

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 830**

51 Int. Cl.:

F03D 9/00 (2006.01)

F03D 9/19 (2006.01)

H01M 8/18 (2006.01)

H01M 16/00 (2006.01)

H01M 8/1018 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.04.2008** **PCT/ES2008/000228**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.04.2009** **WO09050311**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.04.2008** **E 08761475 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.12.2017** **EP 2216546**

54 Título: **Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno**

30 Prioridad:

18.10.2007 ES 200702738

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.03.2018

73 Titular/es:

ACCIONA ENERGÍA, S.A. (50.0%)
Avenida Ciudad de la Innovación 5
31621 Sarriñena (Navarra), ES y
INGETEM POWER TECHNOLOGY, S.A. (50.0%)

72 Inventor/es:

GUEL BENZU MICHELENA, EUGENIO y
PÉREZ BARBACHANO, JAVIER

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 657 830 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno

- 5 La siguiente invención, según se expresa en el enunciado de la presente memoria descriptiva, se refiere a un sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, basado en el aprovechamiento de la energía eólica producida por uno o más aerogeneradores. Los medios (electrolizadores) de producción de hidrógeno se incluyen también aquí, de tal manera que mediante la incorporación de un dispositivo híbrido de tecnologías de electrólisis se consiga: una mejor gestión de la energía, un mejor funcionamiento dinámico, aun aumento de la vida útil de los
10 electrolizadores y un aumento de la rentabilidad del sistema, así como mejorar la calidad de la energía inyectada en la red eléctrica.

Este sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno se puede adaptar a cualquier tipo de energía renovable o combinación de las mismas.

15 **Campo de aplicación**

En la presente memoria descriptiva se describe un sistema para la producción de energía eléctrica e hidrógeno que es útil en todos los tipos de aerogeneradores y parques eólicos, de tal manera que mediante la hibridación de
20 tecnologías de electrólisis se produzca hidrógeno.

Igualmente, el sistema para la producción de energía eléctrica e hidrógeno se puede utilizar en cualquier tipo de energía renovable o una combinación de las mismas.

25 **Antecedentes de la invención**

Como es conocido, en ocasiones los aerogeneradores conectados a la red eléctrica no pueden inyectar en dicha red toda la energía eléctrica que producen por limitaciones técnicas o legales. Por lo tanto, con la finalidad de aprovechar la energía que se está produciendo, uno de los usos de la misma es la generación de hidrógeno a través
30 de un electrolizador, para, posteriormente, utilizar el hidrógeno producido y almacenarlo en distintas formas.

Uno de los usos puede ser la distribución de hidrógeno hasta los puestos de distribución de hidrógeno, para su utilización como combustible en vehículos o la venta del propio hidrógeno.

35 Asimismo, otro uso posible es la utilización de ese hidrógeno para producir electricidad e inyectarla de nuevo en la red eléctrica.

Existen numerosas publicaciones que exponen sistemas que integran la generación de energía renovable e
40 hidrógeno.

En cuanto a la producción de electricidad con hidrógeno proveniente de energía eólica, existen solicitudes de patentes como: WO2006097494 y EP1596052, que proponen generar hidrógeno, mediante electrólisis, que se utilizaría después para producir energía mediante plantas convencionales de gas o de vapor.

45 Adicionalmente, el documento DE10055973 describe un sistema de producción y almacenamiento de hidrógeno con energía eólica, con la finalidad de utilizarlo para producir electricidad e inyectarla en la salida de potencia del aerogenerador, para regular la salida de potencia del parque eólico.

Por último, existen publicaciones tales como la patente US7199482 que describe la regulación de potencia de un
50 parque eólico mediante el aumento o disminución del consumo de potencia de un electrolizador.

Actualmente, las tecnologías principales y más desarrolladas, en cuanto a electrolizadores, son la tecnología de Membranas de intercambio de Protones (PEM) y la tecnología alcalina.

55 Un ejemplo de un sistema que tiene ambos tipos de electrolizadores que tienen el mismo comportamiento es el documento con el número de publicación US2005178432A1. Este documento se refiere a un sistema regenerativo de generación de potencia en célula de combustible, y en particular a un sistema que tiene múltiples células y módulos de células de electrólisis de diferentes configuraciones.

60 La tecnología PEM consiste en un electrolito sólido, y presenta dinámicas de funcionamiento rápidas, aunque no existen dispositivos en la actualidad de gran cantidad de potencia. Por lo general, suelen estar en torno a las decenas de kilovatios.

La tecnología alcalina consiste en un electrolito de, normalmente, KOH diluido, y presenta dinámicas más lentas que
65 la tecnología PEM, pero existen electrolizadores de más potencia con esta tecnología. Los mismos pueden llegar a producir hasta megavatios.

Estas tecnologías han sido probadas, en diversos proyectos, tales como el liderado por NREL "Renewable Electrolysis Integrated System Development and Testing", y el liderado por la IEA "Solar-Wasserstoff-Bayern Hydrogen Demonstration Project".

- 5 Sin embargo, ninguna de estas tecnologías es adecuada, por sí sola, para su integración con instalaciones de energía eólica. El origen de esta problemática se basa en que el viento posee dinámicas muy rápidas y por tanto la potencia eólica generada también posee dichas dinámicas rápidas.

- 10 Además, teniendo en cuenta que la potencia de un parque eólico es normalmente de varias decenas de megavatios, la aportación de electrolizadores de una sola tecnología, no cubriría las necesidades del sistema en cuanto a potencia y dinámica requeridas.

- 15 Por otro lado, en estos últimos años se está prestando una atención creciente a cuestiones asociadas a la producción de energía, tales como, la dependencia energética de fuentes fósiles, emisiones de gases de efecto invernadero y su impacto en el cambio climático, la contaminación del medio y, en resumen, la sostenibilidad de los sistemas de energía existentes.

- 20 En este contexto, las energías renovables se alzan como un actor fundamental, puesto que proveen a la sociedad de energía para satisfacer sus necesidades al utilizar como energía primaria fuentes renovables, sostenibles y no contaminantes.

- 25 La desventaja de las tecnologías de generación de electricidad a partir de fuentes renovables, frente a las tecnologías tradicionales, es la variabilidad en la disponibilidad de la fuente de energía renovable, en concreto la energía eólica o solar. Por lo tanto, la capacidad de gestión de dicha energía es limitada.

Actualmente, a causa de estas limitaciones, los operarios de red están imponiendo restricciones a la implantación de nuevas plantas de generación de energía renovable, como parques eólicos o plantas fotovoltaicas.

- 30 Para evitar estas restricciones y conseguir que las plantas de generación eléctrica renovable alcancen mayores índices de penetrabilidad en el sistema eléctrico, es necesario aportar soluciones que permitan hacer más gestionables estas fuentes de energía.

- 35 Un sistema novedoso para la producción eléctrica e hidrógeno e presenta como solución a los problemas descritos anteriormente.

- 40 La presente invención incluye un dispositivo híbrido de diferentes tecnologías de electrólisis, con respuestas dinámicas diferentes, que permite absorber las fluctuaciones de la energía eléctrica generada debidas a la variabilidad de la fuente eólica, a absorber. Las fluctuaciones de la energía eléctrica inyectada a la red eléctrica se reducen y/o eliminan.

Otra ventaja de la invención es que mediante la utilización de electrolizadores de distintas tecnologías, se cubren las necesidades del sistema en cuanto a potencia y dinámica requeridas.

- 45 Además, se mejora el proceso global, puesto que hay varias tecnologías de electrolizadores que aportan distintas características que pueden utilizarse según corresponda. Una ventaja adicional del uso del dispositivo híbrido de electrolizadores con diferente dinámica, es que los electrolizadores pueden operar como cargas de distinto rango de potencia en cada momento y con distintas dinámicas. Por tanto, los mismos se pueden utilizar para regular la potencia de salida del parque eólico o aerogenerador en particular.

- 50 Otra ventaja, es que el uso de dos tecnologías de electrolizadores, con dinámicas de respuesta y capacidad de potencia diferentes, permite el control de la frecuencia del sistema eléctrico. La tecnología de dinámica rápida actúa como una reserva de potencia primaria controlada (en un intervalo de segundos) y la tecnología de dinámica lenta actúa como reserva de potencia secundaria controlada (en un intervalo de minutos).

- 55 Debido a la utilización de dos tecnologías de electrolisis diferentes, con dinámicas de respuesta y capacidad de potencia diferentes, es posible adaptar la energía eléctrica, que se inyecta a la red eléctrica, a los requerimientos de gestión de planta indicados por el operario del sistema eléctrico, tales como la reserva de potencia activa, regulación de potencia reactiva, control de caída de tensión, así como control de regulación de potencia primaria y secundaria.

