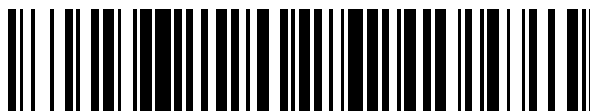


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 273**

51 Int. Cl.:

**H02J 7/14** (2006.01)

**H02P 29/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2015 E 15195488 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 3024117**

54 Título: **Sistema de gestión de generadores vehiculares de un vehículo provisto de dos o más generadores eléctricos, en particular para vehículos pesados tales como camiones o autobuses**

30 Prioridad:

**19.11.2014 IT TO20140957**

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

**08.05.2020**

73 Titular/es:

**IVECO S.P.A. (100.0%)  
Via Puglia 35  
10156 Torino, IT**

72 Inventor/es:

**PORRELLO, GABRIELE**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 759 273 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

Sistema de gestión de generadores vehiculares de un vehículo provisto de dos o más generadores eléctricos, en particular para vehículos pesados tales como camiones o autobuses.

### Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo de un sistema de gestión de generadores vehiculares de un vehículo provisto de dos o más generadores eléctricos del tipo inteligente, y, más específicamente, a un sistema de gestión del funcionamiento selectivo de los generadores eléctricos que definen el sistema de generación eléctrica a bordo de un vehículo, en particular para vehículos pesados tales como camiones o autobuses.

10 Un ejemplo de sistema de gestión se da a conocer en el documento US2009243559, cuyas características están en el preámbulo de la reivindicación 1.

### Técnica anterior

Se conocen configuraciones vehiculares que consisten en dos o más generadores vehiculares, para generar la electricidad necesaria para la operación de los diversos aparatos vehiculares.

15 Se sabe que cada generador funciona en condiciones diferentes a los otros generadores conectados al mismo motor de combustión interna.

Esto sucede por diversas razones:

- las condiciones de aireación pueden variar de una parte a otra del compartimento del motor,
- el generador tiene un árbol motor en el que está enclavada una polea, conectada por una correa al árbol motor, transfiriendo generalmente una sola correa el movimiento a todos los generadores vehiculares; resulta evidente  
20 que el generador más cercano al árbol motor, dependiendo de la dirección de tracción (opuesta a la dirección de rotación de la correa), está sometido a más esfuerzo mecánico, dado que el rodamiento relativo deberá resistir la fuerza de tracción que se distribuye al resto de servicios/generadores.

Otros servicios son generalmente la bomba de agua del sistema de refrigeración del motor de combustión interna, el ventilador de enfriamiento del radiador de refrigeración y, posiblemente, la dirección hidráulica.

25 A las condiciones anteriores se suma el hecho de que la curva de salida máxima del alternador no es constante en función de las RPM del motor.

De hecho, dicha curva de salida tiene una forma sustancialmente logarítmica  $y = k \cdot \ln(x) + z$ .

30 Así, para un valor dado de revoluciones del motor, el alternador puede suministrar una corriente máxima indicada por dicha curva. El suministro de valores de corriente en la curva de salida máxima, o superior, tiende a someter a esfuerzos el alternador, lo que lo lleva a sobrecalentarse.

Por lo tanto, las condiciones de operación más adversas son cuando el motor de combustión interna funciona al ralentí o con un número bajo de revoluciones y resulta necesario que los generadores suministren una corriente eléctrica relevante.

35 También se conocen generadores del tipo inteligente, es decir, generadores que comprenden una unidad de procesamiento a bordo de dicho generador, capaces de gestionar/controlar el funcionamiento de la máquina eléctrica y el funcionamiento del rectificador de corriente relativo.

40 Los alternadores tradicionales están equipados con un puerto L, que se utiliza para excitar dicha máquina eléctrica y al mismo tiempo indica el estado de suministro de la máquina eléctrica. En cambio, los generadores inteligentes tienen un pin que permite la comunicación en serie, por medio de un canal de comunicación tipo BUS, "LIN bus", entre la placa de procesamiento en el generador del propio vehículo, generalmente la unidad de procesamiento vehicular VCU o la propia unidad de procesamiento de control del motor, ECU. El bus de comunicación permite la interconexión de un sistema maestro y hasta 4 o 6 sistemas esclavos.

