



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 329 243**

51 Int. Cl.:
G06F 17/00 (2006.01)
A61B 5/021 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04719572 .2**
96 Fecha de presentación : **11.03.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1604297**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.12.2005**

54 Título: **Procedimiento automatizado para discriminar el latido cardiaco.**

30 Prioridad: **17.03.2003 IT RM03A0000**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
24.11.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
24.11.2009

73 Titular/es: **Matteo Bonan**
Via Bolognese 326
I-50010 Firenze, IT
Salvatore Romano

72 Inventor/es: **Bonan, Matteo y**
Romano, Salvatore

74 Agente: **Álvarez López, Fernando**

ES 2 329 243 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 automatizado para discriminar el latido cardiaco.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento automatizado para discriminar el latido cardiaco, partiendo del análisis de una curva de presión detectada, que es fácilmente implementable, barato y altamente fiable, siendo el procedimiento capaz de repetirse iterativamente en las secciones posteriores de la señal de presión.

10 La presente invención se refiere además a los instrumentos necesarios para llevar a cabo el procedimiento automatizado y al equipo para llevar a cabo el mismo.

Se sabe que la evaluación de las señales biológicas tiene un papel básico en los diagnósticos y los procedimientos clínicos.

15 En concreto, se han desarrollado en los últimos años diversos procedimientos automatizados para evaluar la curva de presión sanguínea detectada, y se han implementado en los equipos correspondientes.

El documento US 2003/0023173 A1 describe un equipo y un procedimiento para procesar una forma de onda de presión sanguínea arterial para extraer información sobre el estado del sistema cardiovascular.

20 El documento US 2002/0022785 A1 describe un procedimiento y un equipo para medir un gasto cardiaco como función de la relación entre el área bajo la curva de presión completa y una combinación lineal de diversos componentes de la impedancia.

25 Sin embargo, dichos procedimientos, y los equipos relacionados, presentan algunos inconvenientes.

En primer lugar, no se adaptan a todas las posibles condiciones de detección, que son variables dependiendo del paciente, de la posible presencia de patologías, y de la situación de la medida. Por ejemplo, dichos equipos no reconocen la señal de un electrocardiograma obtenido durante una operación de cirugía cardiaca.

30 Además, cuanto más fiables, más complejos son dichos equipos y, en consecuencia, más caros resultan.

Es, por tanto, un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento automatizado para discriminar el latido cardiaco, partiendo del análisis de una curva de presión detectada, que sea fácilmente implementable, barato y altamente fiable.

35 Es otro objeto de la presente invención proporcionar los instrumentos necesarios para llevar a cabo el procedimiento automatizado y el equipo que lleva a cabo el mismo.

40 Es asunto específico de esta invención un procedimiento automatizado para discriminar el latido cardiaco, sobre la base de una señal muestreada de la presión sanguínea, según se define en la reivindicación independiente 1.

Las realizaciones adicionales del procedimiento según la invención se definen en las reivindicaciones dependientes 2-38.

45 Es asunto específico adicional de esta invención un ordenador según se define en la reivindicación independiente 39.

50 Es otro asunto específico adicional de esta invención un equipo según se define en la reivindicación independiente 40.

Es otro asunto específico de esta invención un programa de ordenador según se define en la reivindicación independiente 41.

55 Es un asunto específico adicional de esta invención un medio de memoria según se define en la reivindicación independiente 42.

La presente invención se describirá ahora, como ilustración y no como limitación, según sus realizaciones preferidas, refiriéndose concretamente a las Figuras de los dibujos adjuntos, en las que:

60 la fig. 1 muestra un diagrama esquemático de la máquina de estado según el cual opera una realización preferida del procedimiento según la invención;

la fig. 2 muestra un diagrama esquemático del primer estado de la máquina de estado de la figura 1;

65 la fig. 3 muestra un diagrama esquemático de tercer estado de la máquina de estado de la figura 1;

la fig. 4 muestra una primera curva de presión detectada y analizada mediante la realización preferida del procedimiento según la invención; y

la fig. 5 muestra una segunda curva de presión detectada y analizada mediante la realización preferida del procedimiento según la invención.

En las figuras, se usan las mismas referencias para indicar elementos similares.

5

Los inventores han desarrollado un procedimiento que permite reconocer la señal de presión durante un ciclo cardiaco, la objetividad del cual se ve confirmada por el hecho de que el procedimiento es capaz de reconocer la señal obtenida de un electrocardiograma realizado durante una operación de cirugía cardiaca. El procedimiento según la invención examina las señales biológicas, buscando los puntos máximo y mínimo característicos y los puntos intermedios característicos que representan algunos estados fisiológicos.

10

Más específicamente, el procedimiento según la invención permite reconocer la curva de presión producida por el corazón durante su funcionamiento. Los inventores han desarrollado el procedimiento teniendo en cuenta el hecho de que la onda de presión de un latido cardiaco adopta una serie de formas bien definidas, y han determinado los puntos característicos de la curva, considerándolos como los episodios que se van a detectar mediante el procedimiento. El procedimiento desarrollado por los inventores opera como una máquina de estado finito suponiendo diferentes estados durante el reconocimiento de los puntos característicos del latido cardiaco.

15

En concreto, para determinar un latido cardiaco en un sistema arterial y/o venoso, el procedimiento según la invención determina una fase sistólica y una fase diastólica. La fase sistólica culmina alcanzando un máximo de presión relativa, a no ser que haya contrapulsaciones, mientras que la fase diastólica culmina, a no ser que haya dolencias patológicas, alcanzando un mínimo de presión relativa. Además, el procedimiento determina adicionalmente un tercer punto, la incisura dicrota, que se asocia con un latido cardiaco. El punto dicroto es el punto en el que la válvula cardiaca se cierra y corresponde matemáticamente al punto máximo de la segunda derivada o al punto mínimo de la curva de presión que se produce tras el punto sistólico. En consecuencia, la máquina de estado finito determina en primer lugar estos tres puntos. Posteriormente, con el fin de verificar que los tres puntos determinados se corresponden efectivamente con un latido cardiaco, el procedimiento según la invención establece la presencia de una serie de episodios posteriores con una secuencia exactamente igual a la anteriormente determinada. En el caso positivo de que se produzca dicha secuencia de episodios posteriores, el procedimiento reconoce los tres puntos determinados anteriormente como los característicos de un latido cardiaco que finaliza en el punto diastólico del siguiente latido.

20

25

30

Con referencia a la figura 1, se puede observar que la máquina de estado, según la cual opera el procedimiento según la invención, comprende siete estados principales.

35

En el primer estado 1, el procedimiento analiza la secuencia de los valores de la presión disponibles que forman la curva de presión detectada con el fin de determinar:

40

- el valor mínimo de presión (relativa) supuesto como punto diastólico P_{dia} ;
- el valor máximo de presión (relativa) supuesto como punto sistólico P_{sys} ;
- el valor máximo $Y1_{max_postdia}$ de la primera derivada de la presión incluido entre el valor diastólico y el valor sistólico; y
- el valor máximo $Y2_{max_diatosys}$ de la segunda derivada de la presión incluido entre el valor diastólico y el valor sistólico.

45

En concreto, la primera derivada de la presión es proporcional a la diferencia entre los valores en dos instantes consecutivos de la curva de presión, y la segunda derivada de la presión es proporcional a la diferencia entre los valores en dos instantes consecutivos, de la primera derivada de la presión. Más precisamente, el coeficiente de proporcionalidad es igual a la inversa de la diferencia entre dos instantes consecutivos, es decir, a la inversa del periodo de muestreo de la señal de presión. Sin perder validez, la realización preferida del procedimiento supone como unitaria la diferencia entre dos instantes consecutivos, por tanto, la primera derivada de la presión es igual a la diferencia entre los valores en dos instantes consecutivos de la curva de presión, y la segunda derivada de la presión es igual a la diferencia entre los valores en dos instantes consecutivos de la primera derivada.

