de las palas de la turbina para mitigar los equilibrios de carga, con base en la salida del procesador (82).
11. Un procedimiento (140) para estimar la vida útil restante de una caja (12) de engranajes, comprendiendo el procedimiento:
- recibir señales representativas de los datos de campo operativos relacionados con la carga de la caja de engranajes;
  - obtener datos de carga operativos calculados para los componentes de la caja de engranajes, con base en los datos de campo operativos; y
  - proporcionar una estimación de la vida útil restante de la caja de engranajes, utilizando una combinación de datos de diseño y los datos de carga operativos calculados; **caracterizado porque** la estimación de la vida útil restante de la caja de engranajes que es determinada en tiempo real al:
    - i) obtener (142) una vida útil residual inicial;
    - ii) calcular (144) la carga media sobre cada componente durante un intervalo predeterminado ( $\Delta t$ ) de tiempo al obtener datos de campo operativos (96) y datos (98) de diseño, y
      - a) utilizar un modelo genérico (102) de simulación del viento para generar una carga en un eje (104) de la turbina;
      - b) calcular (108) una carga de cada componente, utilizando un modelo específico (106) de caja de engranajes y dicha carga en un eje de la turbina;
      - c) detectar (114) la presencia de cualquier fallo incipiente, utilizando un algoritmo (112) de detección;
      - d) dependiendo de si hay presentes fallos incipientes, calcular (118) una fuerza de excitación debida a dichos fallos y una carga sobre los componentes individuales debida a dicha fuerza (120) de excitación; y
      - e) calcular la carga media sobre cada componente (130) utilizando la carga calculada en las etapas b) y d);
    - iii) calcular (146) una amplitud del esfuerzo ( $S_i$ ) para la caja (12) de engranajes;
    - iv) obtener (148) una longevidad a la fatiga para los componentes;
    - v) calcular (150), a partir de la longevidad a la fatiga, el daño acumulado (D) para el intervalo predeterminado ( $\Delta t$ ) de tiempo;
    - vi) obtener (152) la estimación de la vida útil restante (RUL) al restar el daño acumulado (D) de la vida útil residual inicial; y
    - vii) repetir las etapas ii) a vi) para cada intervalo predeterminado subsiguiente ( $\Delta t$ ) de tiempo de forma recurrente.
12. Un procedimiento para operar una turbina eólica que tiene palas de turbina, incluyendo el procedimiento estimar la vida útil restante de una caja de engranajes acoplada a la turbina eólica, siendo el procedimiento de estimación según la reivindicación 11, y que incluye, además:
- desplazar el punto de trabajo en la curva de potencia de la turbina eólica con base en los datos de diseño y los datos de carga operativos calculados para optimizar el trabajo de la turbina eólica con base en la vida útil de los componentes de la caja de engranajes, controlando el ángulo de paso de las palas de turbina para mitigar los equilibrios de carga.
13. El procedimiento (140) de la reivindicación 11 o de la reivindicación 12, que comprende, además, calcular una carga de componentes individuales debida a condiciones operativas.
14. El procedimiento (140) de una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, que comprende, además, calcular la fuerza de excitación debida a un desequilibrio de cargas sobre la caja (12) de engranajes.

