

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 951 065**

51 Int. Cl.:

A61B 5/00 (2006.01)

A01K 29/00 (2006.01)

A61B 5/02 (2006.01)

A61B 5/11 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.02.2015 PCT/US2015/016851**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.08.2015 WO15127228**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.02.2015 E 15751594 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2023 EP 3110310**

54 Título: **Vigilancia y supervisión del malestar de animales por móvil**

30 Prioridad:

24.02.2014 US 201461943677 P

03.12.2014 US 201462087076 P

19.02.2015 US 201514626740

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

17.10.2023

73 Titular/es:

EQUUS GLOBAL HOLDINGS LLC (100.0%)

705 Garner Avenue

Austin, TX 78704, US

72 Inventor/es:

SCHAB, JEFFREY R.;

SCHAB, MICHAEL W. y

BOWEN, RYAN M.

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 951 065 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

Vigilancia y supervisión del malestar de animales por móvil

Solicitudes relacionadas

Antecedentes de la invención

5 Esta divulgación se refiere a la detección del malestar animal, y particularmente a la notificación a los cuidadores de dicho malestar. Excluyendo la vejez, el cólico es la causa principal de muerte en caballos domesticados independientemente de la raza, el sexo y el uso. Se estima que esta afección afecta a casi un 5 % de los caballos en Estados Unidos cada año y más de un 11 % de estos casos será mortal. El trabado (es decir, trabado en el establo), aunque rara vez es traumático, es otra causa muy común de lesión grave en los caballos. Desafortunadamente, el cólico y el trabado a menudo se producen durante la noche o en ubicaciones remotas cuando y donde los guardas no están presentes, lo que provoca una intervención retardada. La intervención retardada es un indicador pronóstico negativo que tiene un terrible impacto sobre los desenlaces de supervivencia y calidad de vida. Otro momento importante para que los cuidadores estén presentes es cuando una yegua (es decir, hembra de caballo) está a punto de parir (es decir, dar a luz). Este proceso se produce muy rápidamente y aunque más de un 90 % de las yeguas paren con normalidad, un porcentaje minoritario puede experimentar complicaciones que requieren la intervención humana para reducir el riesgo de lesión o muerte en el potro y/o la yegua.

La técnica anterior relevante incluye: documentos WO2013/008115A1, US2014/275824A1, US2009/187392A1, US2013/245389A1, WO2007/103886A2 y US2013/245436A1.

La publicación internacional WO2013/008115A1 describe un collar para animales de compañía que comprende elementos sensores accionables de forma remota para medir las constantes vitales del animal (tal como respiración, pulso, temperatura y movimiento) y un procesador que pueden interpretar los resultados de múltiples lecturas de las constantes vitales. Un dispositivo de comunicación bidireccional alerta al propietario de la mascota, al veterinario o a las autoridades. Un veterinario puede tomar de forma remota una medición particular de las constantes vitales cuando se le haya alertado. Los elementos sensores incluidos en la banda de collar tiene al menos un pasador elástico que se extiende hacia el cuello del animal para reunir los datos procesados en el collar o de forma remota. Para mejorar la relación STN, una capa elástica puede absorber el ruido de la fricción debido al movimiento de la cabeza del animal. El collar puede ajustar la tirantez de la banda para tomar lecturas de las constantes vitales.

El documento US2014/275824A1 describe un sistema y método para supervisar la salud de un animal usando múltiples sensores, incluyendo un sensor de respuesta de impulso de banda ultraancha. El dispositivo para llevar puesto incluye uno o más sensores cuyos niveles de señal resultantes se analizan en el dispositivo para llevar puesto o se cargan en un servidor de gestión de datos para análisis adicional.

El documento US2009/187392A1 describe un bolo ingerible que se ubique dentro del estómago de un animal. El bolo comprende uno o más sensores para supervisar una o más características internas y/o externas del animal. El bolo comprende un transmisor de datos en comunicación inalámbrica con un puesto de base. El puesto de base recibe mensajes del bolo, que comprenden una o más características medidas del animal. El puesto de base comprende un proceso para supervisar al animal y/o que está en comunicación en con un proceso para supervisar al animal. El proceso genera un perfil del animal en función de las características observadas del animal, las características de otros animales en un grupo asociado con el animal y/o características asociadas con la raza y/o sexo del animal. En función de este perfil, el proceso detecta un cambio en un estado de salud del animal. Dichos estados de salud pueden incluir, aunque sin limitación, un estado del celo del animal, un estado sin alimentación, un estado nominal, el abandono del animal del recinto, o similares.

Cólico

El cólico es uno de los problemas médicos más peligrosos y costosos de los equinos. El cólico es un síntoma de enfermedad, pero no es una enfermedad en sí, y en general se define como cualquier dolor abdominal. El cólico equino puede implicar múltiples órganos abdominales, no solamente el tubo gastrointestinal. Por ejemplo, el malestar abdominal por nefropatía o hepatopatía a veces provocará signos de cólico. El cólico equino puede originarse en el estómago, intestino delgado, intestino grueso o alguna combinación de los mismos, y está asociado con cualquier disfunción, desplazamiento, torsión, tumefacción, infección o lesión de cualquier parte del sistema digestivo equino.

El cólico equino es multifacético y su diagnóstico puede ser esquivo con síntomas que varían desde cambios subjetivos y sutiles en la actitud del animal (por ejemplo, depresión) a cambios objetivos en las constantes vitales del animal (por ejemplo, frecuencia cardiaca y respiratoria aumentada, elevación en la temperatura), funcionales biológicas (por ejemplo, ausencia de digestión) y acciones/movimientos (por ejemplo, piafar, cocear, observar el flanco, alzarse/caerse, rodar +/- moverse agitadamente). Además, un caballo con malestar habitualmente no presentará una sacudida saludable tras alzarse/erguirse después de rodar o acostarse. Un caballo que padece cólico puede mostrar muchos de los siguientes signos:

- Piafar y/o raspar (con las patas anteriores)
- Cocear (con las patas posteriores) hacia arriba o en el abdomen
- Acostarse repetidamente y alzarse/erguirse
- Rodar (+/- moverse agitadamente)
- 5 Estirarse
 - Caminar de un lado a otro
 - Observar el flanco (es decir, girar la cabeza para observar el estómago y/o los cuartos traseros)
 - Morder/pellizcar el estómago
 - Respuesta de Flehmen repetida (es decir, enroscar el labio superior)
- 10 Gemir
 - Bruxismo (es decir, rechinar excesivo de los dientes o apretamiento del maxilar)
 - Salivación excesiva
 - Pérdida de apetito
 - Cambio de actitud; depresión
- 15 Intentos frecuentes de orinar
 - Ausencia de ruido digestivo/intestinal normal
 - Ausencia de defecación
 - Frecuencia cardíaca aumentada
 - Frecuencia respiratoria aumentada
- 20 Temperatura aumentada
 - Sudoración
 - Las causas del cólico no son absolutas y pueden incluir, aunque sin limitación:
 - Obstrucción del tubo gastrointestinal por alimento u otros materiales
 - Retención de material alimenticio en el tubo gastrointestinal
- 25 Acumulación de gases dentro del abdomen
 - Infestación parasitaria por nematodos, cestodos, ciatostomos y/o estróngilos
 - Desplazamiento dorsal
 - Torsión del tubo gastrointestinal
 - Invaginaciones intestinales
- 30 Aprisionamiento del foramen epiploico
 - Lipoma estrangulante
 - Aprisionamiento por desgarro mesentérico
 - Ulceración gástrica
 - Enteritis
- 35 Colitis

Aunque muchos animales pueden padecer cólico, los caballos, especialmente lo que están en establo, son particularmente susceptible debido a multitud de factores, incluyendo dietas excesivamente basadas en cereal, un

volumen de estómago relativamente pequeño, la incapacidad de liberar el exceso de gases mediante eructos, susceptibilidad a infestación parasitaria y un tubo gastrointestinal muy contorneado. El tratamiento del cólico equino varía dependiendo de la causa y la gravedad de la afección, variando desde reposo y medicación hasta cirugía invasiva de urgencia. Los diferentes tipos de cólico incluyen, aunque sin limitación:

- 5 Distensión estomacal: La pequeña capacidad del estómago de un caballo lo hace susceptible a distensión cuando se ingieren cantidades excesivas de alimento. Cuando un caballo engulle cereal, o una sustancia que se expande cuando se humedece, como la pulpa de remolacha seca, los contenidos del estómago pueden hincharse. A diferencia de los seres humanos, los caballos tienen una válvula en el extremo distal de su esófago en el estómago que se abre solamente en una dirección y, como resultado, los caballos no pueden regurgitar. Si se come algo que altera su sistema digestivo, hay solamente una dirección en que puede discurrir la digestión. El pequeño estómago del caballo y su incapacidad de regurgitar pueden provocar distensión y posible rotura del estómago.

- 10 Desplazamiento: El intestino delgado está suspendido en la cavidad abdominal por el mesenterio y flota libremente en la tripa. En un desplazamiento, una parte del intestino se ha movido a una posición anómala en el abdomen. Esta movilidad puede predisponer a que el intestino delgado quede torsionado. Excepto en casos infrecuentes, el resultado es el bloqueo total del intestino, lo que requiere cirugía inmediata. Durante la cirugía por intestino torsionado, el intestino se recoloca y cualquier parte del intestino que esté dañada debido al flujo sanguíneo restringido se retira. El cólico por desplazamiento puede estar provocado por acumulación de gas en el intestino, que hace que los intestinos floten y estén sujetos al movimiento dentro de la cavidad abdominal.

- 15 Cólico por retención: El cólico por retención se produce cuando el intestino queda bloqueado por una masa de alimento que es demasiado grande para que pase fácilmente. El intestino grueso se pliega sobre sí mismo y tiene varios cambios de dirección (curvas) y cambios de diámetro. Estas curvas y cambios de diámetro pueden ser sitios de retención, donde una masa firme de pienso u otro material exógeno bloquea el intestino. Las retenciones pueden inducirse por taponamiento de pienso grueso, deshidratación o acumulación de material exógeno.

- 20 Cólico gaseoso: La mayoría de los casos de cólico están asociados con alguna acumulación de gases. Pueden acumularse gases en el estómago, así como en los intestinos. Según se acumulan los gases, se dilata el intestino, provocando dolor abdominal. Pueden producirse gases excesivos por las bacterias del intestino después de ingerir grandes cantidades de cereal o piensos mohosos. Los síntomas del cólico gaseoso habitualmente son muy dolorosos, pero no son potencialmente mortales, salvo que no se traten, y entonces el desplazamiento pasa a ser una posibilidad.

- 25 Cólico espasmódico: Este se produce debido a contracciones aumentadas del músculo liso de los intestinos. Estas contracciones intestinales, o espasmos anómalos, provocan que los intestinos se contraigan dolorosamente. La sobreexcitación o sobreesfuerzo del animal puede activar un cólico espasmódico.

- 30 Cólico por arena: Cuando la alimentación se produce en el suelo en regiones arenosas, puede acumularse arena en el ciego del caballo. La irritación puede provocar malestar, y si hay cantidades importantes de arena presentes, el peso puede provocar que el ciego se desplace.

- 35 Enteritis/colitis: En algunos casos, el dolor abdominal se debe a inflamación del intestino delgado (enteritis) o intestino grueso (colitis). Estas afecciones son el resultado de inflamación del intestino, y pueden estar provocadas por bacterias, sobrecarga de cereal o pienso contaminado. Los caballos con enteritis/colitis también pueden tener diarrea. La enteritis y la colitis a menudo son difíciles de diagnosticar y pueden presentarse en sí mismas similar al cólico por desplazamiento o retención.

- 40 Infecciones parasitarias: Determinados tipos de infecciones parasitarias pueden provocar cólico. Los estróngilos, un tipo de gusano parasitario, provocan daño intestinal que puede restringir el flujo sanguíneo al intestino. El daño a las paredes del intestino produce una superficie rugosa que puede acumular trombos. Otros parásitos que producen cólico en los caballos incluyen ascáridos (nematodos) y larvas de moscardón que pueden producir bloqueo del estómago, provocando cólico.

- 45 Estrés: Los viajes, los cambios del rebaño, las alteraciones de la planificación y otros acontecimientos traumáticos pueden contribuir al estrés en un animal, que puede provocar cólico.

Trabado

- El trabado en el establo se produce cuando un caballo se tumba o rueda en el establo y queda atrapado demasiado cerca de la pared. Cuando sucede esto, el caballo no es capaz de obtener suficiente efecto de palanca y levantarse. Posteriormente, el caballo puede quedar asustado y empezar a moverse agitadamente, provocando probablemente una lesión. El agotamiento hasta el punto del choque es otra preocupación con un caballo desasosegado que está trabado.

- 50 Casi todos los casos de trabado requieren intervención humana para ayudar al animal a voltearse. Si el caballo está relativamente tranquilo, 2 personas pueden ser capaces de recolocar al caballo volteándolo suavemente por la cola o las patas traseras (con la ayuda de una buena embestida), mientras se voltean simultáneamente la cabeza del caballo. Si el caballo está demasiado asustado, puede requerirse sedación antes de hacer ningún intento por recolocar y

voltear al caballo.

Parto

5 Dar a luz a un potro sucede en 3 fases. La capacidad de un guarda de reconocer cada una de estas fases es crucial para evaluar si se necesita intervención. Sin embargo, la capacidad de tener supervisión humana en vivo y evaluación 24 horas al día durante las últimas semanas de un periodo de gestación de 340 días es difícil para muchos.

Fase 1: Colocación del potro

10 Durante esta fase (1-4 horas) el feto se desplaza gradualmente desde una posición sobre su lomo y rota hasta que su cabeza y extremidades anteriores se extienden en el canal del parto. Durante varias horas, la yegua preñada puede parecer inquieta y llegar a ponerse muy nerviosa. Probablemente tendrá varios periodos transitorios de caminar de un lado a otro, andar por la línea de la valla y síntomas similares a cólico (por ejemplo, piafar, cocear, alzarse/caerse +/- sacudida saludable, rodar +/- moverse agitadamente). Las yeguas en los pastos también se apartarán de otros caballos y hacia el aislamiento completo.

Fase 2: Alumbramiento del potro

15 Durante esta fase (15-20 minutos) el feto se mueve hacia abajo por el canal del parto, la yegua rompe aguas y nace el potro. Debido a las contracciones muy fuertes de los músculos de pared abdominal y uterina, la yegua habitualmente se tumba sobre el lateral (es decir, sobre sus flancos) con sus patas completamente extendidas, aunque puede elevarse/caerse varias veces para recolocar al potro, a veces con la cabeza y las extremidades del potro sobresaliendo. Durante esta fase, es importante que el guarda compruebe la posición del potro dentro de la vagina; baje al potro al suelo si la yegua está en pie; recoloque a la yegua lejos de cualquier pared, valla u otro obstáculo; y rompa el saco amniótico y desenrede el cordón umbilical, si fuera necesario.

Fase 3: Expulsión de la placenta

20 Durante esta fase final (1-8 horas), se expulsa la placenta. Si la placenta no se ha expulsado después de 3 horas, el guarda debe alertar a un veterinario. También es importante que el guarda ate la placenta en un nudo de modo que cuelgue del jarrete de la yegua durante este periodo.

25 Problemas con la tecnología actual

30 Aunque hay unas pocas tecnologías (es decir, monitores equinos de parto/nacimiento) en el mercado actualmente, todos estos productos tienen graves inconvenientes. Su diseño engorroso, los métodos analíticos rudimentarios y las limitaciones en las transmisiones inalámbricas evitan que se usen de manera fiable a gran escala como monitores de parto/nacimiento, dejando solo un uso secundario para ayudar a detectar cólico, trabado u otros estados de malestar de los animales.

35 Cinchas: En la práctica, los caballos tienden a quedar alarmados cuando quedan atrapados en cinchas, haciendo que esto sea una distracción para los caballos y el personal. La cincha también introduce un nuevo riesgo de lesión debido a la unidad transmisora montada en el lomo del caballo. Un caballo que experimenta cólico intenso es muy probable que ruede frecuentemente y a menudo. Por tanto, un caballo que lleva puesta la unidad sobre su lomo probablemente rueda sobre la unidad, lo que puede provocar lesión en el lomo. Los métodos para montar esto, que es similar a otros sensores de parto que hay en el mercado actualmente, y la colocación de estos sensores en un caballo los hacen subóptimos para la detección de cólico.

40 Análisis del comportamiento: La mayoría de los monitores de parto/nacimiento se basan únicamente en los sensores de movimiento para evaluar si un animal está tumbado o sobre su lateral durante un periodo de tiempo específico, lo que probablemente esté plagado de muchos hallazgos falsos positivos.

45 Transmisión de radiofrecuencia: Unos pocos sistemas usan transmisores simples de radiofrecuencia (RF) para señalar una alarma cuando se activen. Estos sistemas pueden conectarse a una línea de teléfono o localizador para alertar automáticamente a los guardas. Estos sistemas usan una modulación de RF de uno solo canal para transmitir los datos del sensor. Como múltiples transmisores interfieren entre sí y sus alrededores (por ejemplo, establos de metal), la estrategia de RF no puede aumentarse de escala para operaciones grandes con muchos caballos o usarse mientras están en tránsito. También puede surgir interferencia de otros transmisores de RF, tales como teléfonos inalámbricos y otros dispositivos similares ubicados próximos.

50 Dadas las deficiencias de las tecnologías citadas anteriormente, los jefes de establo recurren a comprobaciones nocturnas (si las hay) a todas horas por parte de los guardas y/o guardianes nocturnos para supervisar la salud y seguridad de sus caballos. Dichas comprobaciones laboriosas por parte de los seres humanos requieren mucho tiempo, son subjetivas, costosas y no exentas de errores. Incluso con individuos en la ubicación veinticuatro horas al día en una instalación veterinaria o establo, los signos de malestar o problemas podrían no captarse tan pronto como se desearía. Por consiguiente, se buscan mejoras en la detección de malestar animal y notificación de los cuidadores. La presente invención remedia muchos de estos problemas y limitaciones.

Compendio de la invención

Aunque la manera en que la presente invención aborda las desventajas de la técnica anterior se analizarán en mayor detalle a continuación, en general, la divulgación proporciona un sensor adaptativo móvil y sistema de notificación ("MASNS") para la vigilancia de animales, y más particularmente para el análisis de datos biométricos (por ejemplo, constantes vitales), funciones biológicas (por ejemplo, digestión) y comportamientos (por ejemplo, postura, patrones de movimiento) que puedan indicar una diversidad de estados de salud problemáticos, de los que algunos pueden provocar lesiones graves o muerte del animal. Las constantes vitales de un animal, acompañadas de sus funciones biológicas, postura y acciones/movimientos pueden correlacionarse directamente con un estado fisiológico y comportamientos que son indicativos de malestar (por ejemplo, cólico), trauma (por ejemplo, trabado), otros estados donde se justifica la intervención humana (por ejemplo, parto).

Se estima que hay más de 9,2 millones de caballos en los Estados Unidos (>58 millones en todo el mundo), con más de un 40 % de estos animales mantenidos para propósitos recreativos, casi otro 40 % mantenidos para campeonatos de desempeño (es decir, carreras y exhibiciones) y el resto mantenidos para granjas, ranchos y trabajo policial, así como el uso en rodeos, partidos de polo y como caballos de tiro. Cuando se transporta un caballo o se usa intensamente para campeonatos de desempeño, sus niveles de estrés aumentan y posteriormente su posibilidad de desarrollar cólico o quedar trabado tiende a ser más frecuente. El cólico y el trabado son cuestiones especialmente importantes con caballos de alto valor, que es más probable que se transporten para campeonatos de desempeño y cría.

Cuando un caballo está experimentando cólico y/o está trabado, el animal estará en un estado desasosegado que se evidencia por cambios medibles en los datos biométricos (por ejemplo, constantes vitales) y funciones biológicas (por ejemplo, digestión), postura (por ejemplo, tumbarse) y patrones de movimientos característicos repetidos (por ejemplo, piafar, cocear, alzarse/caerse +/- sacudida saludable, rodar +/- moverse agitado). Cuando esto ocurre, se necesita intervención humana para evaluar la gravedad del malestar y establecer un plan de cuidados. Los casos leves de cólico pueden resolverse simplemente paseando de la mano a un caballo durante 15 minutos, mientras que los casos graves de cólico pueden requerir cirugía invasiva de urgencia. Un caballo trabado a veces puede recolocarse por sí mismo para levantarse independientemente, pero muy a menudo se necesita intervención humana para ayudar al animal. Una yegua que va está a punto de parir también tendrá cambios medibles en sus constantes vitales y un conjunto bien caracterizado de acciones y movimientos recurrentes. La identificación de estos cambios en los datos biométricos y los comportamientos indicarán el inicio de la fase 1 y, por lo tanto, un momento importante para que el guarda este presente para supervisar y abordar cualquier complicación que pueda surgir. Independientemente de si un caballo está experimentando cólico, está trabado o está teniendo complicaciones en el parto, su desenlace está directamente correlacionado con el tiempo hasta la intervención. Un retardo en la intervención es un indicador pronóstico negativo que tiene impacto directo sobre los desenlaces, incluyendo lesión permanente e incluso muerte.

La detección temprana de malestar animal, tal como cólico en caballos, puede dar lugar a un tratamiento inmediato que pueda mejorar inmensamente los desenlaces y aumentar las posibilidades de supervivencia del animal. Debido al alto coste de la cirugía por cólico y los malos desenlaces de supervivencia con un cólico sin tratar, es especialmente deseable que el animal reciba tratamiento médico ante los primeros signos de cólico. Por tanto, un sistema móvil de vigilancia y supervisión de malestar de animales en forma de un MASNS para llevar puesto fijado de manera no invasiva a un animal, que puede transmitir una notificación a los guardas, cuando se identifican signos de malestar y otros estados graves que requieren intervención inmediata, es útiles en salvaguardar a los caballos sin la necesidad de que haya seres humanos presentes para una supervisión a todas horas.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un método para vigilancia y supervisión del malestar de animales de manera remota, como se define en la reivindicación 1. Se exponen rasgos característicos preferidos y/u opcionales en las reivindicaciones dependientes.

El MASNS y método de su uso descrito en este documento comprende un conjunto combinado de sensores para medir datos biométricos, supervisar las funciones biológicas, evaluar la postura y los patrones de movimiento, evaluar los factores ambientales y determinar la ubicación exacta de un animal; un procesador informático para análisis instantáneo de todas las entradas a los sensores para identificar, diferencia y validar los estados específicos y comportamientos de un animal; y un transceptor inalámbrico para comunicaciones bidireccionales para transmitir notificaciones a un guarda, recibir consultas del usuario y actualizar el programa informático y el soporte lógico inalterable del sistema. El sistema puede configurarse para supervisar el estado fisiológico, las funciones biológicas, patrones de comportamiento y ubicación de una amplia diversidad de animales incluyendo, aunque sin limitación, caballos, ganado vacuno, alces, llamas, bisontes, osos, ovejas, ciervos, animales de compañía (es decir, perros, gatos), etc.

Las salidas del radar de impulso de banda ultraancha (UWB-IR), el sensor térmico infrarrojos (TIRS) y de micrófono se correlacionan con el estado fisiológico general del animal, y pueden usarse como filtro de primer nivel para identificar un posible estado de malestar. Las salidas del acelerómetro, el giroscopio, el magnetómetro, el sensor de presión barométrica y opcionalmente el sensor de ubicación se correlacionan con la información aproximada de postura, posición y movimiento, y se usan para clasificar el comportamiento como "normal" frente a "no normal", así como clasificar el tipo de acciones y movimientos (por ejemplo, piafar, cocear, alzarse/caerse +/- sacudida saludable, rodar

+/- moverse agitadamente).

5 El grado relativo de malestar puede determinarse a partir de los datos biométricos y las entradas de comportamiento usando un modelo basado en lógica difusa. En este modelo, se evalúan las múltiples entradas para obtener una sola medida de salida cuantitativa de malestar relativo (es decir, un índice de malestar equino VEDIT, que finalmente informa al sistema de si emitir o no una o más notificaciones inalámbricas de varios niveles (por ejemplo, "guardia" frente a "aviso" frente a "alerta"). Si se detecta que los datos biométricos y/o las funciones biológicas están fuera de los límites aceptables durante un periodo inusual de tiempo junto con posturas características y/o patrones de movimiento que están fuera de los límites normales durante un periodo inusual de tiempo, los algoritmos comparan los datos con parámetros predefinidos y valores/umbrales históricos para cada animal individual para determinar si se está produciendo una situación de malestar y para activar de forma remota/inalámbrica una notificación mediante un protocolo de comunicaciones.

10 El método puede implementarse para supervisar continuamente a caballos en una diversidad de ubicaciones incluyendo, aunque sin limitación, establos, pastos, centros de cría, establos de exhibición y clínicas veterinarias, así como en remolques, camiones, furgonetas y/u otros modos de transporte. Cuando se detecta malestar, el dispositivo puede transmitir la situación de urgencia a los guardas apropiados mediante métodos de comunicación inalámbrica en cascada o de manera creciente.

15 También se posibilitan diversas aplicaciones de investigación mediante la supervisión, tal como la identificación de afecciones más sutiles en función de los datos biométricos, las funciones biológicas y las características de comportamiento de mandas salvajes de caballos. El macroanálisis de los datos históricos para poblaciones globales más grandes y cohortes más pequeñas también puede dar lugar al descubrimiento de nuevos factores de riesgo y/o marcadores para cólico de inicio temprano y/u otras afecciones. La oportunidad de realizar análisis predictivos sobre los datos del sistema también puede mostrarse beneficiosa para autoridades responsables, proveedores de seguros y otros interesados en proteger el bienestar de los caballos y sus propietarios.

Breve descripción de los dibujos

25 Puede obtenerse una comprensión más completa de la presente invención por referencia a la descripción detallada y las reivindicaciones, cuando se consideran en relación con las figuras, en donde números de referencia similares se refieren a elementos similares en todas las figuras. Se describirán y explicarán realizaciones con especificidad adicional y detalle a través del uso de las figuras adjuntas.

La figura 1 ilustra una realización de vigilancia y supervisión del malestar de animales móvil.

30 La figura 2 ilustra una realización de un módulo de MASNS.

La figura 3 ilustra una realización de un protocolo de toma de decisiones de MASNS.

La figura 4A ilustra una realización de una matriz de decisiones de MASNS: Notificación de guardia.

La figura 4B ilustra una realización de una matriz de decisiones de MASNS: Notificación de aviso.

La figura 4C ilustra una realización de una matriz de decisiones de MASNS: Notificación de alerta.

35 La figura 5 ilustra una realización de una organización de las figuras para malestar global.

La figura 6 ilustra un ejemplo de las funciones de membresía dentro de un sistema difuso.

La figura 7 ilustra un ejemplo de composición de Mamdani y Larsen y operadores de implicación.

La figura 8 es una representación gráfica de las funciones de membresía de entrada y la forma para la frecuencia cardíaca.

40 La figura 9 es una representación gráfica de las funciones de membresía de entrada y la forma para la frecuencia respiratoria.

La figura 10 es una representación gráfica de las funciones de membresía de entrada y la forma para la temperatura.

La figura 11 es una representación gráfica de las membresías de salida para notificaciones de guardia, aviso y alerta.

45 La figura 12 es una representación gráfica de la implementación de FIS usando reglas difusas de ejemplo y bases de datos para la frecuencia cardíaca.

La figura 13 es una representación gráfica de la implementación de FIS usando reglas difusas de ejemplo y bases de datos para la frecuencia respiratoria.

La figura 14 es una representación gráfica de la implementación de FIS usando reglas difusas de ejemplo y bases de datos para la temperatura.

- La figura 15 es una representación gráfica del riesgo biométrico usando agregación y desdifusión de rol difuso de ejemplo.
- La figura 16A ilustra una realización de un algoritmo de comportamiento.
- La figura 16B ilustra una realización de un clasificador de comportamiento para un comportamiento diana específico.
- 5 La figura 17A ilustra una realización de NED con clasificación de una clase.
- La figura 17B ilustra una realización de recopilación de ventana de datos NED.
- La figura 17C ilustra una realización de aprendizaje de modelo NED.
- La figura 18 ilustra una realización de un algoritmo biométrico.
- La figura 19 ilustra una realización de un algoritmo de frecuencia respiratoria.
- 10 La figura 20 ilustra una realización de un algoritmo de frecuencia cardiaca.
- La figura 21A ilustra una realización de un algoritmo de frecuencia respiratoria con una lectura de un dispositivo UWB-IR.
- La figura 21B ilustra una realización de un algoritmo de frecuencia respiratoria con 100 muestras de un dispositivo UWB-IR.
- 15 La figura 21C ilustra una realización de datos de ritmo después de filtración y media a cero. La figura 21D ilustra una realización de componentes PCA de datos de ritmo.
- La figura 21E ilustra una realización de componentes ICA de datos de ritmo.
- La figura 21F ilustra una realización de componentes ICA suavizados de datos de ritmo.
- La figura 22A ilustra una realización de análisis de FFT 2D de datos de ritmo usando todos los componentes ICA.
- 20 La figura 22B ilustra una realización de FFT 1D de frecuencias individuales de componentes ICA.
- La figura 22C ilustra una realización de FFT de datos de ritmo después de eliminación de componentes ICA basada en SNR.
- La figura 22D ilustra una realización de FFT de datos de ritmo después de sumar los coeficientes FFT de los componentes ICA.
- 25 La figura 23 ilustra una realización de FFT, sumado, de componentes ICA después de filtrar la frecuencia respiratoria.
- La figura 24 ilustra una realización de frecuencia respiratoria y cardiaca instantáneas para un caballo durante 7,5 minutos.
- La figura 25 ilustra una realización de frecuencia respiratoria y cardiaca instantáneas linealizadas para un caballo durante 7,5 minutos.
- 30 La figura 26 ilustra una realización de un algoritmo biológico.