50

55

En lo siguiente, ha de considerarse que los puntos muestreados de la curva de presión, y las derivadas relacionadas, se consideran uno por uno en la secuencia temporal. Preferiblemente, la curva de presión detectada se muestrea a una frecuencia de 1 kHz, por tanto, los valores de presión de la secuencia se separan entre sí en 1 milisegundo.

60

Con referencia a la figura 2, puede observarse que el estado 1 comprende 4 subestados.

En el subestado 1.0, se determina el primer punto P_{dec} que pertenece a una fase de disminución de la curva de presión, que introduce por tanto el alcance de un punto mínimo relativo. Preferiblemente, dicha determinación se lleva a cabo buscando el primer punto de la curva de presión, cuyo valor sea menor que el valor del punto anterior. Tan pronto como se determina dicho punto P_{dec} , el procedimiento pasa al siguiente subestado 1.1.

65

ES 2 329 243 T3

En el subestado 1.1, el procedimiento busca el punto mínimo absoluto P_{min} de la curva de presión. En la realización preferida del procedimiento según la invención que se muestra en las figuras, la búsqueda del punto P_{min} se produce comparando el valor de cada punto de la curva $P(i)$ con el valor del punto P_{min_actual} que almacena el punto que tiene el valor mínimo en la sección de la curva anteriormente examinada (que comprende los puntos desde P_{dec} al punto $P(i-1)$ inmediatamente anteriores al punto $P(i)$ en consideración), de tal manera que el P_{min_actual} se actualiza respecto del punto $P(i)$ con el cual se compara, es decir

$$P_{min_actual} = P(i) \quad [1],$$

en el caso en el que el último tiene un valor inferior, es decir, en el caso en el que

$$P_{min_actual} > P(i) \quad [2];$$

P_{min_actual} puede inicializarse preliminarmente en el punto P_{dec} determinado en el estado 1.0.

En el subestado 1.1, el procedimiento busca también el punto máximo absoluto P_{max} de la curva de presión. En la realización que se muestra en las Figuras, P_{max} se busca también, de manera similar a P_{min} , a través de la comparación del valor de cada punto de la curva $P(i)$ con el valor del punto P_{max_actual} que almacena el punto que tiene el valor máximo en la sección de la curva anteriormente examinada (que comprende los puntos desde P_{dec} al punto $P(i-1)$ inmediatamente anterior al punto $P(i)$ en consideración), de tal manera que P_{max_actual} se actualiza con el punto $P(i)$ con el cual se compara, es decir

$$P_{max_actual} = P(i) \quad [3],$$

en el caso en el que el último tiene un valor más grande, es decir, en el caso en el que

$$P_{max_actual} < P(i) \quad [4];$$

incluso P_{max_actual} puede inicializarse preliminarmente en el punto P_{dec} determinado en el estado 1.0.

Además, el procedimiento busca el valor máximo $Y1_{max_postdia}$ de la primera derivada de la presión que sigue al punto diastólico. En concreto, en la realización que se muestra en las figuras, dicho valor máximo $Y1_{max_postdia}$ se busca a través de la comparación del valor de cada punto $Y1(i)$ de la primera derivada de la curva con el valor de un punto $Y1_{max_actual}$ que almacena el valor máximo de la primera derivada en la sección de la curva anteriormente examinada, que comprende los puntos que comienzan desde el instante correspondiente al punto P_{min_actual} hasta el punto $Y(i-1)$ inmediatamente anterior al punto $Y(i)$ en consideración, de tal manera que $Y1_{max_actual}$ se actualiza con el punto $Y1(i)$ con el cual se compara, es decir

$$Y1_{max_actual} = Y1(i) \quad [5],$$

en el caso en el que el último tiene un valor más grande, es decir, en el caso en el que

$$Y1_{max_actual} < Y1(i) \quad [6];$$

$Y1_{max_actual}$ puede inicializarse preliminarmente en el valor de la primera derivada de la curva de presión que corresponde al punto P_{min_actual} .

El procedimiento sale del subestado 1.1 y pasa al subestado 1.2 en el que el valor del punto P_{min_actual} no se actualiza durante un periodo más largo que un umbral mínimo $DTMIN_SYS$, preferiblemente igual a 200 milisegundos, aún más preferiblemente igual a 150 milisegundos. Con este fin, en el subestado 1.1 el procedimiento ajusta a cero un contador de tiempo cada vez que el punto P_{min_actual} se actualiza e incrementa el mismo cada vez que compara el mismo con un punto de la curva de presión siguiente $p(i)$, verificando si el valor del contador de tiempo ha excedido el umbral mínimo $DTMIN_SYS$. Antes de pasar al subestado 1.2, el procedimiento considera el punto P_{min_actual} como el punto mínimo absoluto P_{min} de la curva de presión. En otras palabras, en el subestado 1.1, el procedimiento considera que el último punto P_{min_actual} sería el punto diastólico, y en consecuencia detiene la búsqueda del mismo, cuando la curva de presión se mantiene sobre su valor durante un periodo mínimo que se corresponde sustancialmente con la distancia temporal fisiológicamente mínima entre el punto diastólico y el punto sistólico.

En el subestado 1.2, el procedimiento continúa la búsqueda del punto máximo absoluto P_{max} de la curva de presión y del valor máximo $Y1_{max_postdia}$ de la primera derivada de presión que sigue al punto diastólico. Preferiblemente, la búsqueda se produce en forma similar a la del subestado 1.1, de modo que, en la realización del procedimiento que se muestra en la figuras, se lleva a cabo según las fórmulas [3] y [4], y [5] y [6]. Dicha búsqueda continúa hasta

ES 2 329 243 T3

una distancia temporal desde el punto Pmin igual a un umbral máximo DTMAX_SYS, preferiblemente no mayor de 380 milisegundos, aún más preferiblemente no mayor de 360 milisegundos. En este momento, en el subestado 1.2, en cada comparación de un punto de la curva de presión con Pmax_actual, el procedimiento incrementa el contador de tiempo empleado en el subestado 1.1, verificando si el valor del contador de tiempo ha excedido el umbral máximo DTMAX_SYS. Antes de pasar al siguiente subestado 1.3, el procedimiento considera el punto Pmax_actual como el punto máximo absoluto Pmax de la curva de presión, y el valor Y1max_actual como el valor máximo Y1max_postdia de la primera derivada de la presión que sigue al punto diastólico. En otras palabras, en el subestado 1.2, el procedimiento busca el punto sistólico (y el valor máximo de la primera derivada de la presión que sigue al punto diastólico) en un intervalo de la curva de presión que se corresponde sustancialmente con la distancia temporal fisiológica máxima entre el punto diastólico y el punto sistólico.

El procedimiento lleva a cabo la búsqueda simultánea del punto diastólico y el punto sistólico en el subestado 1.1 para tener en cuenta las arritmias cardiacas y las contrapulsaciones (por lo cual los puntos diastólico y sistólico pueden ser los puntos máximo y mínimo relativos, en vez de absolutos, de la curva de presión), y el posible ruido introducido en la curva de presión por eventos no debidos a la fisiología de la curva, como por ejemplo el ruido eléctrico, la tos de un paciente, o el movimiento del instrumento que detecta la presión sanguínea (por ejemplo, un catéter). Dicha búsqueda simultánea, en el caso de ruido elevado, puede proporcionar el resultado fisiológicamente incorrecto de que el punto mínimo absoluto Pmin sigue al punto máximo absoluto Pmax. Por tanto, en el subestado 1.3, el procedimiento verifica que el punto Pmin determinado en el subestado 1.1 precede al punto Pmax determinado en el subestado 1.1 ó 1.2.