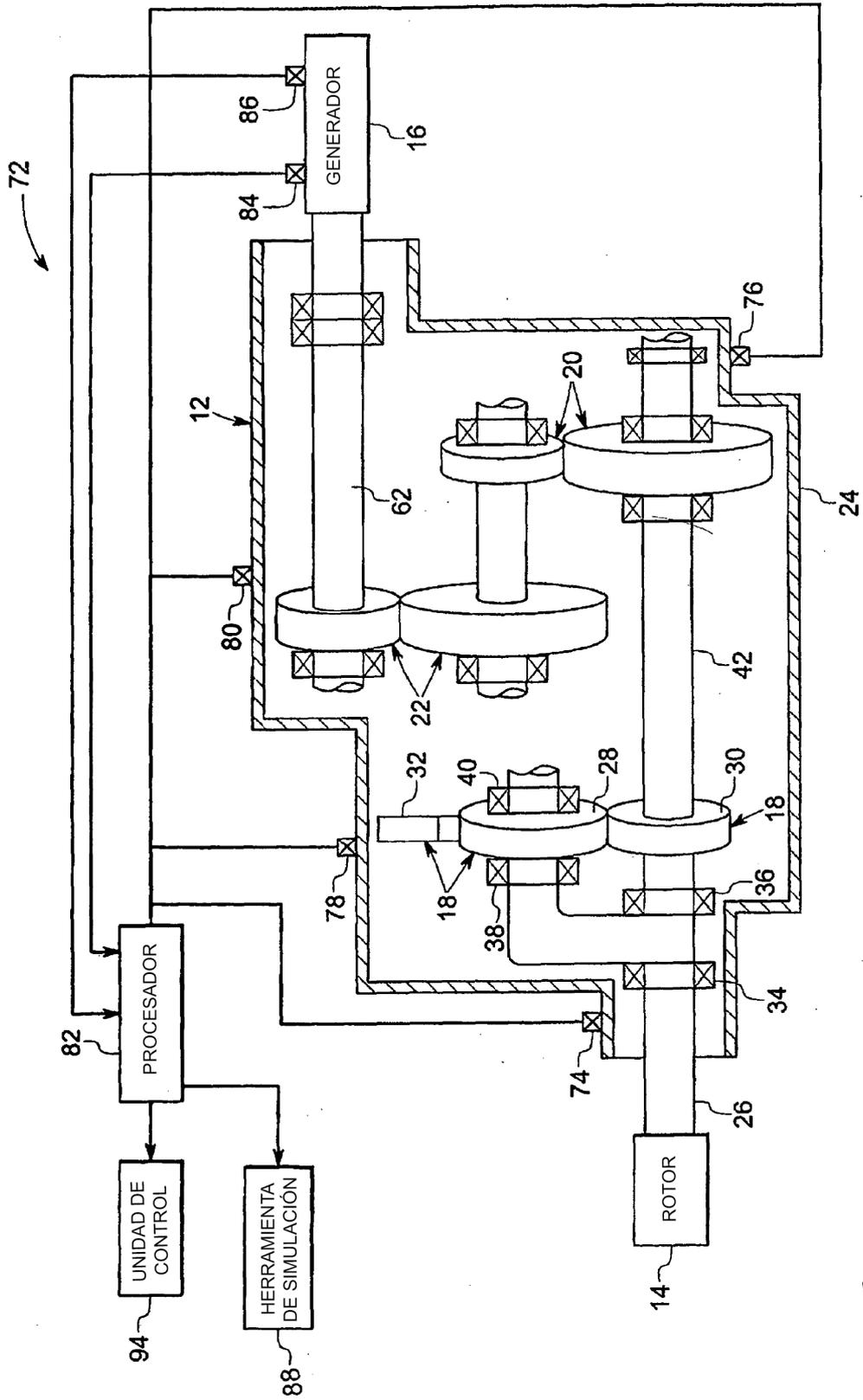


FIG.1