Descripción detallada de realizaciones seleccionadas

La siguiente descripción es de realizaciones ejemplares del método y sistema para implementar el método de la invención únicamente, y no pretende limitar el alcance, la aplicabilidad o configuración de la invención. En su lugar, la siguiente descripción pretende proporcionar una ilustración conveniente para implementar diversas realizaciones de la invención. Como llegará a ser evidente, pueden hacerse diversos cambios en la función y disposición de los elementos descritos en estas realizaciones sin alejarse del alcance de la invención que se expone por las reivindicaciones.

35

En la siguiente descripción, se proporcionan numerosos detalles específicos para una comprensión completa de las realizaciones específicas. Sin embargo, los expertos en la materia reconocerán que las realizaciones pueden ponerse en práctica sin uno o más de los detalles específicos, o con otros métodos, componentes, materiales, etc. En algunos casos, no se muestran o describen en detalle estructuras, materiales u operaciones bien conocidos para evitar complicar los aspectos de las realizaciones. Además, los rasgos característicos, estructuras o características pueden combinarse de cualquier manera adecuada en una diversidad de realizaciones alternativas. Por tanto, la siguiente descripción más detallada de las realizaciones de la presente invención, que se representan en los dibujos, no pretende limitar el alcance de la invención que se define en las reivindicaciones, sino que es simplemente representativa de las diversas realizaciones de la invención.

40

45

Se describen realizaciones de sistemas móviles de vigilancia y supervisión del malestar de animales para implementar el método reivindicado, en forma de un MASNS para llevar puesto que analiza instantáneamente los datos biométricos, las funciones biológicas, los comportamientos y las condiciones ambientales asociadas con la salud y seguridad de los animales, así como las coordenadas para rastrear la ubicación de los animales. El MASNS incluye múltiples sensores, una fuente de alimentación, una unidad de procesamiento, un transceptor inalámbrico, funciones de análisis de datos, clasificadores de una clase, algoritmos, protocolos de comunicaciones bidireccionales y un medio para asociar el sistema con un animal para vigilancia móvil a largo plazo (por ejemplo, aparato de tecnología inteligente para llevar puesto en forma de un arnés y/o prenda). Las realizaciones descritas en este documento se presentan dentro del contexto de equinos, pero debe ser obvio para los expertos en la materia que el MASNS es aplicable a una multitud de animales diferentes en una miríada de condiciones. Los problemas de salud equinos, tales como cólico, trabado y parto, se indican mediante cambios en los datos biométricos, funciones biológicas, postura y patrones de movimiento característicos clave de un caballo. El MASNS detecta dichos cambios indicativos en los datos biométricos, funciones biológicas y patrones de comportamiento al supervisar el estado fisiológico, postura y acciones/movimientos del caballo.

15 Idea general del sistema

Con referencia a la figura 1, una realización del método para vigilancia y supervisión del malestar de animales remotas comprende 3 fases: adquisición, análisis y notificación. Durante la fase de adquisición, el dispositivo MASNS está obteniendo de forma continua datos sobre un animal en el hogar, en un centro de cría, en un establo de exhibición, en una clínica veterinaria u otro centro independientemente de si es en un establo o pasto, o mientras está en tránsito en un remolque, camión o furgoneta. Durante la fase de análisis, el dispositivo analiza la ubicación, estado general y bien estar del animal al procesar y evaluar instantáneamente los datos biométricos, funciones biológicas, comportamientos y condiciones ambientales de manera inmediata (es decir, en el ámbito del animal). Si el sistema determinar que el animal está experimentando malestar durante esta fase de análisis, el MASNS procederá a la fase de notificación y enviará una señal inalámbrica a un puesto informático central donde se ejecutará un protocolo de comunicaciones en cascada predefinido para notificar al o los guardas del animal su estado de malestar y ubicación para intervención. En cualquier punto, el o los guardas u otro usuario autorizado puede consultar de forma remota el dispositivo MASNS y recibir, mediante un panel visual de un ordenador, tableta o teléfono inteligente, parámetros instantáneos e históricos sobre los datos adquiridos.

Diseño físico

30 Uno o más dispositivos MASNS se asocian/fijan a un animal dentro de uno o más recintos pequeños estancos al agua y resistentes a la suciedad que contienen sensores y componentes electrónicos, montados de forma remota en un animal mediante un aparato de tecnología inteligente (por ejemplo, arnés, prendas) para supervisar sus datos biométricos, funciones biológicas, comportamientos, condiciones ambientales y ubicación en todo momento o en intervalos indicados sin la necesidad de supervisión o esfuerzo humano.

35 Con referencia continuada a la figura 1, en una realización, el dispositivo MASNS se integra como una sola pieza dentro de un roncal o collar de seguridad/separación del caballo. En diferentes realizaciones, el dispositivo MASNS puede fijarse de manera no invasiva a un aparato facial (por ejemplo, roncal, brida), aparato para el cuello (por ejemplo, collar, cubrecuello), sobrecincha, sábana/manta/capucha u otra guarnición o equipo para el caballo según lo apropiado. Para otros animales, el dispositivo MASNS puede fijarse al animal usando marcas para las orejas, arneses, 40 bandas para el tobillo, soportes de la cola u otras técnicas apropiadas. Además, en otra realización, el dispositivo MASNS (en su totalidad o en parte) puede estar asociado con el animal en vivo.

En una realización, el o los recintos de sensor se doblan para seguir el contorno natural de la cabeza, nuca y cuello del caballo. En otras realizaciones, los componentes del sensor se ajustan en un solo recinto pequeño. Los rasgos característicos pequeños, integrados, estancos al agua y resistentes a la suciedad del dispositivo MASNS lo hacen 45 adecuado para uso a largo plazo rutinario en una amplia gama de entornos y operaciones profesionales. En una realización, como el dispositivo MASNS está integrado y contenido dentro de un roncal o collar de seguridad/separación del caballo, el dispositivo plantea poco riesgo de engancharse en vallas, comederos u otros objetos, ni sobresalen o tiene un aspecto inusual que pueda atraer la curiosidad de otros caballos.

Con referencia a la figura 2, una realización de la unidad remota MASNS incluye, aunque sin limitación uno o más 50 sensores de movimiento multieje, uno o más sensores biométricos, uno o más sensores biológicos, uno o más sensores barométricos monoeye, uno o más sensores ópticos de luz, uno o más sensores de ubicación/posición, uno o más módulos electrónicos con uno o más microcontroladores y microprocesadores, una o más pilas, uno o más transceptores inalámbricos y otros componentes electrónicos/adicionales asociados. Los componentes individuales pueden disponerse en el uno o más recintos de unidad remota en una diversidad de configuraciones. El 55 microprocesador se programa para que analice y controle las funciones de los componentes electrónicos en el dispositivo MASNS. El uno o más sensores de movimiento multieje, el uno o más sensores de presión barométrica y los sensores de ubicación/posición pueden proporcionar información aproximada de la postura y la ubicación (por ejemplo, el ángulo de inclinación de los sensores en múltiples dimensiones), así como información de movimiento fino (por ejemplo, caminar de un lado a otro, agitarse, forcejear). El transceptor es la base para recibir una señal de un 60 dispositivo de usuario, así como para la comunicación inalámbrica de la alarma de indicador de malestar una vez

activada.

El diseño no invasivo de la unidad remota, la larga vida de las pilas y las capacidades de comunicación inalámbrica hacen que sea una solución segura, conveniente y práctica para supervisión de rutina, a largo plazo de la salud y seguridad del animal y es adecuado para adoptarlo en operaciones a gran escala tales como centros de cría, establos de exhibición y carreras y clínicas y hospitales veterinarios.

Protocolo de toma de decisiones de MASNS

Para que el dispositivo MASNS determine si enviar o no una notificación que indique que el animal tiene malestar, se sigue un protocolo sistemático. Con referencia a la figura 3, una realización del protocolo de toma de decisiones del MASNS incluye tras rutas de detección paralelas con sus respectivos paquetes de sensores (es decir, sensores biométricos, sensores biológicos, sensores de movimiento) y una ruta adicional para entradas desde otros sensores (por ejemplo, sensores de presión barométrica, sensores de ubicación/posición, sensores ópticos de luz). Cada paquete de sensores alimenta los respectivos algoritmos de detección (es decir, algoritmo biométrico, algoritmo biológico, algoritmo de comportamiento y algoritmo de detección de acontecimiento novedoso ["NED"]). La información biométrica puede incluir, por ejemplo, frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, temperatura corporal, etc. La información biológica puede incluir, por ejemplo, sonidos digestivos/intestinales, sonidos de gemido, movimientos intestinales, dilatación abdominal, transpiración, etc. La información del comportamiento puede incluir, por ejemplo, alzarse, caerse, rodar, tumbarse, agitarse, observar el flanco, patear, cocear, girarse, respuesta de Flehmen, bruxismo, absorción de aire, aerofagia, zigzaguear, etc. así como acciones y movimientos nuevos o novedosos considerados únicos en comparación con el comportamiento histórico del animal.

El algoritmo NED determina si el equino está o no en un estado "normal" o de "acontecimiento novedoso" en función del uno o más sensores de movimiento y su clasificador especializado. Si no se detecta un acontecimiento novedoso, el animal se está comportando normal y el MASNS no tiene que generar una notificación. Si se detecta un acontecimiento novedoso, entonces se envía la ventana del acontecimiento novedoso al algoritmo de comportamiento para evaluación adicional. El algoritmo de comportamiento determina si el acontecimiento novedoso es uno de los comportamientos diana conocidos por servir como marcador equivalente de malestar u otro estado que pueda requerir intervención humana. Si el acontecimiento novedoso no es uno de los comportamientos diana, el MASNS no necesita generar una notificación. Si el acontecimiento novedoso es uno de los comportamientos diana, entonces el algoritmo de comportamiento envía el comportamiento diana y sus parámetros a un sistema de extrapolación difuso (FIS) para una medida cuantitativa global de malestar relativo o EDI.

De manera similar al algoritmo de comportamiento, los algoritmos biométrico y biológico detectan y preparan los datos biométricos y biológicos del mismo intervalo de tiempo. Si alguno de los valores de salida del algoritmo biométrico o biológico está dentro de los intervalos normales, el MASNS no genera una notificación. Si alguno de los datos biométricos o biológicos está fuera de los intervalos normales, entonces se envían al FIS para evaluación adicional y una medida cuantitativa global de malestar relativo o EDI.

Con referencia a las figuras 4A-C, en algunas realizaciones, el protocolo de toma de decisiones del MASNS usa criterios de matriz de decisiones como base para crear la base de regla difusa y la forma de las funciones de membresía difusa del FIS como se muestra en la figura 5 y figura 6. Las salidas del algoritmo biométrico, algoritmo biológico, algoritmo de comportamiento y las entradas de otros sensores se alimentan todas al FIS. En el FIS, los datos de los algoritmos y las entradas de otros sensores se evalúan y se genera una notificación de múltiples niveles en forma de "guardia", "aviso" o "alerta".

Lógica difusa

Los sistemas difusos hacen uso de variables de entrada que están representados como conjuntos difusos en oposición a valores precisos. Estos conjuntos difusos se usan para intentar cuantificar alguna incertidumbre, imprecisión, ambigüedad o indefinición que pueda estar asociada con una variable. Normalmente, estos sistemas difusos se definen usando reglas de si/entonces. Un FIS es una aplicación de lógica difusa que puede utilizarse para ayudar a los procesos de decisiones en línea. Un sistema difuso basado en reglas típicamente se logra como un conjunto de subsistemas que incluyen un difusor, base de datos difusa, base de reglas difusas, extrapolación difusa y un desdifusor como se muestra en la figura 6.

Difusión

Se define como el cartografiado de un valor preciso en un conjunto difuso. Un difusor representa la difusión de una variable definiendo las funciones de membresía. Hay tres difusores populares que se usan, único, gaussiano y triangular. Con un difusor gaussiano o triangular, algo de la incertidumbre con una variable del sistema puede describirse y puede ayudar a reducir el ruido. Los difusores únicos en general no proporcionan esta supresión del ruido.

Base de datos difusa

La base de datos para un sistema difuso basado en reglas es el conjunto de términos lingüísticos y sus funciones de

membresía. Las funciones de membresía difusas son funciones que definen un cartografiado de un conjunto de entrada para su pertenencia al propio conjunto de membresía difuso (grado de membresía). Un grado de membresía de "0" indica que el conjunto de entrada no pertenece al conjunto de membresía difuso, mientras que un "1" indica membresía completa. Hay muchas funciones de membresía difusa diferentes que pueden usarse, tales como triangulares, trapezoides, gaussianas, en campana, sigmoideas y muchas otras. Para cada función de membresía definida para un espacio de entrada, se le asigna un término lingüístico; tal como ALTO, BAJO, PROMEDIO, NEGATIVO, POSITIVO, etc.

5 Para un ejemplo de una base de datos para un FIS, considérese un sensor de temperatura. Tres funciones de membresía generales podrían definirse lingüísticamente FRÍO, TEMPLADO y CALIENTE. A partir de los términos lingüísticos, es elección del diseñador la manera en que estas funciones de membresía tienen que conformarse (posiblemente en función de evidencias empíricas).

Base de reglas difusas

Para sistemas difusos basados en reglas, las variables y sus relaciones correspondientes se modelan a través de las medias de las reglas de si/entonces. La forma general de estas reglas de si/entonces es:

15 **SI premisa antecedente ENTONCES premisa consecuente**

Usando un modelo difuso lingüístico, como el introducido por Mamdani, la antecedente y la consecuente son premisas difusas. La forma general de una regla de si/entonces de modelo difuso lingüístico es como sigue:

Ri: Si \tilde{x} es A_i Entonces \tilde{y} es B_i

20 Donde \tilde{x} es la variable lingüística de entrada (antecedente), y A_i es los valores lingüísticos antecedentes de \tilde{x} . La variable lingüística de salida (consecuente) está representada como \tilde{y} correspondiendo B_i a los valores lingüísticos consecuentes de \tilde{y} . Los términos lingüísticos, A_i , son conjuntos difusos que definen la región difusa en el espacio antecedente para premisas consecuentes respectivas. A_i y B_i son típicamente conjuntos predefinidos con términos tales como Grande, Pequeño, Alto, Bajo, etc. Usando estos términos lingüísticos un ejemplo de un modelo difuso lingüístico de regla de si/entonces podría ser:

25 **Si la temperatura es ALTA Entonces el riesgo es ALTO**

La mayoría de los sistemas son de multientrada y monosalida (MISO) o multientrada y multisalida (MIMO). Para sistemas MISO y MIMO, las premisas antecedente y consecuente pueden ser una combinación de premisas difusas univariantes. Las premisas pueden combinarse usando operadores lógicos comunes tales como conjunción o disyunción. La forma de regla general para un sistema MISO es la siguiente:

30 Ri: Si x_1 es $A_{i,1}$ y/o x_2 es $A_{i,2}$ y ... x_p es $A_{i,p}$ Entonces y es B_i

Sustituyendo en algunos términos lingüísticos, un ejemplo de una regla MISO sería:

Si la temperatura es MEDIA y la respiración es ALTA Entonces el riesgo es MEDIO-ALTO

Extrapolación difusa

35 El procedimiento de extrapolación o regla composicional de extrapolación se determina por dos operadores: el operador de implicación y el operados de composición. Las dos reglas composicionales más comunes de extrapolación son las de Mamdani y Larsen. Cada una de estas tienen diferentes operadores para implementar la implicación y la composición.

Mamdani

Implicación: operador mín

40 Composición: máx-mín

Larsen

Implicación -> operador de producto algebraico

Composición-> máx-producto

La diferencia en la implementación de las diferentes implicaciones se muestra en la figura 7.

45 Desdifusor

La salida del FIS es múltiples conjuntos difusos que corresponden al grado de influencia que cada regla tiene sobre la salida. Para generar un valor preciso para la extrapolación, los conjuntos de reglas tienen que agregarse y después desdifundirse. Una de las técnicas de desdifusión más comunes son el centro de gravedad (CoG) o centroide, y el promedio ponderado. La técnica de CoG es más exacta, pero puede ser cara desde el punto de vista informático, donde el promedio ponderado puede proporcionar una buena estimación con significativamente menos cálculos.

La evaluación global del malestar se determina en función de muchos factores dentro del sistema completo, incluyendo factores biométricos, biológicos, de comportamiento y de riesgo preexistentes. Los factores biométricos y biológicos incluyen la entrada desde algoritmos de procesamiento que proporcionan información tal como frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura y posiblemente indicadores digestivos. Los factores de comportamiento proporcionan información sobre el comportamiento diario basada en los datos de movimiento estimando la repetición de comportamientos, la duración y las relaciones basadas en el tiempo. Los factores de riesgo preexistentes implican evaluar cualitativamente la predisposición a malestar en función de las condiciones ambientales, las características físicas y los problemas de salud preexistentes. Para proporcionar una medida cuantitativa global de malestar relativo o EDI a partir de todos estos factores se usa una jerarquía de FIS. La jerarquía global se observa en la figura 5.

Con referencia a la figura 5, se observa que cada FIS usa información de un subconjunto de los factores para proporcionar un nivel de malestar para cada uno de los subconjuntos respectivos de factores. Entonces, el nivel de malestar de cada subconjunto se proporciona al FIS final para una medida cuantitativa global de malestar relativo o EDI, y decide si está justificado alguno de los tres niveles de notificación. Estos niveles de notificación incluyen "guardia", "aviso" y "alerta", cada uno respectivamente relacionado con niveles crecientes de malestar. Se usa una fase amplificadora adicional para los sistemas de extrapolación biométricos y biológicos para ajustar el nivel de malestar en función de la duración. Estos ajustes a la duración son para reducir las evaluaciones falsas de malestar a partir de cambios biométricos y biológicos que pueden producirse durante la elevación en la actividad física normal o el ruido de lecturas de los sensores. La implementación real de cada FIS puede describirse de forma genérica a través de los estudios de casos proporcionados detallados a continuación.

Sistema de extrapolación difusa de ejemplo/estudio de casos

Esta sección proporciona un estudio de casos de la manera en que se consigue la implementación de un FIS individual. Para este estudio de casos, se usan las entradas del sistema biométrico ya que son las de mejor ajusta para membresías de lógica difusa y términos lógicos. En esta sección, se explica el uso de difusores, se proporciona la generación preliminar de funciones de membresía/términos lingüísticos para la base de datos, se analiza una base de reglas de ejemplo y se visualiza un posible método de desdifusión.

Difusión de entrada biométrica

Cada una de las entradas biométricas proporciona a valor preciso para su estimación de una lectura biométrica. Para las entradas biométricas a usar en un sistema de extrapolación difuso, el valor biométrico preciso requiere difusión. Como se analiza en la introducción, los difusores más comunes son únicos, gaussianos y triangulares. Se elige un difusor no único ya que las entradas biométricas informadas tienen algo de incertidumbre asociada con sus estimaciones. Más específicamente, se usa un difusor gaussiano por su facilidad de cálculo e implementación sobre un difusor triangular. Un difusor gaussiano se conforma por entrada biométrica de modo que la varianza del difusor gaussiano corresponde a la incertidumbre de las entradas biométricas.

Base de datos difusa: Funciones de membresía y términos lingüísticos

Las funciones de membresía de las entradas se eligen para que sean gaussianas y sigmoideas para su posible reducción en cálculo en comparación con las funciones de membresía triangulares/trapezoides. La forma de estas funciones de membresía se determina por unos pocos parámetros por membresía. Los propios parámetros se seleccionan en función de criterios proporcionados por la matriz de decisiones mostrada en las figuras 4A-C. Las figuras 8-10 son membresías de entradas de ejemplo. Las formas reales de estas funciones se determinarán por 1) normas estadísticas informadas en la bibliografía/por expertos (enumeradas en la matriz de decisiones) basadas en una amplia serie de caballos y/o 2) un estudio estadístico en una base de caballo individual. De cualquier manera, los estadígrafos generarán parámetros a usar para conformar la entrada de las funciones de membresía.

Lingüísticamente, los términos *críticamente bajo* (CL), *bajo* (L), *por debajo de lo normal* (BN), *normal* (N), *por encima de lo normal* (AN), *ALTO* (H) y *críticamente alto* (CH) se han seleccionado por estar relacionados a los umbrales superior e inferior para los tres niveles predeterminados de malestar que incluyen *guardia*, *aviso* y *alerta*. Las membresías de salida para *guardia*, *aviso* y *alerta* se crean para que sirvan como implicaciones lingüísticas para diversas composiciones de las entradas y funciones de membresía. Ejemplos de las funciones de membresía de salida se muestran en la figura 11.

Base de reglas difusas

La base de reglas difusas para el FIS biométrico tiene el potencial de generarse por numerosas reglas, considerando que hay tres entradas cada una con siete funciones de membresía de entrada y tres funciones de membresía de salida. Se proporcionan solamente unas pocas reglas de muestra. Se proporcionan tres reglas de muestra a

continuación usando la frecuencia respiratoria (RR), frecuencia cardiaca (HR) y temperatura corporal (Temp) junto con la base de datos difusa analizada previamente.

Regla 1: Si RR es ALTA *Entonces* el riesgo es AVISO

Regla 2: Si HR está POR ENCIMA DE LO NORMAL *Entonces* el riesgo es GUARDIA

5 Regla 3: Si Temp está POR ENCIMA DE LO NORMAL *Entonces* el riesgo es GUARDIA

Para estas reglas, solamente se usó una sola entrada por regla, pero debe apreciarse que podrían usarse múltiples entradas. Si se usan múltiples entradas, entonces tienen que componerse usando las conjunciones apropiadas tal como se muestra en las siguientes reglas.

Regla 4: Si RR es ALTA y HR es ALTA *Entonces* el riesgo es AVISO

10 Regla 5: Si Temp es ALTA o Temp es BAJA *Entonces* el riesgo es AVISO

Extrapolación

15 Para un conjunto dado de entradas biométricas difundidas, base de reglas difusas y base de datos difusa; la extrapolación para el *riesgo* se calcula usando un FIS. La salida del FIS se desdifunde adicionalmente para proporcionar una evaluación precisa del riesgo biométrico. Para facilitar la explicación, se usará la base de datos difusa de ejemplo y las reglas 1-3 para una idea general de la implementación de FIS.

20 Hay varias elecciones de diseño de FIS, pero en retrospectiva de la complejidad informática, se han seleccionado aquellas con menos necesidades informáticas. La implicación de Larsen (operador de producto algebraico) y la composición (máx-producto) se han seleccionado debido a las ventajas informáticas del operador de producto algebraico sobre el operador máx. La representación gráfica de la implementación de FIS para las reglas de ejemplo puede observarse en las figuras 12-14.

Con referencia a la figura 12, una representación gráfica de la implementación de FIS se ilustra para las reglas de ejemplo para detectar la frecuencia cardiaca.

Con referencia a la figura 13, una representación gráfica de la implementación de FIS se ilustra para las reglas de ejemplo para detectar la frecuencia respiratoria.

25 Con referencia a la figura 14, una representación gráfica de la implementación de FIS se ilustra para las reglas de ejemplo para detectar la temperatura.

Desdifusión

30 Una vez compuestas e implicadas todas las reglas a sus correspondientes salidas, el resultado es conjuntos difusos en forma de representantes gaussianas de la influencia de cada regla sobre la salida. La agregación de todas estas reglas tiene de desdifundirse para generar un valor preciso para el riesgo geométrico. Para reducción de la complejidad informática, se usa el método de desdifusión por promedios ponderados. La figura 15 muestra el resultado de la agregación de las reglas y la salida desdifundida final. Para las tres reglas de ejemplo y las entradas de ejemplo, la extrapolación final es una evaluación de un valor de riesgo biométrico de 3,84.

Sensores de movimiento

35 Un sensor multieje realmente es varios sensores combinados conjuntamente. Un sensor de 9 ejes incluye un acelerómetro de 3 ejes, un giroscopio de 3 ejes y un magnetómetro de 3 ejes. El sensor de 9 ejes combina la información proporcionada por todos los subsensores para generar un conjunto de datos que describe en detalle los movimientos del animal supervisado. Un sensor de presión barométrica de un solo eje captura la altitud absoluta del dispositivo MASNS y representa además otra entrada para el análisis.

40 Cuando un caballo está experimentando malestar hay varios movimientos que puede ejecutar instintivamente en respuesta. Aunque diferentes factores estresantes pueden provocar diferentes movimientos, la diferenciación entre estos movimientos también puede proporcionar información en cuanto al tipo de factor estresante que está afectando al animal. Los factores estresantes externos (por ejemplo, presencia de depredadores) pueden provocar que el caballo gire repetidamente en círculos y corcovee, mientras que los factores estresantes internos (por ejemplo, malestar abdominal) pueden provocar que el animal se tumbé/alce repetidamente y ruede con o sin mover agitadamente sus patas o la presencia de una sacudida saludable tras erguirse/alzarse. Estos patrones de movimiento característicos para factores estresantes internos pueden ayudar al diagnóstico de determinadas afecciones tales como cólico. Muchos de estos movimientos físicos/acciones que indican un posible cólico son observables a través del uso del sensor de movimiento multieje acoplado con o sin otros sensores de movimiento.

50

Algoritmo de comportamiento

Con referencia a la figura 16A, el algoritmo de comportamiento es un clasificador que puede catalogar segmentos de datos usando un clasificador especializado para segmentos de datos clasificados de forma experta. Durante la operación en línea del algoritmo de comportamiento, los segmentos de datos, que se han definido previamente como novedosos, se proporcionan al algoritmo. Por tanto, el algoritmo de comportamiento evalúa los segmentos de datos, que se marcan como acontecimientos novedosos por el algoritmo NED. El algoritmo NED determina el inicio y el final del acontecimiento novedoso y proporciona el segmento de datos correspondiente a los algoritmos de comportamiento. Cada algoritmo de comportamiento está especializado en identificar un comportamiento diana y como salida produce la probabilidad que el acontecimiento novedoso sea el comportamiento diana. Los comportamientos diana pueden clasificarse en diferentes niveles:

Primarios: alzarse, caer, rodar, tumbarse, sin sacudida saludable, observar el flanco, patear, cocear, etc.

Secundarios: girar, respuesta de Flehmen, bruxismo, etc.

Terciarios: absorción de aire, aerofagia, zigzaguear, etc.

Como los acontecimientos novedosos suceden raramente durante la rutina diaria del animal, habrá un número limitado de muestras (es decir, segmentos de datos). Por tanto, los clasificadores (es decir, clasificadores de una clase) usados en el algoritmo NED no pueden usarse directamente, ya que no habrá suficientes datos estadísticos para calcular la media y la desviación típica de las muestras. Sin embargo, un experto puede seleccionar estos parámetros para un clasificador de una clase de modo que pueda hacerse una clasificación satisfactoria. Otra posibilidad es usar clasificadores donde puedan alojarse datos limitados tales como redes de función de base radial ("RBFN") y redes neurales. Las RBFN son redes neurales de prealimentación donde hay una capa de funciones de base N (normalmente funciones gaussianas). La suma ponderada de las salidas de las funciones de base es la o las salidas de las RBFN. Para un conjunto de datos dado y la media y desviaciones típicas elegidas para las funciones de base gaussianas, los pesos de la capa de salida pueden aprenderse. Cuando hay suficientes datos estadísticos, las muestras de especialización se agrupan y se asignan la media y las desviaciones típicas de las agrupaciones para que sean los parámetros de las funciones de base gaussianas. Como los acontecimientos novedosos serán infrecuentes, la RBFN con parámetros fijos será más adecuada para aprender un modelo generalizado para un comportamiento diana específico. Sin embargo, con suficientes datos estadísticos, los parámetros de las RBFN pueden calcularse a partir de las muestras de especialización. La figura 16B presenta el diagrama de flujo para un clasificador de comportamiento para un comportamiento diana específico.

Detección de acontecimientos novedosos (NED)

La NED proporciona la capacidad de identificar y clasificar segmentos de datos novedosos, o ventanas, contenidas en una serie de muestras de datos semicontinuas. Una ventana novedosa es una que tiene cualquier información nueva o desconocida que no se usó o no estaba disponible durante la especialización algorítmica. Cada ventana está compuesta de muestras de datos del sensor de movimiento. Durante la especialización, se crea un modelo para que represente los datos del sensor durante condiciones normales. Para esta aplicación, las condiciones normales se definen como periodos de actividad sin comportamientos de movimiento que puedan ser indicativos de malestar. Por tanto, el modelo creado durante el proceso de especialización se denomina modelo normal. Durante la operación en línea, las ventanas de datos de movimiento se proporcionan secuencialmente al algoritmo NED. Cada ventana se compara frente al modelo normal especializado y se clasifica. Las ventanas que se rechazan por el modelo normal se clasifican como novedosas y sus datos e información de tiempo pasan a ser candidatos para análisis adicional. Entonces, ventanas novedosas contiguas se agrupan conjuntamente y se definen como un acontecimiento novedoso. Un acontecimiento novedoso puede proporcionar indicadores para comportamientos relacionados con estrés que no pueden estar contenidos dentro de una sola ventana.

Algoritmo NED

Con referencia a la figura 17A, el proceso NED se ejecuta continuamente mientras el sistema está en modo activo de recopilación de datos. Este proceso comienza obteniendo la ventana más actual de datos de movimiento sin procesar del proceso de recopilación de ventanas de datos (que implementa cualquier parámetro algorítmico o de modelo preseleccionado). Después de obtener una ventana de datos, se preprocesa para convertir la ventana en un vector de rasgos característicos. Este vector de rasgos característicos se reduce aún más de tamaño y se usa en un clasificador de una clase. El clasificador de una clase compara el vector de rasgos característicos con un modelo normal y proporciona una decisión binaria de "normal" o "no normal". No normal indica que el vector de rasgos característicos actual se rechaza por el modelo normal. Una vez determinada una ventana como normal/no normal se estima su novedad en función de clasificaciones de ventanas previas. Si se determina que la ventana es novedosa, se almacenan sus datos e información de tiempo.

Cada uno de los procedimientos NED se enumera a continuación con detalles adicionales de alto nivel.

1. Recopilación de ventana de datos

Este proceso implica establecer una ventana de los datos de movimiento sin procesar de los sensores. La salida del proceso de recopilación de ventana de datos es la ventana más reciente de datos de movimiento sin procesar.