Si el resultado de la verificación es negativo, el procedimiento vuelve a realizar el subestado 1.0 comenzando desde el punto Pmin de la curva de presión anteriormente determinado. De tal manera, el subestado 1.1 buscará el punto mínimo absoluto que sigue a uno anteriormente determinado.

Si por otra parte, la verificación ha proporcionado un resultado positivo, el punto mínimo absoluto Pmin se considera el punto diastólico Pdia y el punto máximo absoluto Pmax se considera el punto sistólico Psys; también el procedimiento determina el valor máximo Y2max_diatosys de la segunda derivada de la presión que está incluido entre el punto diastólico y el punto sistólico. Dicha determinación podría por tanto llevarse a cabo simultáneamente con la búsqueda de los puntos diastólico y sistólico, modificando adecuadamente los subestados 1.1 y 1.2. Finalmente, el procedimiento pasa al siguiente segundo estado 2.

Las comprobaciones temporales realizadas en los subestados 1.1 y 1.2 permiten al procedimiento según la invención tener en cuenta el hecho de que, cuando la frecuencia cardiaca varía, la fase sistólica tiene una duración fisiológicamente constante (por lo cual el punto sistólico se produce en un intervalo que oscila entre aproximadamente 150 y aproximadamente 360 milisegundos tras el punto diastólico), mientras que por el contrario, la fase diastólica modifica su duración cuando varía la frecuencia; por tanto, el procedimiento reconoce correctamente los puntos diastólico y sistólico incluso en el caso de una frecuencia cardiaca muy baja.

Haciendo referencia aún a la figura 1, una vez que se determinan los puntos diastólico Pdia y Psys sistólico, y los valores Y1max_postdia e Y2max_diatosys, la máquina de estado entra en el segundo estado 2, en el que el procedimiento según la invención busca el valor mínimo absoluto Y1min_postsys de la primera derivada de la presión tras la sístole en un intervalo de duración igual a DTMAX_MINY1_SYS tras la sístole; en concreto, DTMAX_MINY1_SYS es igual a la duración máxima del intervalo fisiológico en el que el valor mínimo de la primera derivada de la presión sigue al punto sistólico, y es preferiblemente no mayor de 250 milisegundos, aún más preferiblemente no mayor de 200 milisegundos. De tal manera, el procedimiento determina el punto de inflexión Pinflexion tras la sístole de la curva de presión en el que la primera derivada de la presión supone el valor mínimo absoluto Y1min_postsys, con el fin de discriminar los casos en los que se detecta la curva de presión en condiciones de ruido elevado, por lo cual la forma de la señal de la presión puede presentar una pequeña joroba, o una meseta corta, inmediatamente después de la sístole y en el que el procedimiento podría reconocer equivocadamente una incisura dicrota además de estas jorobas o mesetas pequeñas, inmediatamente después de la sístole.

Después de lo anterior, la máquina de estado entra en el tercer estado 3, en el que el procedimiento según la invención busca el punto dicroto.

Con referencia a la figura 3, se puede observar que el estado 3 comprende 4 subestados.

En el subestado 3.0, en un intervalo de tiempo de duración igual a DTMAX_SYS2Y1D1C que sigue al punto de inflexión Pinflexion, se determina el punto máximo absoluto de la primera derivada Y1max_postsys, a continuación se pasa al siguiente subestado 3.1. En concreto, DTMAX_SYS2Y1D1C es igual a la duración máxima del intervalo fisiológico en el que la incisura dicrota sigue al punto de inflexión, y es preferiblemente no mayor de 250 milisegundos, aún más preferiblemente no mayor de 200 milisegundos.

En el subestado 3.1, el procedimiento verifica si el punto Y1max_postsys determinado en el subestado 3.0 es positivo.

Si el resultado de la verificación es positivo, esto significa que la curva de presión muestra una joroba tras el punto dicroto, según se muestra esquemáticamente en la figura 4, por lo cual, en este caso, el punto dicroto Pdic corresponde

ES 2 329 243 T3

al punto mínimo relativo de la primera curva de presión que sigue al punto de inflexión Pinflexion determinado en el segundo estado 2. Por tanto, el procedimiento lleva a cabo el subestado 3.2 en el que determina dicho punto Pdic, determinando el instante en el que la primera derivada de la curva de presión supone el valor de cero en el intervalo de tiempo de duración igual a DTMAX_SYS2Y1DIC que sigue al punto de inflexión Pinflexion. El procedimiento pasa a continuación al siguiente cuarto estado 4.

En su lugar, en el caso en el que la verificación del subestado 3.1 haya sido negativa, o el punto máximo absoluto de la primera derivada Y1max_postsys determinado en el subestado 3.0 es no positivo, la curva de presión no presenta ninguna joroba tras el punto dícroto, y este último corresponde al punto en el que la segunda derivada de la presión supone el valor máximo. Por tanto, el procedimiento lleva a cabo el subestado 3.3 en el que determina el punto dícroto Pdic, determinando el instante en el que la segunda derivada de la curva de presión supone el valor máximo Y2max_postinflexión en el intervalo de tiempo de duración igual a DTMAX_SYS2Y1 DIC que sigue al punto de inflexión Pinflexion. El procedimiento pasa a continuación al siguiente cuarto estado 4.

Haciendo referencia aún a la figura 1, la máquina de estado entra en el cuarto estado 4, en el que el procedimiento según la invención determina el valor máximo de la primera derivada Y1max_postdic y el valor máximo de la segunda derivada de la curva de presión Y2max_postdic tras el punto dícroto Pdic determinado en el tercer estado 3. Dicha búsqueda se lleva a cabo en el intervalo DPOSTDIC que sigue al punto dícroto, preferiblemente no mayor de 150 milisegundos. Después, el procedimiento verifica si al menos uno de los dos valores máximos Y1max_postdia e Y2max_diatosys, que pertenecen a, respectivamente, la primera derivada y la segunda derivada de la presión, tras el punto diastólico, que se determinan en el primer estado 1, son menores que el valor de la derivada correspondiente determinado exactamente, respectivamente, Y1max_postdic e Y2max_postdic. Dicha verificación es necesaria para discriminar el caso en el que, cuando están presentes las señales de presión concretas que tienen una joroba tras la incisura dícrota, el punto dícroto determinado Pdic es realmente un punto diastólico. Este es el ejemplo de la curva de presión detectada para un corazón particularmente elástico (como el de un atleta) bajo estrés, en el que es posible verificar que el punto dícroto tiene un valor de presión inferior a la del punto diastólico. Sin embargo, incluso en este caso, la velocidad de aumento fisiológico de la curva de presión a lo largo de la sección entre el punto diastólico y el punto sistólico es más grande que la velocidad de aumento fisiológico de la curva de presión tras el punto dícroto. Esto se discrimina comparando exactamente los valores máximos de la primera y segunda derivadas tras, respectivamente, el punto supuesto como punto diastólico y el punto supuesto como punto dícroto.

A este respecto, otras realizaciones del procedimiento según la innovación llevan a cabo en el cuarto estado 4 la determinación de los valores Ymax_postdic e Y2max_postdic, y su comparación con los valores Y1max_postdia e Y2max_diatosys, sólo en el caso en el que en el tercer estado 3 se haya establecido la presencia de una joroba tras el punto dícroto.