45 Mediante este sistema de comunicación, puede controlarse con precisión el funcionamiento de dichos generadores, permitiendo p. ej. una recuperación más eficiente de la energía de frenado, pudiéndose variar el voltaje de carga del generador en función de las condiciones de funcionamiento del vehículo.

### Sumario de la invención

El propósito de la presente invención es presentar un sistema de gestión de un grupo de generadores inteligentes que gestione el suministro de energía de forma selectiva entre los diferentes generadores, a fin de mantener su integridad el mayor tiempo posible.

5 Dentro del ámbito de la presente invención, los métodos generales de suministro no varían. Como resultado, en el caso del frenado regenerativo, la tensión de alimentación máxima no varía. Del mismo modo, durante el avance del vehículo a una velocidad constante o sustancialmente constante, las condiciones de generación no varían en general, pero la contribución de los generadores eléctricos individuales se controla selectivamente para que se fatiguen en exceso los unos con respecto a los otros.

10 La idea básica de la presente invención es activar los generadores individuales dependiendo de su posición respectiva con respecto a la tracción de la correa, y dependiendo de la respectiva temperatura de funcionamiento.

En consecuencia, la activación del *n*ésimo generador es una función de su posición con respecto a la disposición de la correa y la temperatura alcanzada por el *n*ésimo generador con respecto a la disposición de la correa.

15 De acuerdo con una variante preferida de la invención, la activación de un generador también puede gestionarse en función de la corriente absorbida por el sistema vehicular eléctrico.

La presente invención también se refiere a un sistema de gestión de generadores vehiculares de un vehículo provisto de dos o más generadores, en particular para vehículos pesados tales como camiones o autobuses.

20 Un propósito adicional de la presente invención es un método para gestionar los generadores vehiculares de un vehículo provisto de dos o más generadores, en particular para vehículos pesados tales como camiones o autobuses.

De acuerdo con una variante preferida de la invención, la lógica de control descrita anteriormente depende de una unidad de control vehicular en comunicación de datos con los dos o más generadores.

De acuerdo con otra variante preferida de la invención, la lógica de control se distribuye entre los dos o más generadores.

25 Un propósito adicional de la presente invención es un vehículo equipado con dos o más generadores, en particular un vehículo pesado tal como un camión o autobús equipado con el sistema de gestión mencionado anteriormente.

Las reivindicaciones forman parte integral de la presente descripción, describiendo variantes preferidas de la presente invención.

### Breve descripción de las figuras

30 Otros propósitos y ventajas de la presente invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de un ejemplo de realización de la misma (y de sus variantes) y de los dibujos adjuntos, que se proporcionan meramente a modo de ejemplo no limitativo, en los que:

La Figura 1 indica esquemáticamente una disposición de correa de un vehículo equipado con tres generadores, conectados a la misma disposición de correa,

35 La Figura 2 es un diagrama de flujo de un modo operativo preferido del sistema de la presente invención. En los dibujos, los números y letras de referencia idénticos se refieren a los mismos elementos o componentes.

### Descripción detallada de realizaciones

40 En un vehículo equipado con dos o más generadores, una toma de fuerza TDF, generalmente conocida como TDF delantera, distribuye el par de transmisión por medio de una correa BL a los diferentes servicios a bordo, incluyendo por ejemplo tres generadores inteligentes G1, G2, G3. S1 es cualquier dispositivo que extraiga par motor de la propia toma de fuerza, tal como la bomba de agua del sistema de refrigeración del motor E de combustión interna, el ventilador de enfriamiento del radiador de refrigeración y, posiblemente, la dirección hidráulica.

El sistema vehicular eléctrico comprende una rejilla eléctrica a la cual se conectan las diversas cargas y dispositivos eléctricos, entre los cuales se encuentran las baterías del vehículo.

## ES 2 759 273 T3

La presencia de S1 o de dispositivos adicionales, así como la respectiva asignación en la disposición de correa, es completamente opcional y puede variar según el caso.