5 *2. Preprocesamiento*

Después de recopilar la ventana más actual de datos de movimiento sin procesar, esta ventana se convierte en un formato más adecuado para su clasificación. Durante el preprocesamiento, el movimiento basado en el tiempo se filtra para eliminar el ruido, se transforma en el dominio de frecuencia y se calcula la energía de las bandas de frecuencia individuales. Estas energías de las bandas de frecuencia se usan para generar el vector de rasgos característicos.

10 *i. Filtración* - Para filtrar el ruido de alta frecuencia del filtro, se usa un filtro Butterworth de paso bajo.

ii. Transformación de frecuencia - Los datos de cada sensor dentro de la ventana se transforman usando la transformada rápida de Fourier ("FFT") para obtener coeficientes relativos a los componentes de frecuencia de los datos sin procesar de cada sensor.

15 *iii. Energía de banda* - El valor absoluto de los coeficientes FFT de cada sensor se usa para representar la energía de las frecuencias individuales. Las energías de frecuencias próximas se combinan para determinar la energía dentro de las bandas de frecuencias.

iv. Creación de vector de rasgos característicos - El vector de rasgos característicos se crea concatenando las bandas de energía de frecuencia de todos los sensores en un solo vector.

3. Reducción de rasgos característicos

20 El vector de rasgos característicos se reduce aún más en función de los parámetros de reducción de rasgos característicos que se aprendieron durante el proceso de aprendizaje de modelo.

4. Clasificación de una clase

25 Para la clasificación de una clase, el vector de rasgos característicos reducido se introduce en el modelo normal que se generó durante el proceso de aprendizaje de modelo. El propio modelo es un modelo de mezcla gaussiana ("GMM") que se aprendió para que representara los datos del sensor en condiciones normales. La salida del modelo de mezcla es una probabilidad de que el vector de entrada pertenezca al modelo, también denominada verosimilitud. Si la verosimilitud es menor que un valor de umbral establecido, el vector de rasgos característicos se rechaza del modelo.

5. Estimación de novedad

30 Aunque una ventana pueda clasificarse como no normal, puede no indicar que la ventana es parte de un acontecimiento novedoso. La novedad de la ventana actual se estima usando clasificaciones de normal/no normal de ventanas previas. Esto se hace para ayudar a reducir el número de falsos positivos que puede producir el sistema.

Recopilación de ventana de datos NED

35 Con referencia a la figura 17B, se describe el proceso de establecer una ventana de los datos de movimiento sin procesar de los sensores. El flujo es esencialmente la consecución de recopilación de datos de ventana deslizante. El sistema está muestreando continuamente los datos de los sensores de movimiento y el propósito del proceso de recopilación de ventana de datos es amortiguar y desplazar los datos muestreados en la preparación para proporcionarlos a otros procesos tales como el algoritmo NED o proceso de aprendizaje de modelo. El proceso de recopilación de ventana de datos se ejecuta continuamente mientras el sistema está recopilando datos activamente.

Aprendizaje de modelo NED

40 Con referencia a la figura 17C, el proceso de aprendizaje de modelo es uno que se realiza sin conexión desde el propio sistema real. El propósito del proceso de aprendizaje de modelo es generar un modelo que represente los datos del sensor durante condiciones normales. Se ha indicado previamente que normal se define como periodos de actividad sin comportamientos de movimiento que puedan ser indicativos de malestar. Durante el proceso de aprendizaje, se recogen datos de los datos de campo almacenados; los datos almacenados permiten el procesamiento sin conexión. El proceso de aprendizaje usa la misma colección de datos y técnicas de preprocesamiento que se observan en la figura 17A.

50 El procedimiento sin conexión global para el aprendizaje de modelo empieza recopilando muestras de datos almacenados de condiciones normales conocidas. Las muestras de datos sin procesar se preprocesan para generar vectores de rasgos característicos a usar en la creación del modelo. Los vectores de rasgos característicos entonces se usan para aprender una matriz de componentes fundamentales ("PCM") a usar para la futura reducción de rasgos

característicos. Los rasgos característicos se reducen usando la PCM aprendida. Los rasgos característicos reducidos se dividen en subconjuntos de especialización y validación, donde los datos de especialización se usan para especializar el modelo y los de validación se usan para validar el modelo. Usando los vectores de rasgos característicos de especialización, se aprende una GMM usando el algoritmo de maximización de expectativa ("EM"). El modelo aprendido se aplica los vectores de rasgos característicos de validación y se compara la idoneidad del modelo con la idoneidad de especialización. Si los valores de idoneidad son similares al proceso de aprendizaje de modelo que por lo demás está completo, debe repetirse con diferentes datos.

Cada uno de los procedimientos se enumera a continuación con detalles adicionales de alto nivel.

1. Recopilación de datos

Mismo proceso analizado en el algoritmo NED. La única diferencia para la recopilación de datos durante el aprendizaje de modelo es que se usan solamente datos normales. Por lo tanto, cualquier ventana de datos sin procesar que contenga un acontecimiento conocido previamente no se incluye en el conjunto de datos para el aprendizaje.

2. Preprocesamiento

Mismo proceso analizado en el algoritmo NED.

3. Reducción de rasgos característicos de aprendizaje

El proceso de reducción de rasgos característicos usa el análisis de componentes fundamentales ("PCA"), que es un método de proyección de datos en un espacio de componentes fundamentales más pequeño. El método PCA específico realizado fue como se define por Alpaydin (*Ethem Alpaydin. Introduction to Machine Learning. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, segunda edición, 2010*). Se aplica PCA durante el proceso de aprendizaje de modelo a todas las ventanas de datos seleccionadas para el aprendizaje y estas ventanas de aprendizaje son solamente de segmentos de datos que se sabe que son de condiciones normales. Después de aplicar PCA al conjunto de aprendizaje, se determina una PCM. Esta PCM puede usarse para reducir la dimensionalidad del vector de rasgos característicos para que contenga un subconjunto más pequeño de rasgos característicos que sean suficientemente estadísticamente significativos para explicar el conjunto de datos de aprendizaje.

4. Realización de la reducción de rasgos característicos

La PCM aprendida se usa para reducir todos los vectores de rasgos característicos para aprendizaje.

5. División de datos

Los vectores de rasgos característicos de aprendizaje reducidos se dividen en dos grupos. Un grupo es para especializar el modelo y el otro se usa para validar el modelo. Este proceso es muy común y su propósito es comprobar la sobre-especialización del modelo y esencialmente la robustez del modelo.

6. Aprendizaje del modelo

El modelo usado es una GMM, que es un modelo probabilístico y se usa para representar los datos del sensor en condiciones normales. La derivación real e implementación de una GMM es de acuerdo con McLachlan y Peel (*Geoffrey McLachlan y David Peel. Finite mixture models. John Wiley & Sons, 2004*). Para aprender los parámetros del modelo, se usa el algoritmo EM. EM es un método usado normalmente para estimar los parámetros del modelo para un modelo de mezcla, especialmente dirigido a mezclas gaussianas. La implementación específica de EM usada es una publicada por Verbeek *et al.* (*J J Verbeek, N Vlassis y B Krose. Efficient greedy learning of gaussian mixture models. Neural computation, 15(2):469-85, febrero de 2003*).

Durante el proceso de aprendizaje, los vectores de rasgos característicos de especialización preprocesados y reducidos se usan en el algoritmo EM. EM aprende los parámetros de GMM incluyendo las medias, las covarianzas y los pesos. El número de componentes de mezcla se preselecciona en función de ensayos empíricos. Después de aprender el modelo, los vectores de rasgos característicos de especialización se introducen en el modelo para obtener su verosimilitud de pertenencia al modelo aprendido. Se aplica clasificación de una clase para verosimilitudes para obtener un resultado cuantitativo de la idoneidad del modelo.

7. Validación del modelo

Para validar el modelo, se aplican los datos de validación al modelo aprendido, se obtienen los valores de verosimilitud y se realiza clasificación de una clase. El resultado de la clasificación de una clase a partir de los datos de validación se compara con el resultado de los datos de especialización. Si estos resultados son razonablemente cercanos, entonces la especialización del modelo está completa. En el caso de que los resultados de especialización y validación no sean cercanos, el proceso de moldeo completo tendrá que repetirse usando un mejor conjunto de datos de especialización.

El procedimiento mencionado anteriormente puede volver a aplicarse en una base de animal individual en cualquier

momento dado y repetirse indefinidamente para adaptar y configurar el sistema para cada animal específico (es decir, datos de un conjunto robusto de incidencias en un animal individual frente a los datos robustos de una población de muestras de múltiples animales representativos).

Sensores biométricos y biológicos

- 5 El MASNS contiene sensores biométricos y biológicos que pueden supervisar los parámetros fisiológicos de un caballo incluyendo, aunque sin limitación, la frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria, la temperatura y los sonidos digestivos. Cuando se enfrente a un factor estresante (por ejemplo, cólico, estar trabado, parto) un caballo tendrá determinadas respuestas fisiológicas tales como liberación de adrenalina, que deja el organismo listo para una respuesta de lucha o huida. Esta respuesta de lucha o huida puede observarse en todos los mamíferos y se evidencia
- 10 por un aumento en la frecuencia cardiaca y la presión arterial, de modo que puedan prepararse mejor para responder el estímulo inductor de estrés. La frecuencia cardiaca (es decir, pulso) de un caballo, junto con otras constantes vitales (es decir, frecuencia respiratoria y temperatura corporal) y las funciones biológicas (es decir, sonidos digestivos), sirven como equivalentes para el estado fisiológico global de un caballo y, por lo tanto, representan dianas útiles para supervisar el malestar en caballos.
- 15 El sistema de esta divulgación puede supervisar respuestas fisiológicas conocidas al estrés a través del uso de sensores biométricos y biológicos. El pulso de un caballo (intervalo normal de aproximadamente 30-40 latidos por minuto) se supervisa a través del uso de un UWB-IR y un TIRS; la frecuencia respiratoria de un caballo (intervalo normal de aproximadamente 8-16 respiraciones por minuto) se supervisa a través del uso de un UWB-IR y un micrófono; la temperatura corporal de un caballo (intervalo normal de aproximadamente 37 °C - 18 °C (98,6 °F - 100,4 °
- 20 Fahrenheit); ligeramente mayor en potros y climas cálidos) se supervisa a través del uso de un TIRS; y los sonidos digestivos de un caballo (los sonidos característicos normales son rumor sordo y borboteo no menos de cada 10-20 segundos frente a chapoteo o sonidos inaudibles/débiles que duran más de aproximadamente 1 minuto) se supervisan a través del uso de un micrófono.
- 25 El MASNS supervisa constantemente estas constantes vitales y funciones biológicas en el animal, y ejecuta los datos instantáneamente a través de algoritmos para determinar si hay suficiente indicio de malestar en el animal para justificar que se alerte al o los guardas del animal. Si, después de que el MASNS haya procesado estas entradas de datos fisiológicos y otros, el sistema ha determinado que hay suficiente evidencia de que el animal está experimentando una cantidad anómala de malestar, activará una notificación.
- 30 Es importante apreciar que, en caballos, algunas de las respuestas fisiológicas al estrés pueden imitarse por respuestas normales a situaciones cuando el animal no está en un estado de malestar. Por ejemplo, la frecuencia cardiaca y respiratoria de los caballos aumentará cuando el caballo esté simplemente corriendo. Por tanto, los datos biométricos que se están procesando por el MASNS comprenden uno de muchos parámetros que el sistema analiza para determinar si el animal está o no en un estado de estrés o no.

Algoritmo biométrico

- 35 Con referencia a la figura 18, el algoritmo biométrico es una colección de algoritmos de procesamiento de señales para determinar los datos biométricos de un animal. Los datos biométricos son valores que describen el estado anatómico/frecuencia específicos del caballo tal como frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y temperatura. Por tanto, cualquier dato biométrico recogido de un animal presenta información con respecto a la salud del equino y puede analizarse por un veterinario o un sistema.
- 40 Los sensores pueden proporcionar datos de dos maneras (1) un sensor que proporciona el valor biométrico directamente, tal como TIRS; (2) un sensor que proporciona datos sin procesar para un valor biométrico específico a calcular, tal como UWB-IR. En el caso de un sensor que proporciona el valor biométrico directamente, se necesita solamente el acondicionado de la señal y el procesamiento de la señal. En el caso de un sensor que proporciona datos sin procesar, hay la necesidad de un algoritmo de detección para cada valor biométrico. En la figura 18, se plantean específicamente el algoritmo de detección de la frecuencia respiratoria y el algoritmo de detección de la frecuencia cardiaca para calcular las frecuencias respectivas. La fase final del algoritmo biométrico es la preparación de los datos biométricos donde estos valores se preparan para integrarlos en el protocolo de toma de decisiones del MASNS como se representa en la figura 3.

Algoritmos de frecuencia respiratoria y frecuencia cardiaca

- 50 La frecuencia respiratoria y cardiaca se determinan analizando los datos proporcionados por un UWB-IR. Los diagramas de flujo del algoritmo de frecuencia respiratoria y frecuencia cardiaca se ilustran en las figuras 19 y figura 20 respectivamente. El UWB-IR proporciona tiempos de vuelo de señal de radiofrecuencia para un intervalo específico. La figura 21A muestra una lectura de un sensor UWB-IR. El sensor explora un intervalo de 1 metro durante 6,6 ns. La figura 21B muestra 100 muestras en el tiempo de dichas lecturas como una ilustración ya que se proporciona una nueva muestra en aproximadamente 250 ms. La figura 21C presenta el resultado de un procesamiento de señales inicial de las lecturas de UWB-IR ("datos de ritmo") usando un filtro de "paso alto" y eliminación de la media en la
- 55 escala de muestra. Al eliminar la media en la escala de muestra, puede observarse el movimiento en el objeto para una distancia dada.

Después de eliminar la media y limpiar los datos de ritmo, se aplica PCA a los datos de ritmo para determinar los componentes fundamentales (es decir, importantes) de los datos. Al mantener la mayoría de la información en los datos, el PCA cartografía los datos de ritmo en un espacio más pequeño, en la figura 21D, esto se da como ocho componentes. Por tanto, una reducción del número de variables en los datos es de 256 a 8. El PCA genera componentes fundamentales ortogonales que tienen varianza similar. Por tanto, el PCA mantiene la información importante y elimina el componente de ruido de la señal en una forma compacta.

Después del PCA, se realiza un análisis de componentes independientes ("ICA") para determinar los componentes independientes de la señal, de modo que no se repita la misma información en la señal. La figura 21E muestra ocho componentes ICA calculados a partir de los componentes PCA calculados en la etapa previa. Después de aplicar ICA, los datos de ritmo se representan en una forma compacta donde las variables tienen información independiente e importante. La figura 21F muestra los componentes ICA después de aplicar un promedio de movimiento para eliminar los componentes de alta frecuencia y suavizar los componentes ICA para un mejor análisis de frecuencia.

Después de aplicar técnicas de procesamiento de señales para la eliminación del ruido y el acondicionamiento de la señal (figura 21C) y el procesamiento inicial de la señal para extraer los rasgos característicos importantes de los datos de ritmo (PCA y ICA: figuras 21D-F), se hace el análisis de frecuencia para determinar las frecuencias dominantes, que representarán las frecuencias relacionadas con la frecuencia respiratoria y cardíaca. La figura 22A presenta los resultados del análisis de FFT bidimensional de los ocho componentes ICA. Los datos de ritmo presentados se recopilan de un caballo durante aproximadamente 7,5 minutos. Por tanto, la región de frecuencia respiratoria y la región de frecuencia cardíaca se muestran en la figura 22A alrededor de 6 latidos por minuto ("BPM") y 30 BPM. La escala de frecuencia en las figuras se convierte a BPM para una mejor presentación visual. Asimismo, la figura 22B ilustra el análisis de la frecuencia de componentes ICA individuales usando FFT unidimensional. Las regiones de frecuencia respiratoria y cardíaca se marcan en todas las figuras.

El análisis ICA proporciona componentes independientes de una señal en una forma compacta. Sin embargo, dependiendo del número de componentes independientes, los componentes ICA pueden tener información similar y/o asignar elementos de ruido a uno o más componentes ICA. Por tanto, al analizar los componentes ICA con respecto al contenido de ruido (es decir, relación de señal a ruido ["SNR"]) se pueden poner de manifiesto los componentes ICA que tienen más ruido que señal. Por tanto, al eliminar el componente ICA que tiene la SNR más baja, puede reducirse el número de componentes ICA para tener un espacio de variable más compacto y pertinente para el análisis de la frecuencia. Se determinan los valores de SNR de cada componente ICA analizando la FFT de cada componente ICA. El proceso de eliminación por ICA puede repetirse si hay componentes ICA que tienen valores de SNR muy bajos. La figura 22C representa el análisis de frecuencia de siete componentes ICA después de eliminar el componente ICA que tiene el valor de SNR más bajo. Como puede observarse, las regiones de frecuencia respiratoria y cardíaca se vuelven más visibles después del proceso de eliminación. Como puede observarse en la figura 22C, los siete componentes ICA no tienen las mismas características de frecuencia. Por tanto, no es posible determinar la frecuencia respiratoria y cardíaca a partir de uno o más de los componentes ICA. Sin embargo, como la frecuencia respiratoria y cardíaca son señales dominantes en los datos de ritmo, se observan valores de alta energía alrededor de sus frecuencias. Por tanto, se suma la energía de cada frecuencia sobre todos los componentes ICA y se espera observar valores de energía muy altos alrededor de las regiones de frecuencia respiratoria y cardíaca. La figura 22D muestra el análisis de frecuencia resultante después de sumar los coeficientes FFT de los componentes ICA sobre cada frecuencia. Al hallar la frecuencia que tiene la energía más elevada, puede determinarse la frecuencia respiratoria como se marca en la figura 22C.

Después de determinar la frecuencia respiratoria (es decir, frecuencia), se aplica un filtro de paso alto de modo que se eliminen las frecuencias alrededor de la frecuencia respiratoria de los componentes ICA. La figura 23 ilustra las energías de frecuencia de la señal después de filtrar la frecuencia respiratoria. Entonces, la frecuencia cardíaca se calcula hallando la frecuencia que tiene la energía más elevada como se representa por la flecha en la figura 23.

Análisis/determinación instantáneos

Como el UWB-IR proporciona una nueva lectura cada ~250 ms, los algoritmos de frecuencia cardíaca y respiratoria pueden aplicarse a una ventana de una determinada longitud (es decir, un minuto). Entonces, la ventana puede desplazarse (es decir, 4 segundos) y pueden calcularse las frecuencias de nuevo para esa ventana. Por tanto, es posible un análisis/determinación casi instantáneos de la frecuencia respiratoria y cardíaca. La figura 24 muestra las mediciones instantáneas de frecuencia respiratoria y cardíaca para un caballo con una duración de 7,5 minutos. Como puede observarse en la figura 24, las frecuencias pueden tener algo de ruido cuando el caballo mueve el equipo. Por tanto, se necesita un suavizado para tener una lectura más estable de la frecuencia respiratoria y cardíaca para un caballo, como se muestra en la figura 25.

Algoritmo biológico

Con referencia a la figura 26, el algoritmo biológico es una colección de algoritmos de detección y procesamiento de señales para determinar los datos biológicos que no son datos biométricos convencionales. Los datos biológicos son valores que describen un estado anatómico/frecuencia no específicos de un animal tales como sonidos digestivos/intestinales. Por tanto, la diferencia principal entre el algoritmo biométrico y el algoritmo biológico es que el

algoritmo biométrico es para parámetros biológicos convencionales (biométricos) que pueden evaluarse directamente.

Los sensores biológicos pueden ser cualquier sensor que esté diseñado para proporcionar datos de un animal tal como sonido y transpiración (es decir, humedad de la piel). Estos sensores no se limitan al sonido y la humedad; pueden expandirse para recopilar otros datos biológicos según lo necesario. Por ejemplo, en la figura 26, se muestra un micrófono que detecta los sonidos digestivos/intestinales y proporciona datos sin procesar para la detección y procesamiento de sonidos digestivos o para caracterizar los sonidos digestivos/intestinales. Esto proporciona como salida los niveles de sonido en decibelios y sus duraciones. Asimismo, la detección y procesamiento de datos biológicos son necesarios para cada posible sensor biológico del sistema. Todas las frecuencias/estados biológicos obtenidos alimentan el bloque de preparación de datos biológicos donde estos valores se preparan para integrarlos en el protocolo de toma de decisiones del MASNS como se representa en la figura 3.

Modelado adaptativo

Todos los animales son diferentes. Los propios caballos pueden diferir fisiológicamente debido a una multitud de factores que incluyen la raza, el sexo, la edad, la dieta y el nivel de actividad. Esta gama de diferencias hace muy difícil establecer un modelo ideal para el caballo sano prototipo que no experimenta malestar impropio. Por consiguiente, es importante establecer un programa para que el sistema pueda configurarse al animal individual particular que se esté supervisando, en lugar de simplemente configurarlo para el caballo prototipo. Al personalizar la interpretación de los datos que se están adquiriendo a un solo animal individual, el dispositivo puede determinar de manera más precisa el estado de ese animal y, por tanto, puede conseguir de manera eficaz su propósito. Al adaptar la interpretación de los datos que se están recogiendo de un animal particular a las tendencias de ese animal particular, el dispositivo puede minimizar la posibilidad de falsos positivos y aumentar la verosimilitud de verdaderos positivos.

El MASNS mantiene un registro histórico de datos pasados del sensor para cada animal individual, que puede retroalimentarlos, después de un periodo de tiempo especificado, al sistema de análisis de datos para adaptar los límites aceptables de los diversos parámetros de los datos que se están supervisando. El MASNS puede conseguir esta adaptación y concordancia actualizando manual o automáticamente los límites aceptables de diversos parámetros de los datos que se están supervisando para tener en cuenta el registro histórico de los datos pasados del sensor. En dicha realización, después de un periodo especificado de tiempo, el registro histórico de datos pasados del sensor se supondrá representativo del estado sin estrés del animal salvo que se indique de otro modo por un usuario.

Sensores de ubicación/posición

El cólico, junto con otras afecciones equinas peligrosas, requiere atención inmediata cuando se sospecha. El tiempo hasta la intervención para el diagnóstico y el tratamiento tiene un impacto directo en los desenlaces de ese animal. A menudo, los caballos están ubicados en pastos grandes, que pueden ser muy oscuros por la noche, y su ubicación exacta en cualquier momento dado es desconocida. Además, muchos caballos se transportan para campeonatos de desempeño, a menudo a cientos de millas del hogar en vehículos comerciales, y su localización es aproximada, en el mejor de los casos, para los entrenadores, propietarios y guardas del animal. Ambos escenarios pueden mostrarse peligrosos porque, cuando un caballo está experimentando estrés por cólico u otra afección, es de suma importancia que se les trate lo antes posible.

No solamente este dispositivo MASNS ayuda a la detección temprana de cólico, sino que el dispositivo también tiene un sistema integrado de ubicación/posición junto con el uso de Wi-Fi y/o triangulación de intensidades de señales celulares para precisar la ubicación exacta del animal desasosegado que lleva puesto el dispositivo, de modo que pueda administrarse tratamiento lo antes posible. Una vez que el dispositivo ha registrado un estado positivo, que indica que el animal que lleva puesto el dispositivo puede estar en un estado de malestar, activa los sistemas integrados de ubicación/posición y transmite los datos instantáneamente con respecto a la ubicación/posición exacta del animal en cuestión al guarda mediante una red inalámbrica. Al ayudar a la rápida detección y tratamiento de la afección del animal, el dispositivo MASNS puede proporcionar al animal la máxima oportunidad de recuperarse y sobrevivir.

Gestión de la energía

La gestión de la energía del MASNS es crucial para un uso a largo plazo y el funcionamiento de bajo mantenimiento del sistema. El dispositivo MASNS remoto puede permanecer activo durante un periodo establecido de tiempo y después autodesconectarse. En una realización, el dispositivo puede usar pilas pequeñas, de alta capacidad, de alta densidad, recargables de baja autodescarga, tales como, o similares a, baterías de litio-polímero ("LiPo"). Estas pilas permiten al dispositivo permanecer inactivo durante horas, días o incluso meses sin perder carga significativa de la pila. Puede utilizarse una fijación/armazón con capacidad de carga por inducción de campo cercano para reponer la energía de las pilas del dispositivo MASNS. Como alternativa, o adicionalmente, puede utilizarse una conexión directa compuesta de contactos eléctricamente conductores para recargar las pilas. En otra realización, el dispositivo puede usar un sistema de captación de energía renovable (por ejemplo, energía solar, energía térmica, energía eólica, energía cinética) como fuente de energía.

La transmisión inalámbrica de datos puede gestionarse cuidadosamente para conservar la energía. Pueden usarse algoritmos en la unidad de procesamiento para asociar las constantes vitales, las funciones biológicas y la postura y

acciones/movimientos del animal con comportamientos específicos de interés. Al realizarse en análisis en curso por los algoritmos de manera inmediata (es decir, en el ámbito del animal) y como se realiza un análisis refinado, cuando esté justificado, por un ordenador/puesto central externo, se conserva la potencia y la energía eliminando la necesidad de transmitir todos los datos de entrada de los sensores para el análisis. En su lugar, a través del análisis inmediato, la transmisión de datos se produce solamente cuando se detectan determinados estados o acciones, tales como posibles comportamientos de malestar.

Análisis inmediato

El sistema está supervisando constantemente al animal que lleva puesto el dispositivo MASNS para proporcionar la determinación más minuciosa y exacta posible del estado del animal en cualquier punto dado en el tiempo. Para poder hacer esto, el dispositivo requiere una fuente de alimentación. Aunque hacer funcionar todos los sensores integrados en el dispositivo gasta algo de energía, una de las actividades del sistema que consume una gran cantidad de energía es la transmisión de datos a una fuente externa. Debido al alto coste energético de la transmisión externa de datos, el dispositivo puede tener una unidad de procesamiento de datos integrada en el propio dispositivo. Si la unidad de procesamiento de datos está contenida dentro del propio dispositivo, se elimina la necesidad de transmitir de manera regular grandes cantidades de datos a una fuente externa para su análisis. Por consiguiente, en una realización que tiene una unidad integrada de análisis de datos, el dispositivo solamente necesitaría transmitir información a una fuente externa cuando se alertara de manera activa al guarda de una lectura positiva de malestar o cuando se consultara de manera activa desde una fuente exterior. Al integrar la unidad de procesamiento de datos en el propio dispositivo y al no tener que hacerlo en un sistema externo, el dispositivo puede minimizar la cantidad de tiempo y datos que debe transmitir externamente, minimizando, por tanto, el consumo de energía y prolongando la vida operativa de una sola carga del sistema.

Además, integrar el equipo físico de análisis de datos en el propio dispositivo permite que el medio de análisis de datos sea exclusivo para la interpretación de datos de solamente el animal que el dispositivo particular está supervisando. Si se está usando un medio de análisis de datos externo, probablemente no sea exclusivo para la supervisión de un solo animal, sino que en su lugar supervisa de manera agregada una multitud de animales simultáneamente. Además, acoplar el medio de análisis de datos del sistema con los algoritmos adaptativos, y después limitar la adquisición y análisis de los datos a un animal individual permite la personalización de los valores de umbral de las variables para un animal particular en vigilancia por un dispositivo MASNS particular. Esto provoca que el sistema funcione de manera más exacta y eficaz a lo largo del tiempo.

La unidad de procesamiento puede configurarse para que tenga un modo de ahorro de energía y una operación de activación por señal. En una realización, la unidad de procesamiento puede estar en modo de ahorro de energía la mayor parte del tiempo, lo que requiere poca energía. La unidad de procesamiento entonces puede responder a cualquier parámetro predeterminado que esté programado por activación e inicio de operación cuando se cumplan los parámetros predeterminados. Este circuito de ahorro de energía/activación puede estar accionado, aunque sin limitación, por acontecimientos o tiempo. En una realización, se compara la marca de tiempo de activación instantánea con la marca de tiempo previa del último estado de ahorro de energía; si la diferencia de tiempo no está dentro de un periodo de tiempo indicado, la marca de tiempo se establece al momento actual, los sensores se desactivan y la unidad de sensor se pone de nuevo en modo de ahorro de energía. Este circuito de gestión de la energía puede ser esencialmente una burda comprobación de falsa alarma.

Cada valor fisiológico y comportamiento característico, evaluados independientemente o conjuntamente, puede ser un indicador o un contraindicador de un estado de malestar. Los indicadores biométricos positivos de malestar equino pueden incluir una elevación de la frecuencia cardíaca >40 latidos por minuto, un aumento en las frecuencias respiratorias >16 respiraciones por minuto y/o una subida de las temperaturas corporales centrales del caballo >38 °C (100,4 grados Fahrenheit). Los contraindicadores biométricos de malestar equino pueden incluir una frecuencia cardíaca oscilante de 30-40 latidos por minuto, frecuencias respiratorias de 8-16 respiraciones por minuto y/o temperaturas corporales centrales de 37-38 °C (98,6-100,4 grados Fahrenheit).

Los indicadores de movimiento positivos de malestar equino pueden incluir episodios repetidos de alzarse/caerse con alta actividad durante un periodo prolongado de tiempo mientras el caballo está tumbado (es decir, rodar +/- mover agitadamente las patas), morder a los laterales, etc. Los contraindicadores de malestar equino pueden incluir una "sacudida saludable" de todo el cuerpo tras erguirse/alzarse después de rodar y actividad mínima mientras el caballo está tumbado.

Redes de transmisión de datos

Los caballos y otros animales de granja a menudo se mantienen deambulando y se les permite deambular en grandes extensiones de suelo rústico. En dichas extensiones expansivas, es improbable que haya la infraestructura presente para una cobertura de red inalámbrica.