En el caso de que la verificación proporcione un resultado positivo, (es decir, al menos uno de los dos valores Y1max_postdia e Y2max_diatosis es menor de, respectivamente, Y1max_postdic o Y2max_postdic), el punto Pdia diastólico determinado, el punto Psys sistólico, y el punto Pdic dícroto no corresponden a una curva de presión fisiológicamente correcta y el procedimiento vuelve a llevar a cabo el subestado 1.0 del primer estado 1, comenzando a partir de un punto que sigue a Pdia, que se ha determinado como punto diastólico y el punto Pdic anterior determinado como punto dícroto, para determinar los puntos diastólico y/o sistólico y/o dícroto diferentes de los determinados anteriormente. Preferiblemente, el procedimiento vuelve a llevar a cabo el subestado 1.0 del primer estado 1, comenzando a partir del punto inmediatamente anterior al punto Pdic determinado en el tercer estado como punto dícroto.

En el caso de que la verificación proporcione un resultado negativo, (es decir, ambos valores Y1max_postdia e Y2max.diatosys son mayores que, respectivamente, los valores Y1max_postdic e Y2max_postdic), los puntos determinados Pdia, Psys, y Pdic son fisiológicamente correctos y el procedimiento verifica además si se ha detectado la curva de presión en la aorta.

En el positivo, el procedimiento pasa directamente a un estado final 7, en el que proporciona todos los datos detectados como datos característicos del latido del cual ha examinado la curva de presión y posiblemente vuelve a llevar a cabo el primer estado 1 para examinar el siguiente latido.

En el negativo (se ha detectado la curva de presión en la aorta), el procedimiento pasa a un quinto estado 5, en el que determina el punto P3 de la curva de presión que corresponde al instante t3, en el que la segunda derivada de la curva supone el valor mínimo Y2min_systodic a lo largo del intervalo incluido entre el punto sistólico Psys y el punto dícroto Pdic, al siguiente punto Pdic. En otras palabras, el intervalo en el que el valor Y2min_systodic se determina preferiblemente va desde el instante:

$$t_{sys} + (t_{dic} - t_{sys})/2$$

hasta el instante

t_{dic},

en el que t_{sys} es el instante que corresponde al punto sistólico y t_{dic} es el instante que corresponde al punto dícroto.

ES 2 329 243 T3

Después de lo anterior, en el caso en el que en el tercer estado 3 no se ha reconocido la presencia de una joroba a lo largo de la curva de presión, el procedimiento pasa a llevar a cabo el estado final 7; de otra manera (en el tercer estado 3 se ha establecido que la curva de presión presenta una joroba), el procedimiento pasa a llevar a cabo un sexto estado 6.

En el sexto estado 6, el procedimiento busca el punto máximo relativo P4 tras el punto dícroto, es decir, el vértice de la joroba, que corresponde al instante en el que la primera derivada de la curva de presión supone el valor mínimo no negativo comprendido dentro del intervalo que sigue al punto dícroto. En concreto, la búsqueda del punto P4 se lleva a cabo en el interior del intervalo DPOSTDIC que sigue a la incisura dícrota.

Más aún, en el sexto estado 6, el procedimiento busca también el punto mínimo relativo Pend tras el punto dícroto, es decir, el final del latido bajo examen. En concreto, la búsqueda del punto Pend se lleva a cabo durante el intervalo que va desde el punto P4 hasta el punto Ptermination distante por DENDPOSTDIC desde el punto dícroto Pdic, igual a la distancia temporal fisiológica máxima entre el punto dícroto y un latido anómalo siguiente (extrasístole) o un latido acelerado (frecuencias cardíacas altas), preferiblemente, DENDPOSTDIC no es más largo de 150 milisegundos. Finalmente, el procedimiento pasa a llevar a cabo el estado final 7.

Según se ha dicho, en el estado final 7, el procedimiento proporciona todos los datos detectados como datos característicos del latido del cual ha examinado la curva de presión y vuelve posiblemente a llevar a cabo el primer estado 1 para examinar el siguiente latido. En concreto, en el caso en el que se alcance el estado 7 a partir del estado 4 o el estado 5, el procedimiento vuelve a llevar a cabo el primer estado 1 comenzando a partir de un punto que sigue al punto dícroto Pdic en un intervalo DNEW, preferiblemente no más corto de 1 milisegundo y no más largo de 150 milisegundos; en el caso en el que se alcance el estado 7 desde el estado 6, el procedimiento vuelve a llevar a cabo el subestado 1.0 del primer estado 1 comenzando desde un punto que sigue al punto dícroto Pdic y anterior al punto determinado Pend (comenzando preferiblemente desde el punto inmediatamente anterior al punto determinado Pend), o, en el caso en el que el punto Pend no se ha determinado, desde un punto que sigue al punto dícroto Pdic y que no sigue a punto Ptermination (comenzando preferiblemente desde el punto inmediatamente anterior al punto Ptermination determinado).

Las ventajas obtenidas mediante el procedimiento según la invención son numerosas.

Lo primero de todo, el procedimiento es capaz de obtener el reconocimiento del pulso a partir del análisis de la curva de presión producida por el corazón durante su funcionamiento, delimitando fiablemente los puntos inicial y final de cada latido.

Más aún, el procedimiento es capaz de discriminar los casos en los que los puntos diastólico y sistólico son relativos, y no absolutos, los puntos mínimo y máximo, en los que la curva de presión presenta también otros puntos mínimo y máximo. De hecho, los puntos diastólico y sistólico se reconocen como válidos sólo si cuando se pasa desde uno al otro la primera derivada (y también la segunda derivada) de la curva de presión alcanza su máximo comprendido en un latido completo.

Además, el procedimiento determina los puntos diastólico, sistólico, y dícroto examinando intervalos de tiempo bastante largos alrededor de los puntos máximo o mínimo o de inflexión.

El programa determina los puntos diastólico, sistólico, y dícroto comprendidos dentro de los límites de tiempo fisiológicamente dependientes en el emplazamiento en el que se detecta la presión. En concreto, se ha determinado que la conclusión real del pulso se produce después de los puntos diastólico, sistólico y dícroto.

El procedimiento según la invención permite también, en el caso de una frecuencia muy baja, determinar el latido a pesar de los límites impuestos debido al tiempo entre la incisura dícrota y la diástole, debido a que tiene en cuenta el hecho de que la fase sistólica es fisiológicamente de duración no muy variable cuando varía la frecuencia cardíaca, mientras que, por el contrario, la fase diastólica modifica su duración cuando varía la frecuencia.

Además, el procedimiento según la invención permite estudiar de manera fiable la señal de un electrocardiograma.

Se han descrito anteriormente las realizaciones preferidas y se han sugerido algunas modificaciones de esta invención, pero debería entenderse que las personas expertas en la técnica pueden realizar otras variaciones y cambios, sin apartarse por tanto del alcance de la protección relacionado, según se define mediante las siguientes reivindicaciones.

ES 2 329 243 T3

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento automatizado para discriminar el latido cardiaco, sobre la base de una señal muestreada de la presión sanguínea, que tiene un punto de partida P_{start} , que opera según una máquina de estado finito, que comprende:

A. un primer estado (1) en el que el procedimiento busca:

- 10 - el valor mínimo absoluto de la presión P_{min} , escaneando los valores de la presión incluidos dentro de un primer intervalo de tiempo que no excede el intervalo que va desde el punto de partida P_{start} hasta el punto distante desde el valor mínimo P_{min} determinado por un primer umbral de tiempo DT_{MIN_SYS} ,
 - 15 - el valor máximo absoluto de la presión P_{max} , escaneando los valores de la presión incluidos dentro de un segundo intervalo de tiempo que no excede el intervalo que va desde el punto de partida P_{start} hasta el punto distante desde el valor mínimo determinado P_{min} por un segundo umbral de tiempo DT_{MAX_SYS} , y,
 - 20 - el valor máximo de la primera derivada de la señal de presión $Y_{1max_postdia}$ incluido dentro de un tercer umbral de tiempo que no excede el intervalo que va desde el punto de partida P_{start} hasta el punto distante desde el valor mínimo determinado P_{min} en un periodo igual al segundo umbral de tiempo DT_{MAX_SYS} ,
- el procedimiento supone el punto P_{min} como punto diastólico P_{dia} y el punto P_{max} como punto sistólico P_{sys} y pasa al siguiente segundo estado (2);