- 60 Por lo tanto, una invención que hace posible solucionar los problemas derivados de la variabilidad de la fuente eólica se divulga. La misma aumenta considerablemente la capacidad de gestión del parque eólico, de tal forma que permite operarlo de forma similar a los puestos de generación de potencia convencionales, cumpliendo todos los requerimientos de los operarios de la red eléctrica. Además, de esta manera, se consigue una contribución para aumentar la penetración de energías renovables en la red eléctrica.

65

Descripción de la invención

De acuerdo con el estado de la técnica revisado, la presente memoria descriptiva describe un sistema para la producción de energía eléctrica e hidrógeno, basado en el aprovechamiento de la energía eólica, de uno o varios aerogeneradores. El sistema incluye medios (electrolizadores) de producción de hidrógeno, de tal manera que el sistema comprende un dispositivo híbrido de electrolizadores, constituido por la combinación de, al menos, dos tecnologías de electrólisis distintas y al menos un dispositivo de control que gestiona la producción de hidrógeno entre los electrolizadores de distinto tipo de tecnología, y/o el consumo de los electrolizadores, para satisfacer los requerimientos establecidos por la red eléctrica. De este modo, los electrolizadores son de un primer tipo de tecnología con una dinámica de respuesta rápida y de un segundo tipo de tecnología con una dinámica de respuesta sustancialmente más lenta. La energía eléctrica consumida por el dispositivo híbrido de electrolizadores se regula para absorber las fluctuaciones de la energía eléctrica generada, reduciendo y/o eliminando por tanto las fluctuaciones inyectadas a la red eléctrica.

Por tanto, el dispositivo híbrido de electrolizadores está constituido por la combinación de, al menos, un electrolizador de cada tipo de tecnologías de hidrólisis.

Asimismo, el sistema puede incluir uno o varios dispositivos de control que distribuyen la producción de hidrógeno entre los electrolizadores de distinto tipo de tecnología. Dicho uno o más dispositivos de control pueden integrarse en el dispositivo híbrido de electrolizadores o ser independientes del mismo.

El uso de un dispositivo híbrido de electrolizadores con diferente dinámica de respuesta y capacidad de potencia permite operar los electrolizadores como cargas controladas de distinto rango de potencia en cada momento y con distintas dinámicas. Los mismos se pueden utilizar para regular la salida de potencia de todo el parque eólico o de un aerogenerador individual, o de una pluralidad de parques eólicos.

Por tanto, mediante los electrolizadores de distinto tipo de tecnología, relativos al dispositivo híbrido de electrolizadores, la potencia del sistema se gestiona y la potencia de salida del sistema es independiente de la potencia de salida del uno o más aerogeneradores.

Asimismo, la distribución de la producción y la variación adecuada de la demanda de funcionamiento del electrolizador de dinámica rápida y del electrolizador de dinámica lenta hace posible que el conjunto participe en el control de frecuencia del sistema eléctrico. La tecnología de dinámica rápida actúa como una reserva de potencia primaria (en un intervalo de segundos) y la tecnología de dinámica lenta actúa como reserva de potencia secundaria (en un intervalo de minutos).

Dicho de otro modo, el dispositivo híbrido de electrolizadores hace posible tener una primera reserva de potencia activa basada en el consumo de potencia del uno o más electrolizadores con una tecnología de dinámica rápida y una segunda reserva de potencia activa basada en el consumo de potencia del uno o más electrolizadores con tecnología de dinámica sustancialmente más lenta.

Dado que una tecnología de dinámica rápida permite variaciones más rápidas de su carga, pero son una menor capacidad de potencia, dicha primera reserva de potencia activa se utilizará para la regulación primaria de la reserva de salida de potencia. Los electrolizadores de dinámica rápida actuarán como una carga controlada rápida, aumentando o disminuyendo la carga en función de los requerimientos de control de la frecuencia del operario de la red eléctrica.

Por otro lado, será el uno o más electrolizadores de tecnología sustancialmente más lenta, con una mayor capacidad de potencia, pero con una menor variación de carga, los que se utilizarán como una segunda reserva de potencia. Dicha segunda reserva de potencia activa realizará la regulación secundaria de la salida de potencia, de acuerdo con los requerimientos de control de la frecuencia del operario de la red eléctrica.

El dispositivo híbrido de electrolizadores puede incluir otros medios de conversión de energía que hagan uso del hidrógeno producido para generar electricidad, ya solo mediante hidrógeno o mediante una combinación de fluidos/gases que incluyen hidrógeno, bien sea por combustión, conversión mecánica y/o hidráulica u otros sistemas de conversión de energía. La electricidad generada por los medios de conversión de energía se inyecta después a la salida del sistema de energía eólica y/o a la red eléctrica.

Por otra parte, los medios de conversión de energía pueden ser células de combustible, motores de combustión interna y/o turbinas de gas que utilizan hidrógeno para generar electricidad.

Al menos, uno de los electrolizadores del dispositivo híbrido de electrolizadores puede ser reversible es decir, teniendo la capacidad de producir energía, funcionando, actuando como generador de potencia.

Además, el proceso de conversión de hidrógeno en electricidad genera también un flujo de calor. Por tanto, el calor producido se puede emplear para el calentamiento de agua, para producir energía térmica por un cambiador de

calor y/o para producir energía de enfriamiento por una máquina de absorción durante el proceso de producción de electricidad en los medios de conversión de energía.

Por tanto, se puede aumentar la eficacia del sistema debido al mayor rendimiento de las células de combustible y con la incorporación de un sistema de cogeneración.

Asimismo, el sistema puede incluir una planta desalinizadora donde parte del agua producida se utiliza para cargar el dispositivo híbrido de electrolizadores. Esto es relevante para aplicaciones marítimas, tanto cerca de la costa como lejos de la misma, de tal manera que en áreas cercanas a la costa el agua se podría utilizar para el consumo.

Si la potencia de generación del sistema eólico es superior a la potencia de alimentación de la red eléctrica, la energía sobrante se utiliza para producir hidrógeno.

El control de potencia y la electrónica de potencia asociados al dispositivo híbrido de electrolizadores y a los medios de conversión de energía, otorgan al parque eólico o al uno o más aerogeneradores la capacidad de arrancar en ausencia de tensión en la red eléctrica, mediante la síntesis de una tensión de referencia y un suministro de energía dedicado a los elementos de arranque.

La posibilidad de arrancar en ausencia de tensión en la red eléctrica se denomina también "capacidad de arranque en negro" o "blackstart capability", y viene determinada por la energía, requerimientos para el funcionamiento del parque eólico. Esto condiciona su capacidad de energizar una red eléctrica que haya perdido tensión.

Esta posibilidad resulta ser de gran interés para, por ejemplo, contribuir a la recuperación de potencia de un sistema que haya podido sufrir una contingencia que haya conllevado a la pérdida total de energía en su interior.

La flexibilidad de la energía eólica para variar rápidamente su producción la hace muy apropiada para este fin, puesto que rápidas variaciones de potencia dentro de las plantas conectadas en tal momento surgen durante los primeros momentos de re-energización de la red eléctrica deben modularse.

El uno o más dispositivos de control del dispositivo híbrido de electrolizadores considera variables que influyen en el rendimiento de cada uno de los electrolizadores que lo componen, tal como la temperatura del módulo de electrolisis, temperatura ambiente, presión y/o concentración del electrolito, o todas aquellas que influyan en el rendimiento y vida útil de los electrolizadores. Esto es un medio de optimizar el rendimiento del dispositivo híbrido de electrolizadores.

La electrónica de potencia asociada con el dispositivo híbrido de electrolizadores se utiliza para generar o consumir potencia reactiva. De esta manera, la forma de onda de corriente suministrada o absorbida tiene el desfase adecuado con respecto a la forma de onda de tensión, consiguiendo así suministrar o absorber potencia reactiva a/de la red eléctrica como función de la consigna de control.

La electrónica de potencia asociada con el dispositivo híbrido de electrolizadores se utiliza para realizar un control de tensión dinámico en el punto de conexión por medio de la generación o consumo de potencia reactiva.

En el caso de una caída de tensión en la red eléctrica, la electrónica de potencia asociada con el dispositivo híbrido de electrolizadores contribuye a una rápida recuperación de la tensión al inyectar rápidamente potencia reactiva. De esta forma, se garantizan variaciones progresivas de la tensión y se comparte el uso de los componentes con diversos objetivos, reduciendo así los costes de amortización de los mismos.

En caso de una contingencia en la red eléctrica, se interrumpe la producción de hidrógeno de algunos electrolizadores dentro del dispositivo híbrido de electrolizadores, y la capacidad total de su electrónica de potencia se utiliza para colaborar en la restauración de la red eléctrica.

Por el contrario, en la actualidad, la mayoría de los parques eólicos dependen del suministro de potencia procedente de la red eléctrica para mantener activos todos los sistemas auxiliares y de control lo que les permiten conectarse a la red eléctrica y exportar la energía producida. Por lo tanto no son capaces de funcionar en una red que carezca de fuente de tensión.