En una realización, el dispositivo MASNS incorpora transceptores que son compatibles con el uso en una red inalámbrica. Como alternativa, o adicionalmente, en otras realizaciones, el dispositivo MASNS incorpora transceptores que funcionan en otros sistemas inalámbricos móviles (electromagnéticos) incluyendo, aunque sin limitación, redes

3G, redes 4G, redes Wi-Fi (redes convencionales y de largo alcance), redes de malla y otros sistemas inalámbricos de transmisión de datos.

5 El uso de transceptores compatibles con estas diferentes redes inalámbricas pueda dar al dispositivo la capacidad de transmitir y recibir transmisiones desde una amplia gama de dispositivos sobre una cobertura de área de terreno potencialmente más amplia que lo que puede ofrecer el Wi-Fi convencional. Cuando las condiciones ambientales o la accesibilidad o el coste de conexión con una red celular es un problema, puede utilizarse un puesto de base. Este puesto de base permitirá que múltiples dispositivos MASNS accedan a una sola conexión de Internet proporcionada por el usuario/instalación. Esto es de particular importancia dada la naturaleza rural, remota y sin desarrollar de ubicaciones donde tienden a ubicarse muchos caballos y otros animales.

10 Comunicaciones bidireccionales e interacciones

15 En una realización, el MASNS puede contener no solamente un transmisor de datos para enviar alertas al guarda cuando el dispositivo determina que el animal que se está supervisando puede estar experimentando suficiente estrés (para que requiera asistencia), sino que también contiene un receptor inalámbrico. Incorporar un receptor inalámbrico al sistema permite interacción bidireccional, lo que facilita el intercambio de datos entre el dispositivo MASNS y fuentes externas. No solamente el sistema podría emitir alertas al guarda, sino que el guarda sería capaz de consultar de manera activa el MASNS por cualquier motivo. El usuario podría enviar una señal al receptor incorporado en el MASNS que active el sistema para que responda con el estado actual del animal supervisado, incluyendo lecturas instantáneas de alguno o todos los datos que se están recopilando.

20 La incorporación de un receptor inalámbrico en el MASNS no solamente permitiría al guarda acceder de forma remota a la información que el sistema está recogiendo de manera instantánea, sino que también puede permitir que el guarda compruebe el estado operativo del propio MASNS desde una ubicación remota. Esta peculiaridad ahorraría tiempo, energía y recursos del guarda suprimiendo el proceso de rastrear al animal en vigilancia e inspeccionar físicamente el MASNS para determinar su estado operativo. Dicho estado operativo y otras técnicas de calibrado del MASNS pueden potenciarse mediante indicadores/accionadores multisensitivos (por ejemplo, luces LED, vibradores, indicadores acústicos). En otra realización dichos indicadores/accionados pueden incorporarse y utilizarse para acondicionado pavloviano, retroalimentación negativa y bloqueo.

Presentación de datos

30 En una realización, la información (incluyendo datos instantáneos) recogidos por el MASNS pueden retransmitirse o transmitirse de otro modo a, y presentarse en, un dispositivo remoto. En cualquier momento, el usuario puede consultar el MASNS a través de la red inalámbrica. Una vez consultado, el MASNS puede transmitir registros de los parámetros de los datos supervisados por el MASNS al dispositivo remoto del usuario, incluyendo, aunque sin limitación, un ordenador, una tableta y un teléfono inteligente. Esta peculiaridad permite a un usuario comprobar convenientemente el estado de cualquier animal que se esté supervisando de una manera instantánea desde una ubicación remota, sin la necesidad de un equipo físico especializado.

35 Además, esta peculiaridad trabajará de manera sinérgica tanto con el uso de transmisión de datos a través de redes móviles como con el sistema o sistemas de ubicación/posición mencionados anteriormente incluidos en el dispositivo. Al permitir que la información recogida esté en un formato que puede presentarse en dispositivos que ya utilizan redes inalámbricas móviles, no hay necesidad de que el usuario compre un equipo físico especializado para supervisar de forma remota a los animales. Además, al permitir que el guarda use un dispositivo portátil, tal como un teléfono inteligente, para enlazar con la función de ubicación/posición incluida en el dispositivo, dicho guarda puede recibir fácilmente actualizaciones con la ubicación instantánea del animal que se está supervisando mientras el guarda está en movimiento.

45 Aunque se han ilustrado y descrito realizaciones y aplicaciones específicas, debe entenderse que la divulgación actual no está limitada a la configuración precisa y componentes divulgados en este documento. El alcance de la invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para vigilancia y supervisión remota del malestar de animales que comprende:
 detectar uno o más parámetros biométricos del animal, incluyendo detectar uno o más de una frecuencia respiratoria y frecuencia cardíaca del animal usando datos de un radar de impulso de banda ultraancha (UWB-IR);
- 5 detectar uno o más parámetros de comportamiento del animal, que comprende supervisar los datos de movimiento de uno o más de un acelerómetro, giroscopio, magnetómetro y sensor de presión barométrica durante un periodo de tiempo;
- 10 determinar, usando un clasificador de una clase, la aparición de un acontecimiento novedoso basada en la comparación de los datos de movimiento con un intervalo de valores del parámetro predefinidos y salvedades contenidos en el modelo que representan los datos de movimiento obtenidos en condiciones normales para el animal, en donde determinar un acontecimiento novedoso comprende:
 preprocesar los datos de movimiento para generar un vector de rasgos característicos para clasificación, que incluye:
 filtrar los datos de movimiento para eliminar el ruido;
- 15 transformar los datos de movimiento al dominio de frecuencia para obtener una pluralidad de coeficientes de frecuencia;
 calcular la energía de bandas de frecuencia individuales en función de los valores de los coeficientes de frecuencia en la respectiva banda de frecuencia;
 concatenar las bandas de energía de frecuencia para generar un vector de rasgos característicos; y
- 20 reducir la dimensionalidad del vector de rasgos característicos usando una matriz de componentes fundamentales;
 introducir el vector de rasgos característicos reducido al clasificador de una clase;
- calcular un valor compuesto de malestar relativo del animal para una combinación de parámetros biométricos y de comportamiento detectados si se determina la aparición de un acontecimiento novedoso;
- 25 determinar, de manera inmediata, si el valor compuesto excede un valor de umbral compuesto predefinido indicativo de posible malestar en el animal; y
 notificar a uno o más guardas remotos del posible malestar en el animal en función del valor compuesto que excede el valor de umbral compuesto predefinido.
- 30 2. El método de la reivindicación 1, en donde determinar la aparición de un acontecimiento novedoso comprende determinar el momento en que uno o más de los parámetros de comportamiento detectados caen fuera de uno o más parámetros predefinidos y parámetros históricos para el animal.
3. El método de la reivindicación 1, que comprende además detectar uno o más parámetros de función biológica del animal y usar los parámetros de función biológica detectados para calcular el valor compuesto.
- 35 4. El método de la reivindicación 1, que comprende además actualizar el intervalo de valores del parámetro predefinidos y salvedades, y los valores de umbral compuestos de un modo en curso para ajustarse a parámetros detectados para el animal a lo largo del tiempo.
5. El método de la reivindicación 1, que comprende además el uso de lógica difusa para obtener el valor compuesto.
6. El método de la reivindicación 1, en donde la notificación a uno o más guardas comprende la activación de un protocolo de notificación creciente a través de múltiples canales.
- 40 7. El método de la reivindicación 1, en donde la detección del uno o más parámetros biométricos incluye además detectar una temperatura del animal.
8. El método de la reivindicación 7, en donde la temperatura se detecta usando un sensor térmico infrarrojos.
9. El método de la reivindicación 1, que comprende además determinar una postura y/o una ubicación del animal usando al menos uno de un sensor de presión barométrica, sensor de sistema de posición global y triangulación Wi-Fi.
- 45

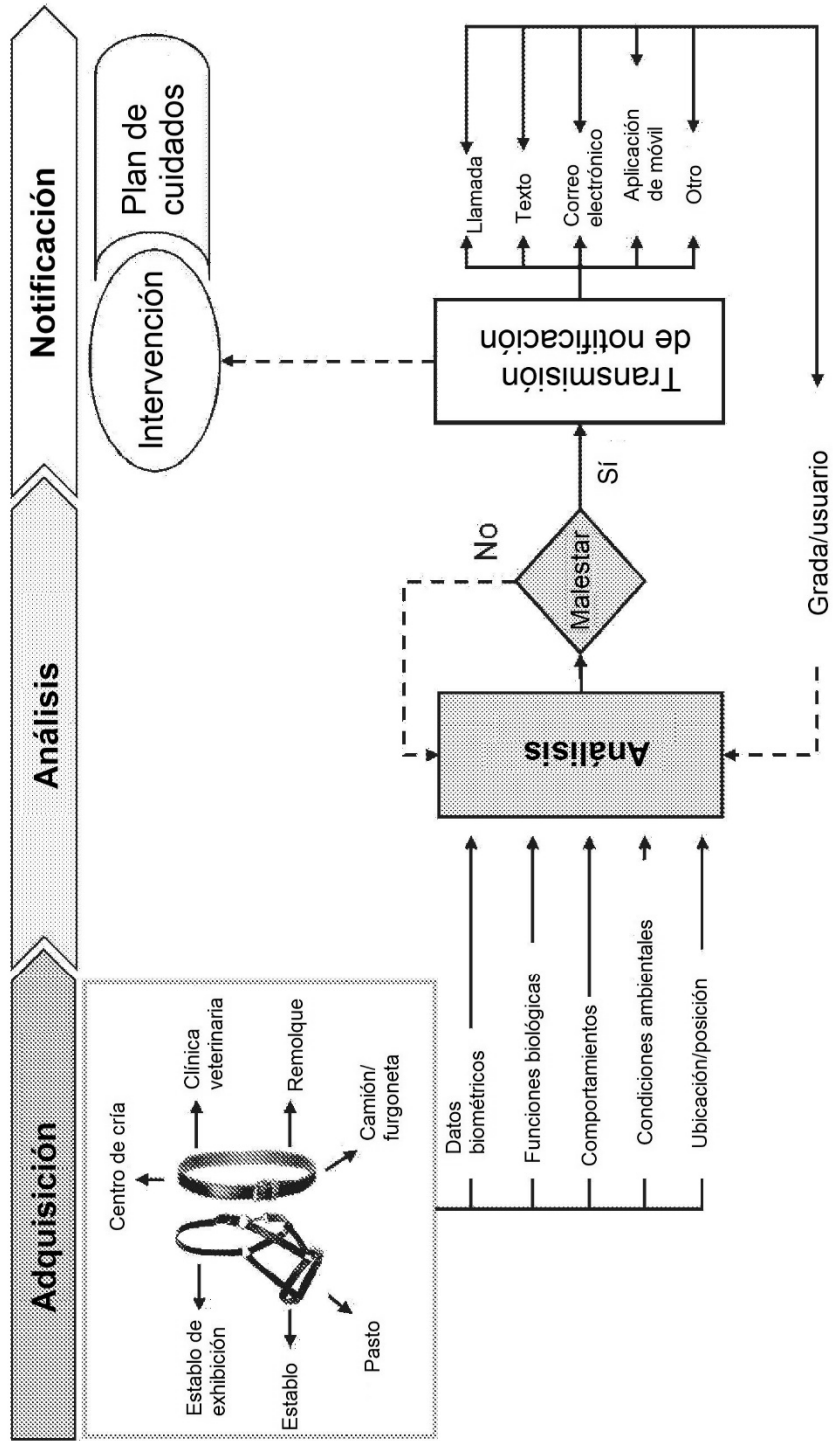


Fig. 1

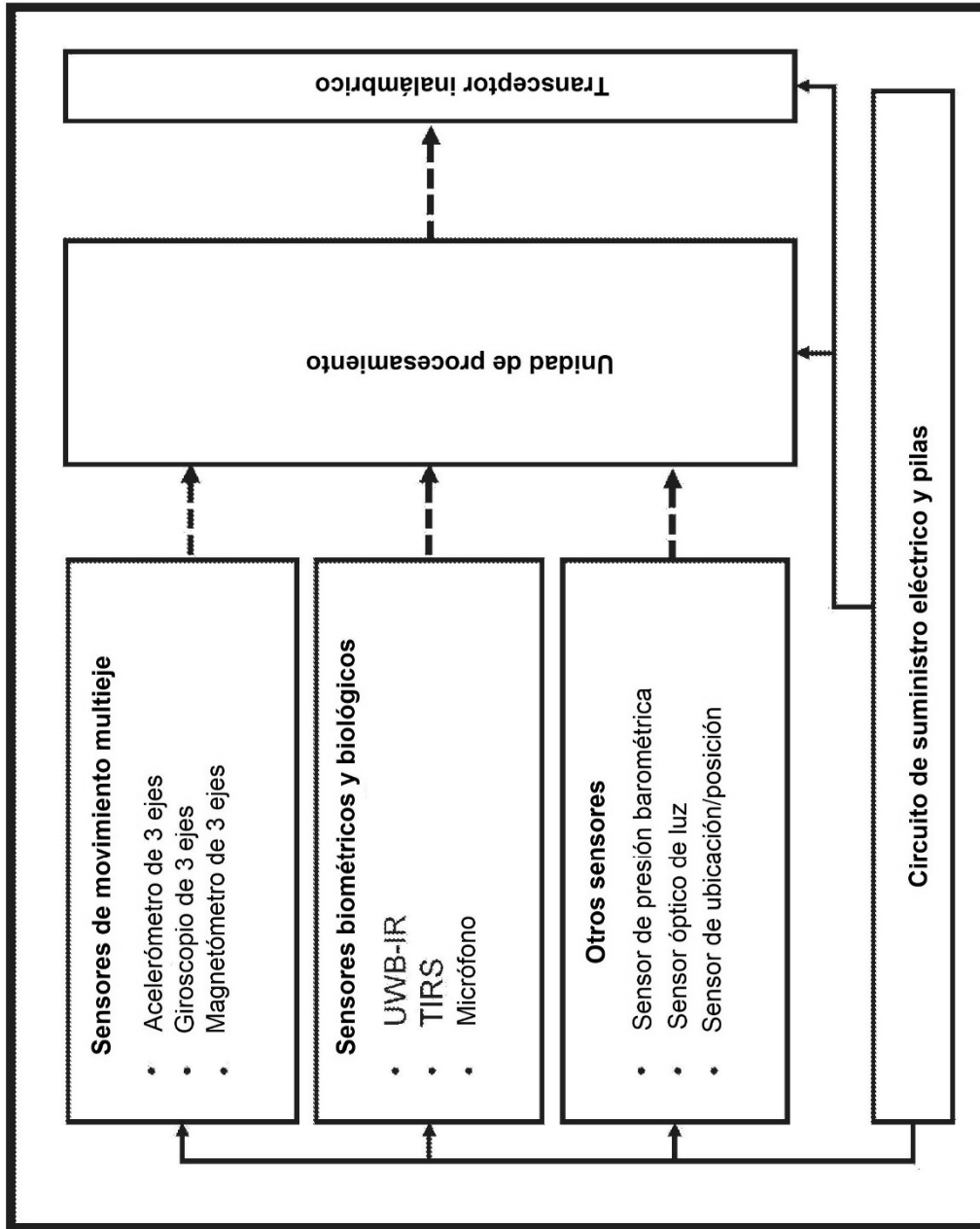


Fig. 2

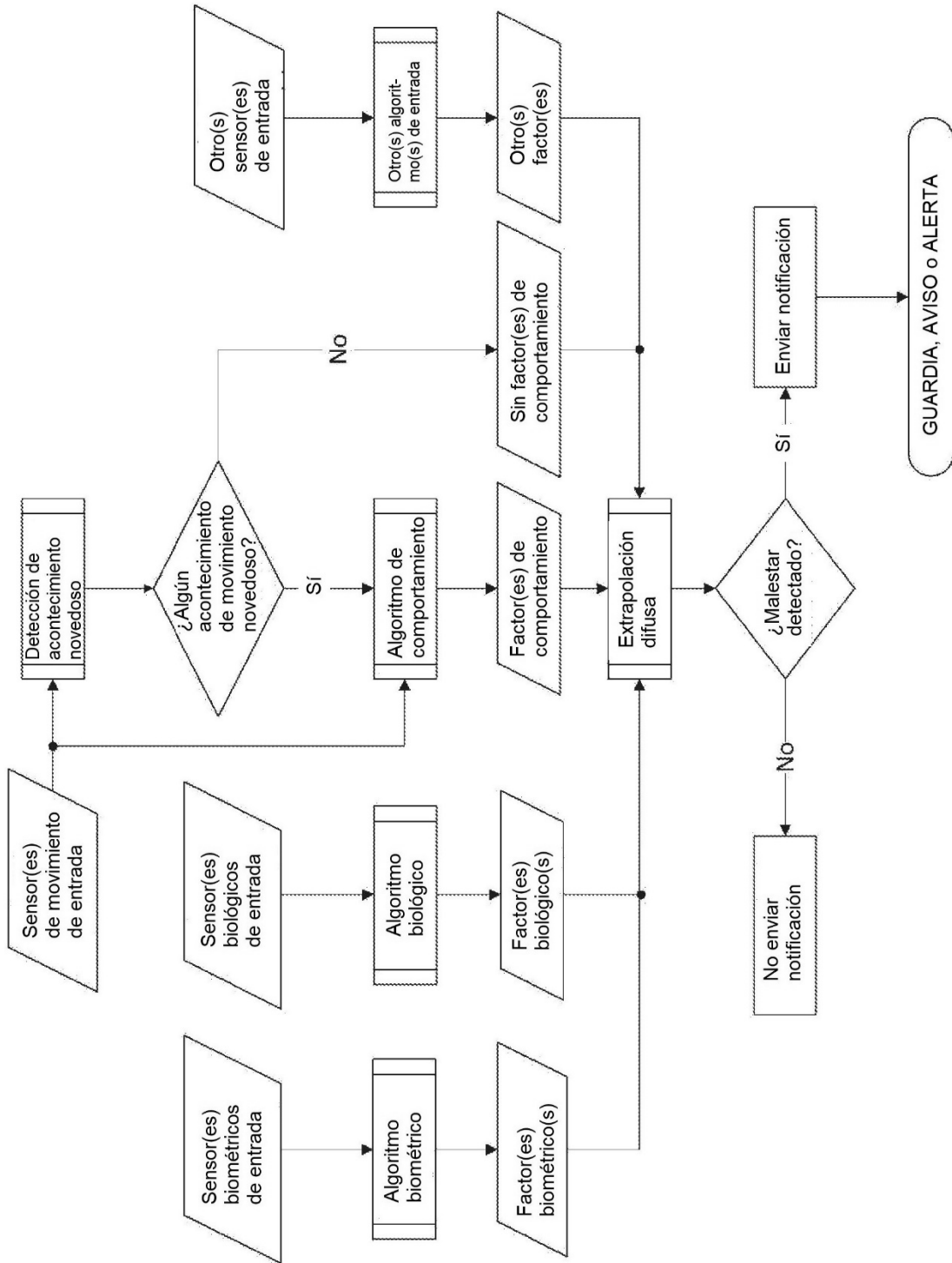


Fig. 3

GUARDIA		
Comportamientos	Respuesta de Flehmen (leve)	>2 acontecimientos/día (cualquier duración).
	Bruxismo (leve)	>2 acontecimientos/día (cualquier duración).
	Observar el flanco (leve)	Mientras está erguido: ≥ 2 acontecimientos (+/- mordet) durante 2 min; o ≥ 50 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario ; o ≥ 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes. Mientras está tumbado: ≥ 1 acontecimiento (+/- mordet) durante 5 min (+/- gemir); o ≥ 50 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario ; o ≥ 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes.
	Patear (moderado)	≥ 3 acontecimientos (≥ 5 s) sin rodamiento(s) secuencial(es) durante 3 min; o ≥ 50 % de aumento en el n.º de acontecimientos (> 5 s) frente al promedio diario ; o ≥ 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos (5 s) frente a 30 min antes.
	Girar (moderado)	≥ 3 acontecimientos (≥ 15 s) sin rodamiento(s) secuencial(es) durante 3 min; o ≥ 50 % de aumento en el n.º de acontecimientos (> 5 s) frente al promedio diario ; o ≥ 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos (> 5 s) frente a 30 min antes.
	Cocear (moderado)	>2 acontecimientos/día (cualquier duración).
	Alzarse/caerse (moderado/grave)	≥ 3 acontecimientos en 5 min (+/- rodar); o ≥ 25 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario ; o ≥ 25 % de aumento en el n.º de acontecimientos sobre 30 min antes.
	Tumbarse (moderado/grave)	≥ 3 horas continuas; o ≥ 25 % de aumento en la duración frente al promedio diario .
	Rodar (grave)	Rodar durante ≥ 30 s sin alzarse; o ≥ 3 rodamientos (cualquier duración) durante 5 min sin alzarse; o ≥ 25 % de aumento en el n.º de rodamientos frente al promedio diario ; o ≥ 25 % de aumento en el n.º frente a 30 min antes.
	Sin sacudida saludable (grave)	≥ 2 acontecimientos/día en 30 s de alzarse; o ≥ 25 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario .
Funciones biológicas	Sonidos digestivos	≥ 50 % de disminución mantenida en el nivel de Db durante ≥ 20 s; o ≥ 25 % de aumento mantenido en el nivel de Db durante ≥ 20 s; o ≥ 2 repuntes intermitentes (cualquier nivel de Db) durante 3 min.
	Frecuencia cardiaca	≤ 30 o ≥ 40 latidos/min; o > 15 % de aumento sobre lo normal en reposo durante > 1 min; o > 15 % de disminución sobre lo normal en reposo durante > 1 min.
Datos biométricos	Frecuencia respiratoria	≤ 8 o ≥ 16 respiraciones/min; o > 35 % de aumento sobre lo normal en reposo durante > 1 min; o > 35 % de disminución sobre lo normal en reposo durante > 1 min.
	Temperatura	≤ 37 o ≥ 38 grados Celsius (≤ 98.6 o ≥ 100.4 grados Fahrenheit); o > 1 % de aumento sobre lo normal en reposo durante > 10 min; o > 1 % de disminución sobre lo normal en reposo durante > 10 min.

Fig. 4A

ADVERTENCIA	
Comportamientos	<p>Respuesta de Flehmen (leve) ≥ 2 acontecimientos (cualquier duración) durante 2 min; o ≥ 250 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o ≥ 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes.</p> <p>Bruxismo (leve) ≥ 2 acontecimientos (cualquier duración) durante 2 min; o ≥ 250 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o ≥ 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes.</p> <p>Observar el flanco (leve) Mientras está erguido: ≥ 3 acontecimientos (+/- morder) durante 3 min; o ≥ 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o ≥ 150 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes. Mientras está erguido: ≥ 2 acontecimientos (+/- morder) durante 5 min (+/- gemir); o ≥ 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o ≥ 150 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes.</p> <p>Patear (moderado) ≥ 5 acontecimientos (≥ 5 s) sin rodamiento(s) secuencial(es) durante 5 min; o ≥ 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos (> 5 s) frente al promedio diario; o ≥ 150 % de aumento en el n.º de acontecimientos (> 5 s) frente a 30 min antes.</p> <p>Girar (moderado) ≥ 5 acontecimientos (≥ 15 s) sin rodamiento(s) secuencial(es) durante 5 min; o ≥ 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos (> 5 s) frente al promedio diario; o ≥ 150 % de aumento en el n.º de acontecimientos (> 5 s) frente a 30 min antes.</p> <p>Coccear (moderado) ≥ 3 acontecimientos (cualquier duración) durante 3 min; o ≥ 250 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o > 250 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o > 100 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes.</p> <p>Alzarse/caerse (moderado/grave) ≥ 5 acontecimientos en 5 min (+/- rodar); o ≥ 50 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o ≥ 35 % de aumento en el n.º de acontecimientos sobre 30 min antes.</p> <p>Tumbarse (moderado/grave) > 4 horas continuas; o ≥ 35 % de aumento en la duración frente al promedio diario.</p> <p>Rodar (grave) Rodar durante ≥ 45 s sin alzar; o ≥ 4 rodamientos (cualquier duración) durante 10 min sin alzar; o ≥ 50 % de aumento en el n.º de rodamientos frente al promedio diario; o ≥ 50 % de aumento en el n.º frente a 30 min antes.</p> <p>Sin sacudida saludable (grave) ≥ 3 acontecimientos/día en 30 s de alzar; o ≥ 35 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario.</p>
Funciones biológicas	<p>Sonidos digestivos ≥ 50 % de disminución mantenida en el nivel de Db durante ≥ 1 min; o ≥ 25 % de aumento mantenido en el nivel de Db durante > 1 min; o ≥ 5 repuntes intermitentes (cualquier nivel de Db) durante 3 min.</p>
Datos biométricos	<p>Frecuencia cardiaca ≤ 20 o ≥ 50 latidos/min; o > 40 % de aumento sobre lo normal en reposo durante > 1 min; o > 40 % de disminución sobre lo normal en reposo durante > 1 min.</p> <p>Frecuencia respiratoria ≤ 6 o ≥ 20 respiraciones/min; o > 75 % de aumento sobre lo normal en reposo durante > 1 min; o > 50 % de disminución sobre lo normal en reposo durante > 1 min.</p> <p>Temperatura $\leq 36,77$ o $\geq 38,44$ grados Celsius ($\leq 98,2$ o $\geq 101,2$ grados Fahrenheit); o > 2 % de aumento sobre lo normal en reposo durante > 10 min; o $> 1,75$ % de disminución sobre lo normal en reposo durante > 10 min.</p>

Fig. 4B

ALERTA	
	<p>Respuesta de Flehmen (leve)</p> <p>≥5 acontecimientos (cualquier duración) durante 5 min; o ≥500 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o ≥200 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes.</p>
	<p>Bruxismo (leve)</p> <p>≥5 acontecimientos (cualquier duración) durante 5 min; o ≥500 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o ≥200 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes.</p>
	<p>Observar el flanco (leve)</p> <p>Mientras está eruido: ≥5 acontecimientos (+/- morder) durante 5 min; o ≥200 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o ≥200 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes. Mientras está tumbado: ≥3 acontecimientos (+/- morder) durante 5 min (+/- gemir); o ≥200 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o ≥200 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes.</p>
	<p>Patear (moderado)</p> <p>≥5 acontecimientos (cualquier duración) con rodamiento(s) secuencial(es) durante 5 min; o ≥200 % de aumento en el n.º de acontecimientos (>5 s) frente al promedio diario; o ≥200 % de aumento en el n.º de acontecimientos (>5 s) frente a 30 min antes.</p>
Comportamientos	<p>Girar (moderado)</p> <p>≥5 acontecimientos (cualquier duración) con rodamiento(s) secuencial(es) durante 5 min; o ≥200 % de aumento en el n.º de acontecimientos (>5 s) frente al promedio diario; o ≥200 % de aumento en el n.º de acontecimientos (>5 s) frente a 30 min antes.</p>
	<p>Cocear (moderado)</p> <p>≥5 acontecimientos (cualquier duración) durante 5 min; o >500 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o >200 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente a 30 min antes.</p>
	<p>Alzarse/caerse (moderado/grave)</p> <p>≥10 acontecimientos en 5 min (+/- rodar); o ≥100 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario; o ≥50 % de aumento en el n.º de acontecimientos sobre 30 min antes.</p>
	<p>Tumbarse (moderado/grave)</p> <p>>5 horas continuas; o ≥50 % de aumento en la duración frente al promedio diario.</p>
	<p>Rodar (grave)</p> <p>Rodar durante ≥60 s sin alzar; o ≥5 rodamientos (cualquier duración) durante 20 min sin alzar; o ≥100 % de aumento en el n.º de rodamientos frente al promedio diario; o ≥100 % de aumento en el n.º frente a 30 min antes.</p>
	<p>Sin sacudida saludable (grave)</p> <p>≥5 acontecimientos/día en 30 s de alzar; o ≥50 % de aumento en el n.º de acontecimientos frente al promedio diario.</p>
Funciones biológicas	<p>Sonidos digestivos</p> <p>≥50 % de disminución mantenida en el nivel de Db durante ≥3 min; o ≥25 % de aumento mantenido en el nivel de Db durante >3 min; o ≥10 repuntes intermitentes (cualquier nivel de Db) durante 3 min.</p>
	<p>Frecuencia cardiaca</p> <p>≤12 o ≥60 latidos/min; o >70 % de aumento sobre lo normal en reposo durante >1 min; o >70 % de disminución sobre lo normal en reposo durante >1 min.</p>
Datos biométricos	<p>Frecuencia respiratoria</p> <p>≤4 o ≥30 respiraciones/min; o >150 % de aumento sobre lo normal en reposo durante >1 min; o >65 % de disminución sobre lo normal en reposo durante >1 min.</p>
	<p>Temperatura</p> <p>≤35,55 o ≥39,72 grados Celsius (≤96,0 o ≥103,5 grados Fahrenheit); o >4 % de aumento sobre lo normal en reposo durante >10 min; o >3,5 % de disminución sobre lo normal en reposo durante >10 min.</p>