25 B. el segundo estado (2), en el que el procedimiento busca un punto de inflexión de la señal de presión $P_{inflexion}$ que sigue al punto sistólico P_{sys} en un quinto intervalo de tiempo que no excede el intervalo de partida desde el punto sistólico P_{sys} y de duración igual al tercer umbral de tiempo $DT_{MAX_MINY1_SYS}$, el procedimiento pasa a continuación al siguiente tercer estado (3);

30 C. el tercer estado (3), en el que el procedimiento verifica si, en un sexto intervalo de tiempo que no excede el intervalo de partida desde el punto de inflexión $P_{inflexion}$ y de duración igual al cuarto umbral de tiempo $DT_{MAX_SYS2YD1C}$, la señal de la presión presenta una joroba con una concavidad hacia abajo, de tal manera que:

- 35 - si el resultado de la verificación es positivo, el procedimiento busca, en un séptimo intervalo de tiempo que no excede el intervalo de partida desde el punto de inflexión $P_{inflexion}$ y de duración igual a la del cuarto umbral de tiempo $DT_{MAX_SYS2YD1C}$, para el mínimo relativo de la primera curva de presión, y supone el último como el punto dícroto P_{dic} , mientras que
- 40 - si el resultado de la verificación es negativo, el procedimiento busca en dicho séptimo intervalo de tiempo el instante en el que la segunda derivada de la señal de la presión supone el valor máximo $Y_{2max_postinflexion}$, y supone el punto de la señal de la presión relacionada como punto dícroto P_{dic} ,

el procedimiento pasa a continuación a un siguiente cuarto estado (4);

45 D. el cuarto estado (4), en el que el procedimiento busca un valor máximo $Y_{1max_yostdic}$ de la primera derivada de la señal de presión en un octavo intervalo que no excede el intervalo de partida desde el punto dícroto P_{dic} y de duración igual al quinto umbral de tiempo $D_{POSTD1C}$, verificando el procedimiento que el valor máximo $Y_{1max_postdia}$ determinado en el primer estado (1) no es menor que el valor $Y_{1max_postdic}$, de tal manera que:

- 50 - si el resultado de la verificación es negativo, el procedimiento vuelve al primer estado (1) que supone como nuevo punto de partida P_{start} un punto que sigue al punto diastólico P_{dia} y que no sigue al punto dícroto P_{dic} mientras que
- 55 - si el resultado de la verificación es positivo, el procedimiento pasa al estado final (7); y

60 E. el estado final (7), en el que el procedimiento es apto para proporcionar el punto diastólico P_{dia} , el punto sistólico P_{sys} , y el punto dícroto P_{dic} .

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque en el primer estado (1) éste busca también:

- 65 - el valor máximo de la segunda derivada de la señal de presión $Y_{2max_diatosys}$ incluido dentro de un cuarto intervalo de tiempo que no excede el intervalo que va desde el punto de partida P_{start} hasta el punto distante desde el valor mínimo determinado P_{min} en un periodo igual al segundo umbral de tiempo DT_{MAX_SYS} ,

ES 2 329 243 T3

y en que el cuarto estado (4) busca también un valor máximo de la segunda derivada de la señal de presión $Y2_{max_postdic}$ comprendido dentro del octavo intervalo, verificando también el procedimiento que el valor máximo $Y2_{max_diatosys}$ determinado en el primer estado (1) no es menor que el valor $Y2_{max_postdic}$, de tal manera que:

- 5 - si el resultado de la verificación es negativo, el procedimiento vuelve al primer estado (1) suponiendo como nuevo punto de partida P_{start} un punto que sigue al punto diastólico P_{dia} y no sigue al punto dicroto P_{dic} , mientras que
- 10 - si el resultado de la verificación es positivo, el procedimiento pasa al estado final (7).

3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque en el primer estado (1), la suposición de los puntos P_{min} y P_{max} como puntos P_{dia} diastólico y P_{sys} sistólico, respectivamente, depende del resultado de la verificación de que el punto P_{min} precede al punto P_{max} , de tal manera que:

- 15 - si el resultado de la verificación es negativo, el procedimiento vuelve a llevar a cabo todas las operaciones del primer estado (1) suponiendo como nuevo punto de partida P_{start} un punto que no precede a P_{min} , mientras que
- 20 - si el resultado de la verificación es positivo, el punto P_{min} se supone como punto diastólico P_{dia} y el punto P_{max} se supone como punto sistólico P_{sys} y el procedimiento pasa al siguiente segundo estado (2).

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la máquina de estado finito según la cual éste opera comprende un quinto estado (5), pasando el procedimiento desde el cuarto estado (4) al estado final (7) pasando preliminarmente al quinto estado (5), en el que el procedimiento determina unos puntos de la señal de presión P_3 que corresponden al instante t_3 en el que la segunda derivada de la señal de presión supone el valor mínimo absoluto $Y2_{min_systodic}$ comprendido dentro de un noveno intervalo que no excede el intervalo que va desde el punto sistólico P_{sys} hasta el punto dicroto P_{dic} , pasando el procedimiento a continuación al estado final (7) en el que éste es apto para proporcionar el punto P_3 .

5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado** porque, dicho noveno intervalo va desde el instante que es intermedio en el interior del intervalo incluido entre el punto sistólico P_{sys} y el punto dicroto P_{dic}

$$35 \quad t_{sys} + (t_{dic} - t_{sys})/2$$

hasta el instante del punto dicroto

$$40 \quad t_{dic},$$

en el que t_{sys} es el instante que corresponde al punto sistólico P_{sys} y t_{dic} es el instante que corresponde al punto dicroto P_{dic} .

45

6. Procedimiento según la reivindicación 4 ó 5, **caracterizado** porque en el cuarto estado (4) el procedimiento verifica si se ha detectado la señal de presión en una aorta, de tal manera que:

- 50 - si el resultado de la verificación es positivo, el procedimiento pasa al estado final (7), mientras que
- si el resultado de la verificación es negativo, el procedimiento pasa al quinto estado (5).

55 7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la máquina de estado finito según la cual opera éste comprende un sexto estado (6), al cual el procedimiento llega en el caso en el que en el tercer estado (3) haya verificado que la señal de presión presenta una joroba con concavidad hacia abajo comprendida dentro del sexto intervalo de tiempo, llegando el procedimiento al sexto estado (6) tras el cuarto estado (4) antes de pasar al estado final (7), en el sexto estado (6) el procedimiento busca en dicho sexto intervalo de tiempo el punto máximo relativo P_4 tras el punto dicroto P_{dic} , es decir, el vértice de la joroba, pasando el procedimiento a continuación al estado final (7) en el que éste es apto para proporcionar el punto P_4 .

60

8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** porque en el sexto estado (6) el procedimiento busca también un punto mínimo en relación con la señal de presión P_{end} comprendido dentro de un décimo intervalo que no excede el intervalo que va desde el punto dicroto P_{dic} hasta el punto $P_{termination}$ distante desde el punto dicroto P_{dic} en un sexto umbral de tiempo $DENDPOSTDIC$, siendo el procedimiento apto para proporcionar en el estado final (7) el punto P_{end} en el caso en el que éste se haya determinado en el sexto estado (6).