5 Observando una rotación de la correa BL en la dirección antihoraria, por ejemplo, el primer generador que recibe el movimiento de la toma de fuerza es G1, luego G2, y finalmente G3. De este modo, se define la denominada "disposición de correa" u orden de tracción. De lo anterior, resulta evidente que G1 es el generador sometido a más esfuerzo, ya que su rodamiento debe soportar la tracción relativa a G2, S1 y G3.

Por el contrario, G3 es el generador sometido a un menor esfuerzo mecánico.

De acuerdo con la presente invención, G3 es el generador que se activa en primer lugar para proporcionar energía al sistema vehicular eléctrico.

10 A medida que aumenta la temperatura de funcionamiento de G3, G2 se activa y, a medida que aumenta la temperatura de G2, G1 se activa.

Por el contrario, a medida que disminuye la temperatura de G2, G1 se desactiva y, a medida que disminuye la temperatura de G3, G2 se desactiva.

15 Los umbrales de temperatura de activación y desactivación pueden elegirse de manera que estén suficientemente separados, para evitar condiciones de activación/desactivación continuas.

20 En consecuencia, de acuerdo con la presente invención, el primer generador que se activará es el que está más alejado de la TDF, en la dirección inversa en relación con la dirección de rotación de la correa BL o, de manera equivalente, el primer generador que se activará es el más cercano a la TDF moviéndose en el mismo sentido de rotación que la correa BL. Después de esta segunda indicación, totalmente equivalente a la primera, el segundo generador G2 que se encuentre se activará cuando el primer generador G1 alcance o supere un umbral de temperatura predefinido, y así sucesivamente.

De acuerdo con una variante preferida de la invención, para evitar un esfuerzo térmico excesivo en los generadores, la activación de estos generadores también se puede gestionar en función de la corriente general absorbida por la rejilla eléctrica vehicular.

25 Por lo tanto, en función de las revoluciones del motor E de combustión interna, cada generador G1 - G3 monitorea la corriente relativa suministrada o su condición de eficiencia en comparación con la curva relativa de máxima eficiencia, y envía un mensaje de manera individual o cíclica. Este mensaje puede determinar la activación de uno o más generadores adicionales, de la manera que se describe a continuación.

30 Cada uno de los generadores eléctricos inteligentes G1 - G3 comprende medios de procesamiento para las operaciones anteriormente descritas, a saber, controlar la máquina eléctrica relativa, pero también controlar la temperatura relativa y la corriente suministrada. Adicionalmente, dichos medios de procesamiento incorporan una interfaz de comunicación a través de la cual es posible controlar, en general, el suministro de energía eléctrica desde el generador.

35 Cuando se implementen generadores inteligentes genéricos, es decir disponibles en el mercado, una unidad de procesamiento a bordo del vehículo, a saber la VCU o la ECU, interactuará con los generadores inteligentes que controlan la respectiva activación de los mismos.

De acuerdo con esta variante preferida de la invención, la VCU o ECU recibe de los generadores información sobre la respectiva temperatura, y controla la activación de G2, G3, etc.

40 Preferentemente, cada generador también puede enviar información acerca de la corriente relativa suministrada y/o la condición de eficiencia calculada en base a la curva de eficiencia relativa anteriormente mencionada, la cual es, a su vez, una función del número de revoluciones de la TDF y la corriente suministrada por el generador. De esta manera la VCU o la ECU, después de haber recibido dicha información desde los generadores activos en ese momento, podrá ordenar la activación de uno o más generadores adicionales antes de que los ya activos alcancen los umbrales de temperatura de activación anteriormente mencionados.

45 Por el contrario, cuando disminuya la eficiencia de los generadores activos, la VCU o la ECU ordenará una activación progresiva de los generadores solo después de verificar que las condiciones de temperatura lo permiten. Por ejemplo, si el suministro de corriente disminuye drásticamente, pero G2 sigue funcionando a una temperatura superior al umbral de activación de G1, G1 continuará activo hasta que la temperatura de G2 caiga por debajo del umbral de desactivación de G1.

Por lo tanto, como se describió anteriormente, la instrucción de activación viene dada principalmente por la posición del generador en la disposición de correa, luego por la temperatura de funcionamiento y, por último, por la corriente general suministrada por los generadores.