Fig. 4C

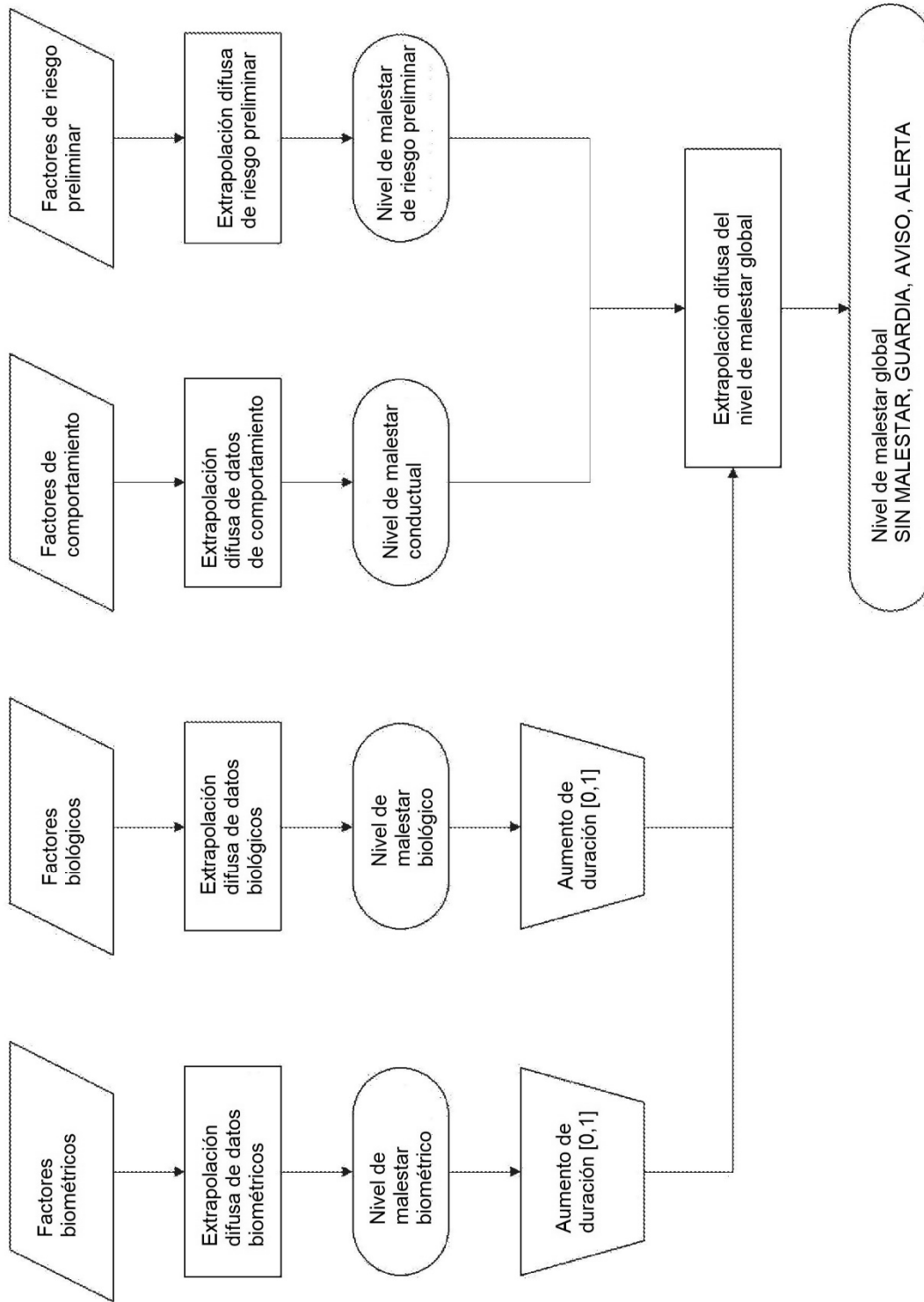


Fig. 5

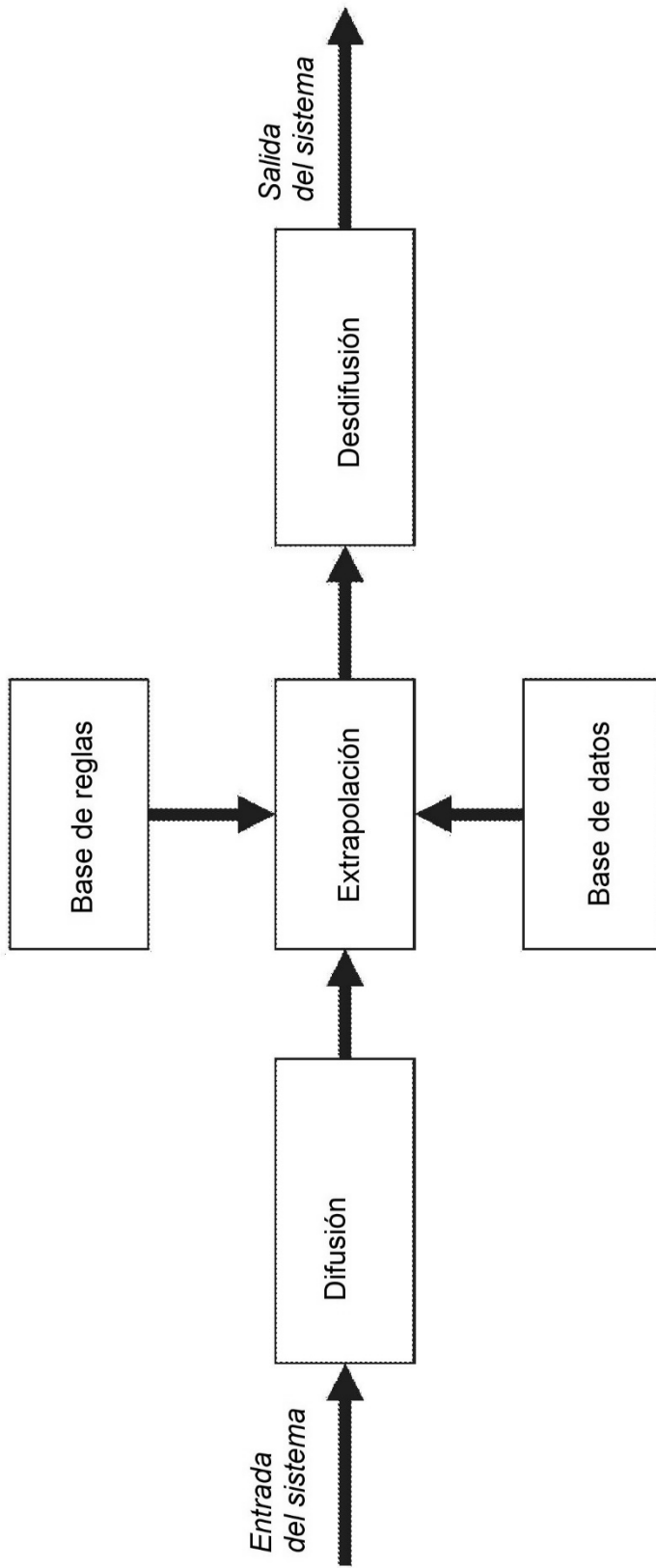


Fig. 6

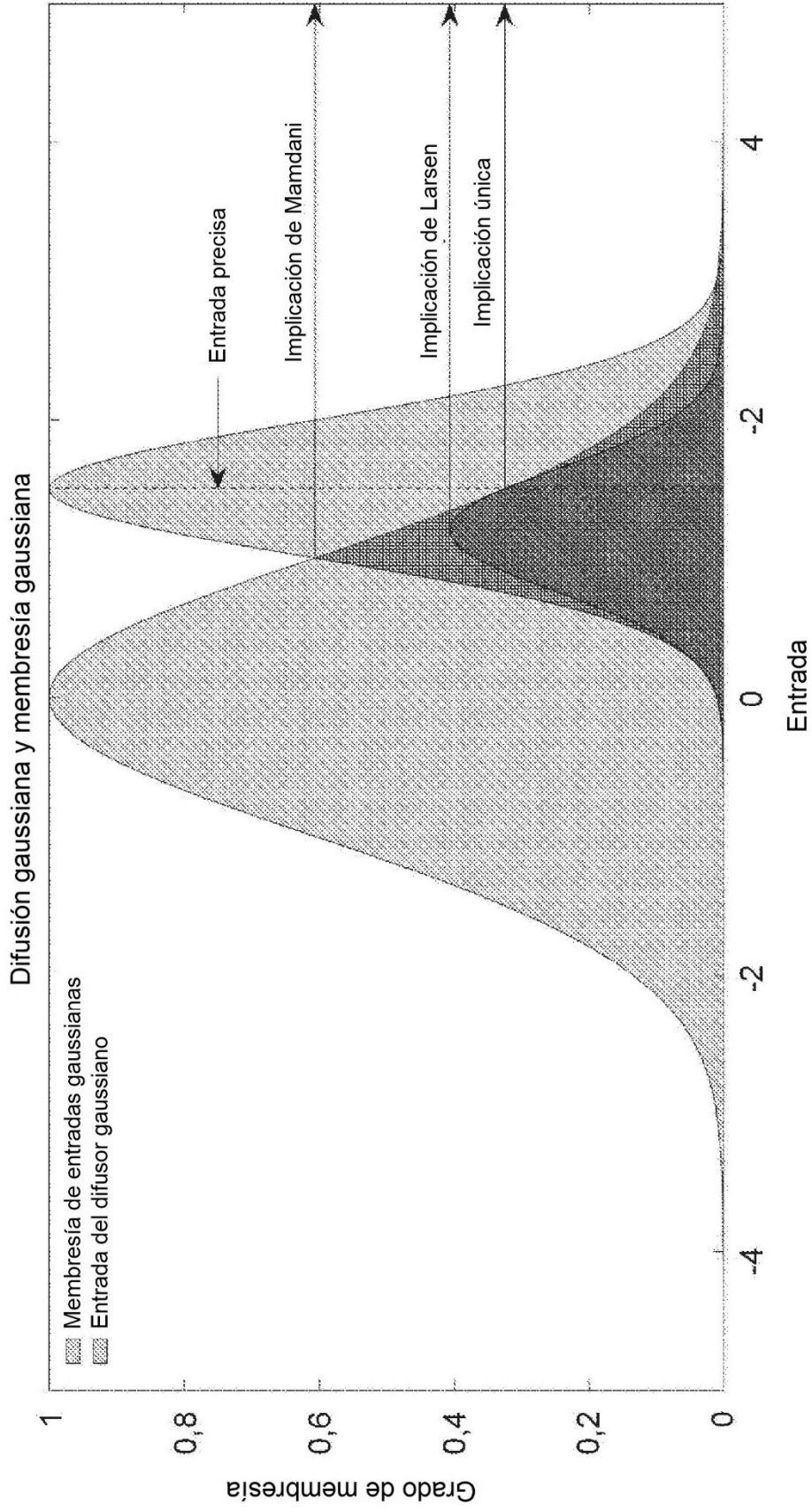


Fig. 7

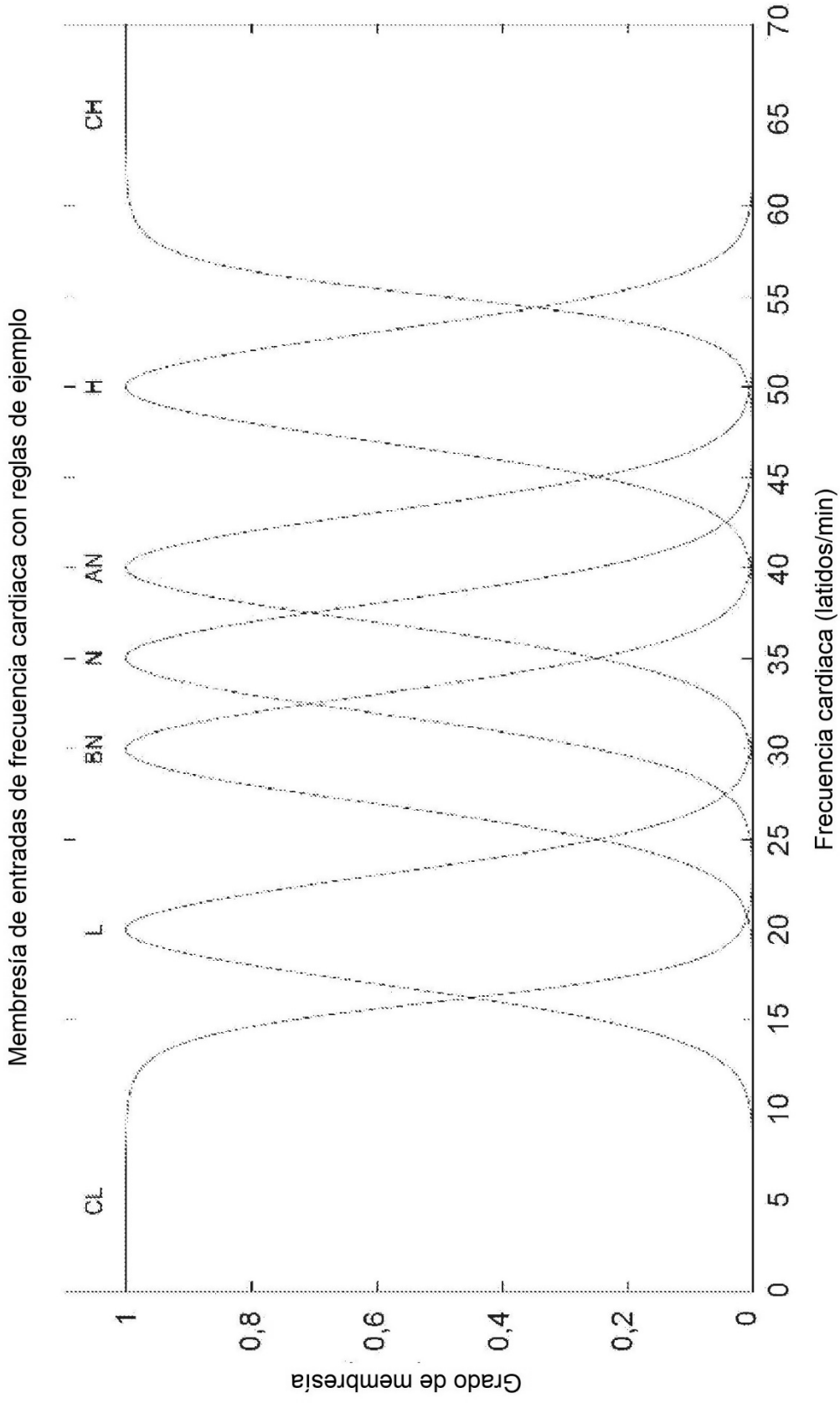


Fig. 8

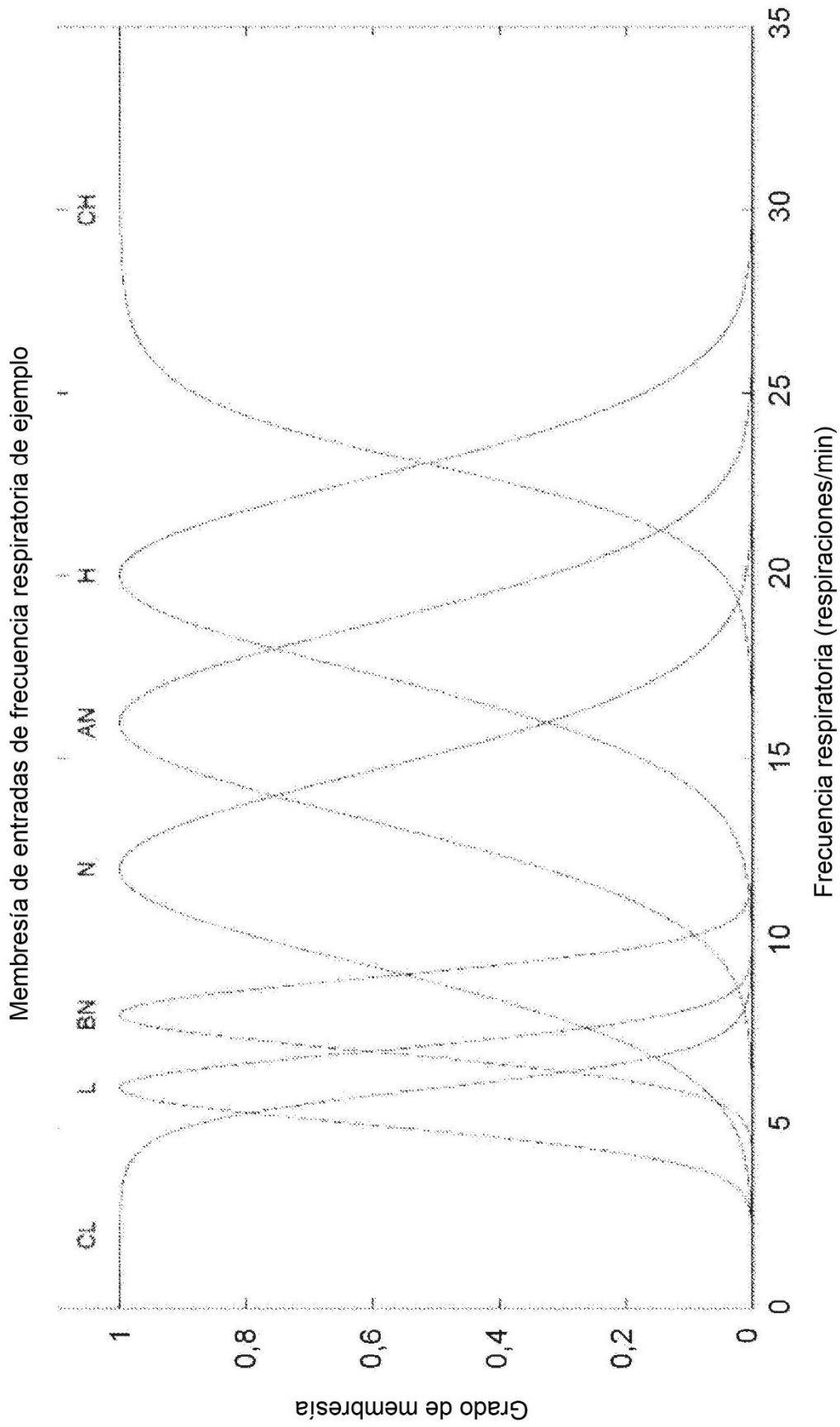


Fig. 9

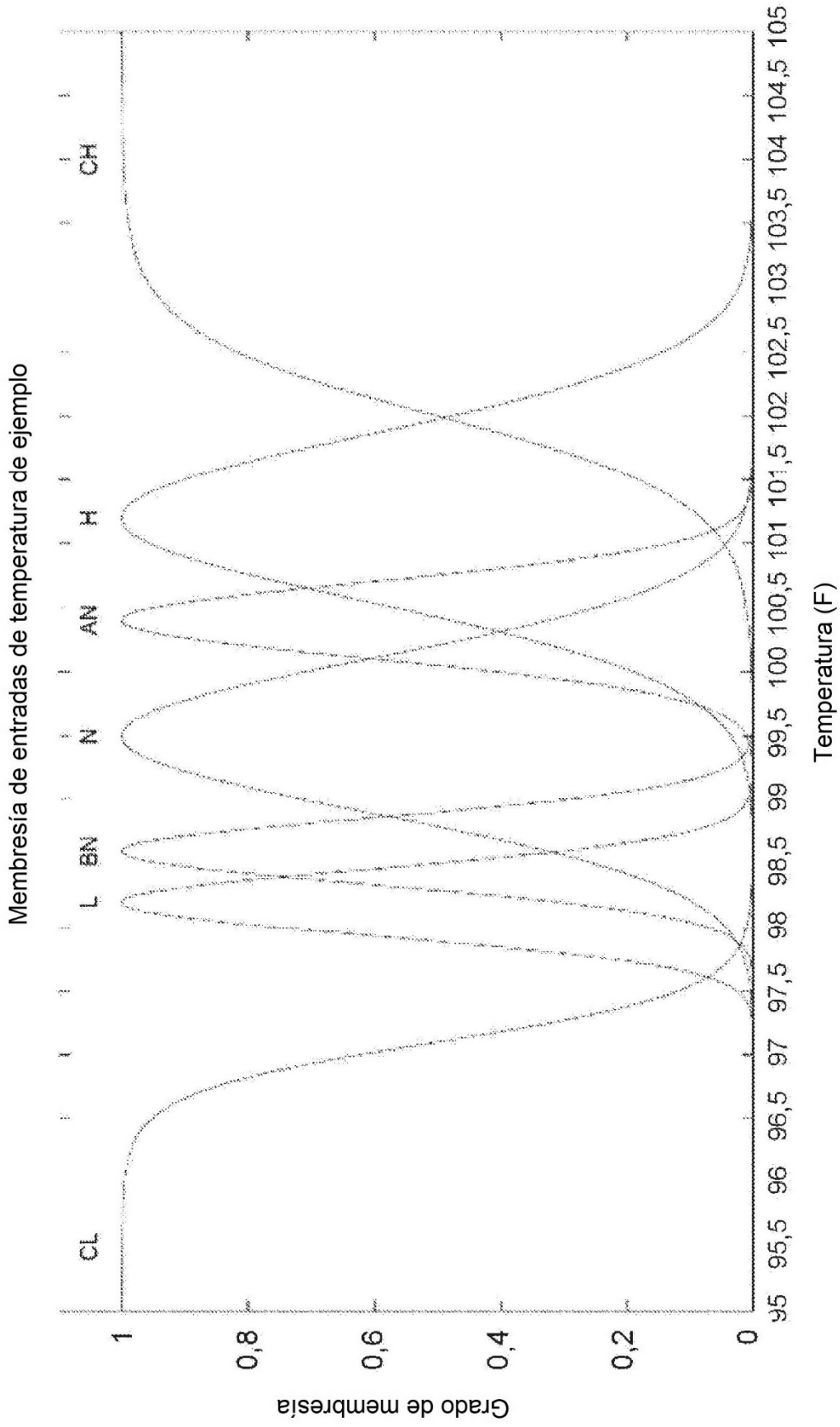


Fig. 10

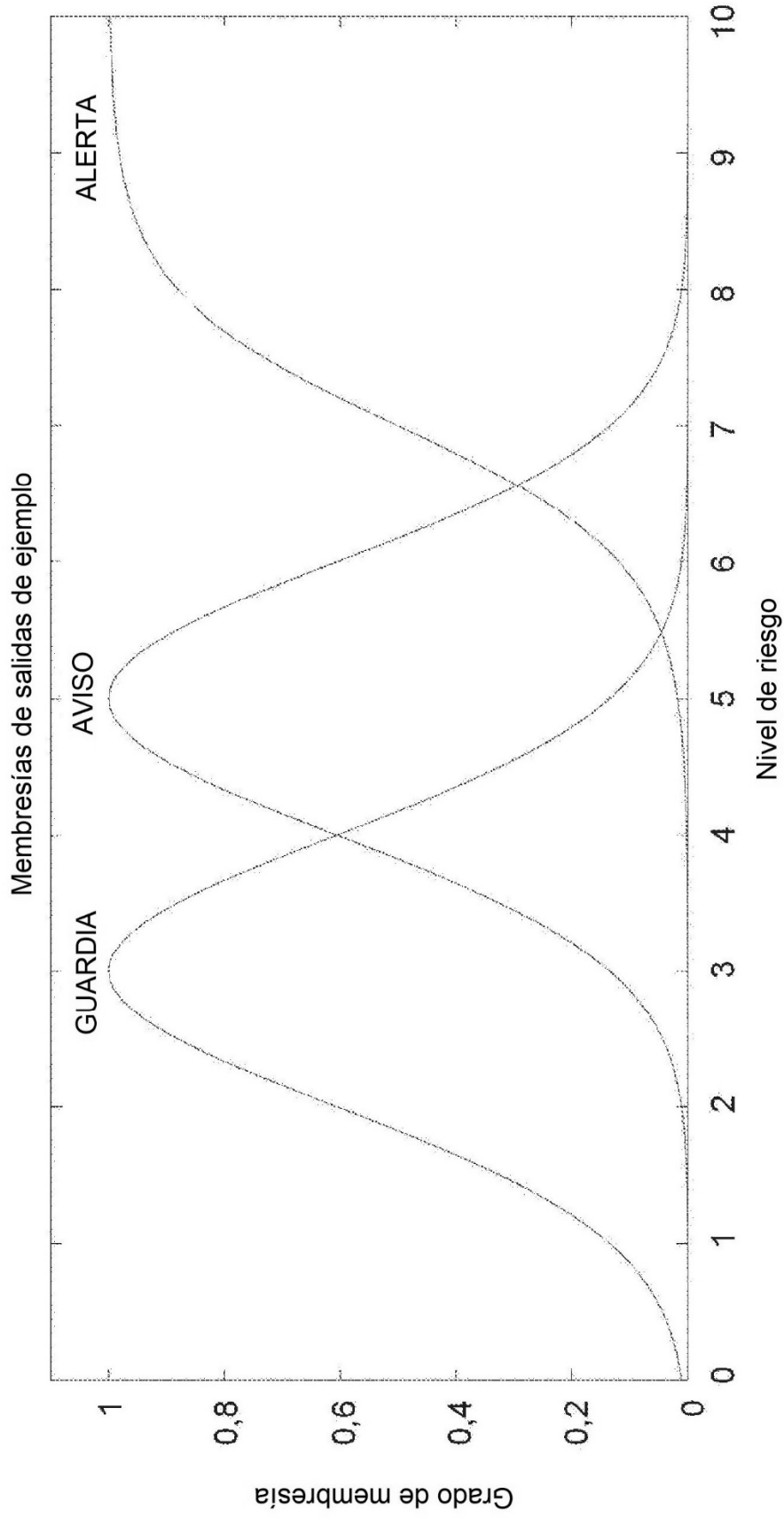


Fig. 11

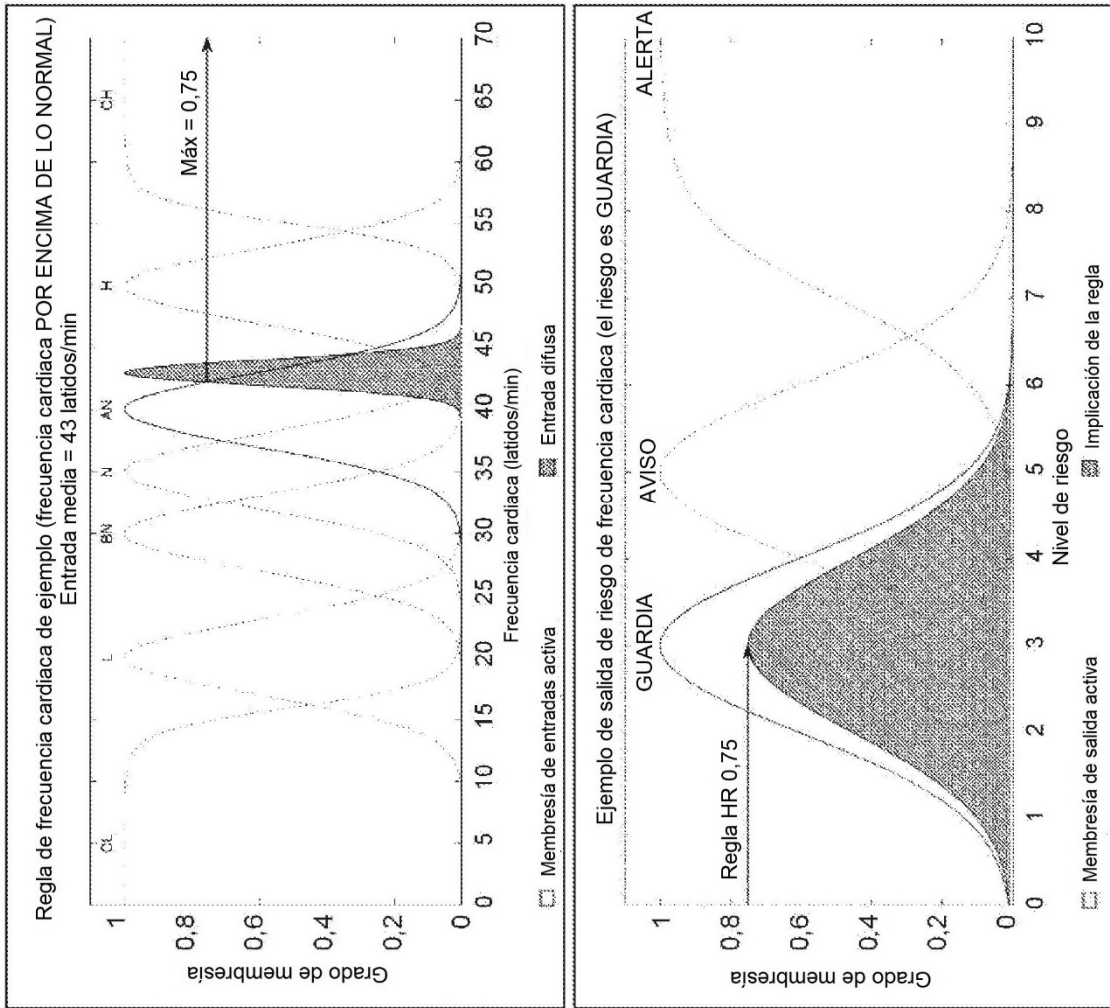


Fig. 12

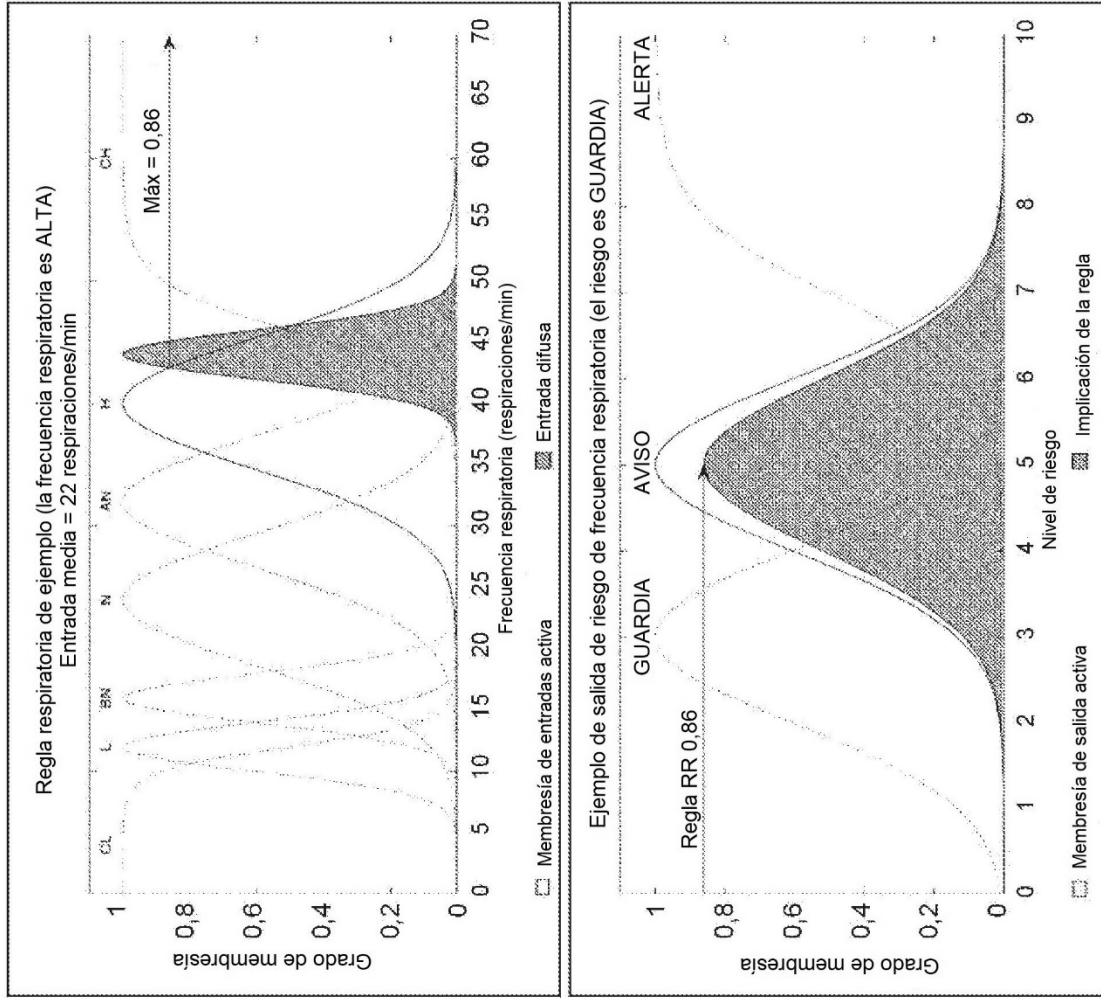


Fig. 13

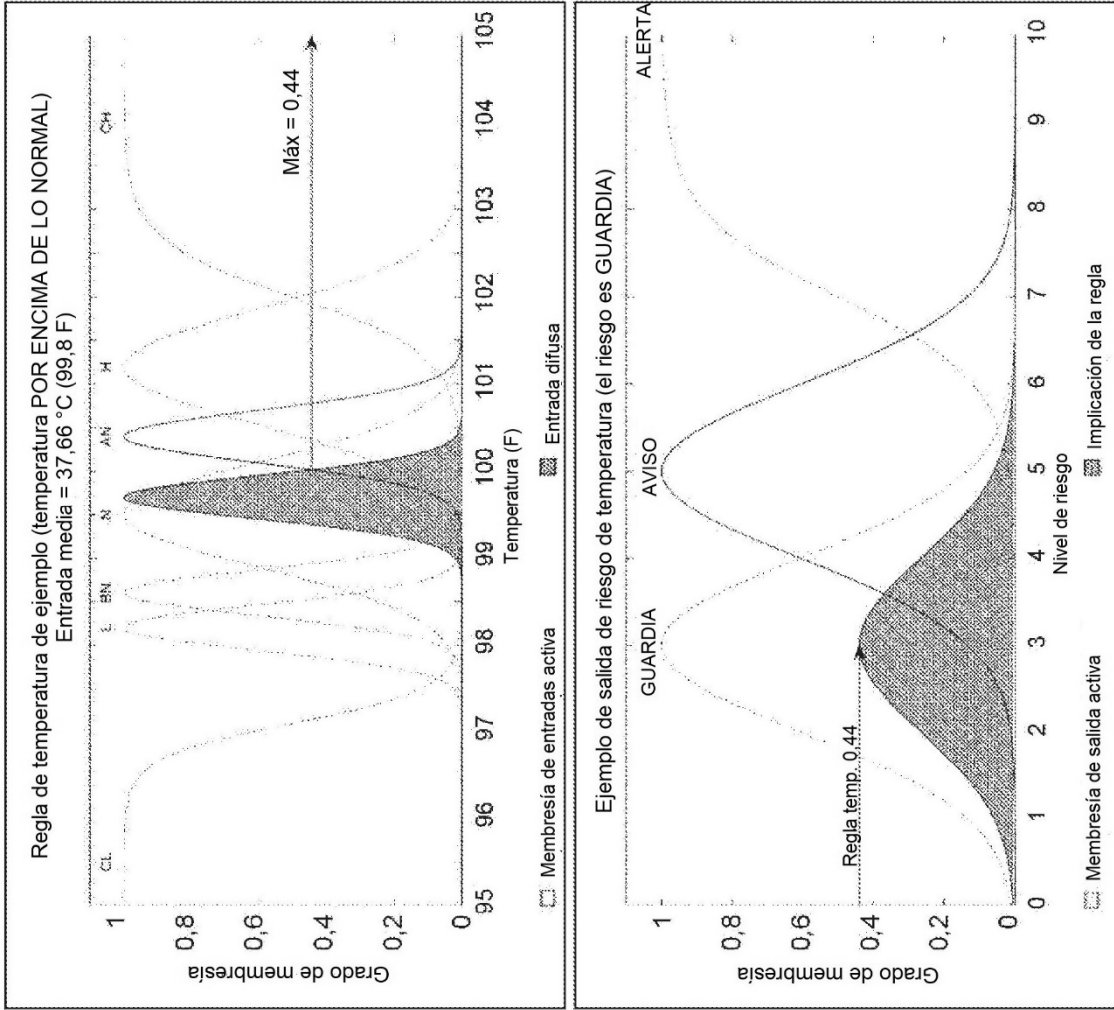