65

ES 2 329 243 T3

9. Procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado** porque el procedimiento busca el punto P_{end} tras haber determinado el punto P_4 y en el que dicho décimo intervalo va desde el punto P_4 hasta el punto $P_{termination}$.
10. Procedimiento según la reivindicación 8 ó 9, **caracterizado** porque el sexto umbral de tiempo $DENDPOSTDIC$ no es más largo de 150 milisegundos.
11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, cuando son dependientes de la reivindicación 4, **caracterizado** porque el procedimiento llega al sexto estado (6) partiendo desde el quinto estado (5).
12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque en el primer estado (1), éste busca el primer punto P_{dec} que sigue al punto de partida P_{start} que pertenece a una fase de disminución de la señal de presión, en el que el primer intervalo de tiempo va desde el primer punto de disminución P_{dec} hasta el punto distante desde el valor mínimo determinado P_{min} en un primer umbral de tiempo $DTMIN_SYS$, y en el que el segundo intervalo de tiempo va desde el primer punto de disminución P_{dec} hasta el punto distante desde el valor mínimo determinado P_{min} en un segundo umbral de tiempo $DTMAX_SYS$.
13. Procedimiento según la reivindicación 12, **caracterizado** porque el tercer y el cuarto intervalos de tiempo van desde el primer punto de disminución P_{dec} hasta el punto distante desde el valor mínimo determinado P_{min} en un segundo umbral de tiempo $DTMAX_SYS$.
14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque el tercer y cuarto intervalos de tiempo van desde el valor mínimo determinado P_{min} hasta el punto distante desde el valor mínimo determinado P_{min} en un segundo umbral de tiempo $DTMAX_SYS$.
15. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque el tercer y el cuarto intervalos de tiempo van desde el valor mínimo determinado P_{min} hasta el valor máximo determinado P_{max} .
16. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque en el segundo estado (2) éste busca el punto $P_{inflection}$ buscando el valor mínimo absoluto de la primera derivada de la señal de presión $Y1_{min_postsys}$ comprendido dentro del quinto intervalo de tiempo, suponiendo el punto de la señal de presión en el que la primera derivada del mismo supone el valor mínimo absoluto $Y1_{min_postsys}$ como punto de inflexión $P_{inflection}$.
17. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque en el tercer estado (3) éste verifica si en el sexto intervalo de tiempo la señal de presión presenta una joroba con concavidad hacia abajo buscando el valor máximo absoluto de la primera derivada de la señal de presión $Y1_{max_postsys}$ y verificando que este valor $Y1_{max_postsys}$ es positivo, por lo cual la señal de presión presenta dicha joroba en el caso en el que el valor de $Y1_{max_postsys}$ es positivo.
18. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque en el tercer estado (3) éste busca en el interior del séptimo intervalo de tiempo el primer mínimo relativo de la curva de presión buscando el instante en el que la primera derivada de la señal de presión supone el valor de cero en el interior de dicho séptimo intervalo.
19. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, en el cuarto estado (4), la búsqueda del valor máximo de la primera derivada $Y1_{max_postdic}$ y el valor máximo de la segunda derivada $Y2_{max_postdic}$ de la señal de presión en el interior del octavo intervalo, y la verificación de que ambos no son mayores que los valores máximos $Y1_{max_postdia}$ e $Y2_{max_diatosys}$ determinados en el primer estado (1), se lleva a cabo sólo en el caso en el que en el tercer estado (3) el procedimiento ha verificado que la señal de presión presenta una joroba con concavidad hacia abajo en el interior del sexto intervalo de tiempo.
20. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, cuando éste vuelve desde el cuarto estado (4) al primer estado (1), el procedimiento supone el punto inmediatamente anterior al punto dícroto P_{dic} determinado como nuevo punto de partida P_{start} .
21. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, el primer umbral de tiempo $DTMIN_SYS$ no es más largo de 200 milisegundos.
22. Procedimiento según la reivindicación 21, **caracterizado** porque el primer umbral de tiempo $DTMIN_SYS$ no es más largo de 150 milisegundos.
23. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el segundo umbral de tiempo $DTMAX_SYS$ no es más largo de 380 milisegundos.
24. Procedimiento según la reivindicación 23, **caracterizado** porque el segundo umbral de tiempo $DTMAX_SYS$ no es más largo de 350 milisegundos.

ES 2 329 243 T3

25. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el tercer umbral de tiempo DTMAX_MINY1_SYS no es más largo de 250 milisegundos.

5 26. Procedimiento según la reivindicación 25, **caracterizado** porque el tercer umbral de tiempo DTMAX_MINY1_SYS no es más largo de 200 milisegundos.

27. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el cuarto umbral de tiempo DTMAX_SYS2Y1 DIC no es más largo de 250 milisegundos.

10 28. Procedimiento según la reivindicación 27, **caracterizado** porque el cuarto umbral de tiempo DTMAX_SYS2Y1DIC no es más largo de 200 milisegundos.

29. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el quinto umbral de tiempo DPOSTDIC no es más largo de 200 milisegundos.

15 30. Procedimiento según la reivindicación 29, **caracterizado** porque el quinto umbral de tiempo DPOSTDIC no es más largo de 150 milisegundos.

20 31. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la señal de presión se muestrea a una frecuencia de 1 kHz.

32. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** porque éste vuelve a llevar a cabo iterativamente desde el estado final (7) el primer estado (1) suponiendo un punto que sigue al punto dícroto Pdic como nuevo punto de partida Pstart.

25 33. Procedimiento según la reivindicación 32, cuando depende de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque éste vuelve a llevar a cabo iterativamente desde el estado final (7) el primer estado (1) suponiendo un punto que sigue al punto dícroto Pdic y distante de este en un séptimo umbral de tiempo DNEW como nuevo punto de partida Pstart.

30 34. Procedimiento según la reivindicación 33, **caracterizado** porque el séptimo umbral de tiempo DNEW no es más corto de 1 milisegundo y no es más largo de 150 milisegundos.

35 35. Procedimiento según la reivindicación 32, cuando depende de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, **caracterizado** porque, en el caso de que se haya determinado en el sexto estado (6) el punto Pend, el procedimiento vuelve a llevar a cabo iterativamente desde el estado final (7) el primer estado (1) suponiendo un punto que sigue al punto dícroto Pdic y que precede al punto Pend como nuevo punto de partida Pstart.

40 36. Procedimiento según la reivindicación 35, **caracterizado** porque, en el caso en el que se haya determinado en el sexto estado (6) el punto Pend, el procedimiento vuelve a llevar a cabo iterativamente desde el estado final (7) el primer estado (1) suponiendo el punto inmediatamente anterior Pend como nuevo punto de partida Pstart.

45 37. Procedimiento según la reivindicación 32, cuando depende de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, **caracterizado** porque, en el caso en el que no se haya determinado en el sexto estado (6) el punto Pend, el procedimiento vuelve a llevar a cabo iterativamente desde el estado final (7) el primer estado (1) suponiendo un punto que sigue al punto dícroto Pdic y que no sigue al punto Ptermination como nuevo punto de partida Pstart.

50 38. Procedimiento según la reivindicación 37, **caracterizado** porque, en el caso de que no se haya determinado en el sexto estado (6) el punto Pend, el procedimiento vuelve a llevar a cabo iterativamente desde el estado final (7) el primer estado (1) suponiendo el punto inmediatamente anterior al punto Ptermination como nuevo punto de partida Pstart.

55 39. Ordenador para llevar a cabo el procedimiento automatizado para discriminar el latido cardiaco según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1-38, que comprende medios de interface de entrada y/o salida, medios de memorización, y medios de procesamiento, **caracterizado** porque dichos medios de memorización almacenan un programa informático que comprende los medios de codificación adaptados para ejecutar el procedimiento automatizado para discriminar el latido cardiaco según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1-38.

60 40. Equipo para detectar y analizar la presión sanguínea, que comprende un ordenador y medios que detectan la presión sanguínea, **caracterizado** porque dicho ordenador es el ordenador según la reivindicación 39.

65 41. Programa de ordenador **caracterizado** porque éste comprende medios de codificación adaptados para ejecutar, cuando se hacen correr en un ordenador, el procedimiento automatizado para discriminar el latido cardiaco según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1-38.