5 De acuerdo con otra variante preferida de la invención, los medios de procesamiento de los generadores inteligentes cooperan entre sí, activándose y desactivándose en función de la información intercambiada y sin depender de una unidad de procesamiento vehicular tal como la VCU o la ECU.

Pueden proporcionarse combinaciones de estas variantes. Por ejemplo, la activación de la "temperatura" y la "eficiencia" pueden ser gestionadas por dichos generadores inteligentes, pero la VCU o la ECU pueden intervenir, si fuera necesario, en un estado de "anulación" al decidir la activación selectiva o global de los generadores.

10 Esto puede suceder, por ejemplo, cuando se activa una carga eléctrica vehicular de potencia considerable, o en condiciones de frenado regenerativo, por lo tanto, en lugar de someter los generadores a esfuerzos térmicos y/o eléctricos, la VCU ordena inmediatamente la activación de un subconjunto de generadores disponibles, o de todos ellos.

15 El método de acuerdo con la invención permite implementar un monitoreo continuo de la activación/desactivación de cada uno de los generadores eléctricos G1 - G3.

El método se describe con referencia al diagrama de bloques funcional de la Figura 2 adjunta, lo que significa que los bloques corresponden a funciones lógicas llevadas a cabo por el aparato que los compone.

20 El paso 0 corresponde al arranque del motor E de combustión interna, en el que se definen las condiciones para activar al menos un generador eléctrico. Un primer generador eléctrico, Gn - G3 en el ejemplo de la Figura 1 - se activa en función de las políticas de generación de electricidad, que se encuentran más allá de la presente descripción, tales como p. ej. una condición de funcionamiento normal o de frenado regenerativo.

Paso 1: monitorear la temperatura de Gn;

Paso 2: verificar la temperatura de Gn, si NO es mayor que un umbral de activación ThU más alto, volver entonces al paso 1, de lo contrario pasar al

25 Paso 3: activar Gn-1, luego pasar al

Paso 4: monitorear la temperatura de Gn y Gn-1, luego pasar al

Paso 5: comprobar si la temperatura de Gn es inferior a un umbral de desactivación inferior, entonces

Paso 6: desactivar el generador Gn-1 y volver al paso 1; de lo contrario, si la temperatura de Gn NO es inferior a un umbral de desactivación inferior, pasar al

30 Paso 7: verificar la temperatura de Gn-1, si NO es mayor que un umbral de activación ThU más alto, pasar entonces al paso 4, de lo contrario pasar al

Paso 8: activar Gn-2, luego pasar al

Paso 9: monitorear la temperatura de Gn-1 y Gn-2, luego pasar al

Paso 10: comprobar si la temperatura de Gn-1 es inferior a un umbral de desactivación inferior, y luego pasar al

35 Paso 11: desactivar el generador Gn-2 y volver al paso 4; de lo contrario, si la temperatura de Gn-1 NO es inferior a un umbral de desactivación ThL más bajo, volver al paso 9.

El regreso a un paso ya descrito implica seguir el ciclo de acuerdo con la descripción relativa y las flechas relacionadas mostradas en la Figura 2.

40 En el ejemplo de la Figura 2, se ha hecho una generalización de manera intencionada, indicando G3 como Gn, G2 como Gn-1, G1 como Gn-2, etc., lo que significa que la cantidad de generadores puede ser dos o más. Por lo tanto, es equivalente a sustituir G1, G2, G3 con Gn-2, Gn-1, Gn.

45 La presente invención puede realizarse ventajosamente mediante un programa informático que comprenda medios de codificación para la realización de uno o más pasos del método, al ejecutar este programa en un ordenador. Por lo tanto, debe comprenderse que el alcance de protección se extiende a dicho programa informático y, adicionalmente, a medios legibles por ordenador que comprendan un mensaje grabado, comprendiendo dichos medios legibles por ordenador medios de codificación de programa para la realización de uno o más pasos del método, al ejecutar dicho programa en un ordenador.

Pueden efectuarse variantes de realización al ejemplo no limitativo descrito y permanecer dentro del alcance de protección de la presente invención.