Por consiguiente, mediante el uso de la electrónica de potencia del dispositivo híbrido de electrolizadores y/o de los medios de conversión de la planta, es posible proporcionar a los sistemas auxiliares suficiente energía para empezar a funcionar, así como sintetizar la señal de tensión necesaria en cada instante para una correcta recuperación del sistema suministrando o absorbiendo potencia reactiva según se requiera.

Asimismo, la hibridación de tecnologías de electrolisis incrementa la flexibilidad de todo el sistema proporcionando estabilidad de la recuperación.

La electrónica de potencia asociada al dispositivo híbrido de electrolizadores puede estar integrada en la electrónica

de potencia del aerogenerador.

Uno o más electrolizadores relacionados con el dispositivo híbrido de electrolizadores de la tecnología de dinámica de respuesta rápida pueden ser de tecnología de Membranas de intercambio de protones (PEM).

Uno o más electrolizadores relacionados con el dispositivo híbrido de electrolizadores de la tecnología de dinámica de respuesta sustancialmente más lenta pueden ser de tecnología alcalina.

El dispositivo híbrido de electrolizadores puede comprender cualquier combinación de electrolizadores de tecnologías que se conectan en serie y/o en paralelo.

Todo lo descrito anteriormente puede utilizarse en sistemas de potencia autónomos, es decir, aislados de la red eléctrica, de tal manera que la hibridación de la tecnología de los electrolizadores facilite a la gestión del sistema aislado, así como haga al sistema más eficaz.

Del mismo modo, todo lo que se ha descrito en la presente invención es válido para cualquier tipo de fuente de energía renovable, o combinación de algunas de las mismas, tal como energía solar termoeléctrica de media o alta temperatura (tales como el sistema de concentración de energía solar en antenas parabólicas, espejos reflectantes y sistemas de punto focal tales como platos y heliostatos), energía solar fotovoltaica, energía hidráulica, energía de las mareas, energía de las olas, energía de las corrientes marinas, energía geotérmica, y energía eólica, tanto en tierra como en alta mar.

Para complementar la descripción que seguidamente se va a realizar, y con la finalidad de proporcionar una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva, un juego de planos. Las figuras representan los detalles más característicos de la invención de forma ilustrativa y no restrictiva.

Breve descripción de la Figura

La Figura 1 muestra un diagrama general del sistema objeto de la invención, donde un número de aerogeneradores, el dispositivo híbrido de electrolizadores y la electrónica de potencia asociada y el dispositivo de control se ilustran.

La Figura 2 muestra un diagrama del sistema objeto de la invención provisto de varios electrolizadores y un convertidor de potencia que alimenta a los distintos electrolizadores de diferente dinámica.

La Figura 3 muestra un diagrama del sistema objeto de la invención provisto de varios electrolizadores y basado, en este ejemplo, en un generador doblemente alimentado y con el convertidor electrónico de potencia con una salida de potencia continua para los electrolizadores.

La Figura 4 muestra un diagrama del sistema objeto de la invención provisto de varios electrolizadores, con, al menos, un electrolizador reversible, y por tanto, pudiendo inyectar energía a la red eléctrica.

La Figura 5 muestra un diagrama del sistema objeto de la invención provisto de varios electrolizadores y de medios de conversión de energía, basados en elementos de suministro de hidrógeno. Los mismos producen calor y potencia, y la última se puede inyectar en la red eléctrica.

La Figura 6 muestra un diagrama de funcionamiento del sistema completo en casos en que los electrolizadores funcionan como cargas para la regulación de la salida de potencia en periodos de exceso de potencia. Por consiguiente, los medios de conversión de energía suministran energía cuando hay un déficit de la misma.

La Figura 7 muestra un diagrama de una fuente de corriente continua y un convertidor electrónico de potencia de un STATCOM (Compensador Síncrono Estático).

La Figura 8 muestra un diagrama de control general del sistema.

La Figura 9 muestra el control de regulación de potencia secundaria.

La Figura 10 muestra el control de regulación de potencia primaria.

La Figura 11 muestra el control de regulación de potencia total.

La Figura 12 muestra la regulación de control de potencia combinada de los electrolizadores frente a la producción eléctrica de un parque eólico.

Descripción de una realización preferida

En vista de las Figuras previas y de acuerdo con la numeración utilizada, se puede observar cómo, de forma general, tal como se representa en la Figura 1 de los diagramas, un sistema para la producción de energía e hidrógeno puede estar constituido por, al menos, un aerogenerador (1) conectado a través de un medio electrónico de potencia (2) con el dispositivo híbrido de electrolizadores (3). Este dispositivo se compone de, al menos, un electrolizador de tecnología de dinámica rápida y un electrolizador de tecnología de dinámica, sustancialmente, más lenta. El mismo se controla por el dispositivo de control (4).

Por tanto, el sistema incluye un dispositivo híbrido de electrolizadores (3), constituido por la combinación de, al menos, un electrolizador (5) y (6) de dos tecnologías diferentes de electrólisis y un dispositivo de control (4) que distribuye la producción de hidrógeno entre los electrolizadores (5) y (6) de distinto tipo de tecnología. Esto se realiza de tal manera que los electrolizadores (5) son de un primer tipo de tecnología con dinámica rápida y los

electrolizadores (6) son de un segundo tipo de tecnología con dinámica sustancialmente más lenta. La energía eléctrica consumida por el dispositivo híbrido de electrolizadores (3) se adapta para absorber las fluctuaciones de energía eléctrica generada, reduciendo o eliminando de este modo la fluctuación de la energía eléctrica inyectada a la red eléctrica.

5 La forma de distribuir la producción de hidrógeno entre las tecnologías diferentes de electrolizadores se basa en atribuir las variaciones de potencia bruscas a la tecnología de dinámica rápida, y la variación de potencia gradual a la tecnología de dinámica sustancialmente más lenta.

10 Como se puede ver en la Figura 8, el dispositivo de control (4) toma en consideración las variables de estado (9) de los electrolizadores. Las variables influyen en el rendimiento y el vida útil de los electrolizadores a la hora de distribuir la producción de hidrógeno entre uno o más electrolizadores de dinámica rápida (5) y uno o más electrolizadores de dinámica sustancialmente más lenta (6), a fin de preservar su vida útil y maximizar su rendimiento. Además el dispositivo de control (4) asegura que no se sobrepasen los límites de exportación de potencia máxima a la red eléctrica 10 y de producción de hidrógeno, determinados por la potencia máxima (11) de cada uno de los electrolizadores. A su vez, el dispositivo de control (4), recibe consignas de producción (12) (de electricidad y/o de hidrógeno) fijadas por criterios internos (eliminación de fluctuaciones en el punto de conexión del parque eólico) o por lo requerimientos de funcionamiento de la red eléctrica (reserva de potencia primaria/secundaria). El dispositivo de control (4) puede también tener en cuenta otras consignas (16). Con esta información, el dispositivo de control (4) distribuye la energía entre la energía inyectada en forma de vector eléctrico (13), y la energía para producir hidrógeno (8), que se distribuye posteriormente entre el uno o más electrolizadores de dinámica rápida (5) y el uno o más electrolizadores de dinámica sustancialmente más lenta (6) en función de la potencia intercambiada en el parque eólico. Además, el dispositivo de control (4) tiene en cuenta la energía inyectada en forma de vector eléctrico (13), y el hidrógeno producido en cada uno de los electrolizadores, a modo de información realimentada.

30 Como se puede ver en la Figura 9, una "reserva de potencia" se crea con la producción (14) del electrolizador de dinámica sustancialmente más lenta, mediante el establecimiento de una consigna de producción media (15) inferior a la potencia máxima del electrolizador de dinámica sustancialmente más lenta (11). Esta reserva de potencia proporciona un rango de regulación que permite al dispositivo de electrolisis ajustar su producción de tal manera que contribuya al control secundario de frecuencia de la red eléctrica.

35 Como se puede ver en la Figura 10, una "reserva de potencia" se crea con la producción (17) del electrolizador de dinámica rápida, mediante el establecimiento de una consigna de producción media (15) inferior a la potencia máxima del electrolizador de dinámica rápida (11). Esta reserva de potencia proporciona un rango de regulación que permite al dispositivo de electrolisis ajustar su producción de manera que contribuya al control primario de frecuencia de la red eléctrica.

40 En la Figura 11 se ilustra el resultado de la producción combinada del electrolizador de dinámica rápida y del electrolizador de dinámica sustancialmente más lenta.

45 La Figura 12 muestra cómo la regulación combinada realizada por el electrolizador de dinámica rápida y por el electrolizador de dinámica sustancialmente más lenta permite al sistema proporcionar una respuesta combinada recíproca (17) de mayor variabilidad. Junto con una producción eléctrica del parque eólico (18) y junto con las necesidades del sistema, se produce una salida de la producción de energía global (13) adaptada a los requerimientos.