42. Medio de memoria, legible por un ordenador, que almacena un programa, **caracterizado** porque el programa es el programa informático según la reivindicación 41.

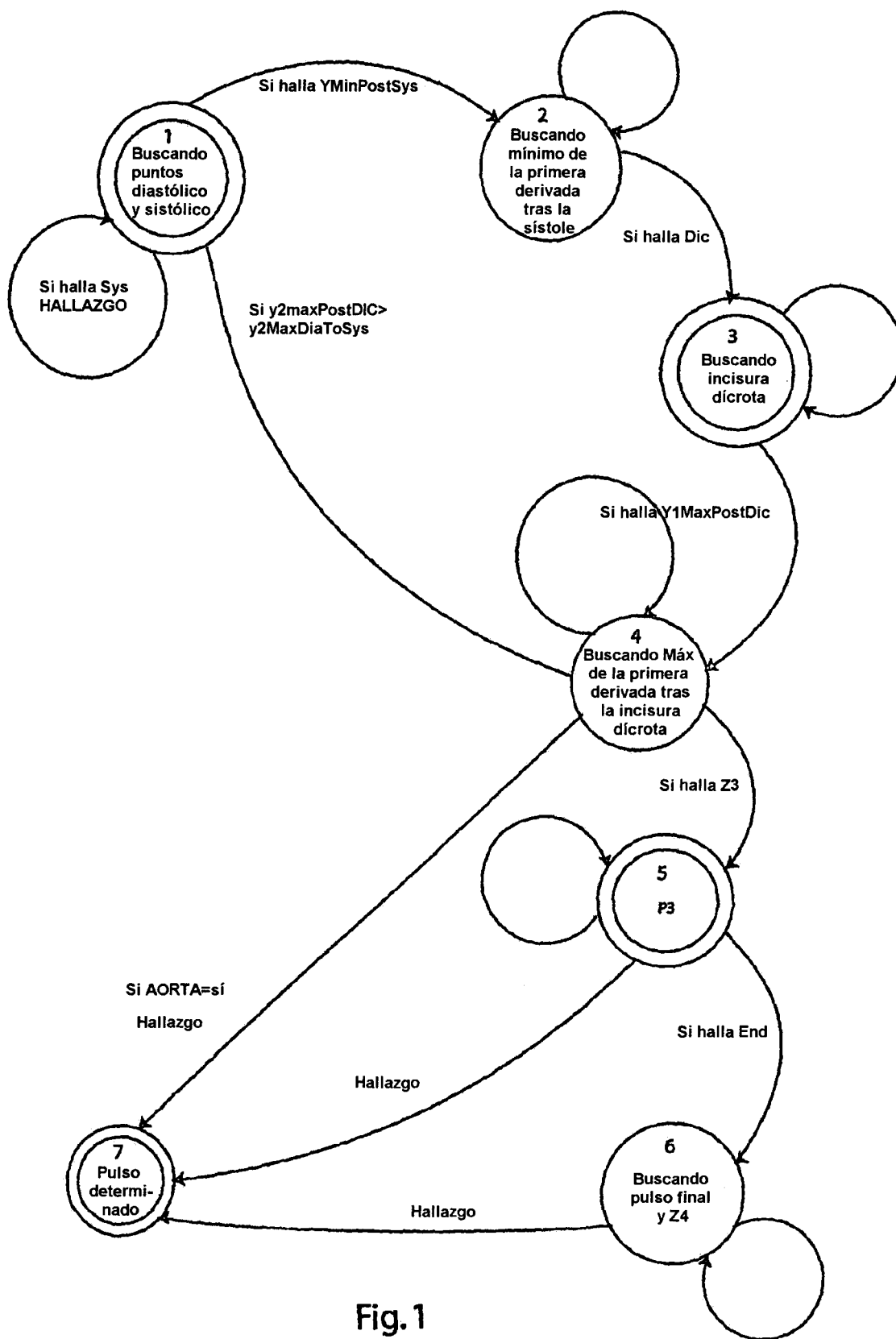