50 A partir de la descripción anterior, los expertos en la materia pueden lograr el objeto de la invención sin introducir ningún detalle de construcción adicional. Los elementos y características mostrados en las diversas realizaciones preferidas pueden combinarse y permanecer dentro del alcance de protección de la presente solicitud. El contenido de la descripción del estado de la técnica, a menos que se excluya específicamente en la descripción detallada,

debe considerarse en combinación con las características de la presente invención, formando una parte integral de la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un sistema de generadores vehiculares de un vehículo provisto de dos o más generadores eléctricos, en particular para vehículos pesados tales como camiones o autobuses, siendo cada generador eléctrico de un tipo inteligente, provisto de sus propios medios de procesamiento y medios de comunicación, estando conectados dicho uno o más generadores eléctricos operativamente a una TDF por medio de una correa (BL) que define una dirección de movimiento, **caracterizado por que** dicha dirección de movimiento identifica un primer generador eléctrico (G3) y luego un segundo generador eléctrico (G2) a lo largo de dicha dirección de movimiento, comenzando desde dicha TDF; y **por que** dicho sistema comprende medios de procesamiento (VCU, ECU, G3, G2, etc.) configurados para gestionar la activación de dicho primer generador eléctrico (G3), y configurados para gestionar la activación de dicho segundo generador eléctrico (G2) cuando una temperatura de dicho primer generador eléctrico (G3) supere un umbral de activación (ThU) predefinido.
- 10 2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dichos medios de procesamiento (VCU, ECU, G3, G2, etc.) están configurados para gestionar la desactivación de dicho segundo generador eléctrico (G2) cuando la temperatura de dicho primer generador eléctrico (G3) sea menor que un umbral de desactivación (ThL) predefinido, inferior a dicho umbral de activación (ThU) predefinido.
- 15 3. El sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde dichos medios de procesamiento (VCU, ECU, G3, G2, etc.) están configurados para gestionar la activación de un tercer generador eléctrico (G1) más adelante en dicha dirección de movimiento, cuando la temperatura de dicho segundo generador eléctrico (G2) exceda dicho umbral de activación (ThU) predefinido.
- 20 4. El sistema de acuerdo con la reivindicación 3, en donde dichos medios de procesamiento (VCU, ECU, G3, G2, etc.) están configurados para gestionar la desactivación de dicho tercer generador eléctrico (G1) cuando la temperatura de dicho segundo generador eléctrico (G2) sea menor que dicho umbral de desactivación (ThL) predefinido, más bajo que dicho umbral de activación (ThU) predefinido.
- 25 5. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 4, en donde dichos medios de procesamiento (VCU, ECU, G3, G2, etc.) están configurados para gestionar la activación de dicho segundo generador y/o de otro generador eléctrico (G2 y/o G3) adicional cuando la corriente suministrada por dicho primer generador eléctrico (G1) exceda un umbral de corriente predefinido.
- 30 6. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 4, en donde dichos medios de procesamiento (VCU, ECU, G3, G2, etc.) están configurados para gestionar la activación de dicho segundo generador y/o de otro generador eléctrico (G2 y/o G3) adicional cuando la eficiencia de dicho primer generador eléctrico (G1) esté cerca de un valor de eficiencia máximo, o cuando exceda el mismo.
- 35 7. El sistema de acuerdo con la reivindicación 6, en donde dicho valor de eficiencia es una función de varias revoluciones de dicha TDF y de un valor de corriente suministrado.
- 40 8. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1-7, en donde dichos medios de procesamiento (VCU, ECU, G3, G2, etc.) están configurados para gestionar la activación de un subconjunto de generadores eléctricos, o de todos los mismos, de acuerdo con ciertas condiciones predefinidas, teniendo prioridad sobre todos los pasos de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 45 9. Un método de gestión de generadores vehiculares de un vehículo provisto de dos o más generadores eléctricos, en particular para vehículos pesados tales como camiones o autobuses, siendo cada generador eléctrico de tipo inteligente, provisto de sus propios medios de procesamiento y medios de comunicación, estando dichos uno o más generadores eléctricos conectados operativamente a una TDF por medio de una correa (BL) que define una dirección de movimiento, **caracterizado por que** dicha dirección de movimiento identifica un primer generador eléctrico (G3) y luego un segundo generador eléctrico (G2) a lo largo de dicha dirección de movimiento, comenzando desde dicha TDF, y **por que** dicho método de gestión comprende un paso de gestionar la activación de dicho primer generador eléctrico (G3) y un siguiente paso de gestionar la activación de dicho segundo generador eléctrico (G2), cuando la temperatura de dicho primer generador eléctrico (G3) supere un umbral de activación (ThU) predefinido.
- 50 10. El método de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende adicionalmente una etapa de gestionar la desactivación de dicho segundo generador eléctrico (G2) cuando la temperatura de dicho primer generador eléctrico (G3) sea inferior a un umbral de desactivación (ThL) predefinido, inferior a dicho umbral de activación (ThU) predefinido.
11. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores 9 o 10, que comprende los siguientes pasos en secuencia:

## ES 2 759 273 T3

- Paso 1: monitorear la temperatura de dicho primer generador eléctrico (Gn);  
Paso 2: verificar la temperatura de dicho primer generador eléctrico (Gn), si NO es mayor que un umbral de activación (ThU) más alto, volver entonces al paso 1, de lo contrario pasar al  
Paso 3: activar dicho segundo generador eléctrico (Gn-1), luego pasar al  
5 Paso 4: monitorear la temperatura de dicho primer generador eléctrico (Gn) y dicho segundo generador eléctrico (Gn-1), luego pasar al  
Paso 5: comprobar si la temperatura de dicho primer generador eléctrico (Gn) es inferior a un umbral de desactivación (ThL) más bajo, entonces  
Paso 6: desactivar el segundo generador eléctrico (Gn-1) y volver al paso 1; de lo contrario, si la temperatura del  
10 primer generador eléctrico (Gn) NO es inferior a un umbral de desactivación (ThL) más bajo, pasar al  
Paso 7: verificar la temperatura de dicho segundo generador eléctrico (Gn-1), si NO es mayor que un umbral de activación (ThU) más alto, pasar entonces al paso 4, de lo contrario pasar al  
Paso 8: activar un tercer generador eléctrico más adelante en dicha dirección de movimiento, luego pasar al  
15 Paso 9: monitorear la temperatura de dicho segundo generador eléctrico (Gn-1) y dicho tercer generador eléctrico (Gn-2), luego pasar al  
Paso 10: comprobar si la temperatura de dicho segundo generador eléctrico (Gn-1) es inferior a un umbral de desactivación más bajo, y luego pasar al  
Paso 11: desactivar dicho tercer generador eléctrico (Gn-2) y volver al paso 4; de lo contrario, si la temperatura  
20 de dicho segundo generador eléctrico (Gn-1) NO es inferior a un umbral de desactivación (ThL) más bajo, entonces volver al paso 9.
12. Un vehículo provisto de dos o más generadores eléctricos inteligentes, en particular un vehículo pesado tal como un camión o un autobús, **caracterizado por que** comprende un motor de combustión interna y un sistema de dichos generadores eléctricos inteligentes de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
- 25 13. Un programa de ordenador que comprende códigos de programa que, al ejecutar el programa en un ordenador, hacen que el ordenador lleve a cabo todos los pasos de una cualquiera de las reivindicaciones 9-11.
14. Medio de almacenamiento legible por ordenador que soporta el programa informático de la reivindicación 13.