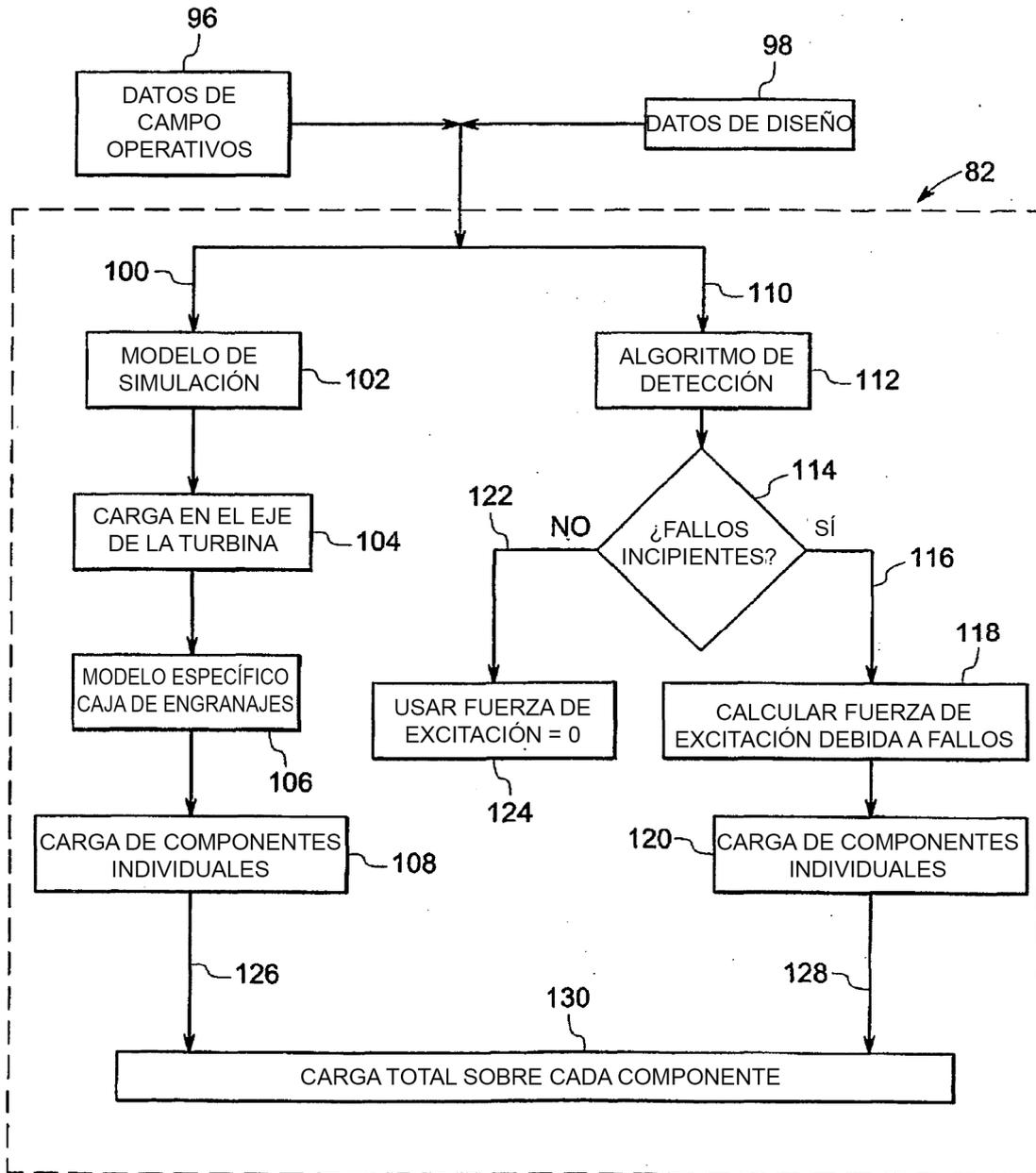


FIG.2

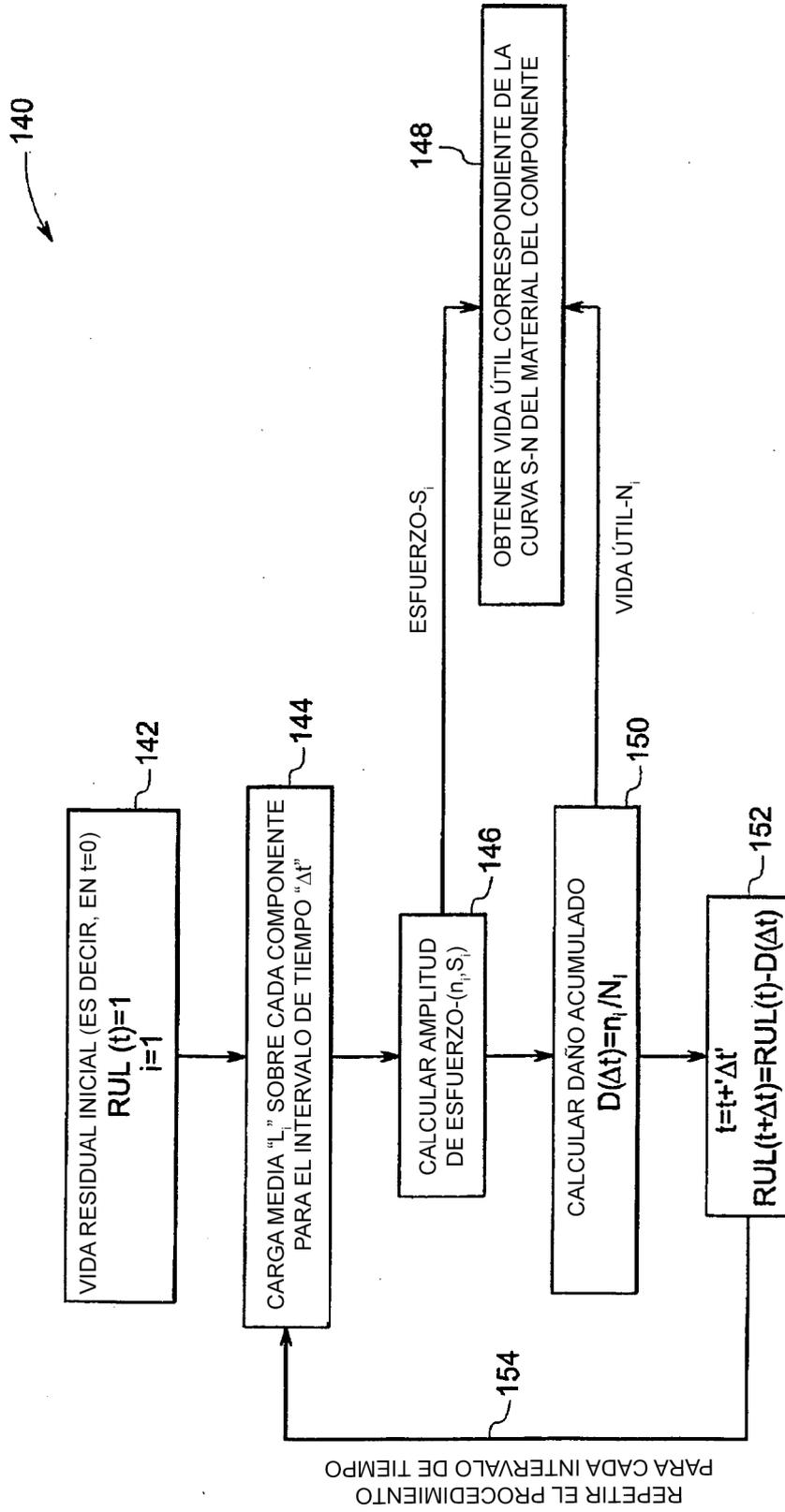