Fig.1

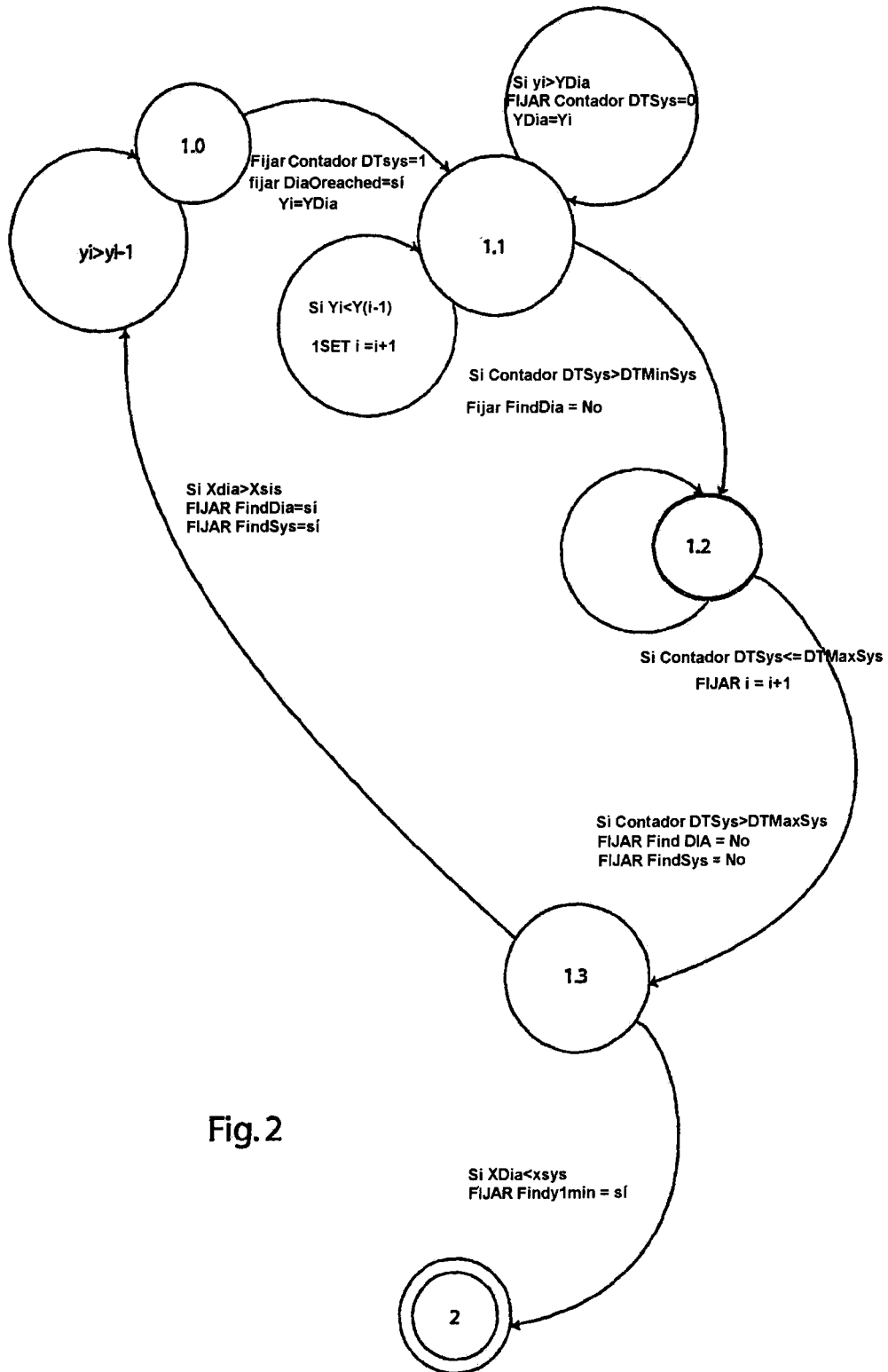


Fig.2

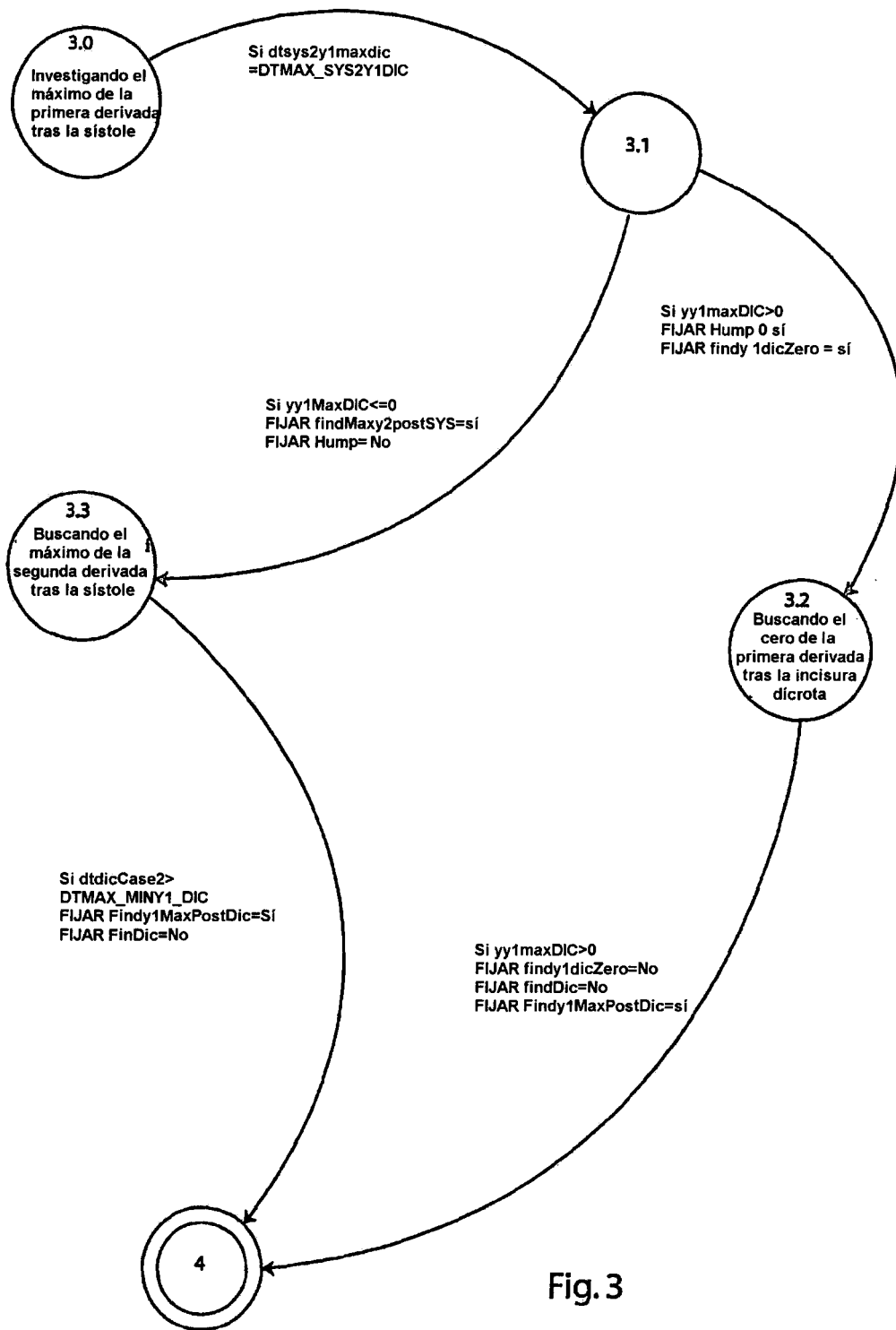


Fig. 3

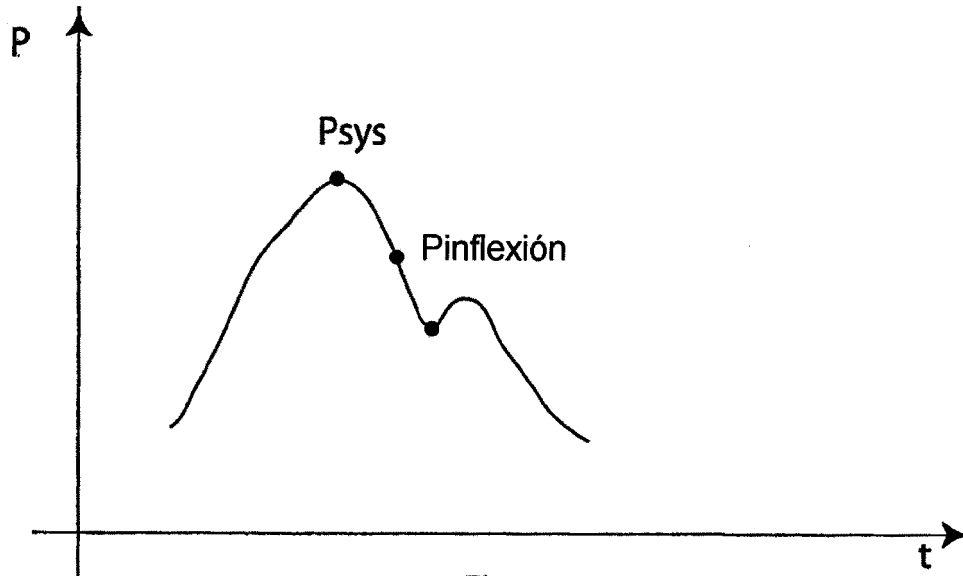


Fig.4

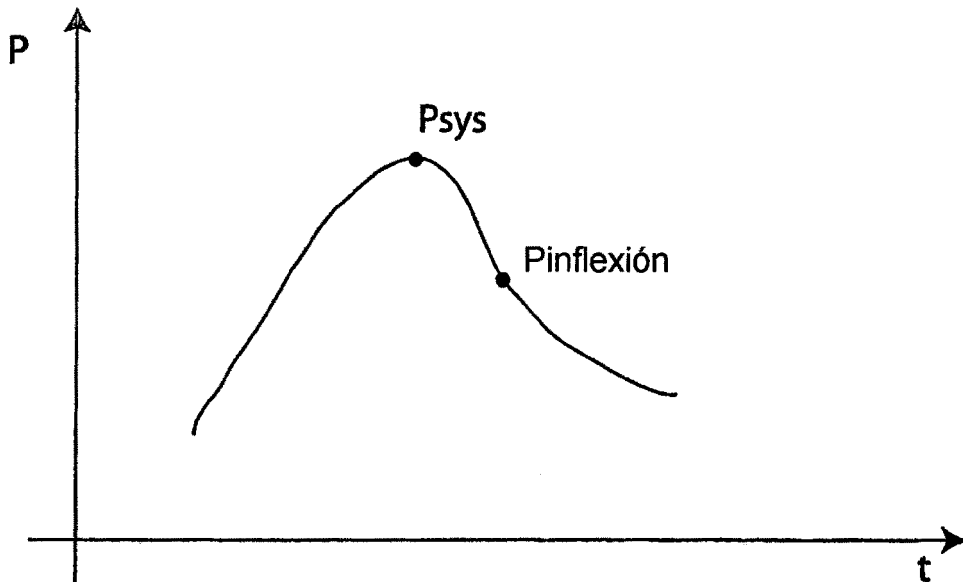


Fig.5