50 Estas variaciones de la demanda de funcionamiento del electrolizador de dinámica rápida y del electrolizador de dinámica lenta, permite al sistema participar en el control de frecuencia del sistema de red eléctrica. La tecnología de dinámica rápida actúa como una reserva de potencia primaria (en un intervalo de segundos) y la tecnología de dinámica sustancialmente más lenta actúa como una reserva de potencia secundaria (en un intervalo de minutos).

55 En una realización preferida, los electrolizadores de dinámica rápida son de tecnología PEM (Membranas de intercambio de Protones), y los electrolizadores de dinámica sustancialmente más lenta son de tecnología alcalina.

60 Es decir, el dispositivo híbrido de electrolizadores, de distinto tipo de tecnología, hace posible tener una reserva de potencia activa basada en el consumo de potencia de los electrolizadores de tecnología PEM y alcalina. La reserva de potencia activa PEM realizará la regulación primaria mientras que la reserva de potencia activa alcalina realizará la regulación secundaria.

65 El dispositivo de control (4) gestionará la producción de hidrogeno como una función de los requerimientos del operario de la red eléctrica o los requerimientos internos del parque eólico ya sea aumentando o disminuyendo la producción de hidrógeno de los electrolizadores del dispositivo híbrido de electrolizadores de tal manera que, por un lado, se eliminan las fluctuaciones de potencia inyectadas a la red eléctrica y, por otro lado, se mantiene una reserva de potencia activa. Esta reserva se utiliza para responder a los requisitos de regulación primaria y secundaria del operario de la red eléctrica en todo momento.

Para implementar este modo de funcionamiento, la salida de potencia activa de salida del parque eólico será inferior a la capacidad de potencia de exportación del parque eólico. De este modo, se garantiza una reserva de potencia activa, que será gestionada por el dispositivo de control (4), de manera que la potencia resultante de sumar la reserva de potencia activa y la potencia variable por encima de la capacidad de exportación del parque eólico sea distribuida entre los electrolizadores de distinta tecnología del dispositivo híbrido, de acuerdo con los criterios antes mencionados.

Mediante los electrolizadores (5) y (6) de distinto tipo de tecnología, relativos al dispositivo híbrido de electrolizadores (3), se gestiona la salida de potencia del sistema. La potencia de salida del sistema es independiente de la potencia de salida del uno o más aerogeneradores.

El dispositivo híbrido de electrolizadores (3) puede incluir medios de conversión de energía (7) que utilizan el hidrógeno (8) producido para producir electricidad y lo inyectan a la salida de potencia del sistema eólico y/o a la red eléctrica.

Los medios de conversión de energía (7) pueden ser células de combustible, motor de combustión interna y/o turbinas de gas que utilizan el hidrógeno generado para producir electricidad y lo inyectan a la salida de potencia del sistema eólico y/o a la red eléctrica.

En una realización preferida, como se observa en la Figura 2, los electrolizadores (5) y (6), de distinto tipo de tecnología y dinámica, están alimentados a través de medios convertidores de electrónica de potencia (2) comunes para todos los electrolizadores. Todo el sistema se controla mediante un dispositivo de control (4), que a partir de la potencia generada por el parque eólico o el aerogenerador (1), las medidas de viento, la tensión en el punto de conexión (control de tensión y soporte de caídas de tensión), frecuencia del sistema (control de frecuencia) y características operativas de los electrolizadores (temperatura del módulo de electrólisis, temperatura ambiente, presión, y/o concentración del electrolito) calcula la potencia activa a convertirse en hidrógeno y la potencia reactiva a producir.

Dicha potencia activa se distribuye entre los electrolizadores (5) y (6) de distinto tipo de tecnología, en función de las características de cada electrolizador y, también, en función de los requerimientos de la red eléctrica del sistema eléctrico.

La generación de potencia reactiva se distribuye también entre los medios de conversión de energía (7). En condiciones de funcionamiento normales, la capacidad de dichos medios de conversión de energía (7) se utiliza preferentemente para la producción de potencia activa, reduciendo y/o eliminando las fluctuaciones de la potencia inyectada a la red eléctrica. La capacidad restante se puede utilizar para la generación de potencia reactiva.

Sin embargo, en caso de condiciones de funcionamiento anormales, tales como tensiones o frecuencias fuera de los rangos de funcionamiento normales y caídas de tensión, la capacidad del convertidor de potencia se utilizará preferentemente para soportar la recuperación de la red eléctrica de vuelta a sus condiciones normales.

En una realización preferida, la electrónica de potencia (2) que comparten los electrolizadores (5) y (6) del dispositivo híbrido de electrolizadores (3) se aprovecha de la salida de potencia CC de un aerogenerador (1) doblemente alimentado, tal y como se muestra en la Figura 3.

Se toma como caso particular el aerogenerador doblemente alimentado, sin embargo, esta realización puede realizarse con cualquier tipo de aerogenerador.

Asimismo, cualquiera de los electrolizadores (5) y (6) pertenecientes al dispositivo híbrido de electrolizadores (3) es reversible y, por tanto, en ciertos casos, inyecta energía a la salida de potencia del sistema para la reconversión del hidrógeno en energía eléctrica.

Igualmente, el sistema incluye elementos (7) para convertir el hidrógeno en energía eléctrica, por lo que éstos pueden inyectar la energía producida a la salida de potencia del sistema.

Por otra parte, el dispositivo de control (4) puede gestionar la energía de tal manera que, tal y como se puede observar en el diagrama de la Figura 6, en momentos de exceso de producción de energía, la misma se utiliza para producir hidrógeno (8). Por el contrario, cuando no hay suficiente energía, el hidrógeno se reconvierte a través de los medios de conversión de energía (7) en energía eléctrica. Por tanto, se inyecta energía a la red eléctrica totalmente controlada por el sistema. Esto hace que el dispositivo híbrido de electrolizadores sea manejable.

En el proceso de generación de electricidad, a partir del hidrógeno (8) en medios de reconversión, el calor producido se puede emplear para el calentamiento de agua, por un cambiador de calor para producir energía térmica y/o un dispositivo de absorción para producir frío.

El sistema puede incluir una planta desalinizadora que utiliza parte del agua desalinizada para alimentar el

dispositivo híbrido de electrolizadores (3).

Si la potencia generada del sistema eólico es superior a la capacidad de potencia de exportación de la red eléctrica, la potencia sobrante se utiliza para producir hidrógeno, lo que implica una mejora de la rentabilidad del sistema y un mayor aprovechamiento del recurso eólico.

El control de potencia y la electrónica de potencia asociados al dispositivo híbrido de electrolizadores (3) y a los medios de conversión de energía (7), otorgan al parque eólico la capacidad de arrancar en ausencia de tensión en la red eléctrica, mediante la síntesis de una tensión de referencia y un suministro de energía a los elementos de arranque.

Asimismo, en el control del dispositivo híbrido de electrolizadores (3) se incluyen variables que influyen en el rendimiento de cada uno de los electrolizadores, tal como la temperatura del módulo de electrólisis, temperatura ambiente, presión y/o concentración del electrolito.

Los medios electrónicos de potencia (2) asociados al dispositivo híbrido de electrolizadores (3) se utilizan para generar o consumir potencia reactiva, de tal manera que la forma de onda de corriente tiene un desfase adecuado con respecto a la forma de onda de tensión para la transferencia de potencia apropiada. Por lo tanto, la potencia reactiva se inyecta o se absorbe a/de la red eléctrica según determine la referencia de control.

Los medios electrónicos de potencia (2) asociados al dispositivo híbrido de electrolizadores (3) se utilizan para realizar un control de tensión dinámico en el punto de conexión por medio de la inyección o consumo de potencia reactiva en la red eléctrica.

En caso de una contingencia en la red eléctrica, la electrónica de potencia (2) asociada al dispositivo híbrido de electrolizadores (3) ha colaborado con una rápida recuperación de tensión generando rápidamente potencia reactiva. La producción de hidrógeno de algunos electrolizadores dentro del dispositivo híbrido de electrolizadores se interrumpe, y la capacidad total de los convertidores de electrónica de potencia se utiliza para restaurar la red eléctrica.

Por tanto, como se ha indicado, la posibilidad de arrancar en ausencia de tensión en la red eléctrica, también denominada "capacidad de arranque en negro" o "blackstart capability" viene determinada por los requerimientos de energía del parque eólico para su funcionamiento. La capacidad del mismo de energizar una red eléctrica que tenga pérdida de tensión está condicionada.

Esta posibilidad resulta de gran interés para, por ejemplo, contribuir a la recuperación de un sistema de potencia que haya podido sufrir una contingencia que conlleve a la pérdida total de energía en el mismo. La flexibilidad de la energía eólica para variar rápidamente su producción la convierte en una fuente de energía especialmente apropiada para este fin, puesto que rápidas variaciones de potencia en las plantas en tal momento surgen durante los primeros instantes de re-energización de la red eléctrica y se deben modular.