Fig. 14

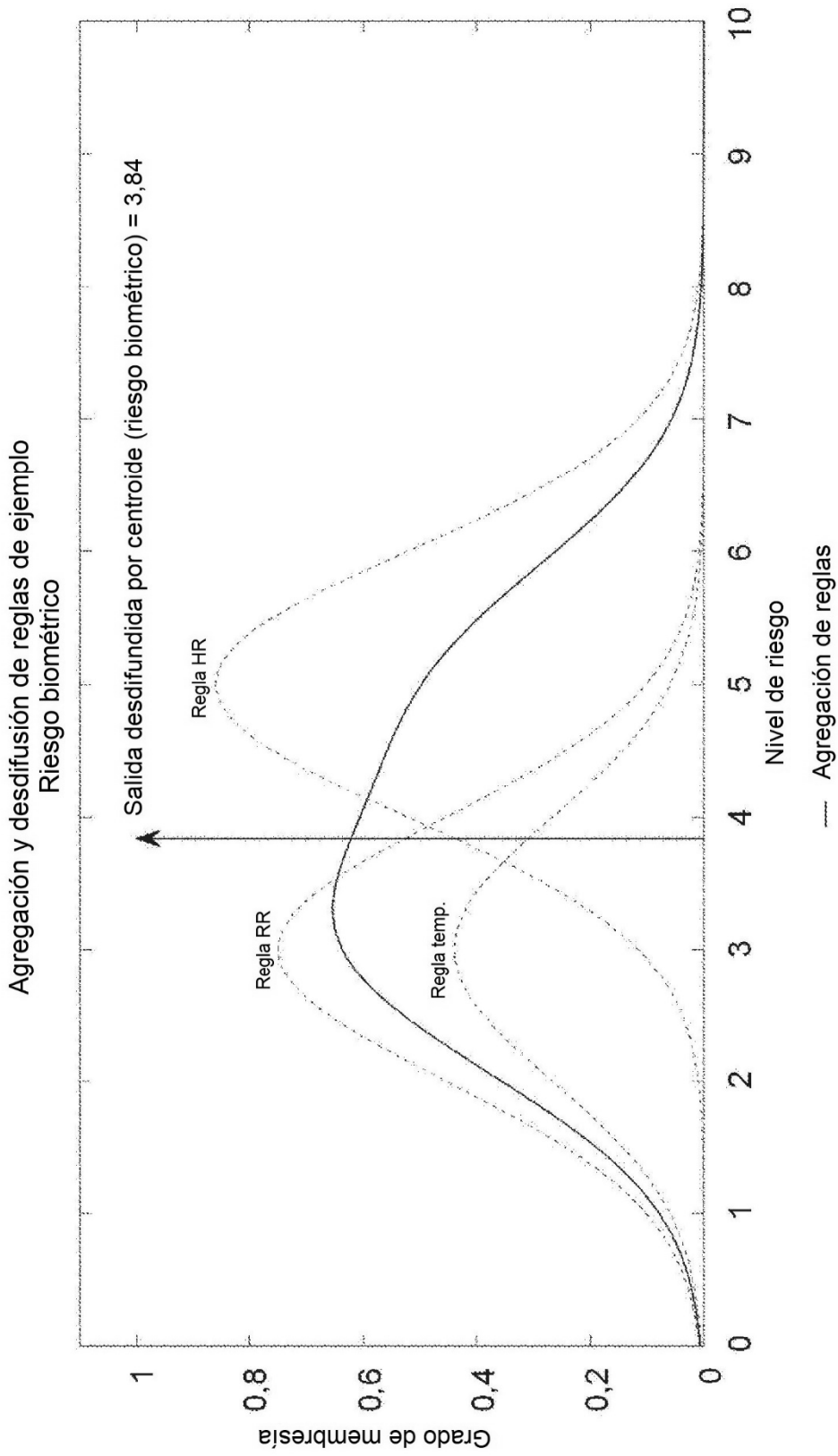


Fig. 15

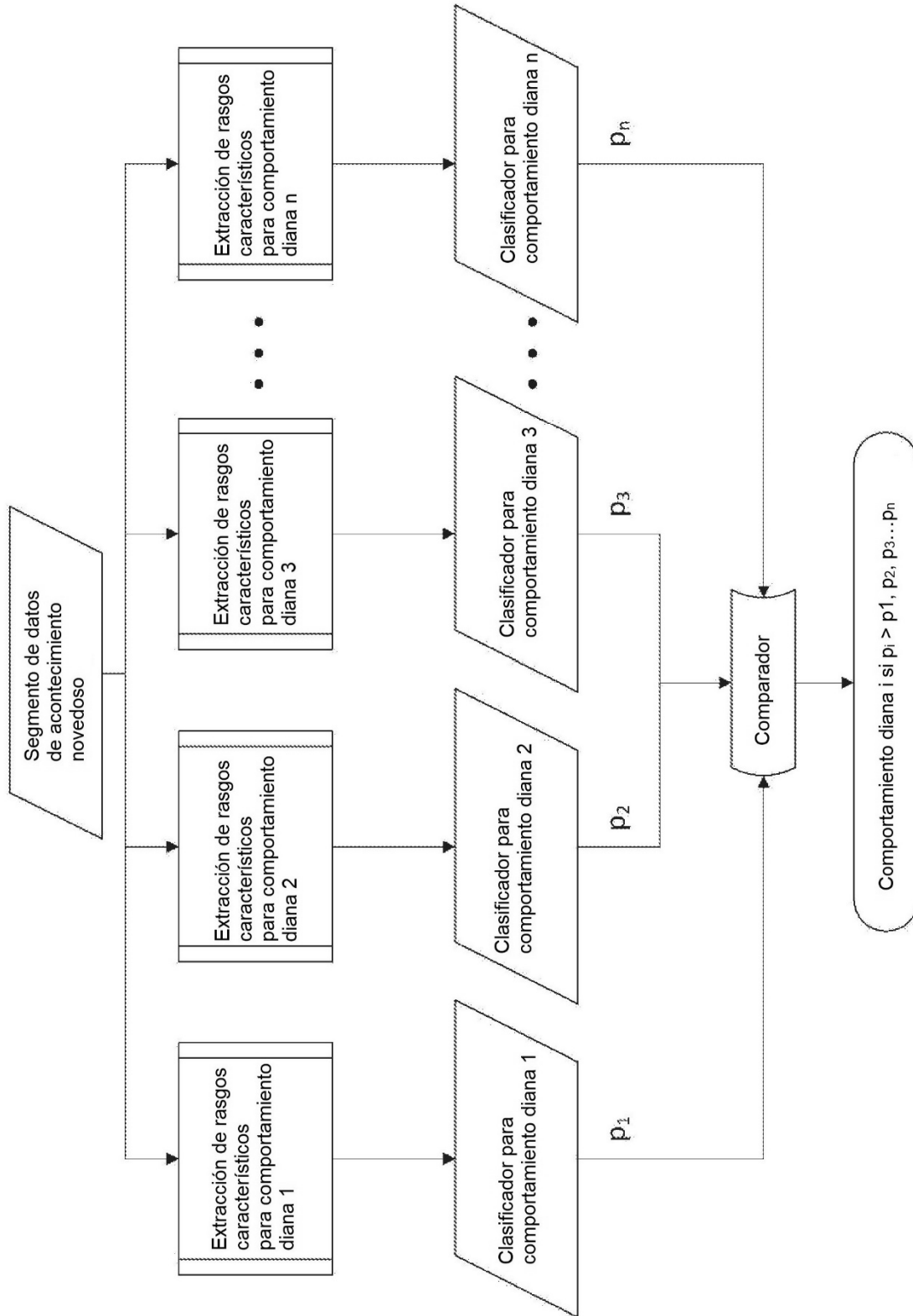


Fig. 16A

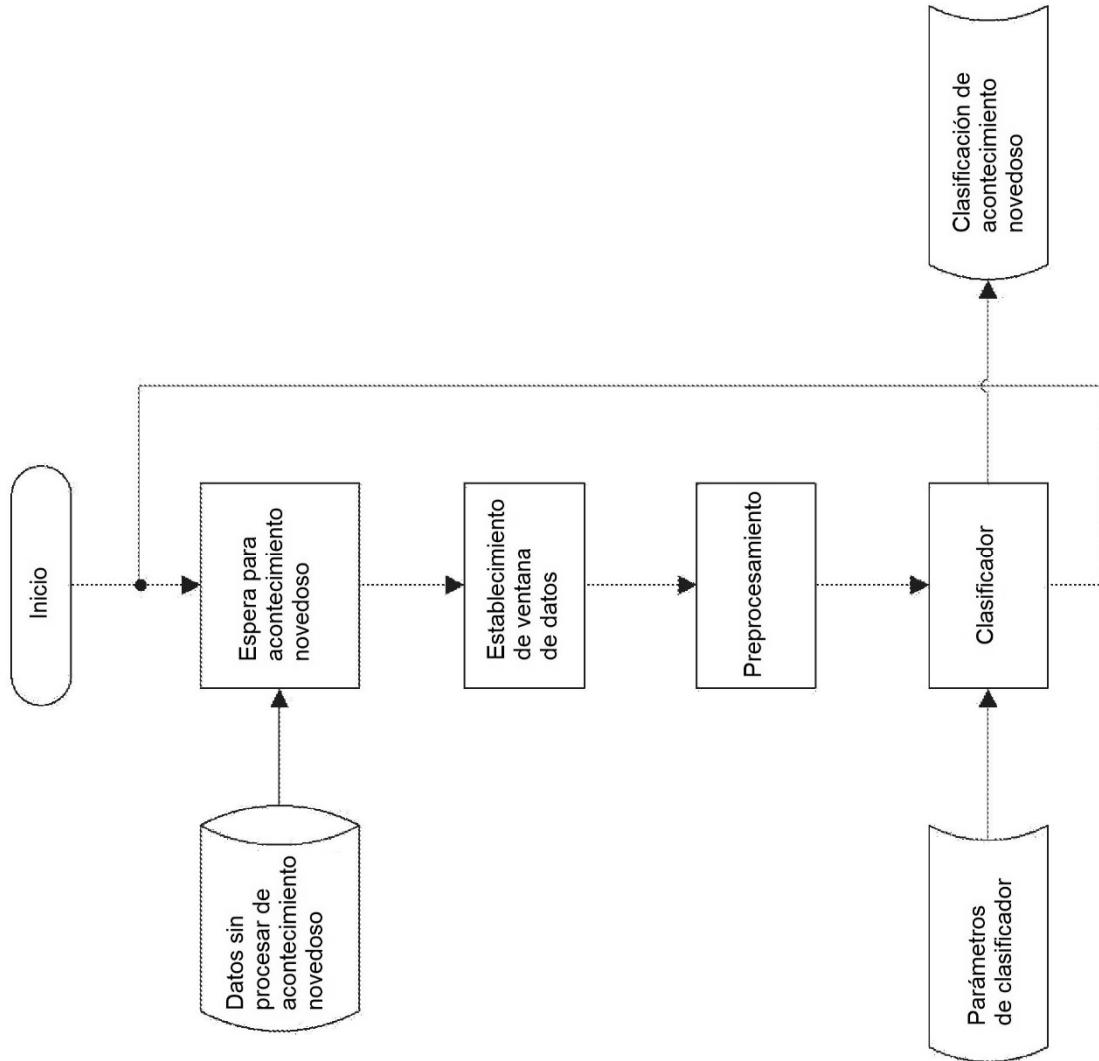


Fig. 16B

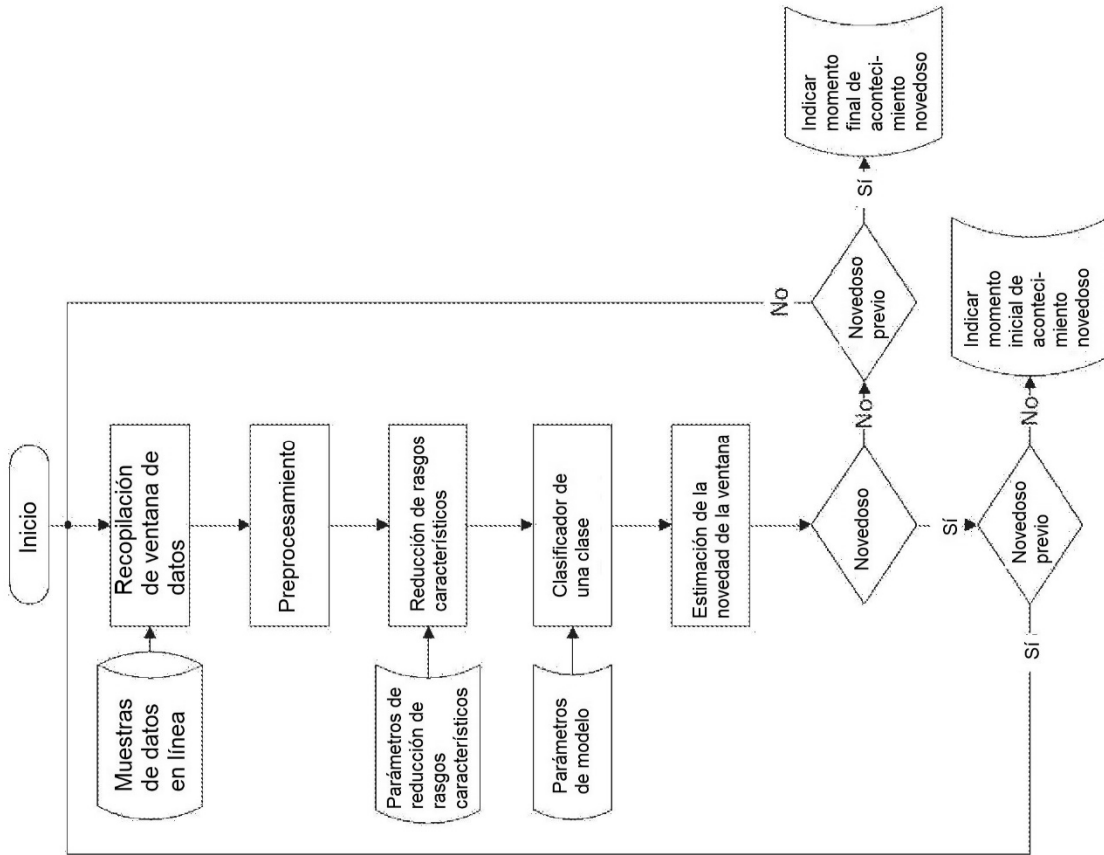


Fig. 17A

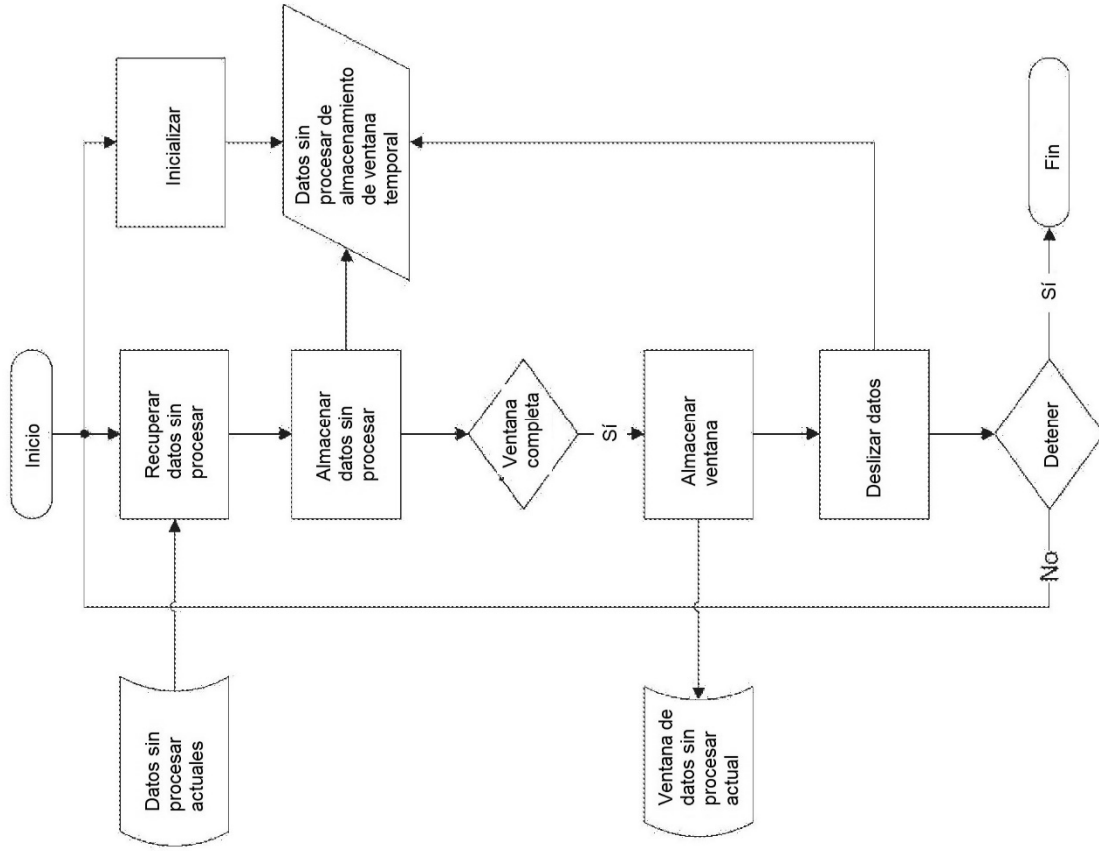


Fig. 17B

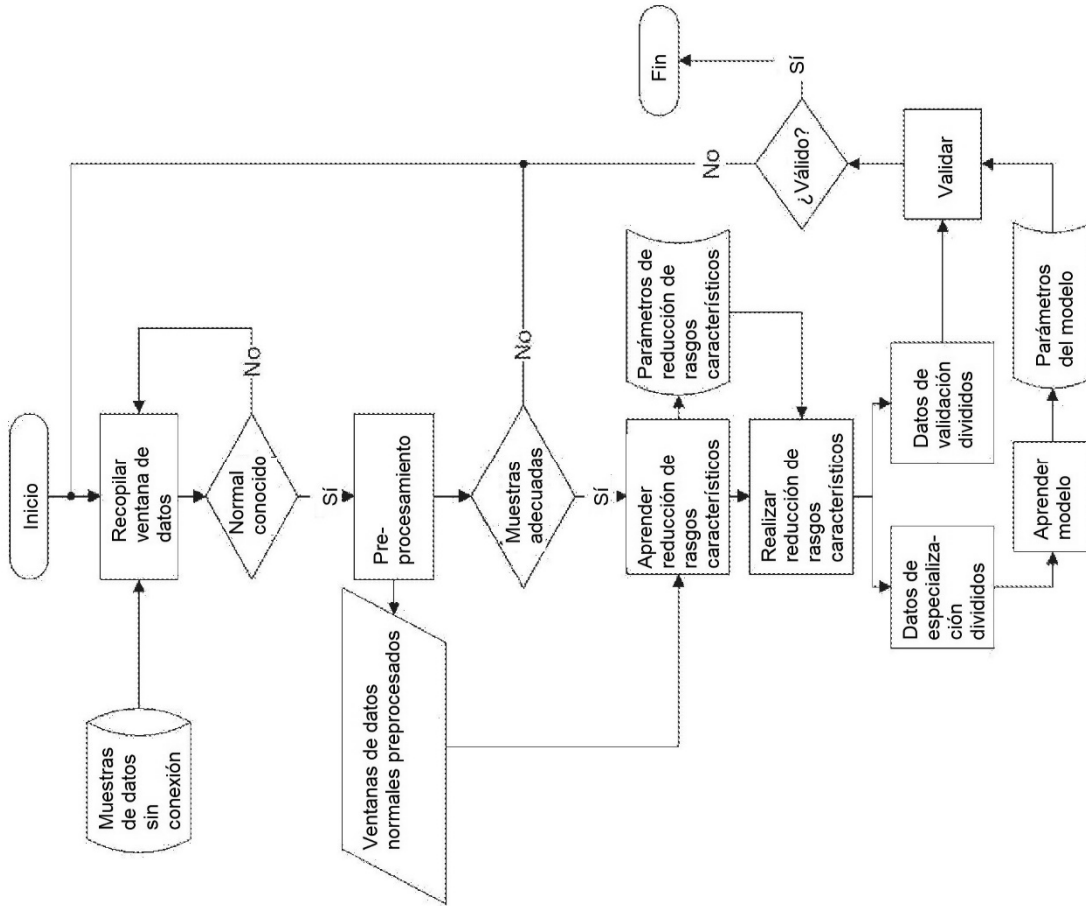


Fig. 17C

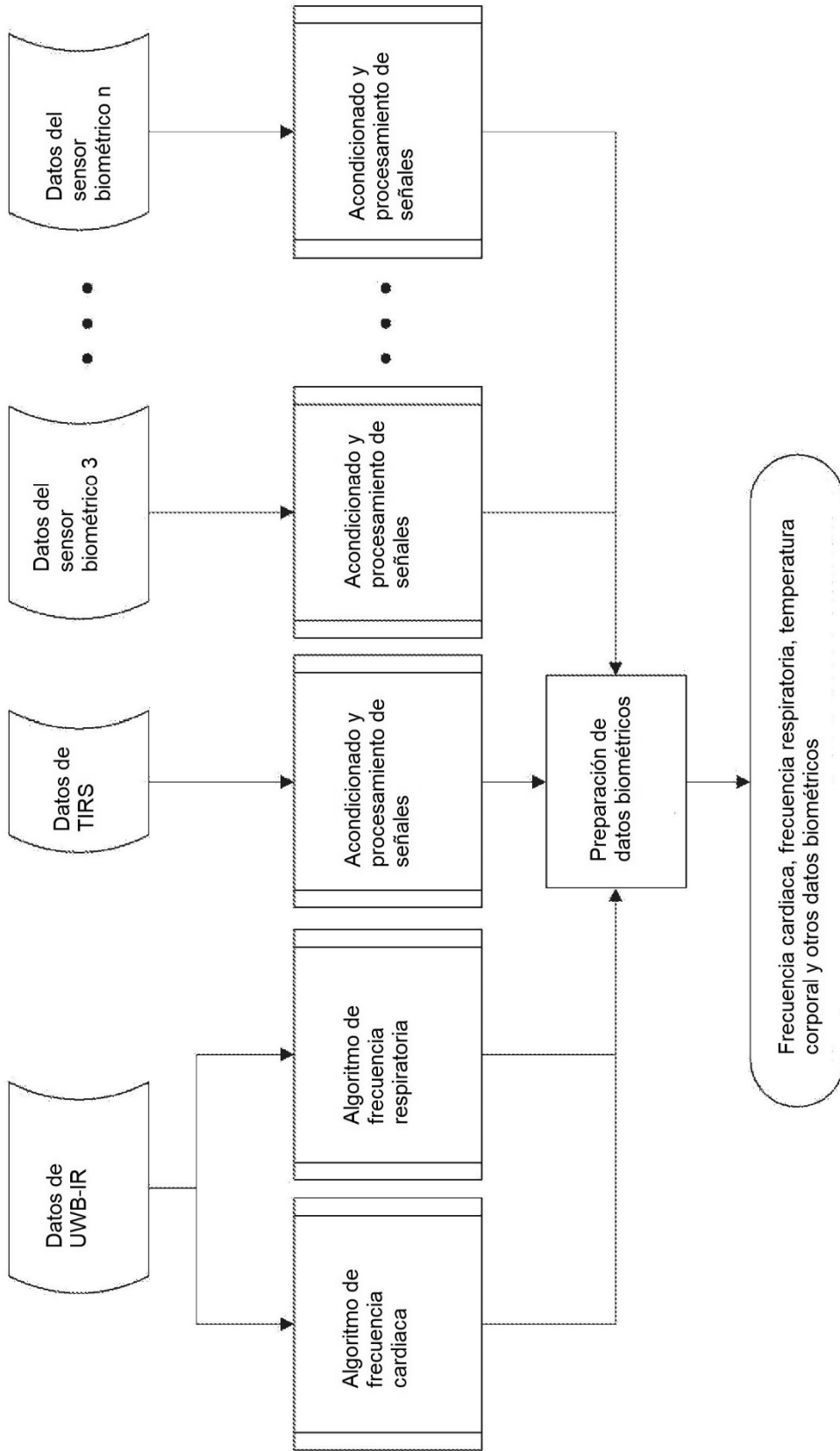


Fig. 18

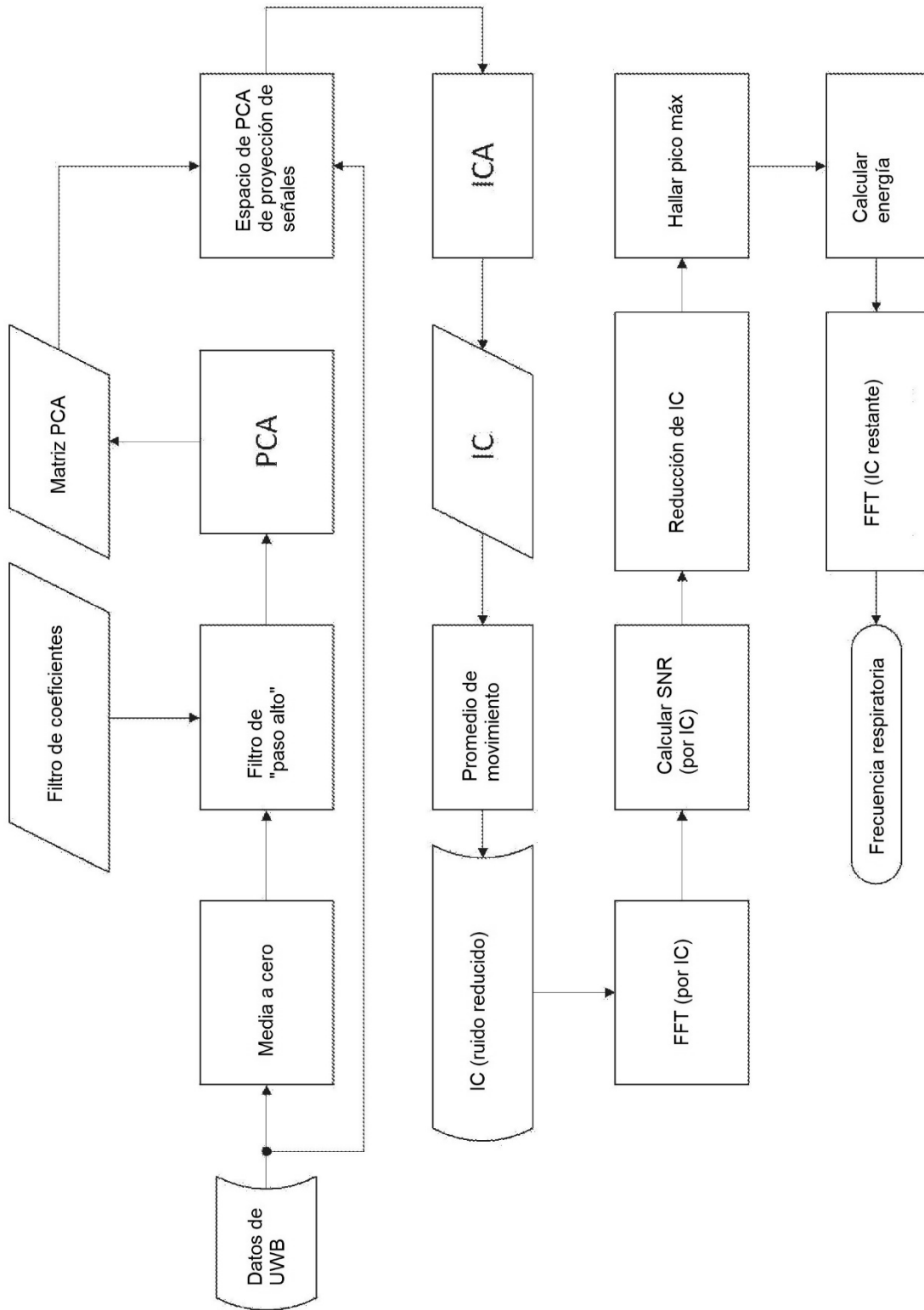


Fig. 19

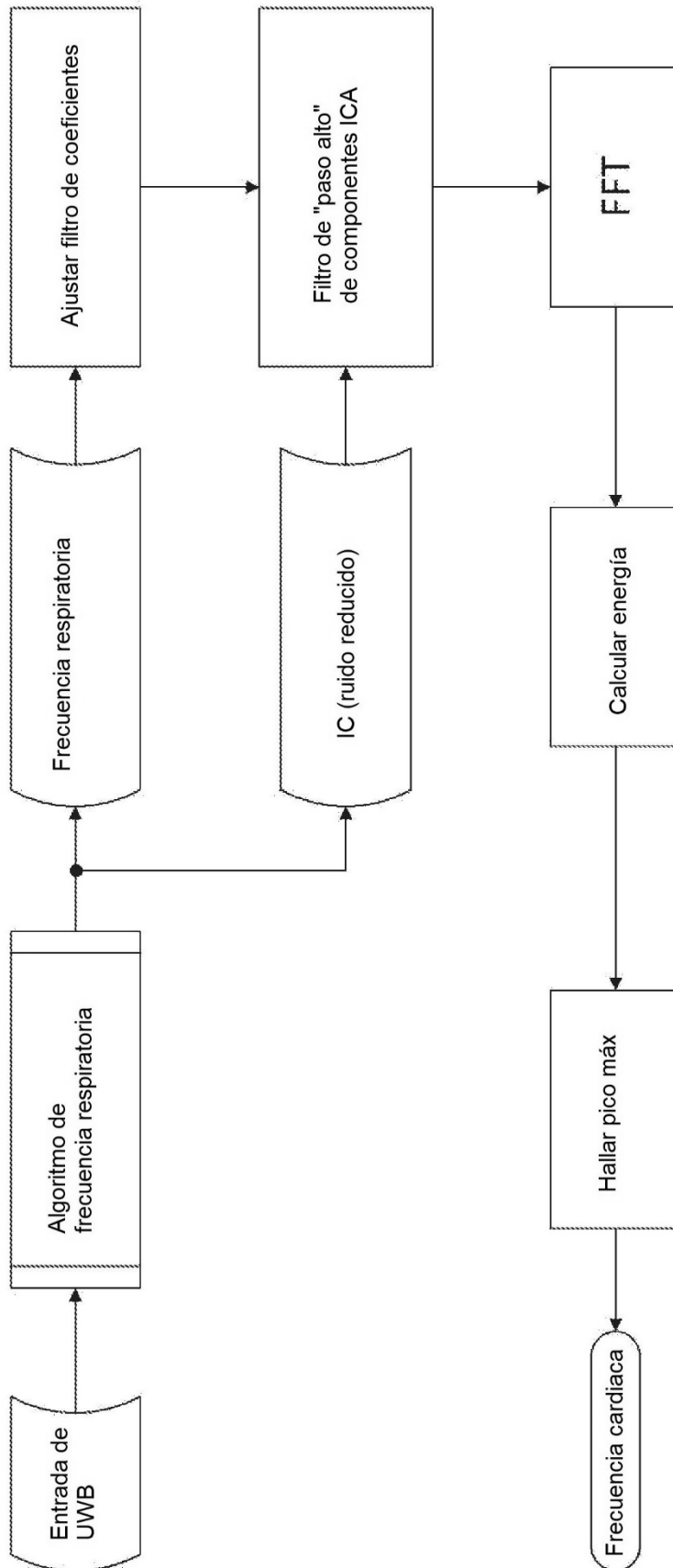


Fig. 20