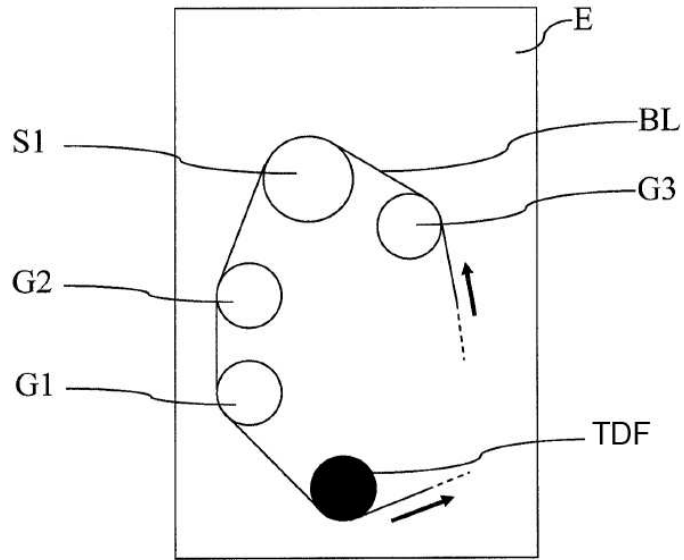


Fig. 1

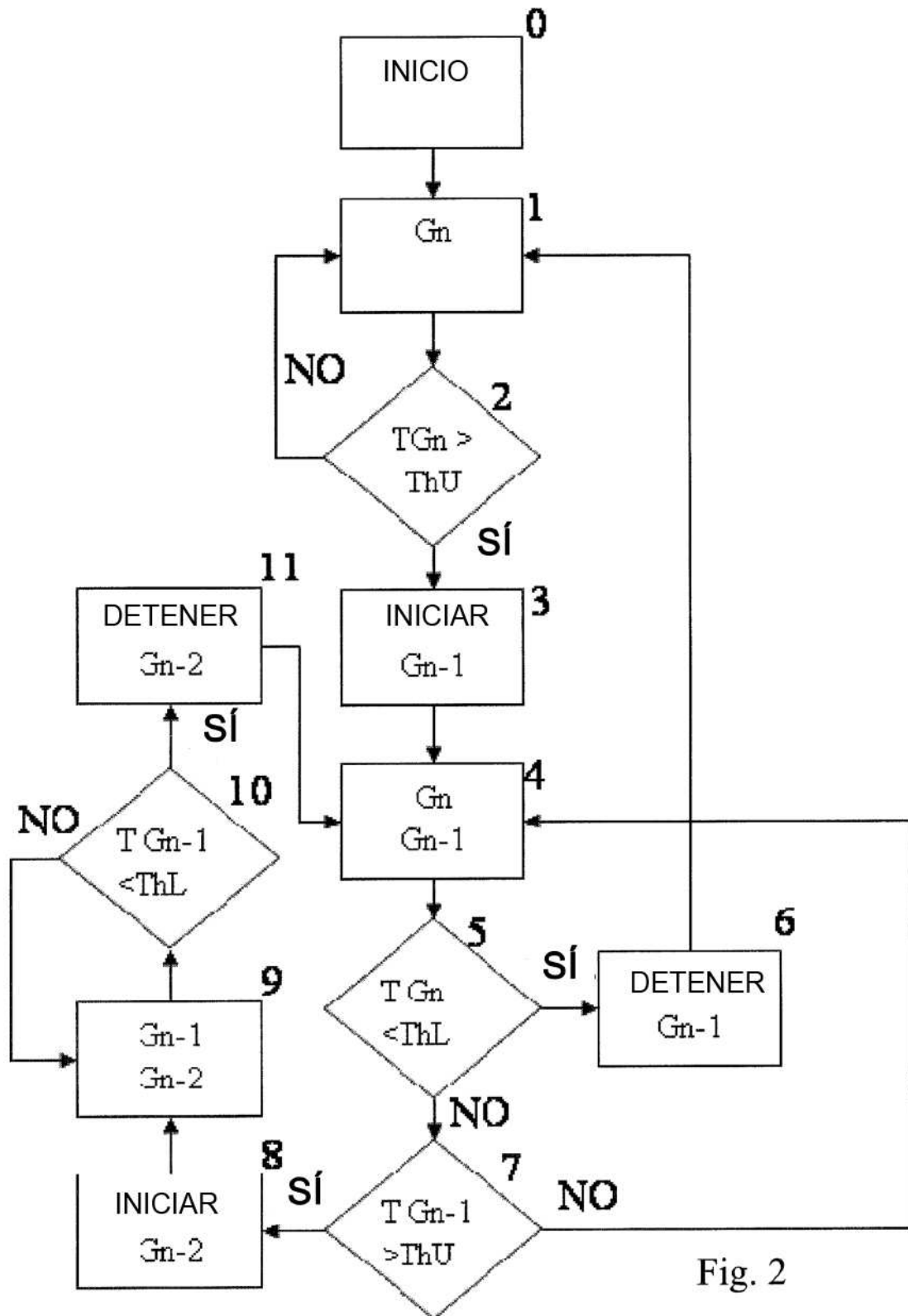


Fig. 2