La electrónica de potencia (2) del dispositivo híbrido de electrolizadores (3) puede incluir capacidades similares a un STATCOM "Compensador Síncrono Estático" enmarcado en los equipos de electrónica de potencia dedicados al control de tensiones, que comprenden normalmente una fuente de corriente continua (CC) y un convertidor de potencia, de acuerdo con el diagrama mostrado en la Figura 7.

Esta designación proviene de sus funcionalidades, similares a la de un condensador síncrono (un dispositivo giratorio), pero presentando ventajas frente a este último derivadas de su carácter estático. Dicho de otro modo, no incluye ningún elemento de giro sino únicamente componentes de electrónica de potencia, y no tiene inercia y es capaz de responder con mayor rapidez que un condensador síncrono a fin de proporcionar:

- Control de tensión dinámico: Mediante la inyección de potencia reactiva de acuerdo con la orden de control del dispositivo, la tensión de la red eléctrica se regula dinámicamente (hasta el valor deseado no discretamente como en el caso de baterías de condensadores/inductores) hasta el nivel de consigna.
- Amortiguación de oscilaciones de potencia: La rápida respuesta del dispositivo y su capacidad de almacenar energía activa en el circuito CC permite la operación durante las faltas del sistema, amortiguando las variaciones y ayudando a la recuperación del sistema.
- Mejora del margen de tensión dinámico: El mayor control ejercido sobre la tensión permite ampliar el margen admisible desde el punto de vista de seguridad de tensión dinámica, puesto que reduce el margen de seguridad necesario.
- Control de potencia reactiva y activa: Mediante la conversión de corriente alterna (CA) en corriente continua (CC) y viceversa, es posible controlar la generación de potencia reactiva para regular la tensión en el punto de conexión y almacenar la energía activa en el lado CC del dispositivo.

En el diseño estándar de este equipo, se emplea como fuente de corriente un condensador que se carga a través del convertidor electrónico de potencia hasta el nivel de consigna.

El almacenamiento de energía se ve limitado por la capacidad del condensador en este dispositivo, por lo tanto es solo posible utilizarlo como un buffer de pequeñas cantidades de energía. Además, el alto coste de la electrónica de potencia asociada, limita la rentabilidad de las soluciones comercialmente disponibles y su implantación.

- 5 No obstante, en la solución propuesta, la utilización de la electrónica de potencia asociada al dispositivo híbrido de electrolizadores y los medios de conversión de energía permitirían aumentar el volumen del almacenamiento de potencia activa en forma de hidrógeno y reducir el coste específico del convertidor de potencia al distribuirlo entre diferentes equipos.
- 10 Todo lo descrito anteriormente puede aplicarse en sistemas de potencia aislados de la red eléctrica, de tal manera que la hibridación de tecnologías de electrolizadores facilite la gestión del sistema aislado, así como que haga al sistema más eficaz.

- 15 Finalmente, se puede indicar que todo lo preferido para un sistema de energía eólica se puede aplicar para cualquier otro tipo de sistema de energía renovable.

De esta forma, entre los diferentes tipos de energías renovables, además de la energía eólica terrestre o marina, que se pueden adaptar para producir electricidad e hidrógeno se incluyen los siguientes:

- 20
- Sistemas solares de media o alta temperatura, tal como el sistema de concentración de energía solar en antenas parabólicas, espejos reflectores y sistemas de punto focal tales como platos y heliostatos;
 - energía solar fotovoltaica;
 - energía hidráulica;
 - energía de las mareas;
- 25
- energía de las olas;
 - energía geotérmica, y;
 - energía de las corrientes marinas.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, capaz de conectarse a al menos un aerogenerador, el sistema comprende un dispositivo híbrido de electrolizadores capaz de producir hidrógeno, que comprende una combinación de al menos dos electrolizadores de diferentes tecnologías de electrólisis y al menos un dispositivo de control, que gestiona el hidrógeno que se producirá entre al menos dos electrolizadores; **caracterizado por que** al menos un electrolizador es de un tipo de tecnología de electrólisis de dinámica rápida con una respuesta dinámica en un intervalo de segundos y, al menos el segundo es de un tipo de tecnología de electrólisis de dinámica sustancialmente más lenta con una respuesta dinámica en un intervalo de minutos.
2. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo híbrido de electrolizadores comprende medios de conversión para convertir el hidrógeno producido en electricidad, de modo que dicha electricidad se puede inyectar a una salida del sistema eólico y/o a la red eléctrica.
3. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** los medios de conversión son una opción seleccionada del grupo que consiste en células de combustible, motores de combustión interna y/o turbinas de gas.
4. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que**, al menos, uno de los electrolizadores del dispositivo híbrido de electrolizadores es reversible, con la capacidad de producir electricidad, como medio de conversión, y funcionando asó como generador de potencia.
5. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con las reivindicaciones 2, 3 o 4, **caracterizado por que** el sistema comprende un intercambiador de calor para producir energía térmica y un dispositivo de absorción para absorber la energía térmica del calor generado dentro de los medios de conversión.
6. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el sistema comprende una planta desalinizadora para alimentar parcialmente agua desalinizada al dispositivo híbrido de electrolizadores.
7. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo de control del dispositivo híbrido de electrolizadores toma en consideración las variables del sistema que influyen en la eficacia y/o en la vida útil de cada uno de los electrolizadores.
8. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado por que** las variables del sistema se seleccionan a partir del grupo compuesto por la temperatura del módulo de electrólisis, la temperatura ambiente, presión y concentración del electrolito.
9. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo híbrido de electrolizadores comprende medios electrónicos de potencia.
10. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** el medio electrónico de potencia proporciona la capacidad de arranque de un parque eólico en ausencia de tensión en la red eléctrica, mediante la síntesis de una tensión de referencia y un suministro de energía.
11. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** el medio electrónico de potencia comprende medios para generar o absorber potencia reactiva.
12. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** el medio electrónico de potencia comprende medios para realizar un control de tensión dinámico en el punto de conexión del parque eólico.
13. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** el medio electrónico de potencia genera potencia reactiva para colaborar con una rápida recuperación de la tensión en caso de una caída de tensión.
14. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con las reivindicaciones 11 o 13, **caracterizado por que** en el caso de una contingencia en la red de electricidad, la producción de hidrógeno de al menos un electrolizador dentro del dispositivo híbrido de electrolizadores se interrumpe, y toda la capacidad de su medio electrónico de potencia se utiliza para restaurar la red eléctrica.
15. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** los medios electrónicos de potencia forma parte de la electrónica de potencia del aerogenerador.
16. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** al menos un electrolizador del tipo de tecnología de dinámica rápida, dentro del dispositivo de electrolizador híbrido,

es de tecnología PEM de Membranas de Intercambio de Protones.

17. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el al menos un electrolizador del tipo de tecnología de dinámica sustancialmente más lenta, dentro del dispositivo de electrolizador híbrido, es de tecnología alcalina.
18. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** los electrolizadores dentro del dispositivo híbrido de electrolizadores se conectan entre sí por una opción seleccionada del grupo que consiste en una conexión en paralelo, una conexión en serie y una conexión en serie/paralelo..
19. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo de control forma parte del dispositivo híbrido de electrolizadores.
20. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el sistema comprende una reserva de potencia activa basada en el consumo de potencia de electrolizadores de dinámica rápida y, como alternativa, en el consumo de potencia de los electrolizadores dinámicos sustancialmente más lentos y, como alternativa, en el consumo de potencia de electrolizadores de dinámica rápida y electrolizadores de dinámica más lenta.
21. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 20, **caracterizado por que** un control de potencia de regulación primario se realiza por la reserva de potencia activa de los electrolizadores de dinámica rápida.
22. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 20, **caracterizado por que** un control de potencia de regulación secundario se realiza mediante la reserva de potencia activa de los electrolizadores de dinámica sustancialmente más lentos.
23. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 20, **caracterizado por que** el dispositivo de control del dispositivo híbrido de electrolizadores, aumenta o disminuye alternativamente las reservas de potencia activa.
24. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 23, **caracterizado por que** la reserva de potencia activa se ajusta de acuerdo con los requerimientos internos del parque eólico y, como alternativa, del operario de la red eléctrica.
25. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo de control varía la demanda de funcionamiento proporcionada al electrolizador de dinámica rápida para proporcionar potencia de la reserva de potencia primaria a la red eléctrica en un intervalo de segundos, contribuyendo así al control de frecuencia del sistema.
26. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo de control varía la demanda de funcionamiento proporcionada al electrolizador de dinámica sustancialmente más lenta para proporcionar potencia de la reserva de potencia secundaria a la red eléctrica en un intervalo de minutos, contribuyendo así al control de frecuencia del sistema.
27. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo de control establece consignas de producción de hidrógeno para los electrolizadores de distinta tecnología de manera que la salida de potencia del parque eólico es inferior a la capacidad de exportación total.
28. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 27, **caracterizado por que** se proporciona un margen de ajuste al sistema por la diferencia entre la salida del parque eólico y el límite de exportación de potencia del parque eólico, para participar en los servicios de reserva de potencia primaria y secundaria que exige la red eléctrica.
29. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo de control establece demandas de producción de hidrógeno para los electrolizadores de distinta tecnología inferiores a su límite máximo de producción de hidrógeno, proporcionando un margen de ajuste al sistema para participar en los servicios de reserva de potencia primaria y secundaria que exige la red eléctrica.
30. Sistema para producir energía eléctrica e hidrógeno, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo híbrido de electrolizadores se dispone en un sistema eléctrico aislado de la red eléctrica.