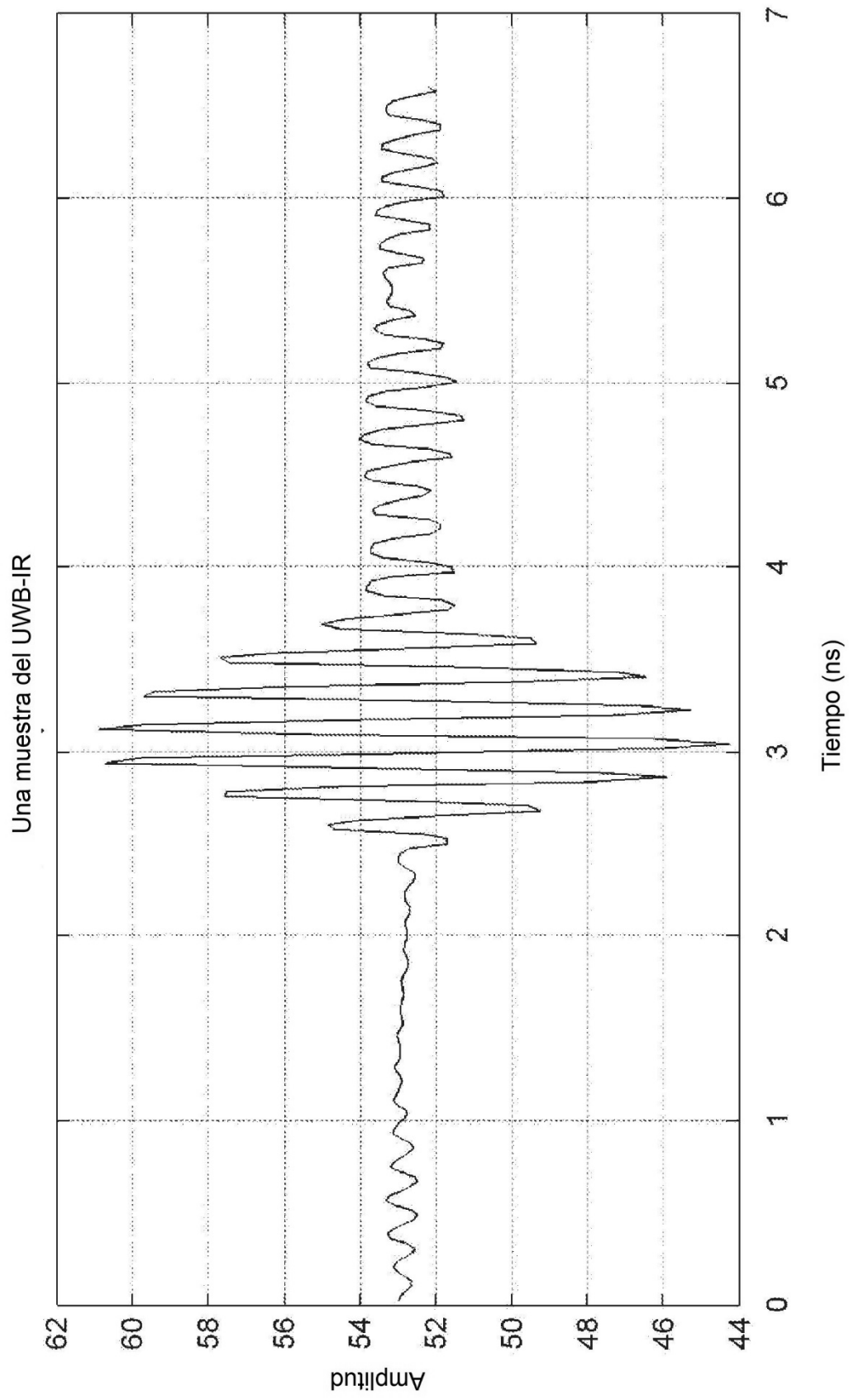


Fig. 21A

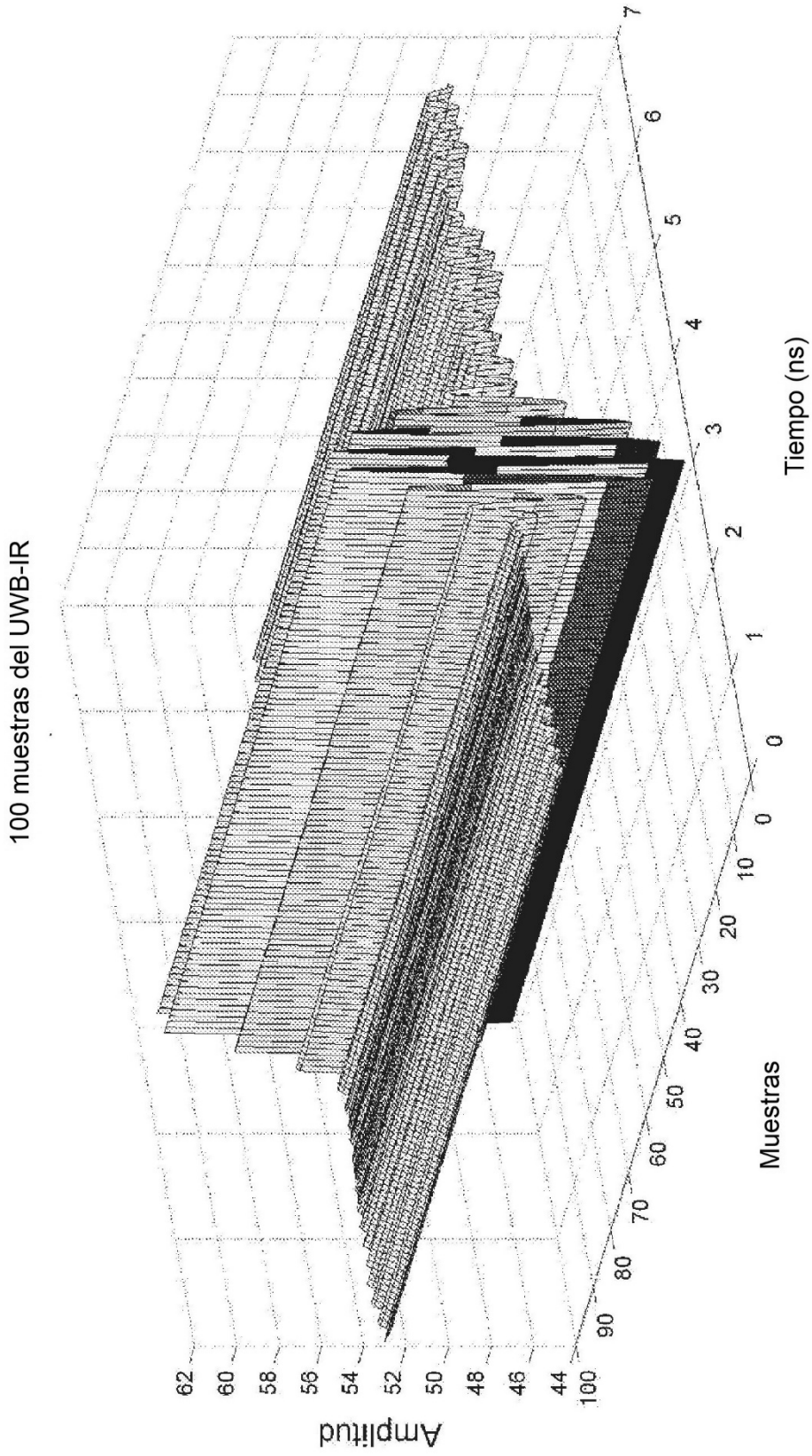


Fig. 21B

Datos de ritmo filtrados y con media eliminada (100 muestras)

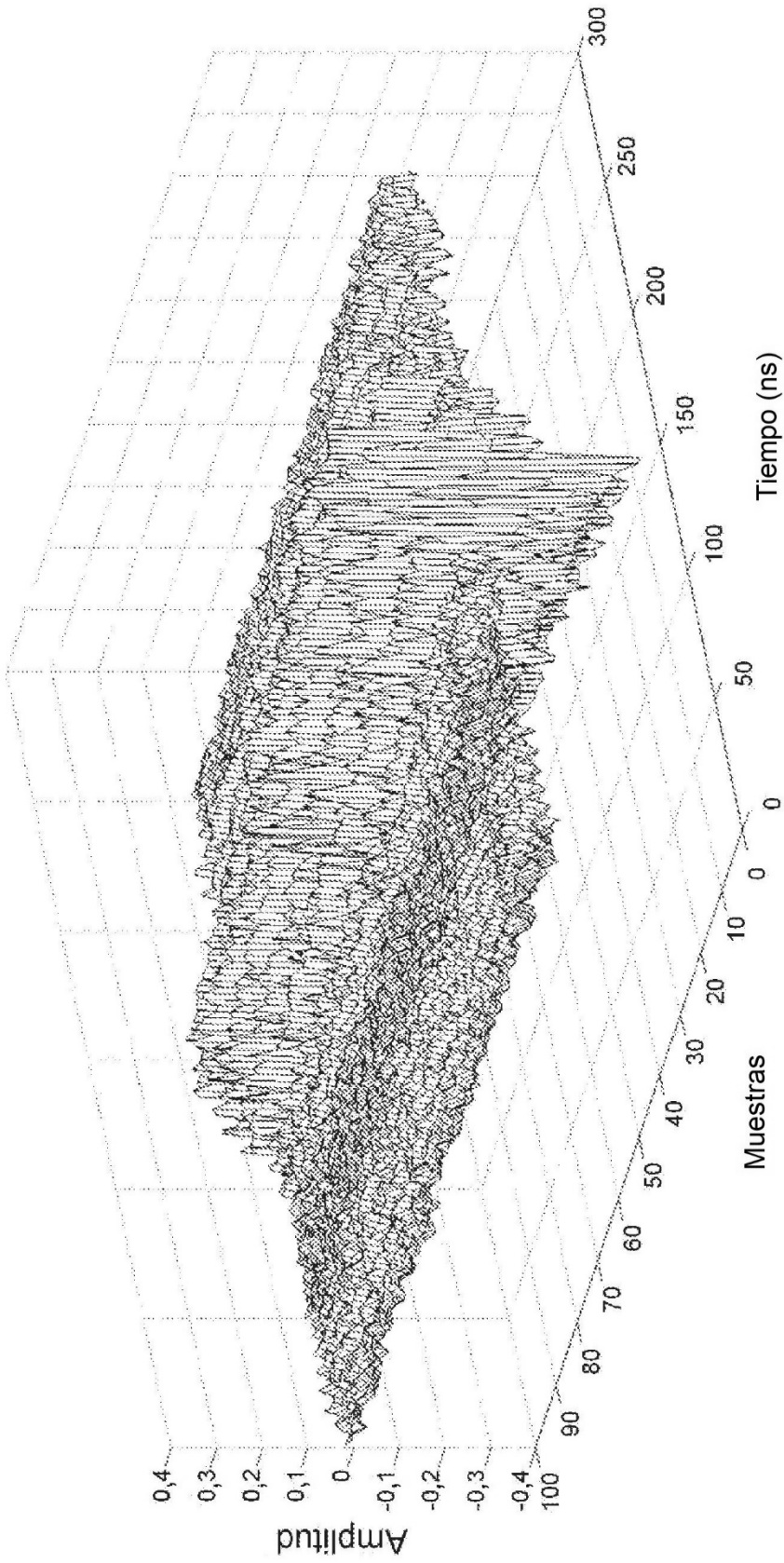


Fig. 21C

Datos de ritmo después de PCA (1000 muestras)

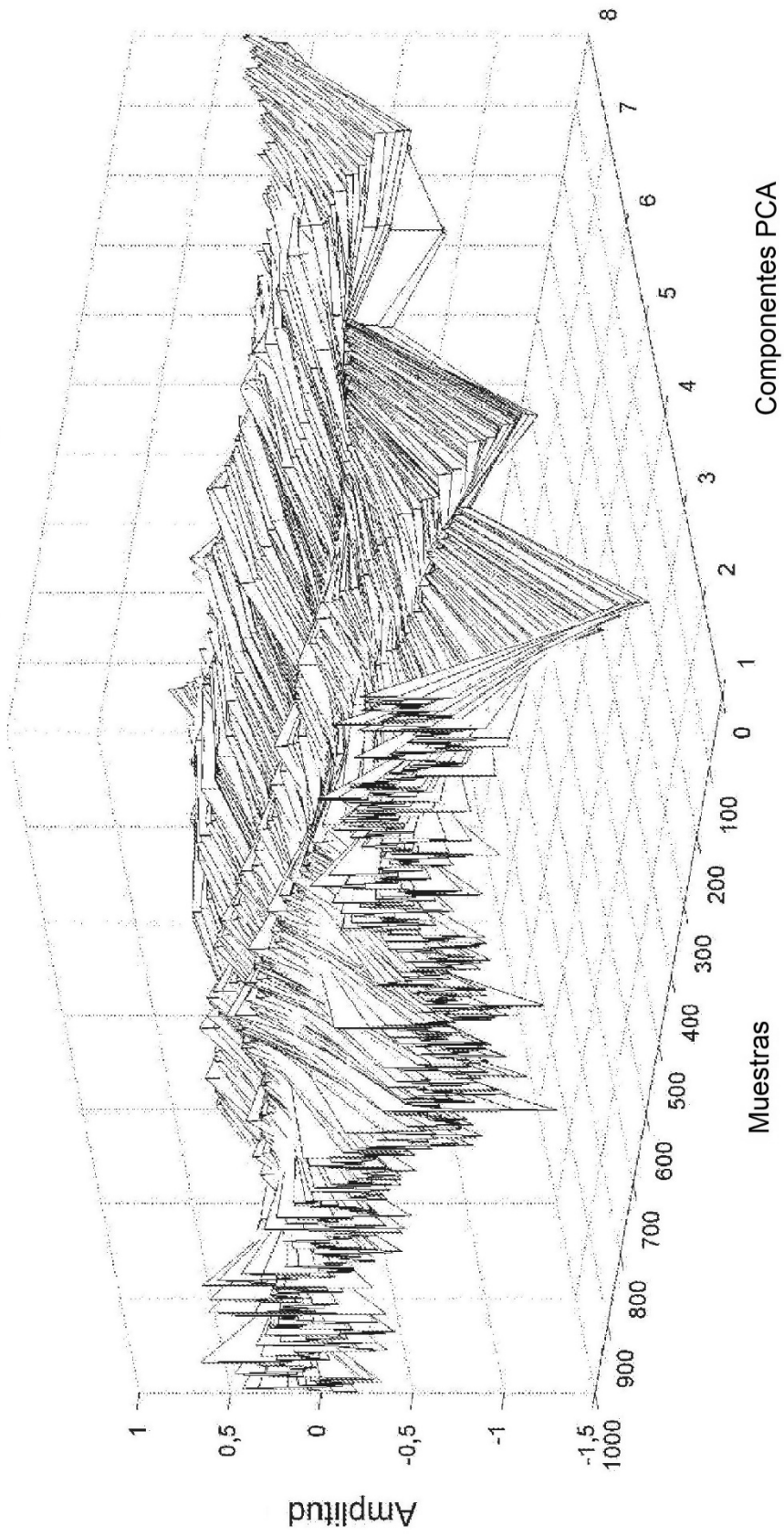


Fig. 21D

Datos de ritmo después de ICA (1000 muestras)

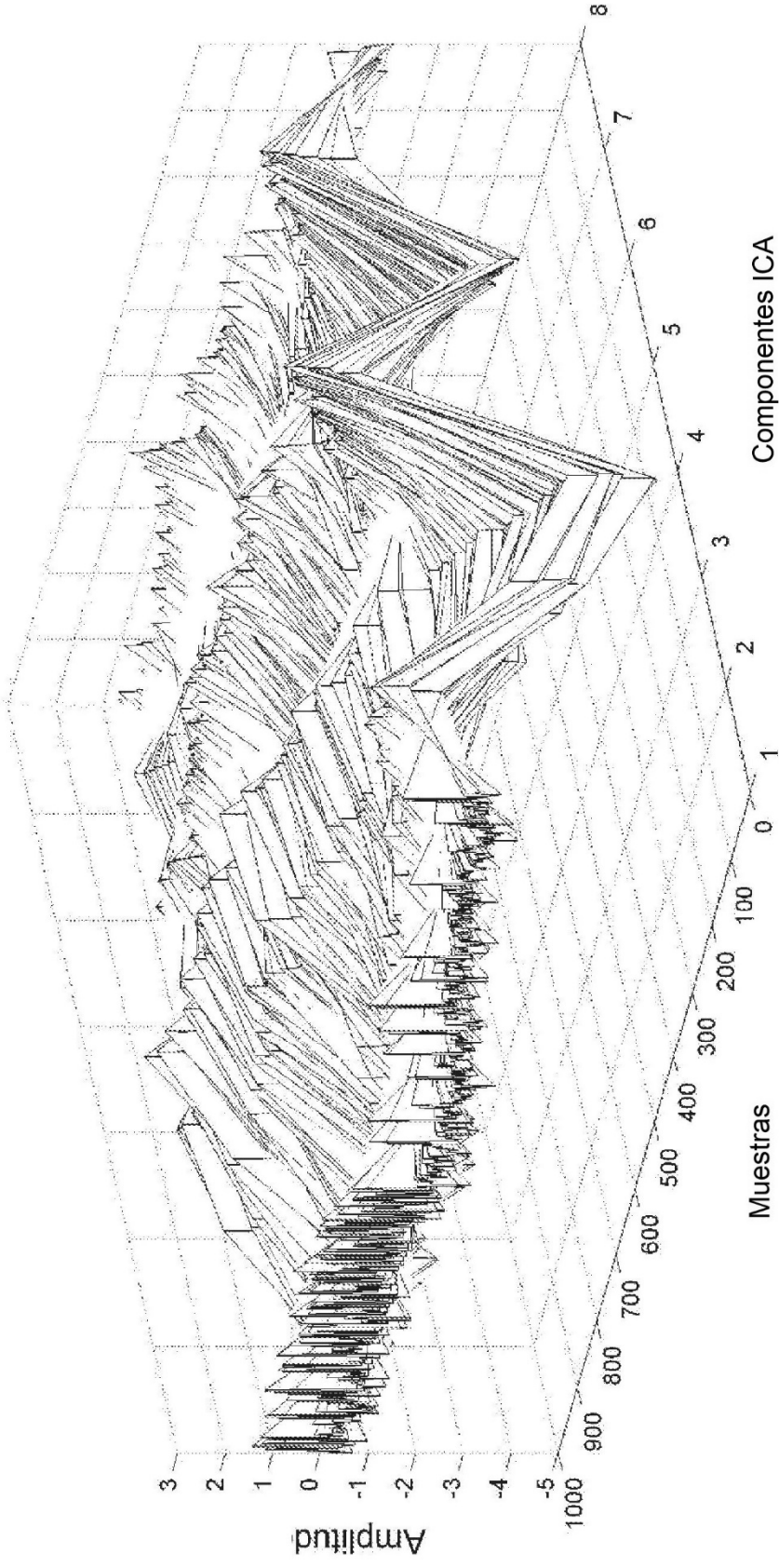


Fig. 21E

Datos de ritmo después de aplicar el promedio de movimiento al componente ICA (1000 muestras)