FIG.3

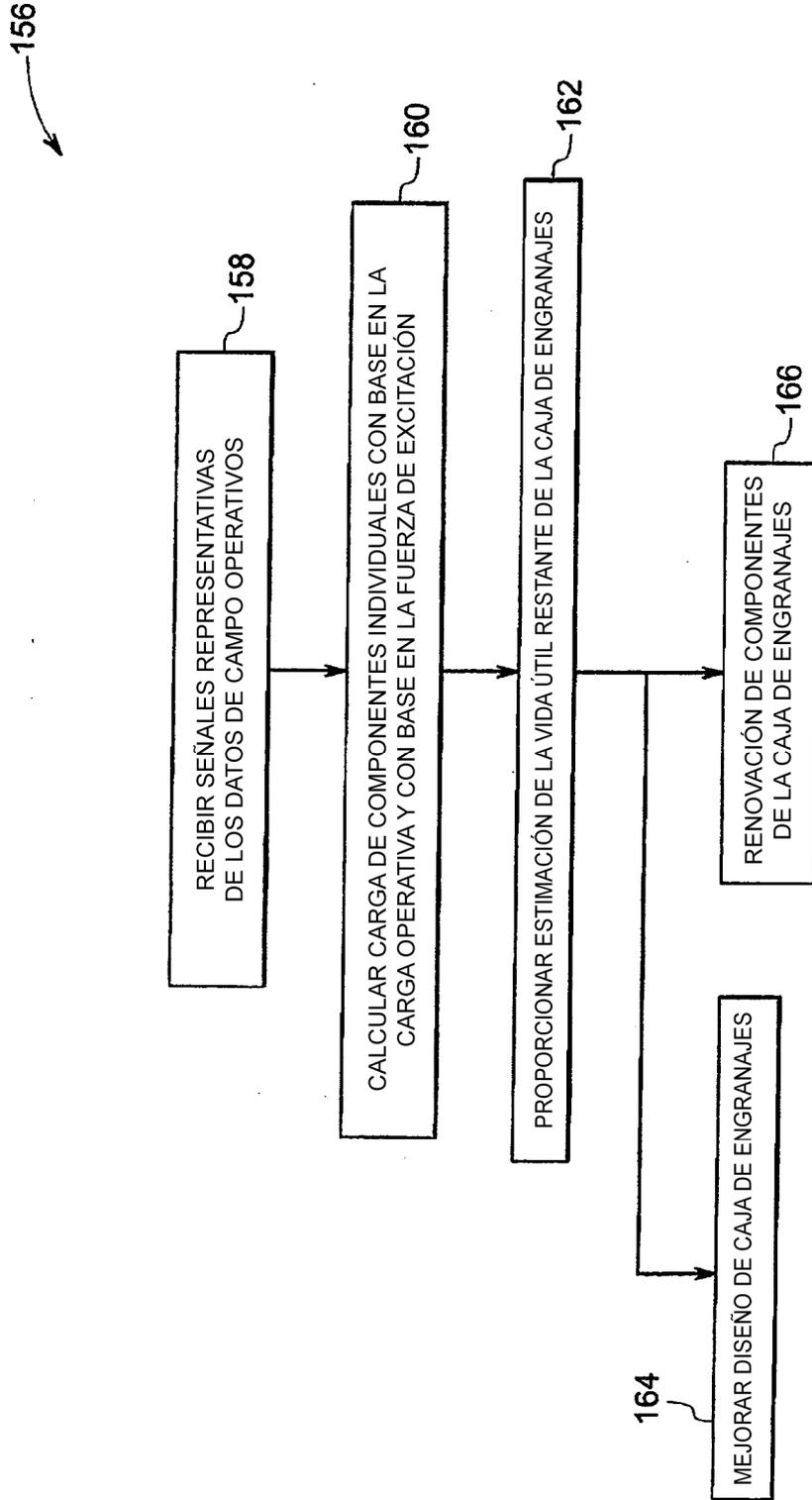


FIG.4