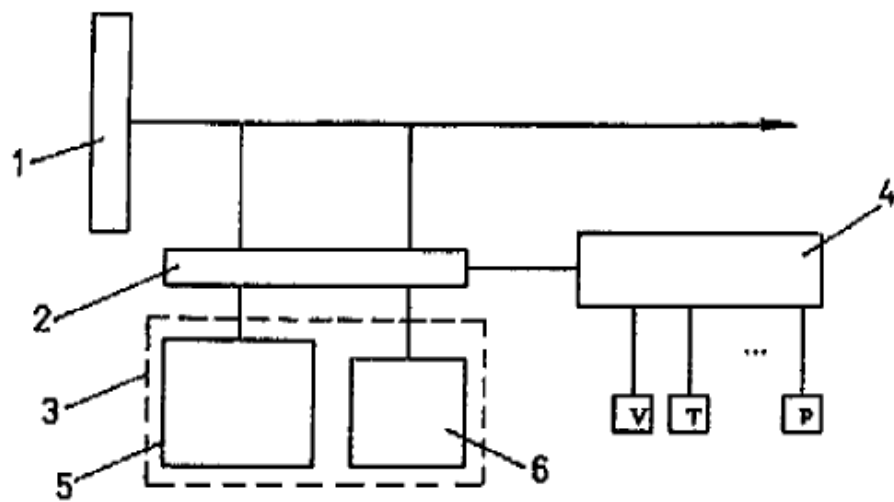
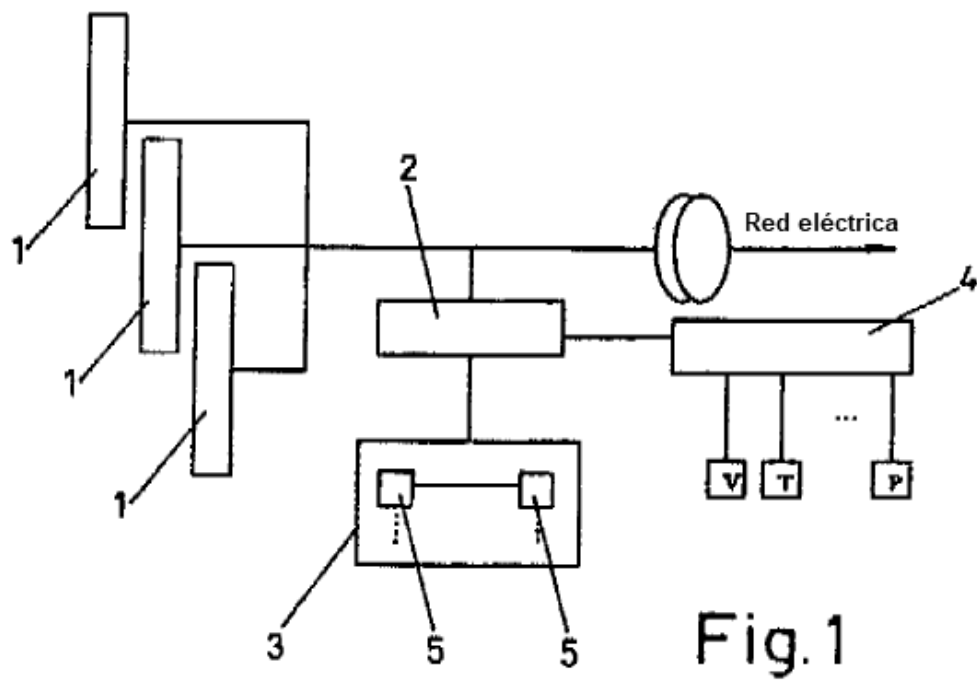
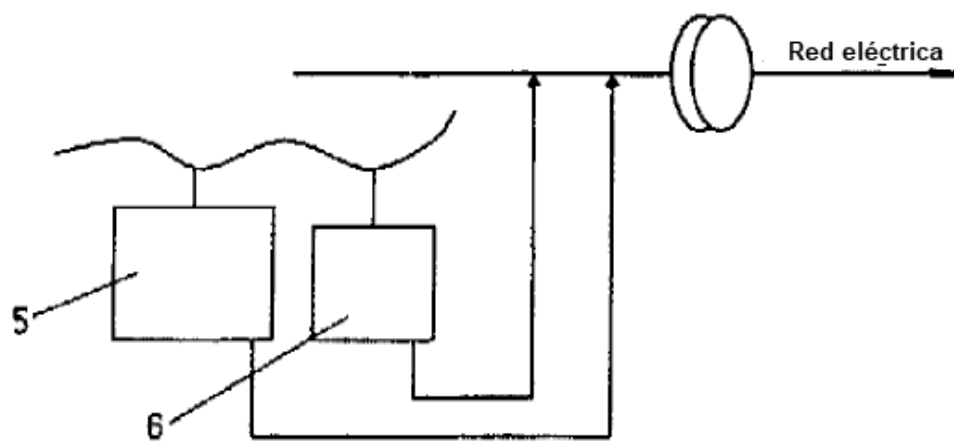
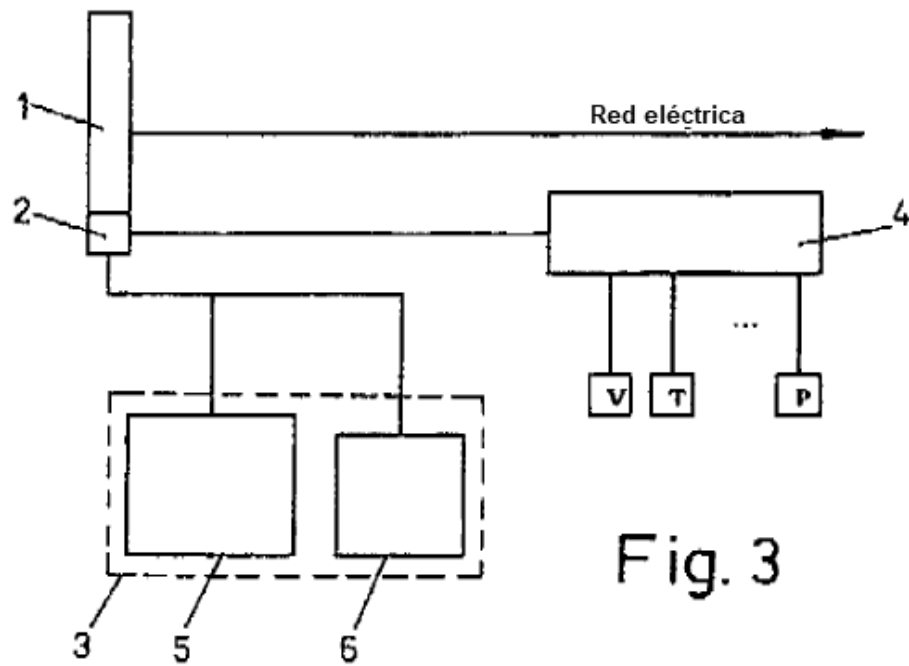
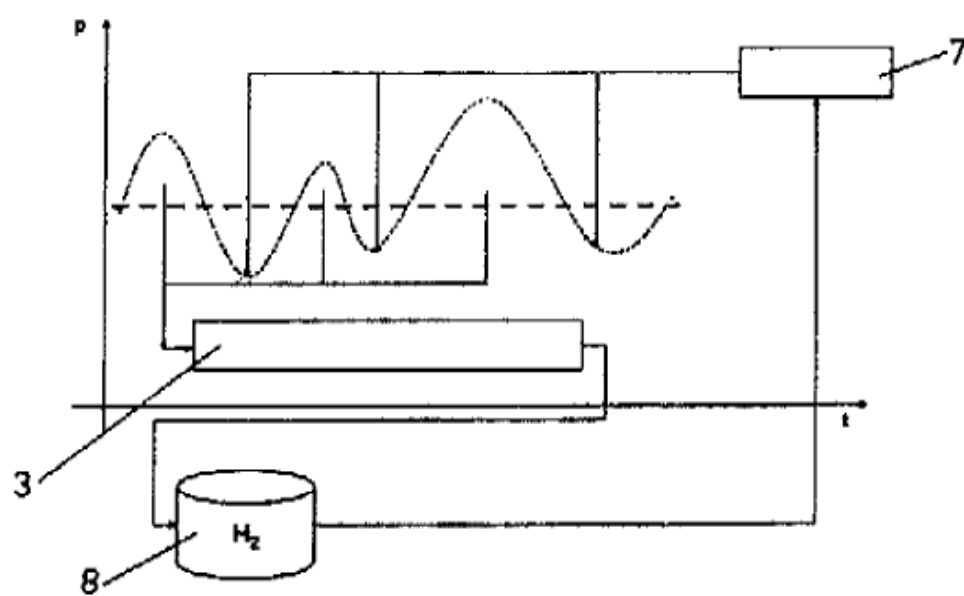
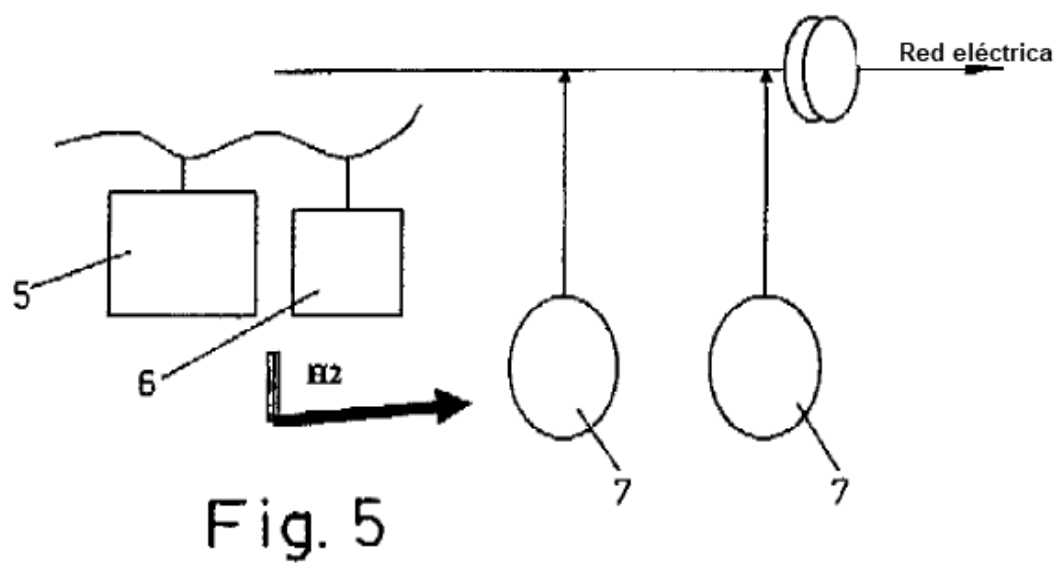