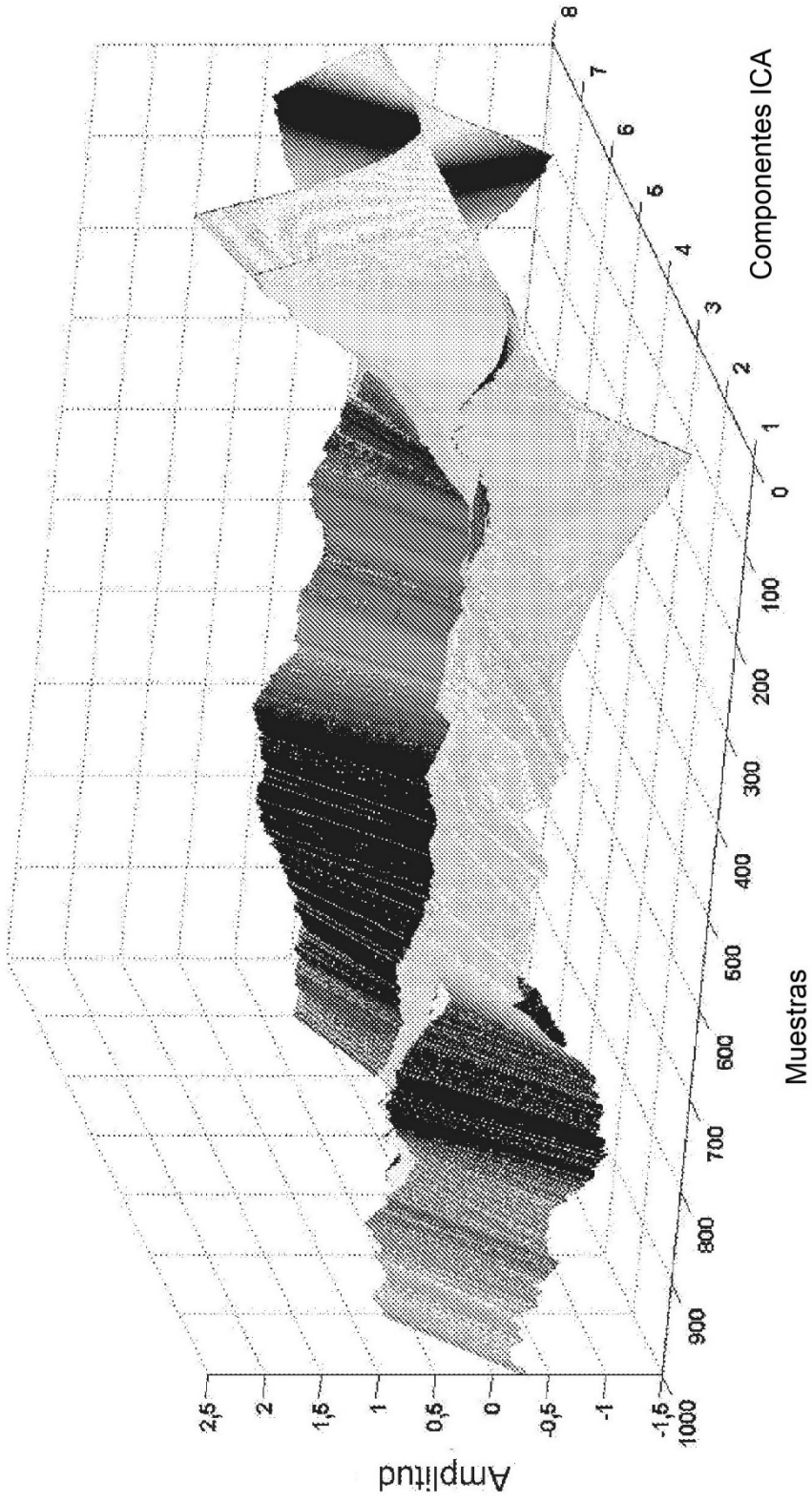


Fig. 21F

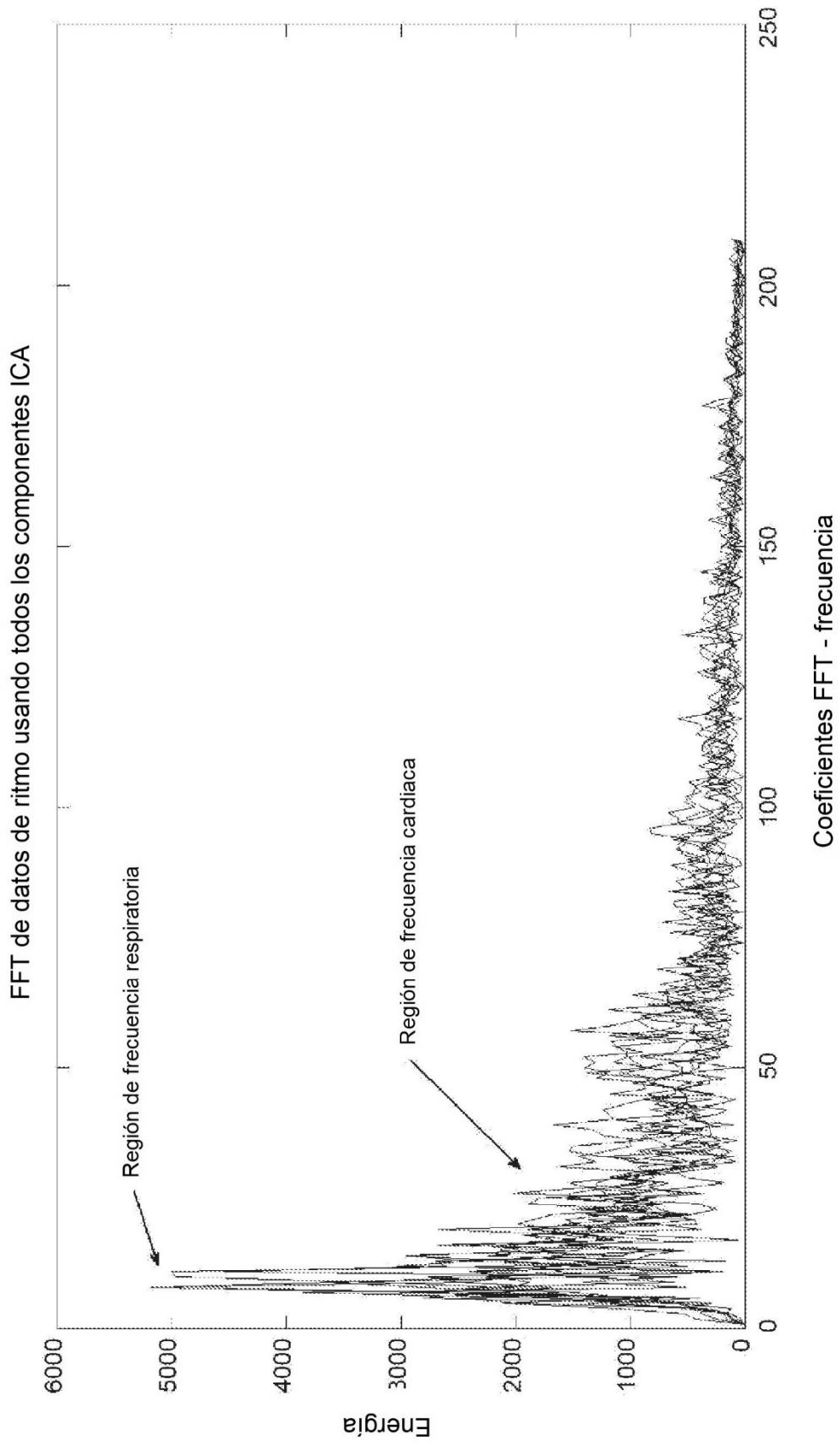


Fig. 22A

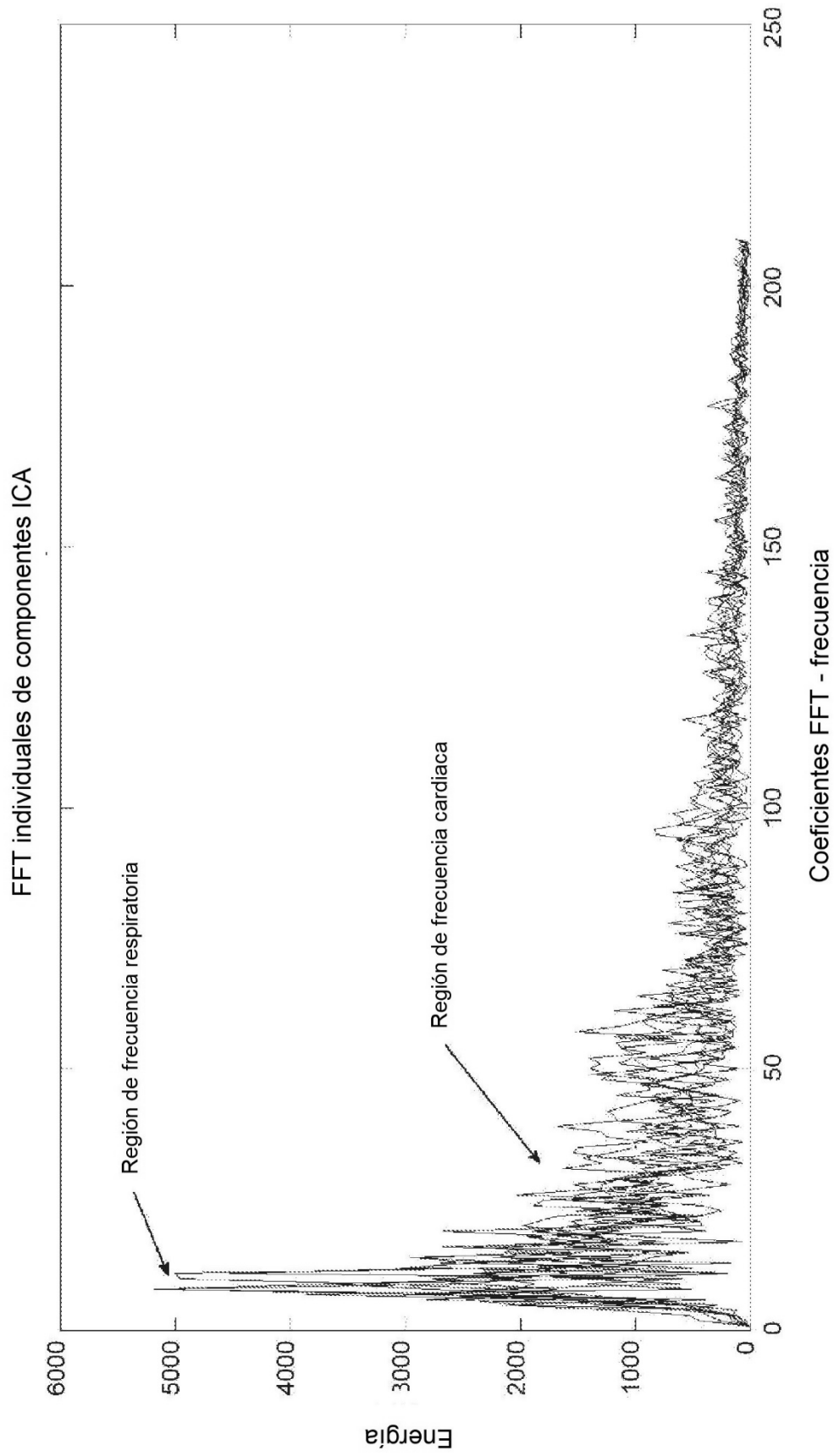


Fig. 22B

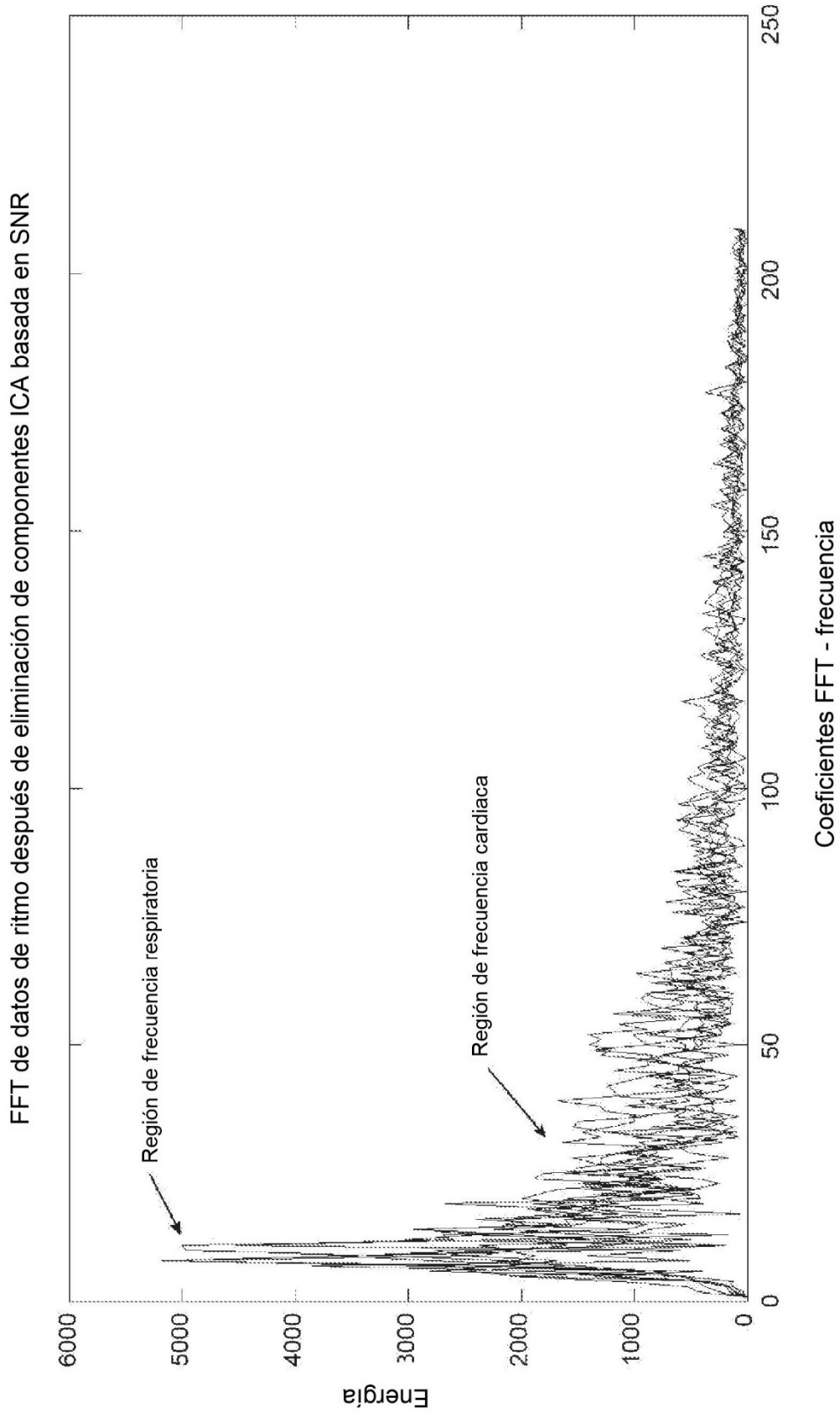


Fig. 22C

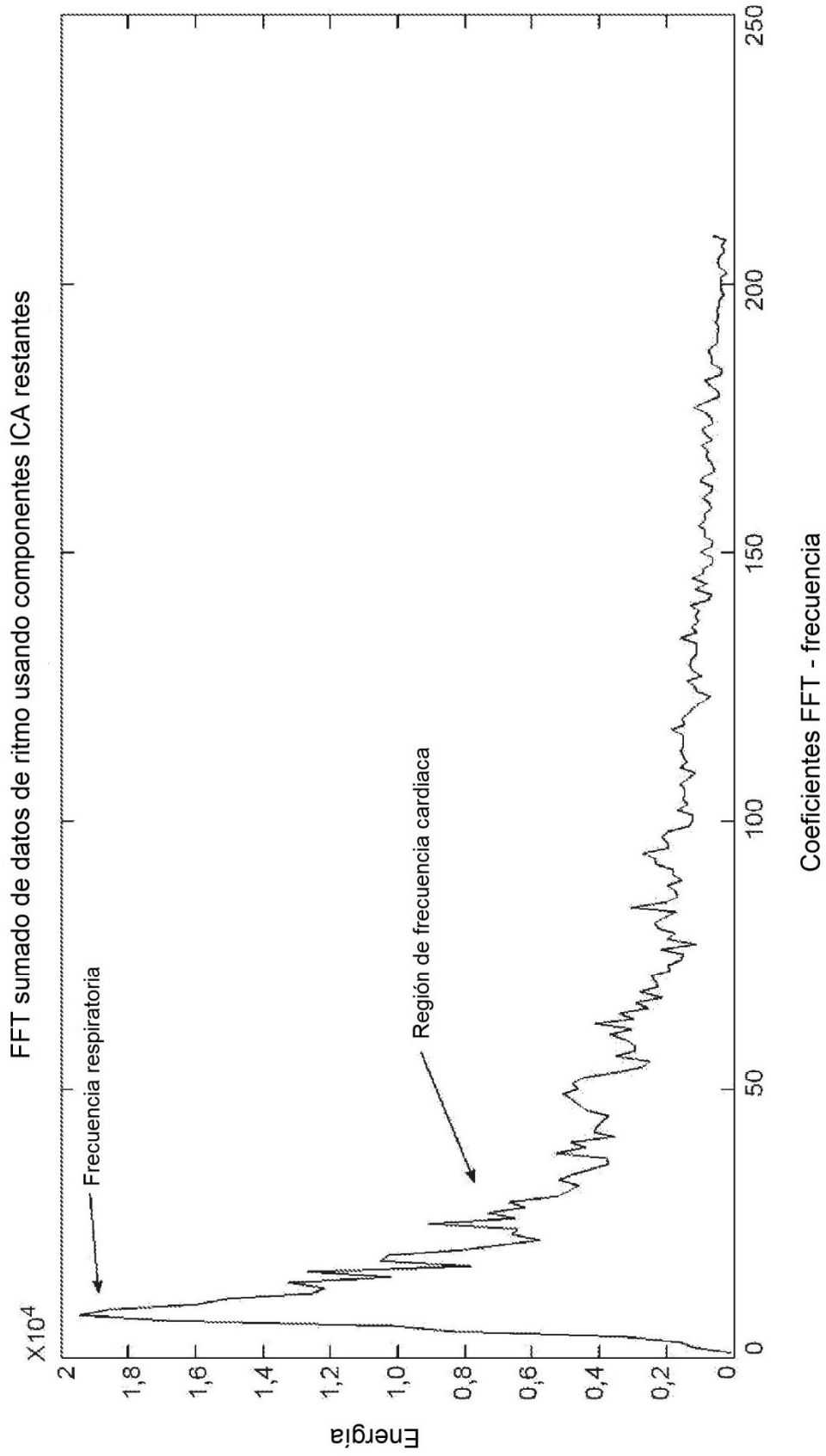


Fig. 22D

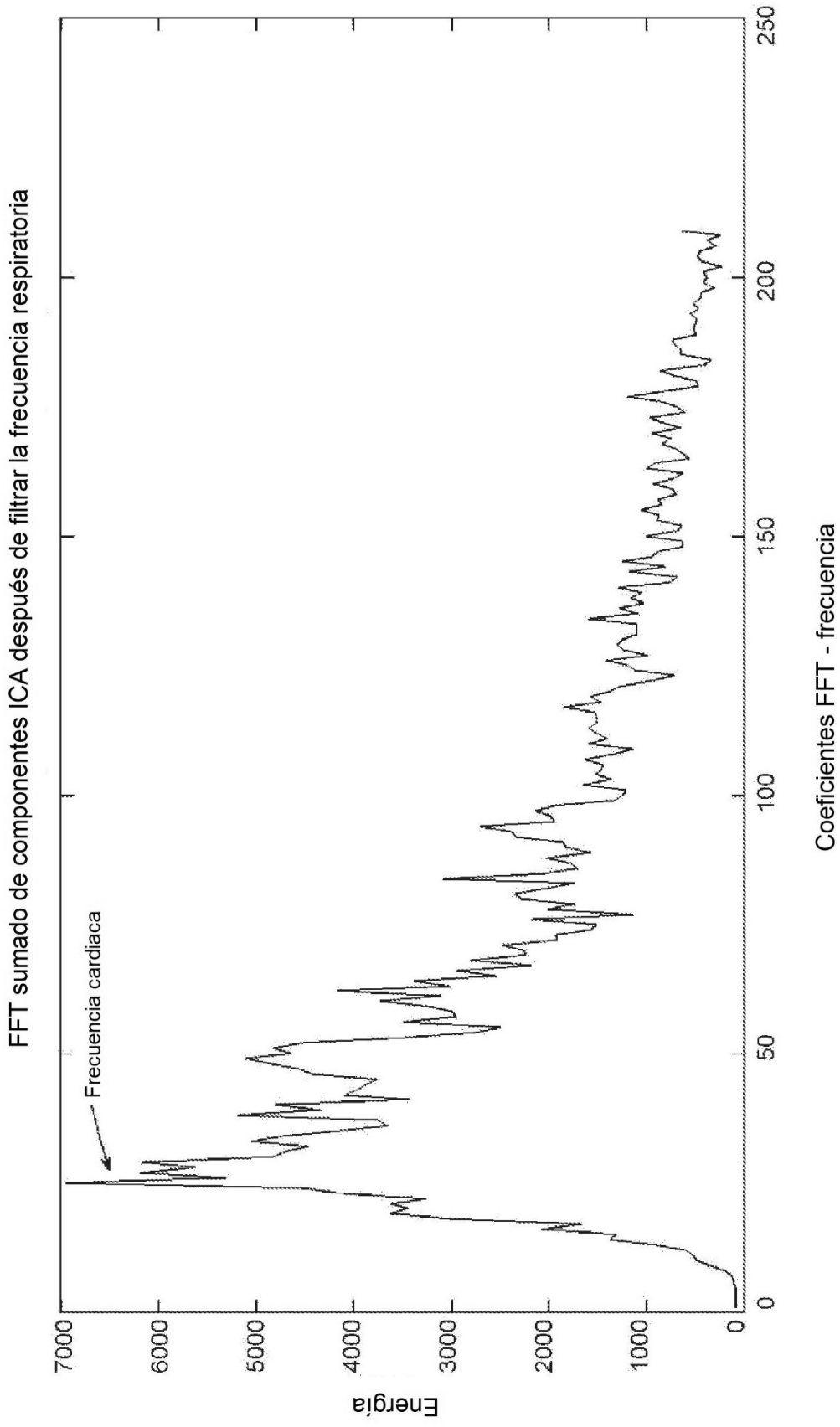


Fig. 23

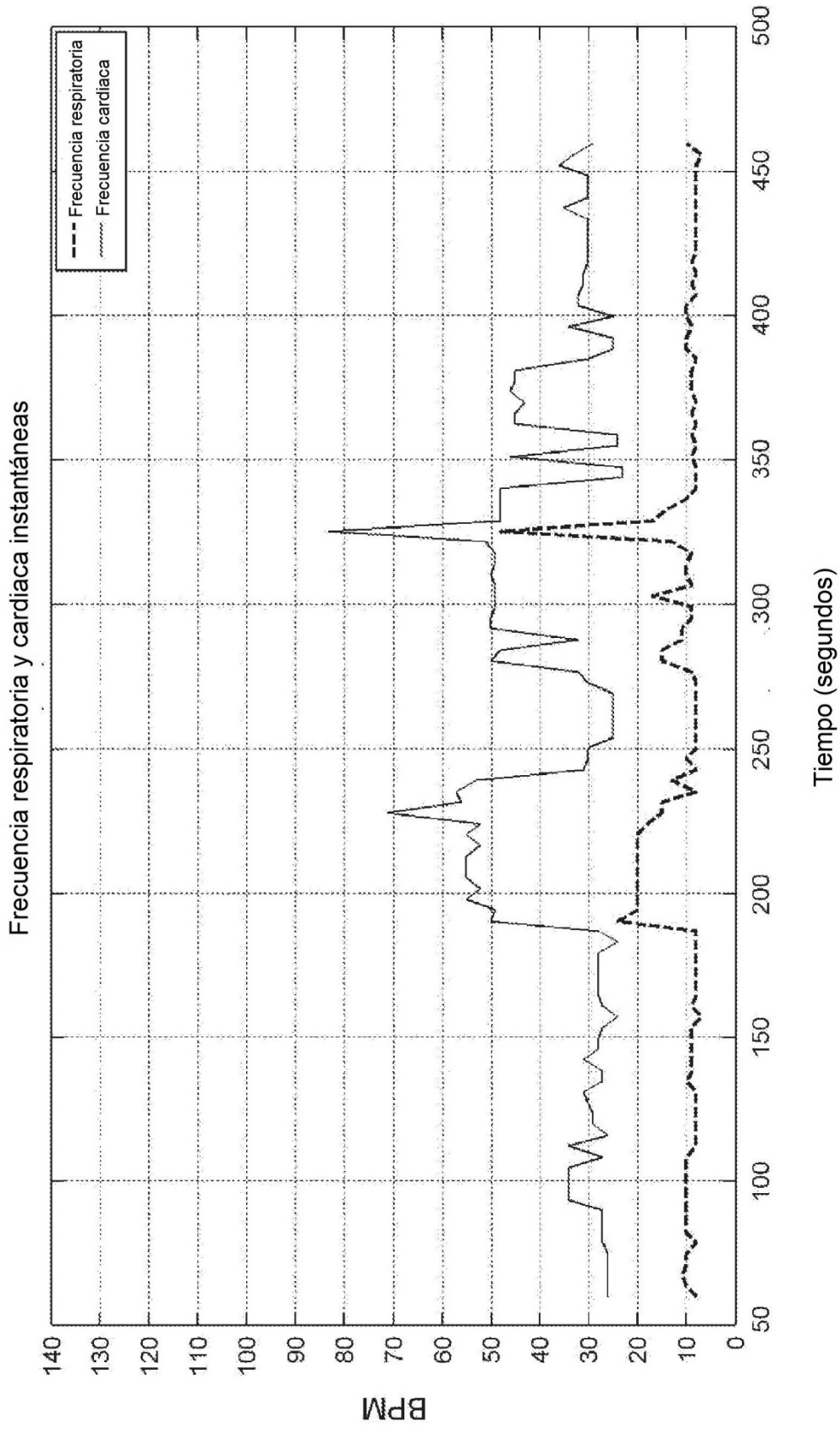


Fig. 24

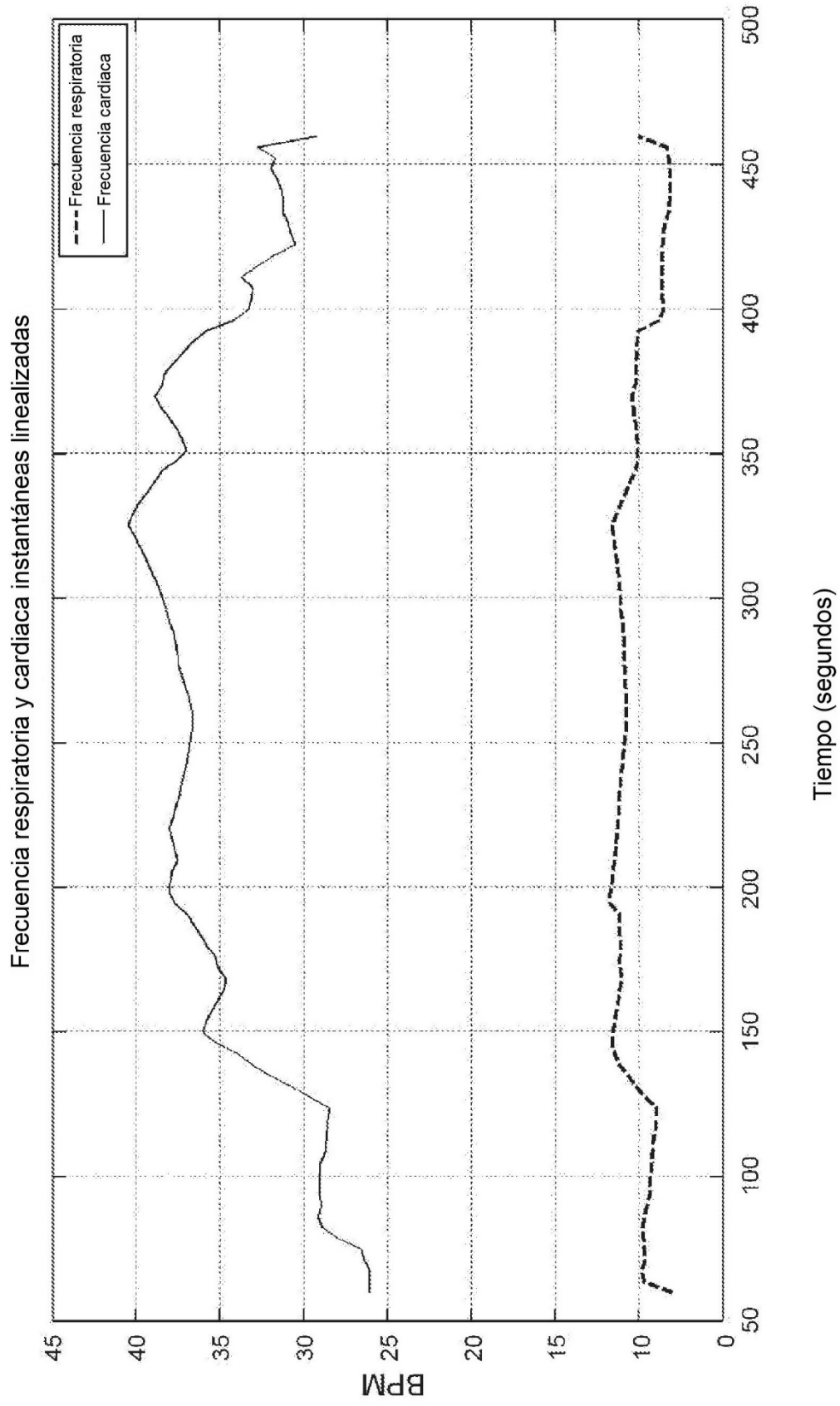


Fig. 25

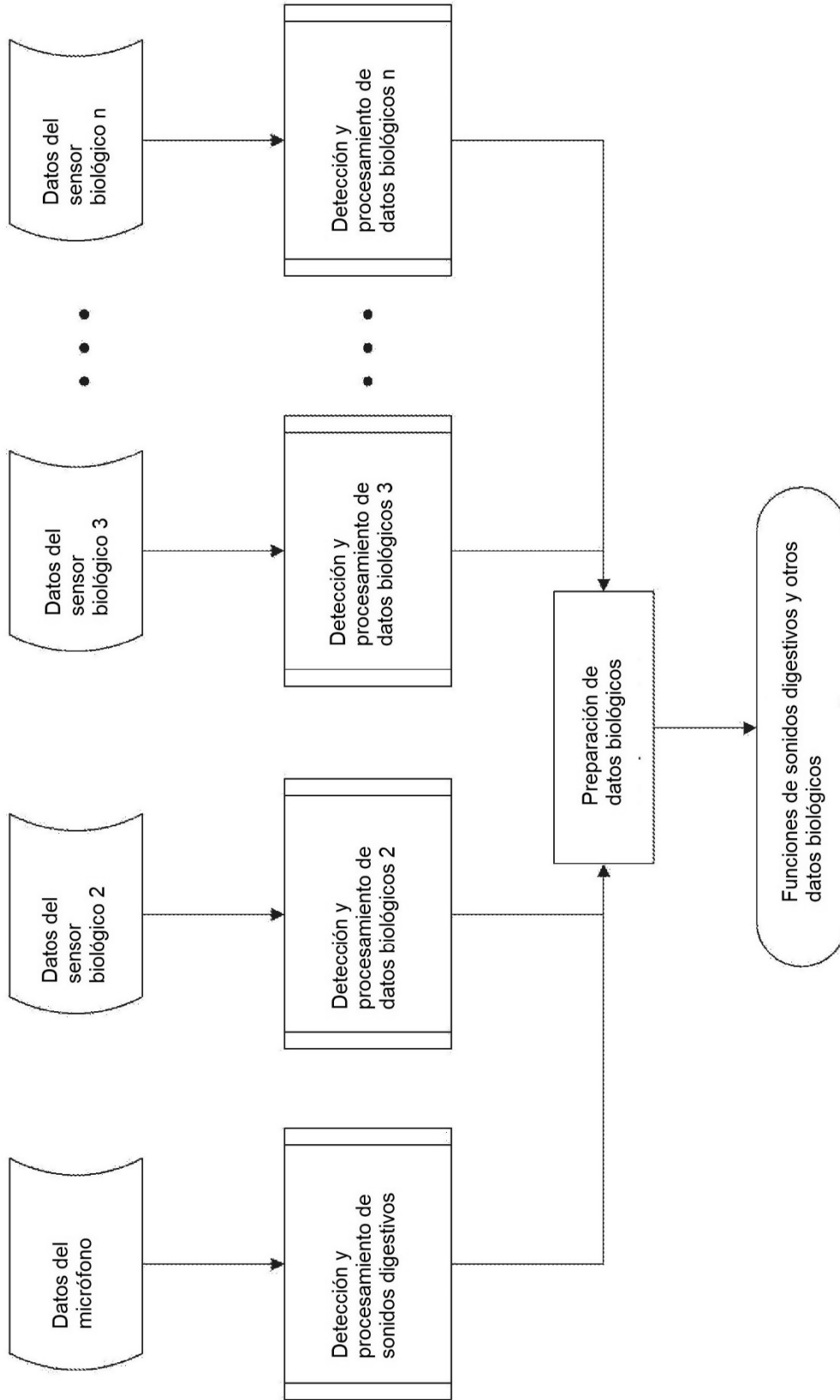


Fig. 26