Fig. 2





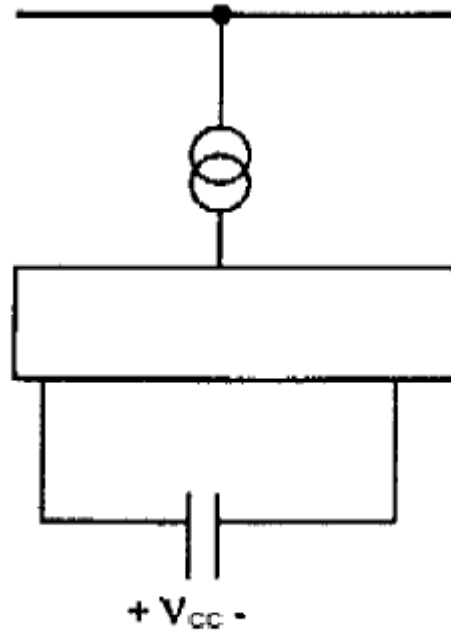


Fig.7

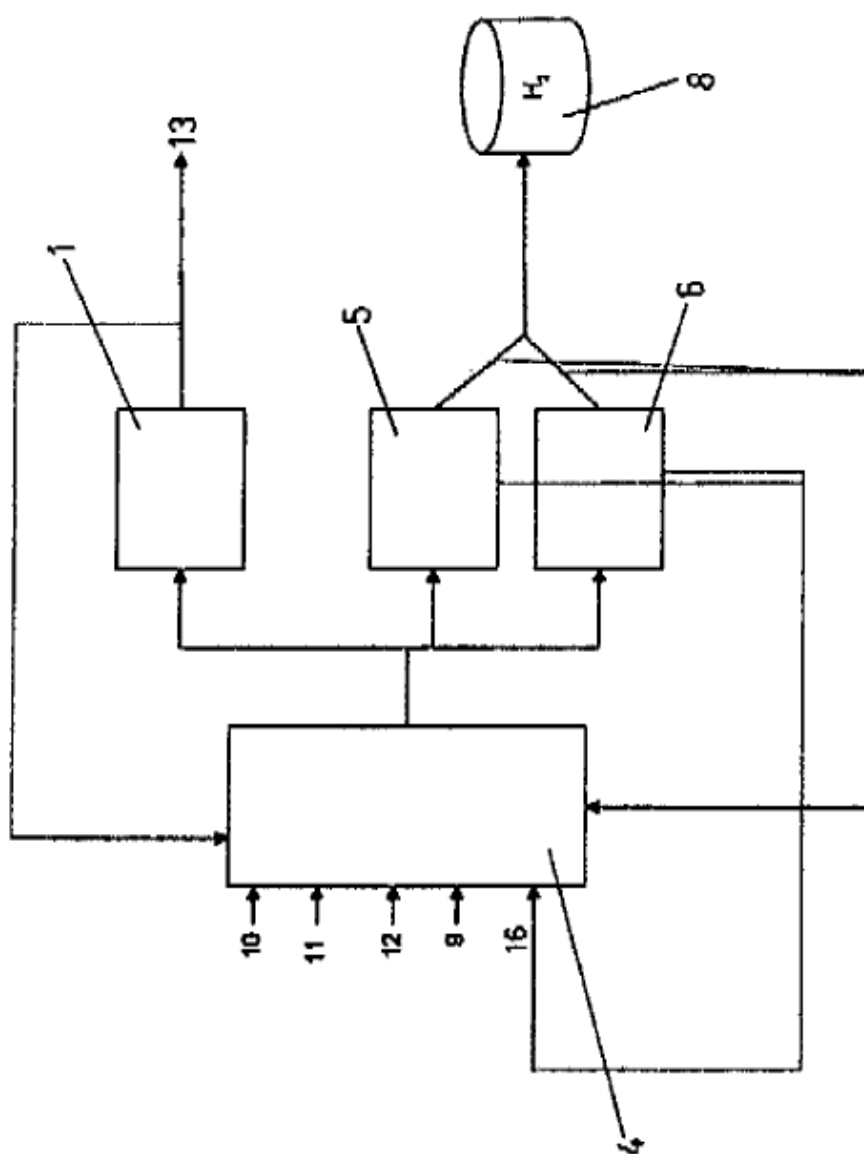


Fig. 8

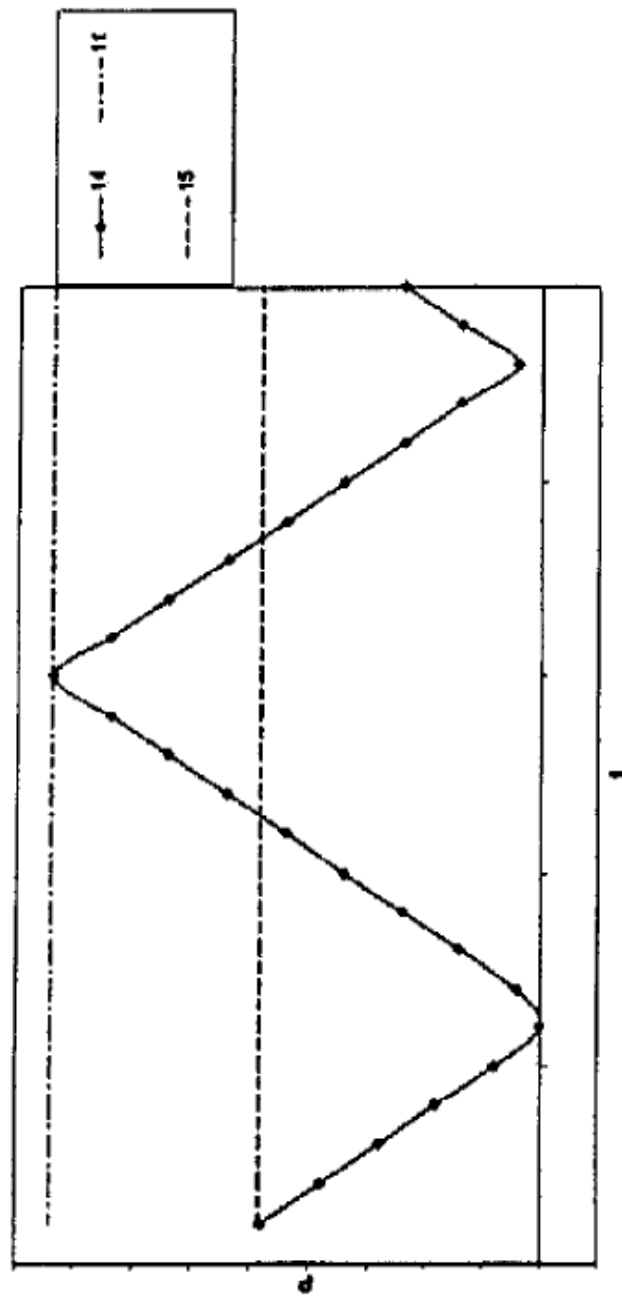


Fig. 9

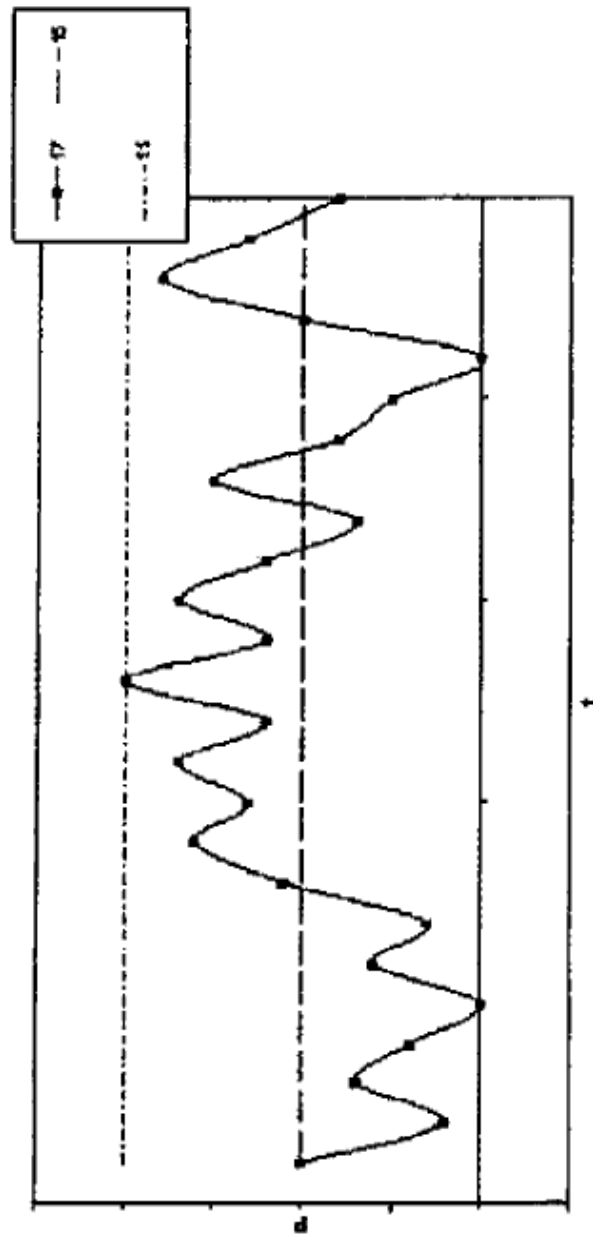


Fig.10

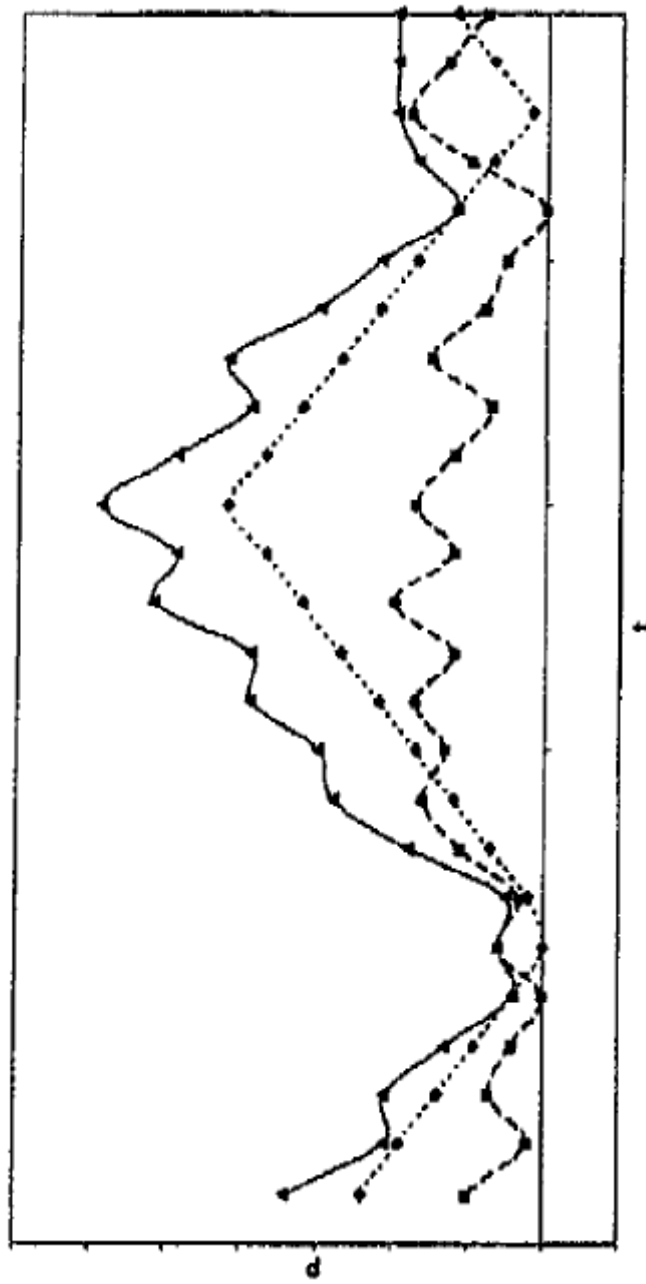


Fig.11

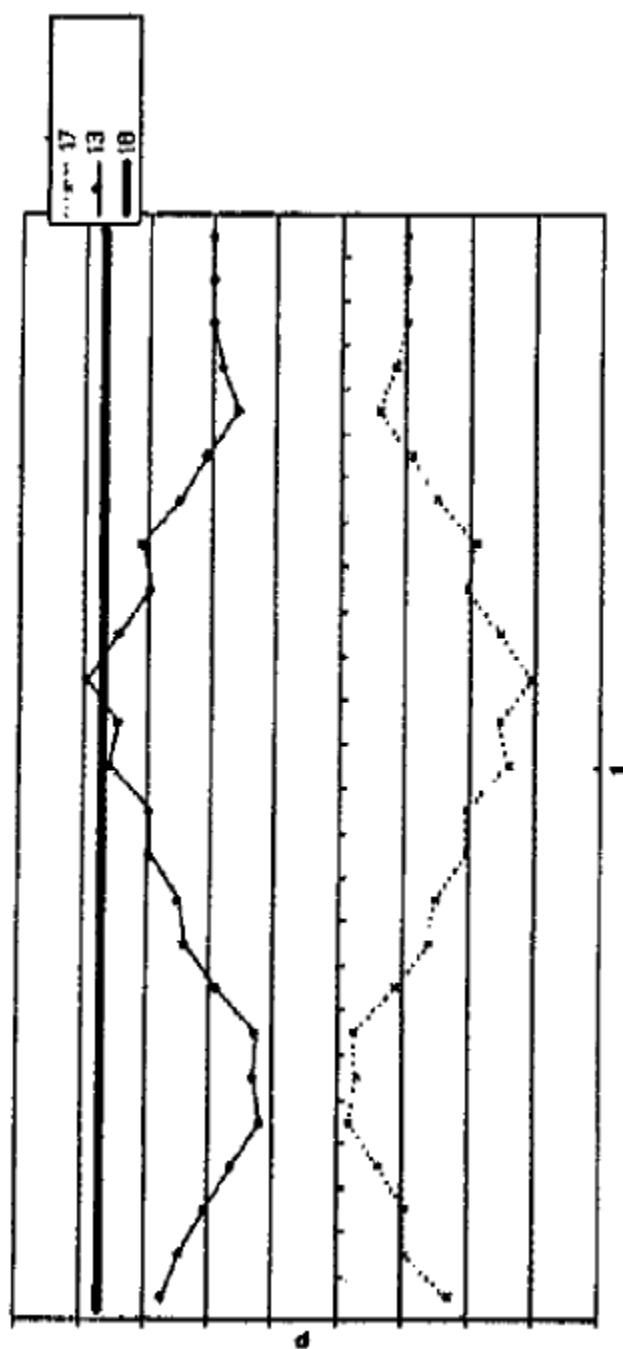


Fig.12